

DIN EN 1993-1-2



ICS 13.220.50; 91.010.30; 91.080.13

Einsprüche bis 2022-04-18
Vorgesehen als Ersatz für
DIN EN 1993-1-2:2010-12

Entwurf

**Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten –
Teil 1-2: Allgemeine Regeln –
Tragwerksbemessung für den Brandfall;
Deutsche und Englische Fassung prEN 1993-1-2:2022**

Eurocode 3: Design of steel structures –
Part 1-2: General rules –
Structural fire design;
German and English version prEN 1993-1-2:2022

Eurocode 3: Calcul des structures en acier –
Partie 1-2: Règles générales –
Calcul du comportement au feu;
Version allemande et anglaise prEN 1993-1-2:2022

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2022-02-18 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfs besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal von DIN unter www.din.de/go/entwuerfe bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter www.entwuerfe.normenbibliothek.de, sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an nabau@din.de möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/go/stellungnahmen-norm-entwuerfe oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an den DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau), 10772 Berlin oder Am DIN-Platz, Burggrafenstr. 6, 10787 Berlin.

Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevanten Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 193 Seiten

DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau)

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (prEN 1993-1-2:2022) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 250 „Eurocodes für den konstruktiven Ingenieurbau“ erarbeitet, dessen Sekretariat von BSI (Vereinigtes Königreich) gehalten wird.

Das zuständige deutsche Normungsgremium ist der Arbeitsausschuss NA 005-52-22 AA „Konstruktiver baulicher Brandschutz (SpA zu ISO/TC 92/WG 15, ISO/TC 92/SC 2/WG 11 und Teilbereichen von CEN/TC 250)“ im DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau).

Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung beigelegt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen Text.

Aktuelle Informationen zu diesem Dokument können über die Internetseiten von DIN (www.din.de) durch eine Suche nach der Dokumentennummer aufgerufen werden.

Änderungen

Gegenüber DIN EN 1993-1-2:2010-12 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) vollständige Überarbeitung des technischen Inhalts;
- b) redaktionelle Überarbeitung der Norm.

<i>Titel de:</i>	Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-2: Allgemeine Regeln — Tragwerksbemessung für den Brandfall
<i>Titel en:</i>	Eurocode 3: Design of steel structures — Part 1-2: General rules — Structural fire design
<i>Titel fr:</i>	Eurocode 3: Calcul des structures en acier — Partie 1-2: Règles générales — Calcul du comportement au feu

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	5
Einleitung	6
1 Anwendungsbereich	9
1.1 Anwendungsbereich von prEN 1993-1-2	9
1.2 Annahmen	9
2 Normative Verweisungen	9
3 Begriffe und Symbole	10
3.1 Begriffe	10
3.2 Symbole	11
3.2.1 Lateinische Großbuchstaben	11
3.2.2 Lateinische Kleinbuchstaben	13
3.2.3 Griechische Großbuchstaben	15
3.2.4 Griechische Kleinbuchstaben	15
4 Grundlagen der Bemessung	17
4.1 Allgemeines	17
4.2 Nominelle Brandbeanspruchung	18
4.3 Physikalisch basierte Brandbeanspruchung	18
4.4 Einwirkungen	18
4.5 Bemessungswerte der Baustoffeigenschaften	19
4.6 Nachweisverfahren	19
4.7 Bauteilberechnung	20
4.8 Berechnung von Teiltragwerken	20
4.9 Gesamttragwerksberechnung	20
5 Baustoffeigenschaften	21
5.1 Allgemeines	21
5.2 Thermische Eigenschaften	21
5.2.1 Kohlenstoffstahl	21
5.2.2 Nichtrostende Stähle	23
5.2.3 Brandschutzmaterialien	23
5.3 Mechanische Eigenschaften	23
5.3.1 Kohlenstoffstahl	23
5.3.2 Nichtrostende Stähle	28
6 Tabellierte Bemessungswerte	28
7 Vereinfachte Bemessungsverfahren	28
7.1 Allgemeines	28
7.2 Querschnittsklassifizierung	30
7.3 Wirksame Breite für Querschnitte der Klasse 4	30
7.4 Tragfähigkeit	30
7.4.1 Zugglieder	30
7.4.2 Druckglieder	31
7.4.3 Träger mit Querschnitten der Klasse 1 oder Klasse 2	33
7.4.4 Träger mit Querschnitten der Klasse 3	37
7.4.5 Träger mit Querschnitten der Klasse 4	38

7.4.6	Bauteile mit Querschnitten der Klassen 1, 2 oder 3 unter Beanspruchung aus Biegung und Normaldruck	39
7.4.7	Bauteile mit Querschnitten der Klasse 4 unter Beanspruchung aus Biegung und Normaldruck	41
7.5	Kritische Temperatur	42
7.6	Entwicklung der Stahltemperatur	43
7.6.1	Ungeschützte innenliegende Stahlkonstruktionen	43
7.6.2	Mit Brandschutzmaterial bekleidete innenliegende Stahlkonstruktionen	46
7.6.3	Innenliegende Stahlkonstruktionen in Hohlräumen, geschützt durch Wärmeschilde	49
7.6.4	Außenliegende Stahlkonstruktionen	49
8	Erweiterte Bemessungsverfahren	50
8.1	Allgemeines	50
8.2	Thermische Berechnung	50
8.3	Mechanische Berechnung	51
8.4	Validierung erweiterter Bemessungsverfahren	51
Anhang A (normativ) Kaltverfestigung von Kohlenstoffstahl bei erhöhten Temperaturen		52
Anhang B (normativ) Wärmeübertragung auf außenliegende Stahlkonstruktionen		54
B.1	Allgemeines	54
B.1.1	Grundlagen	54
B.1.2	Vereinbarungen zu den Maßen	54
B.1.3	Wärmebilanz	54
B.1.4	Gesamtkonfigurationsfaktoren	56
B.2	Nicht direkt beflammte Stütze	57
B.2.1	Wärmeübertragung durch Strahlung	57
B.2.2	Emissivität der Flamme	57
B.2.3	Flammentemperatur	62
B.2.4	Absorptionswert der Flamme	63
B.3	Nicht direkt beflammter Träger	63
B.3.1	Wärmeübertragung durch Strahlung	63
B.3.2	Emissivität der Flamme	66
B.3.3	Flammentemperatur	67
B.3.4	Absorptionswert der Flamme	67
B.4	Direkt beflammte Stütze	67
B.5	Vollständig oder teilweise direkt beflammter Träger	71
B.5.1	Wärmeübertragung durch Strahlung	71
B.5.2	Emissivität der Flamme	75
B.5.3	Absorptionswert der Flamme	75
Anhang C (normativ) Nichtrostende Stähle		76
C.1	Allgemeines	76
C.2	Thermische Eigenschaften	76
C.2.1	Emissivitätskoeffizient	76
C.2.2	Wärmeleitfähigkeit	76
C.2.3	Spezifische Wärmekapazität	76
C.3	Mechanische Eigenschaften von Stahl	77
C.3.1	Spannungs-Dehnungs-Eigenschaften	77
C.3.2	Thermische Dehnung	81
C.3.3	Dichte	81
C.4	Einfache Berechnungsmodelle	81
C.4.1	Allgemeines	81
C.4.2	Querschnittsklassifizierung	81
C.4.3	Tragfähigkeit	83
Anhang D (normativ) Anschlüsse		90
D.1	Geschraubte Anschlüsse	90

D.1.1	Allgemeines	90
D.1.2	Bemessungswert der Beanspruchbarkeit von Schrauben unter Scherbeanspruchung.....	90
D.1.3	Bemessungswert der Beanspruchbarkeit von Schrauben unter Zugbeanspruchung	91
D.2	Bemessungswert der Beanspruchbarkeit von Schweißnähten	92
D.2.1	Stumpfnähte	92
D.2.2	Kehlnähte	92
D.3	Temperaturen von Anschlüssen im Brandfall.....	92
D.4	Geschweißte Stahlrohranschlüsse	92
D.4.1	Allgemeines	92
D.4.2	Geschweißte Rohranschlüsse unter Normaldruck in Streben.....	93
D.4.3	Geschweißte Rohranschlüsse mit Streben unter Biegemoment in der Tragwerksebene.....	93
Anhang E (normativ) Träger mit großen Stegöffnungen		94
E.1	Allgemeines	94
E.2	Thermische Berechnung.....	94
E.3	Mechanische Berechnung.....	97
Literaturhinweise.....		99

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (prEN 1993-1-2:2022) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 250 „Eurocodes für den konstruktiven Ingenieurbau“ erarbeitet, dessen Sekretariat von BSI gehalten wird. CEN/TC 250 ist für alle Eurocodes des konstruktiven Ingenieurbaus zuständig. Die Verantwortung für alle Angelegenheiten der Tragwerks- und geotechnischen Planung wurde dem CEN/TC 250 von CEN übertragen.

Dieses Dokument ist derzeit zur CEN-Umfrage vorgelegt.

Dieses Dokument wird EN 1993-1-2:2005 einschließlich Berichtigungen ersetzen.

Die erste Generation der EN Eurocodes wurde zwischen den Jahren 2002 und 2007 veröffentlicht. Dieses Dokument wurde als Teil der zweiten Generation der Eurocodes im Rahmen des Mandats M/515 erarbeitet, das die Europäische Kommission und die Europäische Freihandelsassoziation CEN erteilt haben.

Die Eurocodes wurden erarbeitet, um in Verbindung mit einschlägigen Ausführungs-, Werkstoff-, Produkt- und Prüfnormen angewendet zu werden und um Anforderungen an Ausführung, Werkstoffe, Produkte und Prüfung zu identifizieren, auf denen die Eurocodes beruhen.

Die Eurocodes erkennen die Verantwortlichkeit aller Mitgliedstaaten an und wahren deren Recht, sicherheitsbezogene Werte auf nationaler Ebene in Nationalen Anhängen festzulegen.

Einleitung

0.1 Einleitung zu den Eurocodes

Die Eurocodes des konstruktiven Ingenieurbaus umfassen die folgenden Normen, die in der Regel aus mehreren Teilen bestehen:

- EN 1990, Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung
- EN 1991, Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke
- EN 1992, Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken
- EN 1993, Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten
- EN 1994, Eurocode 4: Bemessung und Konstruktion von Verbundtragwerken aus Stahl und Beton
- EN 1995, Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten
- EN 1996, Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten
- EN 1997, Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik
- EN 1998, Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben
- EN 1999, Eurocode 9: Bemessung und Konstruktion von Aluminiumtragwerken
- Neue Teile sind in Erarbeitung, z. B. Eurocode für die Bemessung und Konstruktion von Tragwerken aus Glas

0.2 Einleitung zu EN 1993 (alle Teile)

EN 1993 (alle Teile) gilt für den Entwurf, die Berechnung und die Bemessung von Hoch- und Ingenieurbauten aus Stahl. Eurocode 3 entspricht den Grundsätzen und Anforderungen an die Sicherheit und Gebrauchstauglichkeit von Tragwerken sowie den Grundlagen für ihre Bemessung und Nachweise, die in EN 1990, Grundlagen der Tragwerksplanung, enthalten sind.

EN 1993 (alle Teile) behandelt ausschließlich Anforderungen an die Tragfähigkeit, die Gebrauchstauglichkeit, die Dauerhaftigkeit und die Feuerwiderstandsfähigkeit von Tragwerken aus Stahl. Andere Anforderungen, wie z. B. bezüglich Wärmeschutz oder Schallschutz, werden nicht berücksichtigt.

EN 1993 ist in mehrere Teile unterteilt:

EN 1993-1, *Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau*;

EN 1993-2, *Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 2: Stahlbrücken*;

EN 1993-3, *Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 3: Türme, Maste und Schornsteine*;

EN 1993-4, *Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 4: Silos und Tankbauwerke*;

EN 1993-5, *Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 5: Pfähle und Spundwände*;

EN 1993-6, *Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 6: Kranbahnen*;

EN 1993-7, *Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 7: Bemessung von Sandwich-Paneelen*.

EN 1993-1 existiert nicht als physisches Dokument, sondern besteht aus den folgenden 14 Einzelteilen, deren grundlegender Teil EN 1993-1-1 ist:

EN 1993-1-1, *Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau*;

EN 1993-1-2, *Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-2: Allgemeine Regeln — Tragwerksbemessung für den Brandfall*;

EN 1993-1-3, *Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-3: Allgemeine Regeln — Ergänzende Regeln für kaltgeformte dünnwandige Bauteile und Bleche*;

ANMERKUNG Kaltgeformte Hohlquerschnitte nach EN 10219 werden in EN 1993-1-1 behandelt.

EN 1993-1-4, *Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-4: Allgemeine Bemessungsregeln — Ergänzende Regeln zur Anwendung von nichtrostenden Stählen*;

EN 1993-1-5, *Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-5: Plattenförmige Bauteile*;

EN 1993-1-6, *Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-6: Festigkeit und Stabilität von Schalen*;

EN 1993-1-7, *Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-7: Plattenförmige Bauteile mit Querbelaastung*;

EN 1993-1-8, *Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-8: Bemessung von Anschlüssen*;

EN 1993-1-9, *Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-9: Ermüdung*;

EN 1993-1-10, *Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-10: Stahlsortenauswahl im Hinblick auf Bruchzähigkeit und Eigenschaften in Dickenrichtung*;

EN 1993-1-11, *Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-11: Bemessung und Konstruktion von Tragwerken mit Zuggliedern aus Stahl*;

EN 1993-1-12, *Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-12: Zusätzliche Regeln zur Erweiterung von EN 1993 auf Stahlgüten bis S960*;

EN 1993-1-13, *Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-13: Regeln für Träger mit großen Stegöffnungen*

EN 1993-1-14, *Design of Steel Structures — Part 1-14: Design assisted by finite element analysis*.

Alle nachfolgenden Teile von EN 1993-1-2 bis EN 1993-1-14 behandeln allgemeine Themen, die unabhängig von der Art des Tragwerks sind, wie die Tragwerksbemessung für den Brandfall, kaltgeformte Bauteile und Bleche, nichtrostende Stähle, plattenförmige Bauteile usw.

Alle nachfolgenden Teile von EN 1993-2 bis EN 1993-7 behandeln Themen, die für eine bestimmte Tragwerksart maßgebend sind, wie Stahlbrücken; Türme, Maste und Schornsteine; Silos und Tankbauwerke; Pfähle und Spundwände; Kranbahnen usw. EN 1993-2 bis EN 1993-7 beziehen sich auf die allgemeinen Regeln nach EN 1993-1 und ergänzen, ändern oder ersetzen diese, sofern maßgebend.

0.3 Einleitung zu prEN 1993-1-2

prEN 1993-1-2 beschreibt die Grundsätze, Anforderungen und Regeln für die Tragwerksbemessung von Stahlhochbauten unter Brandbeanspruchung. Das Hauptaugenmerk in prEN 1993-1-2 liegt auf den Verfahren und Regeln für die Bemessung von einzelnen Bauteilen (Trägern, Stützen, Träger-Stützen), Anschlüssen und Grundgerüsten (Tragwerken) im Hinblick auf Tragfähigkeit und Stabilität unter Brandbedingungen.

0.4 In den Eurocodes verwendete Verbformen

Das Verb „muss“ beschreibt eine Anforderung, die zwingend zu befolgen ist und von der bei Anwendung der Eurocodes keine Abweichung zulässig ist.

Das Verb „sollte“ beschreibt eine streng empfohlene Auswahl oder Vorgehensweise. In Abhängigkeit von nationalen Regeln und/oder relevanten Vertragsbestimmungen könnten alternative Lösungen verwendet/angenommen werden, wenn sie technisch gerechtfertigt sind.

Das Verb „darf“ beschreibt eine erlaubte Vorgehensweise innerhalb der Anwendungsgrenzen der Eurocodes.

Das Verb „kann“ beschreibt Möglichkeiten und Fähigkeiten; es wird für Tatsachenfeststellungen und Erklärungen verwendet.

0.5 Nationaler Anhang zu prEN 1993-1-2

Nationale Festlegungen sind in dieser Norm zulässig, wo diese Möglichkeit ausdrücklich in Anmerkungen angegeben wird. Nationale Festlegungen umfassen die Auswahl der Werte für national festzulegende Parameter (NDP).

Die jeweilige nationale Ausgabe von prEN 1993-1-2 kann einen Nationalen Anhang mit allen national festzulegenden Parametern enthalten, die für den Entwurf und die Bemessung von Hoch- und Ingenieurbauten im jeweiligen Land Verwendung finden.

Wird keine nationale Festlegung angeführt, ist der in dieser Norm angegebene Standardwert anzuwenden.

Wenn keine nationale Festlegung angeführt wird und kein Standardwert in dieser Norm angegeben ist, kann die Festlegung durch eine zuständige Behörde getroffen werden, oder sofern keine Festlegungen getroffen wurden, können die beteiligten Parteien im Einzelfall eine Vereinbarung treffen.

Nationale Festlegungen sind in EN 1993-1-2 durch Anmerkungen zu den folgenden Abschnitten gestattet:

4.5(1) 7.5(2) – 2 Festlegungen

Der Nationale Anhang kann, direkt oder durch Verweisungen, ergänzende nicht widersprechende Angaben zur Erleichterung der Umsetzung enthalten, sofern dadurch keine Bestimmungen der Eurocodes geändert werden.

1 Anwendungsbereich

1.1 Anwendungsbereich von prEN 1993-1-2

(1) Dieses Dokument enthält Regeln für die Bemessung von Stahltragwerken für die außergewöhnliche Situation der Brandbeanspruchung. Dieser Teil von EN 1993 beschränkt sich auf Unterschiede oder Ergänzungen zur Bemessung für Normaltemperatur.

(2) Dieses Dokument gilt für Stahltragwerke, die Funktionen der Tragfähigkeit und/oder des Raumabschlusses erfüllen müssen.

(3) Dieses Dokument enthält keine Regeln für raumabschließende Funktionen.

(4) Dieses Dokument enthält Grundsätze und Anwendungsregeln für die Bemessung von Tragwerken für festgelegte Anforderungen im Hinblick auf die vorstehend erwähnte Funktion und die Leistungsklassen.

(5) Dieses Dokument gilt für Tragwerke oder Teiltragwerke, die in den Anwendungsbereich von EN 1993-1-1 fallen und danach bemessen werden.

(6) Dieses Dokument ist für die Anwendung in Zusammenhang mit EN 1991-1-2, EN 1993-1-1, EN 1993-1-3, EN 1993-1-4, EN 1993-1-5, EN 1993-1-6, EN 1993-1-7, EN 1993-1-8, EN 1993-1-11, EN 1993-1-13 oder EN 1993-1-14 vorgesehen.

1.2 Annahmen

(1) Sofern nicht spezifisch angegeben, gelten EN 1990, EN 1991 (alle Teile) und EN 1993-1-1.

(2) Die in prEN 1993-1-2 angegebenen Bemessungsverfahren sind anwendbar, wenn

- die Qualität der Ausführung den Festlegungen nach EN 1090-2 und/oder EN 1090-4 entspricht; und
- die verwendeten Baustoffe und Bauprodukte den Festlegungen nach prEN 1993-1-1:2020, Tabelle 5.1 und Tabelle 5.2, sowie prEN 1993-1-3:2022, Tabelle 5.1 und Tabelle 5.2, oder nach den maßgebenden Baustoff- und Produktspezifikationen entsprechen.

(3) Zusätzlich zu den allgemeinen Annahmen nach EN 1990 gelten die folgenden Annahmen:

- die Wahl des maßgebenden Bemessungsbrandszenarios erfolgt durch angemessen qualifiziertes und erfahrenes Personal oder ist in der maßgebenden nationalen Regelung angegeben;
- jede bei der Bemessung berücksichtigte Brandschutzmaßnahme wird ausreichend gewartet.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente werden im Text in solcher Weise in Bezug genommen, dass einige Teile davon oder ihr gesamter Inhalt Anforderungen des vorliegenden Dokuments darstellen. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

ANMERKUNG In den Literaturhinweisen sind weitere zitierte Dokumente aufgelistet, die keine normativen Verweisungen sind, einschließlich solcher Dokumente, die als Empfehlungen (d. h. durch „sollte“-Sätze) und Erlaubnisse (d. h. durch „darf“-Sätze) in Bezug genommen werden.

EN 1090-2, *Ausführung von Stahltragwerken und Aluminiumtragwerken — Teil 2: Technische Regeln für die Ausführung von Stahltragwerken*

EN 1090-4, *Ausführung von Stahltragwerken und Aluminiumtragwerken — Teil 4: Technische Anforderungen an tragende, kaltgeformte Bauelemente aus Stahl und tragende, kaltgeformte Bauteile für Dach-, Decken-, Boden- und Wandanwendungen*

prEN 1990:2020, *Eurocode — Grundlagen der Tragwerksplanung*

EN 1991 (alle Teile), *Eurocode 1 — Einwirkungen auf Tragwerke*

prEN 1991-1-2:2021, *Eurocode 1 — Einwirkungen auf Tragwerke — Teil 1-2: Allgemeine Einwirkungen — Brandeinwirkungen auf Tragwerke*

prEN 1993-1-1:2020, *Eurocode 3 — Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau*

prEN 1993-1-3:2022, *Eurocode 3 — Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-3: Allgemeine Regeln — Ergänzende Regeln für kaltgeformte Bauteile und Bleche*

EN 1993-1-4, *Eurocode 3 — Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-3: Allgemeine Bemessungsregeln — Ergänzende Regeln zur Anwendung von nichtrostenden Stählen*

prEN 1993-1-5:2022, *Eurocode 3 — Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-5: Plattenförmige Bauteile*

EN 1993-1-6, *Eurocode 3 — Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-6: Festigkeit und Stabilität von Schalen*

EN 1993-1-7, *Eurocode 3 — Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-7: Aus Blechen zusammengesetzte Bauteile unter Querbelastrung*

prEN 1993-1-8:2021, *Eurocode 3 — Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-8: Bemessung von Anschlüssen*

EN 1993-1-11, *Eurocode 3 — Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-11: Bemessung und Konstruktion von Tragwerken mit Zuggliedern aus Stahl*

EN 1993-1-13:2022, *Eurocode 3 — Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-13: Regeln für Träger mit großen Stegöffnungen*

EN 1993-1-14, *Eurocode 3 — Design of steel structures — Part 1-14: Design assisted by finite element analysis*

3 Begriffe und Symbole

3.1 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach EN 1990, EN 1991-1-2 und die folgenden Begriffe.

3.1.1

Profilfaktor des das Profil umschließenden Kastens

Verhältnis zwischen der beflaminten Oberfläche eines gedachten das Stahlprofil umhüllenden Kastens und dem Stahlvolumen

3.1.2

kritische Temperatur von Baustahl

Temperatur, bei der unter einer gegebenen Belastung und gleichmäßiger Temperaturverteilung Versagen in einem Stahlbauteil erwartet wird

3.1.3

effektive Fließgrenze

Spannungsniveau bei einer gegebenen Temperatur, bei dem die Spannungs-Dehnungsbeziehung abgebrochen wird und so ein Fließplateau aufweist

3.1.4

Brandschutzmaterial

Baustoffe oder Baustoffkombinationen, die an einem tragenden Bauteil zur Verbesserung seiner Feuerwiderstandsfähigkeit angebracht werden

3.1.5

Teiltragwerk

Teil eines Tragwerks mit entsprechenden Lagerungs- und Randbedingungen

3.1.6

Profilfaktor

Verhältnis der brandbeanspruchten Oberfläche zum Stahlvolumen bei unbekleideten Stahlbauteilen oder Verhältnis der inneren Oberfläche der brandbeanspruchten Bekleidung zum Stahlvolumen bei bekleideten Stahlbauteilen

3.2 Symbole

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Formelzeichen:

3.2.1 Lateinische Großbuchstaben

A_i	Teilfläche eines Querschnitts mit einer Temperatur θ_i ;
A_m	brandbeanspruchte Oberfläche eines Bauteils je Längeneinheit [m^2/m];
A_m/V	Profilfaktor von ungeschützten Stahlbauteilen [m^{-1}];
A_p	entsprechende Oberfläche des Brandschutzmaterials je Längeneinheit des Bauteils [m^2/m];
A_p/V	Profilfaktor für mit Brandschutzmaterial bekleidete Stahlbauteile [m^{-1}];
C_i	Schutzbeiwert der Bauteilseite i ;
E_a	Elastizitätsmodul von Stahl bei Bemessung für Normaltemperatur;
$E_{a,\theta}$	Steigung im linear-elastischen Bereich von Stahl bei erhöhter Temperatur θ_a ;
E_d	Bemessungswert der Auswirkung von Einwirkungen bei Normaltemperatur, bestimmt nach EN 1991-1-1;
$E_{fi,d}$	Bemessungswert der Auswirkung von Einwirkungen im Brandfall, bestimmt nach prEN 1991-1-2, einschließlich der Auswirkungen thermischer Dehnungen und Verformungen;

$E_{p0,2,\theta}$	Tangentenmodul bei $f_{p0,2,\theta}$;
$F_{b,Rd}$	Bemessungswert der Beanspruchbarkeit einer Schraube nach EN 1993-1-8;
$F_{b,fi,t,Rd}$	Bemessungswert der Beanspruchbarkeit einer Schraube im Brandfall zum Zeitpunkt t ;
$F_{v,Rd}$	Bemessungswert der Schertragfähigkeit einer Schraube je Scherfuge unter der Annahme, dass die Scherfuge im Schaft liegt, nach EN 1993-1-8;
$F_{v,fi,t,Rd}$	Bemessungswert der Schertragfähigkeit einer Schraube je Scherfuge im Brandfall zum Zeitpunkt t ;
$F_{w,Rd}$	Bemessungswert der Beanspruchbarkeit je Längeneinheit einer Kehlnaht nach EN 1993-1-8;
$F_{w,fi,t,Rd}$	Bemessungswert der Beanspruchbarkeit je Längeneinheit einer Kehlnaht im Brandfall zum Zeitpunkt t ;
I_f	Wärmestrom durch Strahlung aus einer Öffnung;
I_z	Wärmestrom durch Strahlung von einer Flamme;
$I_{z,i}$	Wärmestrom durch Strahlung von einer Flamme zur Bauteilseite i einer Stütze;
L	Systemlänge einer Stütze im betrachteten Geschoss;
L_i	Länge entlang der Achse zwischen der Öffnung und dem betrachteten Punkt;
M	Anzahl der Öffnungen auf Seite m ;
$M_{b,fi,t,Rd}$	Bemessungswert der Biegedrillknickbeanspruchbarkeit im Brandfall zum Zeitpunkt t ;
$M_{c,Rd}$	plastische Momententragfähigkeit $M_{pl,Rd}$ des Bruttoquerschnitts bei Bemessung für Normaltemperatur; die elastische Momententragfähigkeit $M_{el,Rd}$ des Bruttoquerschnitts bei Bemessung für Normaltemperatur;
M_{cr}	ideales Moment bei Biegedrillknicken bezogen auf die Eigenschaften des Bruttoquerschnitts unter Berücksichtigung von Beanspruchungsbedingungen, tatsächlicher Momentenverteilung und seitlicher Stützung;
$M_{fi,t,Rd}$	Bemessungswert der Momententragfähigkeit im Brandfall zum Zeitpunkt t ;
$M_{fi,\theta,Rd}$	Bemessungswert der Momententragfähigkeit des Querschnitts bei einer gleichmäßigen Temperatur θ_a ;
N	Anzahl der Öffnungen auf Seite n ;
$N_{b,fi,t,Rd}$	Bemessungswert des Knickwiderstands eines Druckgliedes im Brandfall zum Zeitpunkt t ;
N_{cr}	ideale Normalkraft für den maßgebenden Knickfall bezogen auf die Eigenschaften des Bruttoquerschnitts unter Verwendung der Knicklänge unter Brandbedingungen;
$N_{fi,t,Rd}$	Bemessungswert der Beanspruchbarkeit im Brandfall zum Zeitpunkt t eines Zuggliedes mit

einer ungleichmäßigen Temperaturverteilung über den Querschnitt;

$N_{fi,\theta,Rd}$	Bemessungswert der Beanspruchbarkeit eines Zuggliedes mit einer gleichmäßigen Temperatur θ_a ;
$N_{t,Rd}$	Bemessungswert der Beanspruchbarkeit bei Zugbeanspruchung des Querschnitts $N_{pl,Rd}$ bei Bemessung für Normaltemperatur nach EN 1993-1-1;
$R_{fi,d,t}$	Bemessungswert der Beanspruchbarkeit im Brandfall zum Zeitpunkt t ;
$R_{fi,d,0}$	Wert von $R_{fi,d,t}$ zum Zeitpunkt $t = 0$;
T_f	Temperatur des Brandes [K];
T_m	Temperatur des Stahlbauteils [K];
T_o	Flammentemperatur an der Öffnung [K];
T_x	Temperatur an der Flammenoberseite [813 K];
T_z	Flammentemperatur [K];
$T_{z,1}$	Flammentemperatur [K] nach prEN 1991-1-2:2021, Anhang B, in Höhe der Trägerunterkante;
$T_{z,2}$	Flammentemperatur [K] nach prEN 1991-1-2:2021, Anhang B, in Höhe der Trägersoberkante;
V	Volumen eines Bauteils je Längeneinheit;
$V_{c,Rd}$	Bemessungswert der Querkrafttragfähigkeit bei Bemessung für Normaltemperatur nach EN 1993-1-1;
$V_{fi,t,Rd}$	Bemessungswert der Querkrafttragfähigkeit im Brandfall zum Zeitpunkt t ;
X_k	charakteristischer Wert einer Festigkeits- oder Verformungseigenschaft (im Allgemeinen f_k oder E_k) bei Bemessung für Normaltemperatur nach EN 1993-1-1.

3.2.2 Lateinische Kleinbuchstaben

a_z	Absorptionswert der Flammen;
c_a	spezifische Wärmekapazität von Stahl;
c_p	spezifische Wärmekapazität des Brandschutzmaterials;
d	wirksames Querschnittsmaß;
d_i	Querschnittsmaß der Bauteilseite i ;
d_p	Dicke des Brandschutzmaterials;
d_f	Dicke des Brandschutzmaterials ($d_f = 0$ für ungeschützte Bauteile);

f	Anpassungsfaktor für $\chi_{LT,fi}$;
$f_{p,\theta}$	Proportionalitätsgrenze von Stahl bei erhöhter Temperatur θ_a ;
$f_{u,\theta}$	Bruchfestigkeit bei erhöhter Temperatur unter Berücksichtigung der Kaltverfestigung;
f_y	Fließgrenze bei 20 °C;
$f_{y,\theta}$	effektive Fließgrenze von Stahl bei erhöhter Temperatur θ_a ;
$f_{y,i}$	Nennwert der Fließgrenze f_y für die Teilfläche A_i , angenommen als positiv auf der Druckseite der plastischen Neutralachse und als negativ auf der Zugseite;
h_{eq}	äquivalente Höhe der Öffnung;
$\dot{h}_{net,d}$	Bemessungswert des Netto-Wärmestroms je Flächeneinheit;
h_z	Höhe der Flammenoberseite über der Trägerunterkante;
i	Bezeichnung der Stützensseite (1), (2), (3) oder (4);
$k_{b,\theta}$	Abminderungsfaktor für die entsprechende Schraubentemperatur;
k_c	Korrekturfaktor für die Momentenverteilung;
$k_{E,\theta}$	Abminderungsfaktor für die Steigung im linear-elastischen Bereich bei der Stahltemperatur θ_a zum Zeitpunkt t ;
$k_{E,\theta,com}$	Abminderungsfaktor für die Steigung im linear-elastischen Bereich bei maximaler Stahltemperatur im Druckflansch $\theta_{a,com}$ zum Zeitpunkt t ;
$k_{p0,2,\theta}$	Abminderungsfaktor für die 0,2-%-Dehngrenze bei Stahltemperatur θ_a zum Zeitpunkt t ;
k_{sh}	Korrekturfaktor für den Abschattungseffekt;
$k_{u,\theta}$	Abminderungsfaktor für die Bruchfestigkeit bei Stahltemperatur θ_a zum Zeitpunkt t ;
k_θ	bezogener Wert einer Festigkeits- oder Verformungseigenschaft von Stahl bei erhöhter Temperatur θ_a ;
$k_{w,\theta}$	Abminderungsfaktor für die Festigkeit von Schweißnähten bei erhöhter Temperatur;
$k_{y,\theta}$	Abminderungsfaktor für die Fließgrenze bei Stahltemperatur θ_a zum Zeitpunkt t ;
$k_{y,\theta,com}$	Abminderungsfaktor für die Fließgrenze von Stahl bei maximaler Temperatur im Druckflansch $\theta_{a,com}$ zum Zeitpunkt t ;
$k_{y,\theta,i}$	Abminderungsfaktor der Fließgrenze von Stahl bei Temperatur θ_i ;
$k_{y,\theta,max}$	Abminderungsfaktor für die Fließgrenze von Stahl bei maximaler Stahltemperatur $\theta_{a,max}$ zum Zeitpunkt t ;

$k_{y,\theta_{web}}$	Abminderungsfaktor für die Fließgrenze von Stahl bei Stahltemperatur θ_{web} ;
k_y	Interaktionsbeiwert für Knicken um die y-y-Achse;
k_z	Interaktionsbeiwert für Knicken um die z-z-Achse;
k_{LT}	Interaktionsbeiwert für Biegedrillknicken;
l	Länge bei 20 °C; entlang der Flammenachse gemessener Abstand einer Flamme von einer Öffnung;
l_{fi}	Knicklänge einer Stütze für den Bemessungsbrandfall;
s	horizontaler Abstand einer Stützenachse von einer Wand eines Brandabschnitts;
t	Dauer der Brandbeanspruchung;
w_i	Breite einer Öffnung;
z_i	Abstand der Hauptachse der Teilfläche A_i von der plastischen Neutralachse.

3.2.3 Griechische Großbuchstaben

Δt	Zeitintervall;
Δl	temperaturbedingte Ausdehnung;
$\Delta\theta_{a,t}$	Anstieg der gleichmäßigen Stahltemperaturverteilung in einem Querschnitt während Zeitintervall Δt ;
$\Delta\theta_{g,t}$	Anstieg der Gastemperatur während Zeitintervall Δt .

3.2.4 Griechische Kleinbuchstaben

α	Imperfektionsbeiwert für Biegeknicken;
α_c	konvektiver Wärmeübergangskoeffizient;
α_{LT}	Imperfektionsbeiwert für Biegedrillknicken;
β_M	äquivalente einheitliche Momentenbeiwerte;
γ_{M0}	Teilsicherheitsbeiwert für die Tragfähigkeit von Querschnitten bei Normaltemperatur;
γ_{M2}	Teilsicherheitsbeiwert bei Normaltemperatur;
$\gamma_{M,fi}$	Teilsicherheitsbeiwert für den Brandfall für die entsprechende Materialeigenschaft;
ε	Materialparameter in Abhängigkeit von f_y bei Normaltemperatur;
ε_f	Emissivität einer Flamme; Emissivität einer Öffnung;

ε_{fi}	Materialparameter in Abhängigkeit von f_y für den Brandfall;
ε_m	Emissivität der Bauteiloberfläche;
ε_z	Emissivität einer Flamme;
$\varepsilon_{z,m}$	Gesamtemissivität der Flammen auf der Seite m ;
$\varepsilon_{z,n}$	Gesamtemissivität der Flammen auf der Seite n ;
ε_θ	Dehnung bei Stahltemperatur θ_a ;
η	Abminderungsfaktor, der auf E_d angewendet wird, um $E_{fi,d}$ zu bestimmen;
θ	Temperatur;
θ_a	Stahltemperatur [°C];
$\theta_{a,cr}$	kritische Stahltemperatur;
$\theta_{g,t}$	Gastemperatur zum Zeitpunkt t ;
θ_{web}	mittlere Temperatur im Steg des Querschnitts;
θ_i	Temperatur der Teilfläche A_i ;
κ_1	Anpassungsfaktor für eine ungleichmäßige Temperatur über den Querschnitt;
κ_2	Anpassungsfaktor für eine ungleichmäßige Temperatur entlang des Trägers;
λ	Wärmeleitfähigkeit;
λ_i	Flammendicke für eine Öffnung i ;
$\bar{\lambda}$	bezogene Schlankheit für Biegeknicken;
$\bar{\lambda}_\theta$	bezogene Schlankheit für Biegeknicken bei Stahltemperatur θ_a ;
$\bar{\lambda}_{LT}$	bezogene Schlankheit für Biegedrillknicken;
$\bar{\lambda}_{LT,\theta,com}$	bezogene Schlankheit für Biegedrillknicken bei maximaler Temperatur im Druckflansch $\theta_{a,com}$;
$\bar{\lambda}_{p,\theta}$	bezogene Schlankheit für Plattenbeulen ebener Bauelemente bei Stahltemperatur θ_a ;
λ_p	Wärmeleitfähigkeit des Brandschutzsystems;
λ_f	effektive Wärmeleitfähigkeit des Brandschutzmaterials;
μ_0	Ausnutzungsgrad zum Zeitpunkt $t = 0$;

σ	Stefan-Boltzmann-Konstante [$5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$];
σ_θ	Spannung bei Stahltemperatur θ_a ;
ρ_a	Dichte von Stahl;
ρ_p	Dichte des Brandschutzmaterials;
ϕ_f	Gesamtkonfigurationsfaktor des Bauteils für Wärmeübertragung durch Strahlung aus der Öffnung;
$\phi_{f,i}$	Konfigurationsfaktor einer Bauteilseite i für eine Öffnung;
ϕ_z	Gesamtkonfigurationsfaktor des Bauteils für Wärmeübertragung durch Strahlung von der Flamme;
$\phi_{z,i}$	Konfigurationsfaktor der Bauteilseite i für eine Flamme;
$\phi_{z,m}$	Gesamtkonfigurationsfaktor der Stütze für die Wärmestrahlung von Flammen auf der Seite m ;
$\phi_{z,n}$	Gesamtkonfigurationsfaktor der Stütze für die Wärmestrahlung von Flammen auf der Seite n ;
χ_{fi}	Abminderungsfaktor für Biegeknicken im Bemessungsbrandfall;
$\chi_{LT,fi}$	Abminderungsfaktor für Biegedrillknicken im Bemessungsbrandfall;
$\chi_{LT,fi,mod}$	modifizierter Abminderungsfaktor für Biegedrillknicken;
$\chi_{min,fi}$	kleinster Wert von $\chi_{y,fi}$ und $\chi_{z,fi}$;
$\chi_{y,fi}$	Abminderungsfaktor für Biegeknicken um die y-Achse im Bemessungsbrandfall;
$\chi_{z,fi}$	Abminderungsfaktor für Biegeknicken um die z-Achse im Bemessungsbrandfall.

4 Grundlagen der Bemessung

4.1 Allgemeines

(1) Die Tragwerksbemessung für den Brandfall muss entsprechend den allgemeinen Regeln nach EN 1990 und EN 1991 (alle Teile) sowie entsprechend den spezifischen Bemessungsvorschriften für Stahltragwerke nach EN 1993-1-1 erfolgen.

(2) Nach diesem Dokument bemessene Stahltragwerke müssen nach EN 1090-2 und/oder EN 1090-4 mit Baustoffen und Bauprodukten ausgeführt werden, welche entsprechend den Festlegungen der maßgebenden Teile von EN 1993 oder der maßgebenden Baustoff- und Produktspezifikationen verwendet werden.

(3) Dieses Dokument muss in Zusammenhang mit EN 1991-1-2, EN 1993-1-1, EN 1993-1-3, EN 1993-1-4, EN 1993-1-5, EN 1993-1-6, EN 1993-1-7, EN 1993-1-8, EN 1993-1-11, EN 1993-1-13 oder EN 1993-1-14 angewendet werden.

(4) Die Wahl des maßgebenden Bemessungsbrandszenarios muss durch angemessen qualifiziertes und erfahrenes Personal erfolgen oder in der maßgebenden nationalen Regelung angegeben werden.

(5) Jede bei der Bemessung berücksichtigte Brandschutzmaßnahme muss ausreichend gewartet werden.

(6) Ist mechanische Tragfähigkeit im Brandfall erforderlich, müssen Stahltragwerke so bemessen und ausgeführt werden, dass sie ihre lasttragende Funktion während der jeweiligen Brandbeanspruchung beibehalten.

(7) Verformungskriterien müssen angewendet werden, wenn die Brandschutzmittel eine Berücksichtigung der Verformung des Tragwerks erfordern.

(8) Die Berücksichtigung der Verformung des Tragwerks ist nicht erforderlich, wenn die Wirksamkeit der Schutzmittel nach 5.2.3 beurteilt worden ist.

(9) Verformungskriterien müssen angewendet werden, wenn die Bemessungskriterien für raumabschließende Bauelemente die Berücksichtigung der Verformung des Tragwerks erfordern.

(10) Die Berücksichtigung der Verformung des Tragwerks ist nicht erforderlich, wenn die raumabschließenden Bauelemente die Anforderungen einer nominellen Brandbeanspruchung erfüllen.

4.2 Nominelle Brandbeanspruchung

(1) Bei Beanspruchung unter Einheits-Temperaturzeitkurve müssen Bauelemente die folgende Funktion nach EN 1991-1-2 während der erforderlichen Brandbeanspruchungsdauer erfüllen:

- lasttragende Funktion: Tragfähigkeit (R);
- raumabschließende Funktion: Unversehrtheit (E) und, sofern erforderlich, Dämmung (I);
- lasttragende und raumabschließende Funktionen: R, E und, sofern gefordert, I.

(2) Die lasttragende Funktion wird als erfüllt angesehen, wenn die Tragfähigkeit aufrechterhalten wird.

(3) Die raumabschließende Funktion wird als erfüllt angesehen, wenn die Unversehrtheit und, sofern gefordert, die Dämmung aufrechterhalten werden.

(4) Die Unversehrtheit wird als aufrechterhalten angesehen, wenn ein raumabschließendes Bauelement eines einseitig brandbeanspruchten Hochbautragwerks den Durchgang von Flammen und heißen Gasen und das Auftreten von Flammen auf der unbeflammten Seite verhindert.

(5) Die Dämmung wird als aufrechterhalten angesehen, wenn der mittlere Temperaturanstieg über die gesamte unbeflammte Seite auf 140 K begrenzt ist und der maximale Temperaturanstieg an einem beliebigen Punkt dieser Oberfläche 180 K nicht überschreitet.

(6) Bei Verwendung der Hydrokarbon-Brandkurve gilt dieselbe Tragfähigkeit (R), die Bezugnahme auf diese spezielle Kurve muss jedoch durch die Buchstaben „HC“ deutlich gemacht werden.

4.3 Physikalisch basierte Brandbeanspruchung

(1) Die lasttragende Funktion muss während der gesamten Branddauer, einschließlich Abkühlungsphase, oder während einer erforderlichen Dauer nach EN 1991-1-2, 4.4(4), aufrechterhalten bleiben.

4.4 Einwirkungen

(1) Die thermischen und mechanischen Einwirkungen müssen EN 1991-1-2 entnommen werden.

4.5 Bemessungswerte der Baustoffeigenschaften

(1) Die Bemessungswerte der mechanischen Baustoffeigenschaften (Festigkeit und Steifigkeit) für den Brandfall $X_{d,fi}$ sollten wie folgt bestimmt werden:

$$X_{d,fi} = k_{\theta} X_k / \gamma_{M,fi} \quad (4.1)$$

Dabei ist

- X_k der charakteristische Wert einer Festigkeits- oder Steifigkeitseigenschaft (im Allgemeinen f_k oder E_k) bei Bemessung für Normaltemperatur nach EN 1993-1-1;
- k_{θ} der temperaturabhängige Abminderungsfaktor ($X_{k,\theta}/X_k$) für eine Festigkeits- oder Steifigkeitseigenschaft, siehe 5.3;
- $\gamma_{M,fi}$ der Teilsicherheitsbeiwert für die entsprechende mechanische Baustoffeigenschaft für den Brandfall.

ANMERKUNG Der Wert von $\gamma_{M,fi}$ beträgt 1,0, sofern nicht der Nationale Anhang abweichende Werte zur Anwendung in einem Land enthält.

(2) Die Bemessungswerte der thermischen Baustoffeigenschaften für den Brandfall sollten gleich deren charakteristischen Werten angesetzt werden.

ANMERKUNG Die charakteristischen Werte der thermischen Baustoffeigenschaften entsprechen Mittelwerten.

4.6 Nachweisverfahren

(1) Das für die Bemessung verwendete Modell des Tragsystems muss die Leistung des Tragwerks im Brandfall widerspiegeln.

(2) Die mechanische Tragfähigkeit muss für die erforderliche Brandbeanspruchungsdauer t nach Gleichung (4.2) nachgewiesen werden:

$$E_{fi,d} \leq R_{fi,d,t} \quad (4.2)$$

Dabei ist

- $E_{fi,d}$ der Bemessungswert der Auswirkung von Einwirkungen im Brandfall, der nach EN 1991-1-2 bestimmt wird und die Auswirkungen thermischer Dehnungen und Verformungen einschließt;
- $R_{fi,d,t}$ der zugehörige Bemessungswert der Beanspruchbarkeit im Brandfall.

(3) Die statische Berechnung für den Brandfall sollte nach prEN 1990:2020, 7.1.5, durchgeführt werden.

ANMERKUNG Für den Nachweis der Anforderungen an die Tragfähigkeit auf Grundlage der Einheits-Brandkurve ist, sofern nicht anders festgelegt, eine Bauteilberechnung ausreichend.

(4) Sofern nicht in den maßgebenden Abschnitten festgelegt, dürfen die in diesem Dokument angegebenen Nachweisverfahren für alle Arten der Brandbeanspruchung angewendet werden.

(5) Die folgenden Bemessungsverfahren dürfen angewendet werden, um 4.6(2) zu erfüllen:

- Verwendung tabellierter Bemessungswerte für bestimmte Bauteilarten, siehe Abschnitt 6;

- Anwendung vereinfachter Bemessungsverfahren für bestimmte Bauteilarten, siehe Abschnitt 7;
- Anwendung erweiterter Bemessungsverfahren für die Berechnung von Bauteilen, Teiltragwerken oder des gesamten Tragwerks, siehe Abschnitt 8.

(6) Alternativ zur Bemessung durch Berechnung darf baulicher Brandschutz auf den Ergebnissen von Brandprüfungen oder auf Brandprüfungen in Kombination mit Berechnungen beruhen.

4.7 Bauteilberechnung

(1) Der Bemessungswert einer Auswirkung von Einwirkungen sollte für den Zeitpunkt $t = 0$ unter Verwendung von Kombinationsfaktoren nach prEN 1991-1-2:2021, 6.3, ermittelt werden.

(2) Als Vereinfachung sollte der Wert von $\eta_{fi} = 0,65$ verwendet werden, ausgenommen für aufgebrachte Lasten der Kategorie E nach EN 1991-1-1 (Flächen mit möglicher Stapelung von Gütern einschließlich Zugangsflächen), für die der Wert 0,7 betragen sollte.

(3) Die Auswirkungen thermischer Verformungen aufgrund von Temperaturgradienten im Querschnitt müssen berücksichtigt werden. Die Auswirkungen thermischer Dehnungen in Axialrichtung oder in der Ebene dürfen vernachlässigt werden.

(4) Die kinematischen Randbedingungen an Auflagern und Rändern von Bauteilen zum Zeitpunkt $t = 0$ dürfen als unverändert während der gesamten Brandbeanspruchung angenommen werden.

(5) Tabellierte Bemessungswerte, vereinfachte oder erweiterte Bemessungsverfahren nach Abschnitt 6, Abschnitt 7 bzw. Abschnitt 8 sind für den Nachweis von Bauteilen unter Brandbedingungen geeignet.

4.8 Berechnung von Teiltragwerken

(1) Die Auswirkung von Einwirkungen sollte für den Zeitpunkt $t = 0$ unter Verwendung von Kombinationsfaktoren nach prEN 1991-1-2:2021, 6.3, bestimmt werden.

(2) Im zu berechnenden Teiltragwerk müssen die maßgebende Versagensart im Brandfall, die temperaturabhängigen Baustoffeigenschaften und die Bauteilsteifigkeit, Auswirkungen thermischer Dehnungen und Verformungen (indirekte Brandeinwirkungen) berücksichtigt werden.

(3) Das zu berechnende Teiltragwerk sollte auf der Grundlage der möglichen thermischen Dehnungen und Verformungen so festgelegt werden, dass deren Zusammenwirken mit anderen Teiltragwerken durch zeitunabhängige Lagerungs- und Randbedingungen während der Brandbeanspruchung abgeschätzt werden kann.

(4) Als Alternative zu (1) dürfen die Auflagerreaktionen und Schnittgrößen an den Rändern des Teiltragwerks anhand statischer Berechnung für die Bemessung für Normaltemperatur nach 4.7 ermittelt werden.

4.9 Gesamttragwerksberechnung

(1) Eine Gesamttragwerksberechnung für den Brandfall muss Folgendes berücksichtigen:

- die maßgebende Versagensart bei Brandbeanspruchung;
- temperaturabhängige Baustoffeigenschaften und Bauteilsteifigkeit;
- Auswirkungen thermischer Dehnungen und Verformungen (indirekte Brandeinwirkungen).

5 Baustoffeigenschaften

5.1 Allgemeines

(1) Sofern nicht als Bemessungswerte angegeben, müssen die Werte der Baustoffeigenschaften nach Abschnitt 5 als charakteristische Werte behandelt werden.

(2) Die mechanischen Eigenschaften von Stahl bei Normaltemperatur (20 °C) müssen mit den Werten nach EN 1993-1-1 und EN 1993-1-3 für die Bemessung für Normaltemperatur angesetzt werden.

5.2 Thermische Eigenschaften

5.2.1 Kohlenstoffstahl

5.2.1.1 Emissivitätskoeffizient

(1) Zusätzlich zu prEN 1991-1-2:2021, 5.1(6), dürfen die Werte der Oberflächenemissivität ε_m in Bezug auf unterschiedliche Stahlsorten nach Tabelle 5.1 angesetzt werden:

Tabelle 5.1 — Werte der Oberflächenemissivität ε_m

Stahlsorte	$\varepsilon_m (\leq 500\text{ °C})$	$\varepsilon_m (> 500\text{ °C})$
Kohlenstoffstahl	0,7	
HDG-Stahl ^a	0,35	0,7
^a Nach EN ISO 1461 feuerverzinkter Stahl mit einer Stahlzusammensetzung entsprechend Kategorie A oder B nach EN ISO 14713-2, Tabelle 1.		

5.2.1.2 Wärmeleitfähigkeit

(1) Die Wärmeleitfähigkeit von Stahl λ_a sollte wie folgt bestimmt werden:

— für $20\text{ °C} \leq \theta_a < 800\text{ °C}$:

$$\lambda_a = 54 - 3,33 \times 10^{-2} \theta_a \text{ W/mK} \quad (5.1)$$

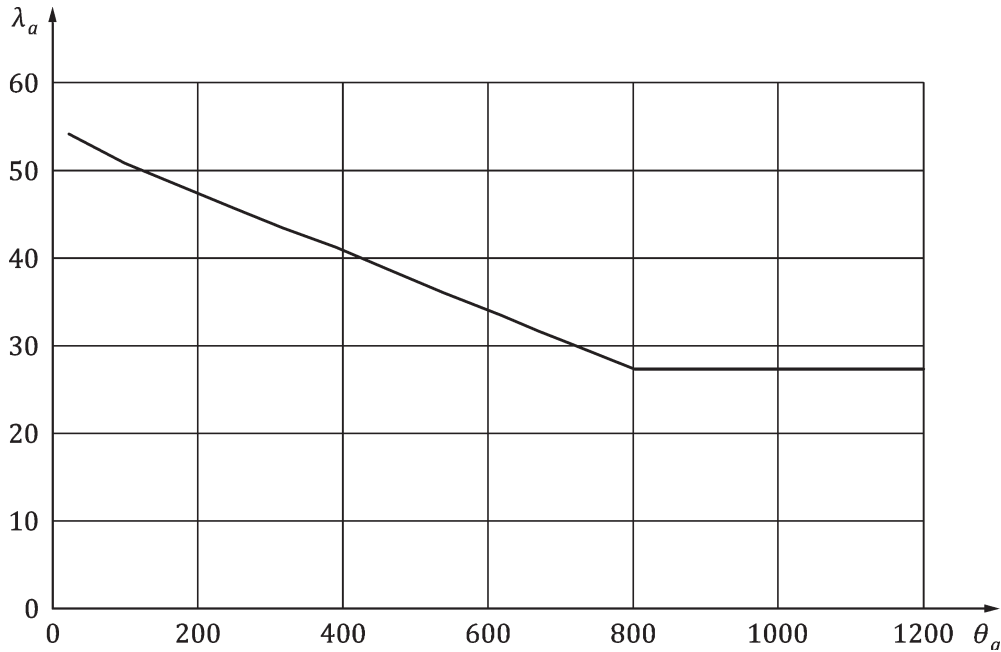
— für $800\text{ °C} \leq \theta_a \leq 1\,200\text{ °C}$:

$$\lambda_a = 27,3 \text{ W/mK} \quad (5.2)$$

Dabei ist

θ_a die Stahlfemperatur [°C].

ANMERKUNG Die Abhängigkeit der Wärmeleitfähigkeit von der Temperatur ist in Bild 5.1 dargestellt.



Legende

λ_a Wärmeleitfähigkeit von Stahl, in W/mK

θ_a Stahltemperatur, in °C

Bild 5.1 — Wärmeleitfähigkeit von Kohlenstoffstahl in Abhängigkeit von der Temperatur

5.2.1.3 Spezifische Wärmekapazität

(1) Die spezifische Wärmekapazität von Stahl c_a sollte wie folgt bestimmt werden:

— für $20\text{ °C} \leq \theta_a < 600\text{ °C}$:

$$c_a = 425 + 7,73 \times 10^{-1} \theta_a - 1,69 \times 10^{-3} \theta_a^2 + 2,22 \times 10^{-6} \theta_a^3 \text{ J/kgK} \quad (5.3)$$

— für $600\text{ °C} \leq \theta_a < 735\text{ °C}$:

$$c_a = 666 + \frac{13002}{738 - \theta_a} \text{ J/kgK} \quad (5.4)$$

— für $735\text{ °C} \leq \theta_a < 900\text{ °C}$:

$$c_a = 545 + \frac{17820}{\theta_a - 731} \text{ J/kgK} \quad (5.5)$$

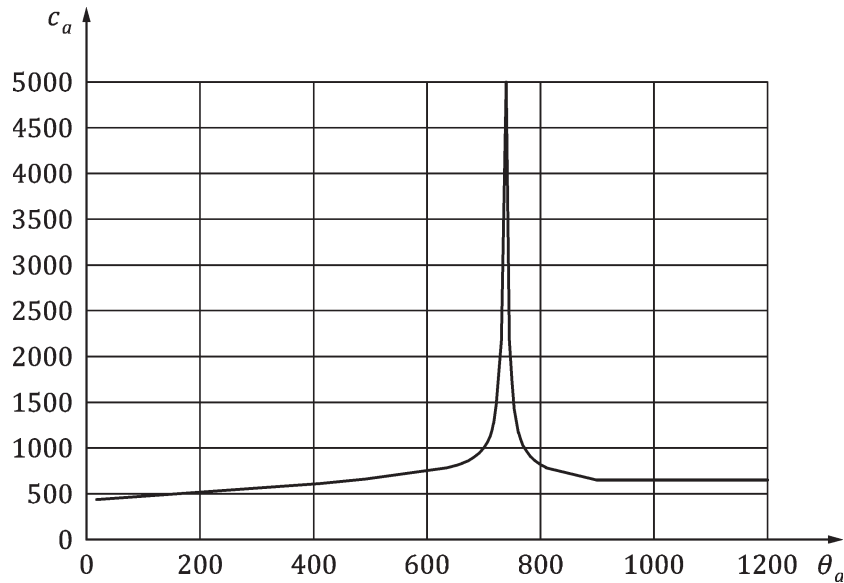
— für $900\text{ °C} \leq \theta_a \leq 1\,200\text{ °C}$:

$$c_a = 650 \text{ J/kgK} \quad (5.6)$$

Dabei ist

θ_a die Stahltemperatur, in °C.

ANMERKUNG Die Abhängigkeit der spezifischen Wärmekapazität von der Temperatur ist in Bild 5.2 dargestellt.



Legende

c_a spezifische Wärmekapazität von Stahl, in J/kgK

θ_a Stahltemperatur, in °C

Bild 5.2 — Spezifische Wärmekapazität von Kohlenstoffstahl in Abhängigkeit von der Temperatur

5.2.1.4 Dichte

(1) Es darf angenommen werden, dass die Rohdichte von Stahl ρ_a unabhängig von der Stahltemperatur ist. Der folgende Wert darf angesetzt werden:

$$\rho_a = 7\,850 \text{ kg/m}^3$$

5.2.2 Nichtrostende Stähle

(1) Die thermischen Eigenschaften von nichtrostenden Stählen sollten Anhang C entnommen werden.

5.2.3 Brandschutzmaterialien

(1) Die Eigenschaften und die Leistung von Brandschutzmaterialien, die bei der Bemessung angesetzt werden, sollten anhand der zutreffenden Prüfverfahren nach den maßgebenden Teilen von EN 13381 bewertet worden sein.

5.3 Mechanische Eigenschaften

5.3.1 Kohlenstoffstahl

5.3.1.1 Festigkeits- und Steifigkeitseigenschaften

(1) Bei Aufheizraten zwischen 2 K/min und 50 K/min sollten die Festigkeits- und Steifigkeitseigenschaften von Stahl bei erhöhten Temperaturen anhand der Spannungs-Dehnungs-Beziehung nach Tabelle 5.2 und Bild 5.3 ermittelt werden.

(2) Die in Tabelle 5.2 und Bild 5.3 angegebene Beziehung sollte zur Bestimmung der Tragfähigkeit verwendet werden.

(3) Tabelle 5.3 enthält die Abminderungsfaktoren für die Spannungs-Dehnungs-Beziehung von Stahl bei erhöhten Temperaturen nach Tabelle 5.2 und Bild 5.3. Diese Abminderungsfaktoren sind wie folgt definiert:

- effektive Fließgrenze bezogen auf die Fließgrenze bei 20 °C: $k_{y,\theta} = f_{y,\theta}/f_y$
- Proportionalitätsgrenze bezogen auf die Fließgrenze bei 20 °C: $k_{p,\theta} = f_{p,\theta}/f_y$
- Steigung im linear-elastischen Bereich bezogen auf die Steigung bei 20 °C: $k_{E,\theta} = E_{a,\theta}/E_a$

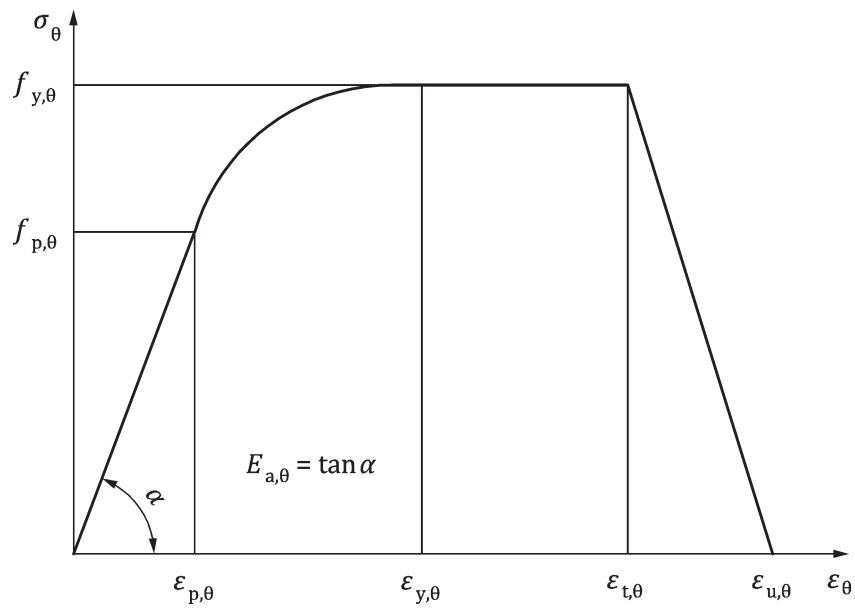
ANMERKUNG In Bild 5.4 ist die Abhängigkeit dieser Abminderungsfaktoren von der Temperatur dargestellt.

(4) Alternativ darf bei Temperaturen unter 400 °C die in (1) festgelegte Spannungs-Dehnungs-Beziehung um die in Anhang A angegebene Kaltverfestigungsoption erweitert werden, sofern kein vorzeitiges Versagen durch lokales Beulen oder Bauteilknicken auftritt.

(5) Bei thermischen Einwirkungen nach prEN 1991-1-2:2021, 5.3 (physikalisch basiert), dürfen die in Bild 5.3 festgelegten Werte der Spannungs-Dehnungs-Beziehung von Baustahl bis einschließlich S500 als Annäherung verwendet werden:

Tabelle 5.2 — Spannungs-Dehnungs-Beziehung von Kohlenstoffstahl bei erhöhten Temperaturen

Dehnungsbereich	Spannung σ_θ	Tangentenmodul
$\varepsilon_\theta \leq \varepsilon_{p,\theta}$	$\varepsilon_\theta E_{a,\theta}$	$E_{a,\theta}$
$\varepsilon_{p,\theta} < \varepsilon_\theta < \varepsilon_{y,\theta}$	$f_{p,\theta} - c + (b/a) \left[a^2 - (\varepsilon_{y,\theta} - \varepsilon_\theta)^2 \right]^{0,5}$	$\frac{b(\varepsilon_{y,\theta} - \varepsilon_\theta)}{a \left[a^2 - (\varepsilon_{y,\theta} - \varepsilon_\theta)^2 \right]^{0,5}}$
$\varepsilon_{y,\theta} \leq \varepsilon_\theta \leq \varepsilon_{t,\theta}$	$f_{y,\theta}$	0
$\varepsilon_{t,\theta} < \varepsilon_\theta < \varepsilon_{u,\theta}$	$f_{y,\theta} [1 - (\varepsilon_\theta - \varepsilon_{t,\theta}) / (\varepsilon_{u,\theta} - \varepsilon_{t,\theta})]$	–
$\varepsilon_\theta = \varepsilon_{u,\theta}$	0,00	–
Parameter	$\varepsilon_{p,\theta} = f_{p,\theta}/E_{a,\theta}$	$\varepsilon_{y,\theta} = 0,02$ $\varepsilon_{t,\theta} = 0,15$ $\varepsilon_{u,\theta} = 0,20$
Funktionen	$a^2 = (\varepsilon_{y,\theta} - \varepsilon_{p,\theta})(\varepsilon_{y,\theta} - \varepsilon_{p,\theta} + c/E_{a,\theta})$ $b^2 = c(\varepsilon_{y,\theta} - \varepsilon_{p,\theta})E_{a,\theta} + c^2$ $c = \frac{(f_{y,\theta} - f_{p,\theta})^2}{(\varepsilon_{y,\theta} - \varepsilon_{p,\theta})E_{a,\theta} - 2(f_{y,\theta} - f_{p,\theta})}$	



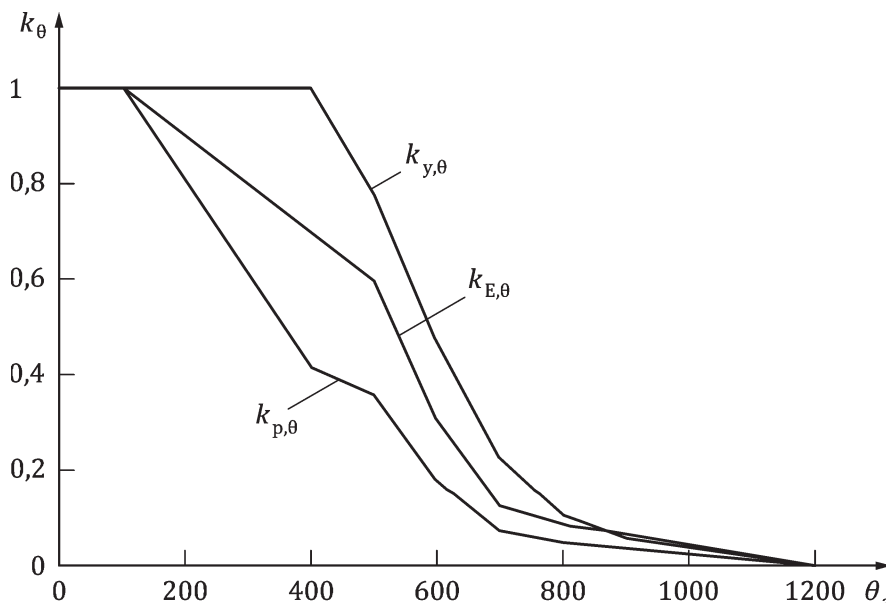
Legende

- σ_θ Spannung
- ε_θ Dehnung
- $f_{y,\theta}$ effektive Fließgrenze
- $f_{p,\theta}$ Proportionalitätsgrenze
- $E_{a,\theta}$ Steigung im linear-elastischen Bereich
- $\varepsilon_{p,\theta}$ Dehnung an der Proportionalitätsgrenze
- $\varepsilon_{y,\theta}$ Fließdehnung
- $\varepsilon_{t,\theta}$ Grenzdehnung für die Fließgrenze
- $\varepsilon_{u,\theta}$ Bruchdehnung

Bild 5.3 — Spannungs-Dehnungs-Beziehung von Kohlenstoffstahl bei erhöhten Temperaturen

Tabelle 5.3 — Abminderungsfaktoren für die Spannungs-Dehnungs-Beziehung von Kohlenstoffstahl bei erhöhten Temperaturen

Stahl- temperatur θ_a	Abminderungsfaktoren bei Temperatur θ_a bezogen auf den Wert f_y oder E_a bei 20 °C		
	Abminderungsfaktor (bezogen auf f_y) für die effektive Fließgrenze $k_{y,\theta} = f_{y,\theta}/f_y$	Abminderungsfaktor (bezogen auf f_y) für die Proportionalitätsgrenze $k_{p,\theta} = f_{p,\theta}/f_y$	Abminderungsfaktor (bezogen auf E_a) für die Steigung im linear-elastischen Bereich $k_{E,\theta} = E_{a,\theta}/E_a$
20 °C	1,000	1,000	1,000
100 °C	1,000	1,000	1,000
200 °C	1,000	0,807	0,900
300 °C	1,000	0,613	0,800
400 °C	1,000	0,420	0,700
500 °C	0,780	0,360	0,600
600 °C	0,470	0,180	0,310
700 °C	0,230	0,075	0,130
800 °C	0,110	0,050	0,090
900 °C	0,060	0,037 5	0,067 5
1 000 °C	0,040	0,025 0	0,045 0
1 100 °C	0,020	0,012 5	0,022 5
1 200 °C	0,000	0,000 0	0,000 0
ANMERKUNG Für Zwischenwerte der Stahltemperatur kann lineare Interpolation angewendet werden.			



Legende

k_θ	Abminderungsfaktor
θ_a	Stahltemperatur, in °C
$k_{y,\theta} = f_{y,\theta}/f_y$	Abminderungsfaktor für die effektive Fließgrenze
$k_{E,\theta} = E_{a,\theta}/E_a$	Abminderungsfaktor für die Steigung im linear-elastischen Bereich
$k_{p,\theta} = f_{p,\theta}/f_y$	Abminderungsfaktor für die Proportionalitätsgrenze

Bild 5.4 — Abminderungsfaktoren für die Spannungs-Dehnungs-Beziehung von Kohlenstoffstahl bei erhöhten Temperaturen

5.3.1.2 Thermische Dehnung

(1) Die bezogene thermische Dehnung von Stahl $\Delta l/l$ sollte wie folgt bestimmt werden:

— für $20\text{ °C} \leq \theta_a < 750\text{ °C}$:

$$\Delta l/l = 1,2 \times 10^{-5} \theta_a + 0,4 \times 10^{-8} \theta_a^2 - 2,416 \times 10^{-4} \quad (5.7)$$

— für $750\text{ °C} \leq \theta_a \leq 860\text{ °C}$:

$$\Delta l/l = 1,1 \times 10^{-2} \quad (5.8)$$

— für $860\text{ °C} < \theta_a \leq 1\,200\text{ °C}$:

$$\Delta l/l = 2 \times 10^{-5} \theta_a - 6,2 \times 10^{-3} \quad (5.9)$$

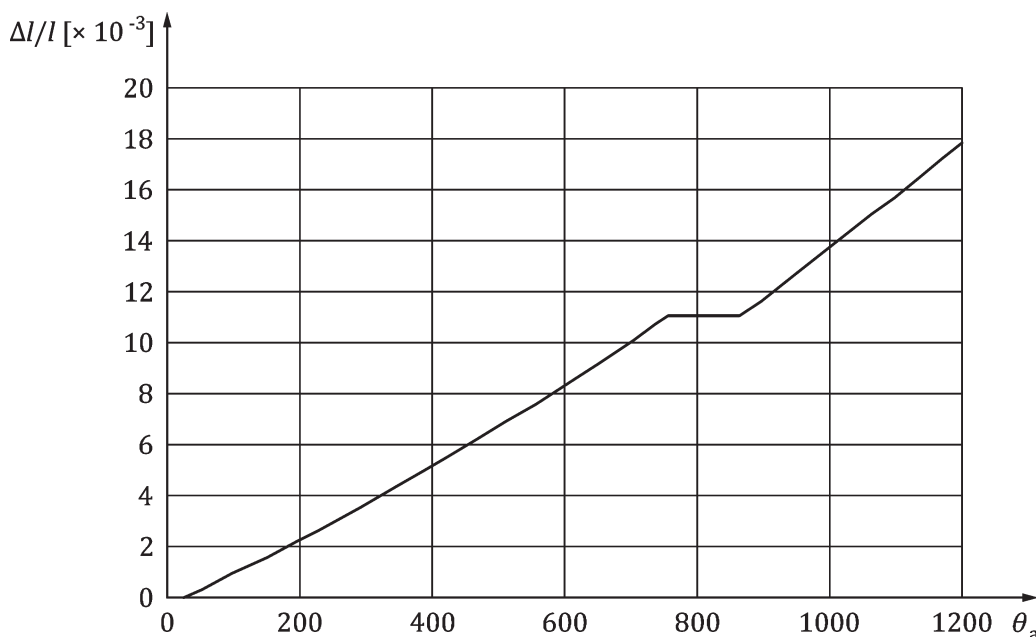
Dabei ist

l die Länge bei 20 °C ;

Δl die temperaturbedingte Ausdehnung;

θ_a die Stahltemperatur [°C].

ANMERKUNG Die Abhängigkeit der bezogenen thermischen Dehnung von der Temperatur ist in Bild 5.5 dargestellt.



Legende

$\Delta l/l$ bezogene thermische Dehnung

θ_a Stahltemperatur, in °C

Bild 5.5 — Bezogene thermische Dehnung von Kohlenstoffstahl in Abhängigkeit von der Temperatur

5.3.2 Nichtrostende Stähle

(1) Die mechanischen Eigenschaften von nichtrostenden Stählen sollten Anhang C entnommen werden.

6 Tabellierte Bemessungswerte

(1) Tabellierte Bemessungswerte dürfen verwendet werden, um anerkannte Bemessungslösungen zu erzielen, im Allgemeinen in Zusammenhang mit der Bauteiltypologie (Maße), ohne in jeglicher Form auf die Gleichgewichtsgleichung zurückzugreifen.

(2) Tabellierte Werte können von Prüfungen, Berechnungsmodellen oder einer Kombination beider abgeleitet und dürfen entweder in Form einer Tabelle oder einer Gleichung angegeben werden.

(3) Tabellierte Bemessungswerte sollten im Vergleich zu maßgebenden Prüfungen oder vereinfachten oder erweiterten Bemessungsverfahren konservative Ergebnisse liefern. Sie dürfen ausschließlich innerhalb ihres Anwendungsbereichs ohne Extrapolation außerhalb angewendet werden.

(4) Dieses Dokument enthält keine tabellierten Bemessungswerte.

7 Vereinfachte Bemessungsverfahren

7.1 Allgemeines

(1) Vereinfachte Bemessungsverfahren beruhen auf globalen Gleichgewichtsgleichungen.

ANMERKUNG Das Lösen der globalen Gleichgewichtsgleichung eines vereinfachten Bemessungsverfahrens resultiert in der Bestimmung einer Einzelgröße, z. B. einer Temperatur im Querschnitt oder in einem Teil davon, einer Tragfähigkeit eines Querschnitts oder Bauteils.

(2) Vereinfachte Bemessungsmodelle sollten im Vergleich zu maßgebenden Prüfungen oder erweiterten Bemessungsverfahren konservative Ergebnisse liefern.

(3) Die lasttragende Funktion eines Stahlbauteils muss zu einem Zeitpunkt t bei einem gegebenen Brand als aufrechterhalten angenommen werden, wenn gilt:

$$E_{fi,d} \leq R_{fi,d,t} \quad (7.1)$$

Dabei ist

$E_{fi,d}$ der Bemessungswert der Auswirkung von Einwirkungen für den Bemessungsbrandfall nach EN 1991-1-2;

$R_{fi,d,t}$ der zugehörige Bemessungswert der Beanspruchbarkeit des Stahlbauteils im Bemessungsbrandfall zum Zeitpunkt t .

(4) Der Bemessungswert der Beanspruchbarkeit $R_{fi,d,t}$ zum Zeitpunkt t sollte, üblicherweise unter Annahme einer gleichmäßigen Temperatur im Querschnitt, durch Modifizierung des Bemessungswertes der Beanspruchbarkeit bei Bemessung für Normaltemperatur nach EN 1993-1-1 zu ermittelt werden, um die mechanischen Eigenschaften von Stahl bei erhöhten Temperaturen zu berücksichtigen, siehe 7.4.

ANMERKUNG In 7.4 wird $R_{fi,d,t}$ zu $M_{fi,t,Rd}$, $N_{fi,t,Rd}$ usw. (einzeln oder kombiniert), und die zugehörigen Werte von $M_{fi,Ed}$, $N_{fi,Ed}$ usw. stehen für $E_{fi,d}$.

(5) Bei Verwendung einer ungleichmäßigen Temperaturverteilung darf der Bemessungswert der Beanspruchbarkeit $R_{fi,d,t}$ auf der Grundlage der Temperaturverteilung des Bauteils bestimmt werden.

(6) Alternativ zu (3) darf der Nachweis bei Verwendung einer gleichmäßigen Temperaturverteilung auf Temperaturebene durchgeführt werden, siehe 7.5.

(7) Die Feuerwiderstandsfähigkeit eines geschraubten oder geschweißten Anschlusses darf als ausreichend angenommen werden, sofern die folgenden Bedingungen erfüllt sind:

- a) Der Wärmewiderstand $(d_f/\lambda_f)_c$ des Brandschutzes eines Anschlusses ist gleich oder größer als der kleinste Wert des Wärmewiderstands $(d_f/\lambda_f)_m$ des Brandschutzes der angeschlossenen Bauteile.

Dabei ist

d_f die Dicke des Brandschutzmaterials ($d_f = 0$ bei ungeschützten Bauteilen);

λ_f die effektive Wärmeleitfähigkeit des Brandschutzmaterials.

- b) Der Ausnutzungsgrad des Anschlusses ist gleich oder kleiner als der Höchstwert des Ausnutzungsgrades der angeschlossenen Bauteile.

ANMERKUNG Als Vereinfachung kann der Vergleich des Ausnutzungsgrades innerhalb der Anschlüsse und der angeschlossenen Bauteile bei Normaltemperatur erfolgen.

(8) Als Alternative zu dem in 7.1(7) angegebenen Verfahren darf die Feuerwiderstandsfähigkeit eines Anschlusses nach Anhang D bestimmt werden.

7.2 Querschnittsklassifizierung

(1) Für die Anwendung dieser vereinfachten Regeln dürfen die Querschnitte wie bei der Bemessung für Normaltemperatur klassifiziert werden, jedoch mit einem nach Gleichung (7.2) abgeminderten Wert für ε .

$$\varepsilon_{fi} = 0,85[235/f_y]^{0,5} \quad (7.2)$$

Dabei ist

f_y die Fließgrenze bei 20 °C.

Die größten Breite-Dicke-Verhältnisse für druckbeanspruchte Teile der Klassen 1, 2 und 3 sollten nach prEN 1993-1-1:2020, Tabelle 7.3, mit f_y bei 20 °C und $\varepsilon = \varepsilon_{fi}$ ermittelt werden.

ANMERKUNG Der Abminderungsfaktor 0,85 berücksichtigt Einflüsse infolge erhöhter Temperatur.

7.3 Wirksame Breite für Querschnitte der Klasse 4

(1) In Querschnitten der Klasse 4 dürfen wirksame Breiten für erforderliche Vorhaltemaße für Verringerungen des Widerstands infolge der Auswirkungen von lokalem Beulen nach prEN 1993-1-5:2022, 6.4, verwendet werden, allerdings sollte der Abminderungsfaktor ρ wie folgt angesetzt werden:

Innenliegende Bauelemente:

$$\rho = \frac{\left(\bar{\lambda}_p + 0,9 - \frac{0,26}{\varepsilon}\right)^{1,5} - 0,055(3 + \psi)}{\left(\bar{\lambda}_p + 0,9 - \frac{0,26}{\varepsilon}\right)^3} \leq 1,0 \quad (7.3)$$

Außenliegende Bauelemente:

$$\rho = \frac{\left(\bar{\lambda}_p + 1,1 - \frac{0,52}{\varepsilon}\right)^{1,2} - 0,188}{\left(\bar{\lambda}_p + 1,1 - \frac{0,52}{\varepsilon}\right)^{2,4}} \leq 1,0 \quad (7.4)$$

mit $\varepsilon = \sqrt{235/f_y}$

7.4 Tragfähigkeit

7.4.1 Zugglieder

(1) Der Bemessungswert der Beanspruchbarkeit $N_{fi,\theta,Rd}$ eines Zuggliedes mit gleichmäßiger Temperatur θ_a sollte bestimmt werden nach:

$$N_{fi,\theta,Rd} = k_{y,\theta} N_{t,Rd} [\gamma_{M,0}/\gamma_{M,fi}] \quad (7.5)$$

Dabei ist

$k_{y,\theta}$ der Abminderungsfaktor für die Fließgrenze von Stahl bei der Temperatur θ_a zum Zeitpunkt t , siehe Abschnitt 5;

$N_{t,Rd}$ der Bemessungswert der Zugbeanspruchbarkeit des Querschnitts $N_{pl,Rd}$ bei Bemessung für Normaltemperatur nach prEN 1993-1-1:2020, 8.2.3.

(2) Der Bemessungswert der Beanspruchbarkeit $N_{fi,t,Rd}$ zum Zeitpunkt t eines Zuggliedes mit ungleichmäßiger Temperaturverteilung über den Querschnitt darf bestimmt werden nach:

$$N_{fi,t,Rd} = \sum_{i=1}^n A_i k_{y,\theta,i} f_y / \gamma_{M,fi} \quad (7.6)$$

Dabei ist

A_i eine Teilfläche des Querschnitts mit einer Temperatur θ_i ;

$k_{y,\theta,i}$ der Abminderungsfaktor für die Fließgrenze von Stahl bei der Temperatur θ_i , siehe Abschnitt 5;

θ_i die Temperatur der Teilfläche A_i .

(3) Der Bemessungswert der Beanspruchbarkeit $N_{fi,t,Rd}$ zum Zeitpunkt t eines Zuggliedes mit ungleichmäßiger Temperaturverteilung über den Querschnitt darf konservativ als gleich der Beanspruchbarkeit $N_{fi,\theta,Rd}$ eines Zuggliedes mit gleichmäßiger Stahltemperatur θ_a angesetzt werden, wobei θ_a die Höchsttemperatur $\theta_{a,max}$ zum Zeitpunkt t ist.

7.4.2 Druckglieder

(1) Der Bemessungswert der Biegeknickbeanspruchbarkeit $N_{b,fi,t,Rd}$ zum Zeitpunkt t eines Druckgliedes mit gleichmäßiger Temperatur θ_a sollte bestimmt werden nach:

$$N_{b,fi,t,Rd} = \chi_{fi} A k_{y,\theta} f_y / \gamma_{M,fi} \quad \text{für Querschnitte der Klasse 1, 2 oder 3} \quad (7.7)$$

$$N_{b,fi,t,Rd} = \chi_{fi} A_{eff} k_{y,\theta} f_y / \gamma_{M,fi} \quad \text{für Querschnitte der Klasse 4} \quad (7.8)$$

Dabei ist

χ_{fi} der Abminderungsfaktor für das Biegeknicken im Bemessungsbrandfall;

$k_{y,\theta}$ der Abminderungsfaktor nach Abschnitt 5 für die Fließgrenze von Stahl bei der Stahltemperatur θ_a zum Zeitpunkt t ;

A_{eff} die wirksame Fläche, berechnet nach prEN 1993-1-1:2020, 8.2.2.5, unter Verwendung des Abminderungsfaktors für Plattenbeulen nach 7.3.

(2) Der Wert von χ_{fi} sollte als der kleinere der Werte von $\chi_{y,fi}$ und $\chi_{z,fi}$ angesetzt werden, bestimmt nach:

$$\chi_{fi} = \frac{1}{\phi_{\theta} + \sqrt{\phi_{\theta}^2 - \bar{\lambda}_{\theta}^2}} \quad (7.9)$$

mit

$$\phi_{\theta} = 0,5 \left(1 + \alpha \bar{\lambda}_{\theta} + \bar{\lambda}_{\theta}^2 \right) \quad (7.10)$$

und

$$\alpha = 0,65\sqrt{235/f_y} \quad \text{Dabei ist } f_y \text{ die Fließgrenze, in N/mm}^2 \quad (7.11)$$

Die bezogene Schlankheit $\bar{\lambda}_\theta$ für die Temperatur θ_a ist gegeben durch:

$$\bar{\lambda}_\theta = \bar{\lambda} \sqrt{\frac{k_{y,\theta}}{k_{E,\theta}}} \quad (7.12)$$

Dabei ist

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{Af_y}{N_{cr}}} \quad \text{für Querschnitte der Klasse 1, 2 oder 3;} \quad (7.13)$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{eff}f_y}{N_{cr}}} \quad \text{für Querschnitte der Klasse 4;} \quad (7.14)$$

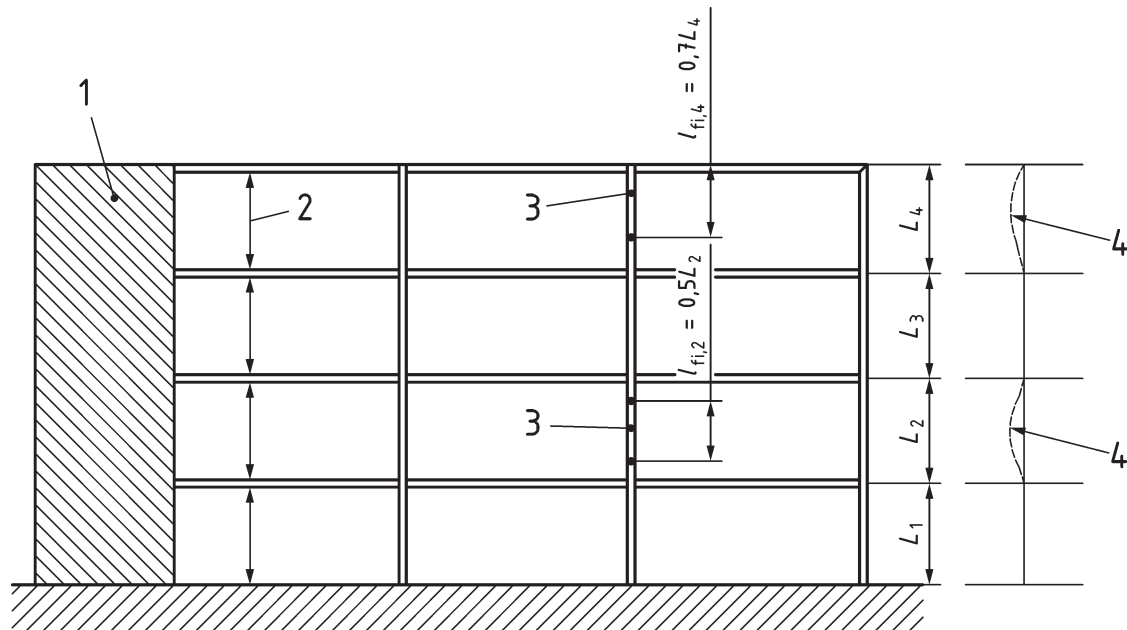
$k_{y,\theta}$ der Abminderungsfaktor nach Abschnitt 5 für die Fließgrenze von Stahl bei der Stahltemperatur θ_a zum Zeitpunkt t ;

$k_{E,\theta}$ der Abminderungsfaktor nach Abschnitt 5 für die Steigung im linear elastischen Bereich bei der Stahltemperatur θ_a zum Zeitpunkt t ;

N_{cr} die ideale Verzweigungslast für den maßgebenden Knickfall bezogen auf die Eigenschaften des Bruttoquerschnitts unter Verwendung der Knicklänge unter Brandbedingungen.

(3) Die Knicklänge l_{fi} einer Stütze für den Bemessungsbrandfall sollte im Allgemeinen so bestimmt werden wie bei Bemessung für Normaltemperatur.

(4) Falls bei einem nicht seitlich ausgesteiften Rahmen jedes Geschoss einen eigenen Brandabschnitt mit einem Feuerwiderstand mindestens gleich dem Feuerwiderstand der Stütze bildet, darf die Knicklänge l_{fi} einer durchgehenden Stütze bei innenliegenden Geschossen mit $l_{fi} = 0,5L$ und bei dem obersten Geschoss mit $l_{fi} = 0,7L$ angesetzt werden; dabei ist L die Systemlänge im betrachteten Geschoss, siehe Bild 7.1.



Legende

- 1 Schubwand oder anderes Versteifungssystem
- 2 Höhe getrennter Brandabschnitte in jedem Geschoss
- 3 Knicklänge der Stütze unter Brandbeanspruchung
- 4 Verformungsart im Brandfall

Bild 7.1 — Knicklängen l_{fi} von Stützen in seitlich ausgesteiften Rahmen

(5) Bei Bemessung unter nomineller Brandbeanspruchung darf der Bemessungswert der Beanspruchbarkeit $N_{b,fi,t,Rd}$ zum Zeitpunkt t eines Druckgliedes mit ungleichmäßiger Temperaturverteilung gleich dem Bemessungswert der Beanspruchbarkeit $N_{b,fi,\theta,Rd}$ eines Druckgliedes mit gleichmäßiger Stahltemperatur θ_a angesetzt werden, wobei θ_a die höchste Stahltemperatur $\theta_{a,max}$ zum Zeitpunkt t ist.

7.4.3 Träger mit Querschnitten der Klasse 1 oder Klasse 2

(1) Der Bemessungswert der Momententragfähigkeit $M_{fi,\theta,Rd}$ eines Querschnitts der Klasse 1 oder Klasse 2 mit gleichmäßiger Temperatur θ_a sollte bestimmt werden nach:

$$M_{fi,\theta,Rd} = k_{y,\theta} [\gamma_{M,0} / \gamma_{M,fi}] M_{c,Rd} \quad (7.15)$$

Dabei ist

$M_{c,Rd}$ die plastische Momententragfähigkeit $M_{pl,Rd}$ des Bruttoquerschnitts bei Bemessung für Normaltemperatur nach prEN 1993-1-1:2020, 8.2.5(2), oder die verringerte Momententragfähigkeit bei Bemessung für Normaltemperatur, sofern erforderlich, unter Berücksichtigung der Auswirkungen infolge Querkraft nach prEN 1993-1-1:2020, 8.2.8;

$k_{y,\theta}$ der Abminderungsfaktor für die Fließgrenze von Stahl bei Temperatur θ_a , siehe Abschnitt 5.

(2) Der Bemessungswert der Momententragfähigkeit $M_{fi,t,Rd}$ zum Zeitpunkt t eines Querschnitts der Klasse 1 oder Klasse 2 mit ungleichmäßiger Temperaturverteilung über den Querschnitt darf bestimmt werden nach:

$$M_{fi,t,Rd} = \sum_{i=1}^n A_i z_i k_{y,\theta} f_{y,i} / \gamma_{M,fi} \quad (7.16)$$

Dabei ist/sind

- z_i der Abstand der Hauptachse der Teilfläche A_i zur plastischen Neutralachse;
- $f_{y,i}$ die nominelle Fließgrenze f_y für die Teilfläche A_i , angenommen als positiv auf der Druckseite der plastischen Neutralachse und als negativ auf der Zugseite;
- A_i und $k_{y,\theta,i}$ wie in 7.4.1(2) definiert.

(3) Alternativ darf der Bemessungswert der Momententragfähigkeit $M_{fi,t,Rd}$ zum Zeitpunkt t eines Bauteils mit einem Querschnitt der Klasse 1 oder Klasse 2 und ungleichmäßiger Temperaturverteilung bestimmt werden nach:

$$M_{fi,t,Rd} = M_{fi,\theta,Rd} / (\kappa_1 \kappa_2) \text{ aber } M_{fi,t,Rd} \leq M_{c,Rd} \quad (7.17)$$

Dabei ist

- $M_{fi,\theta,Rd}$ der Bemessungswert der Momententragfähigkeit des Querschnitts bei gleichmäßiger Temperatur θ_a , die der gleichmäßigen Temperatur θ_a zum Zeitpunkt t in einem Querschnitt ohne thermische Einflüsse infolge Auflager entspricht;
- κ_1 ein Anpassungsfaktor für ungleichmäßige Temperatur über den Querschnitt, siehe (8);
- κ_2 ein Anpassungsfaktor für ungleichmäßige Temperatur entlang des Trägers, siehe (9).

(4) Der Bemessungswert der Momententragfähigkeit bei Biegedrillknicken $M_{b,fi,t,Rd}$ zum Zeitpunkt t eines seitlich nicht gehaltenen Bauteils mit einem Querschnitt der Klasse 1 oder Klasse 2 sollte bestimmt werden nach:

$$M_{b,fi,t,Rd} = \chi_{LT,fi} W_{pl,y} k_{y,\theta,com} f_y / \gamma_{M,fi} \quad (7.18)$$

Dabei ist

- $W_{pl,y}$ das plastische Widerstandsmoment des Querschnitts;
- $\chi_{LT,fi}$ der Abminderungsfaktor für Biegedrillknicken im Bemessungsbrandfall;
- $k_{y,\theta,com}$ der Abminderungsfaktor nach Abschnitt 5 für die Fließgrenze von Stahl bei maximaler Temperatur im Druckflansch $\theta_{a,com}$ zum Zeitpunkt t .

Konservativ darf $\theta_{a,com}$ als gleich der gleichmäßigen Temperatur θ_a angenommen werden.

(5) Der Wert für $\chi_{LT,fi}$ sollte nach den folgenden Gleichungen bestimmt werden:

$$\chi_{LT,fi} = \frac{1}{\phi_{LT,\theta,com} + \sqrt{\phi_{LT,\theta,com}^2 - \bar{\lambda}_{LT,\theta,com}^2}} \quad (7.19)$$

mit

$$\phi_{LT,\theta,com} = 0,5 \left(1 + \alpha_{LT} \bar{\lambda}_{LT,\theta,com} + \bar{\lambda}_{LT,\theta,com}^2 \right) \quad (7.20)$$

wobei der Imperfektionsbeiwert für Biegedrillknicken α_{LT} nach Gleichung (7.11) bestimmt werden sollte,

und

$$\bar{\lambda}_{LT,\theta,com} = \bar{\lambda}_{LT} \sqrt{\frac{k_{y,\theta,com}}{k_{E,\theta,com}}} \quad (7.21)$$

Dabei ist

$k_{E,\theta,com}$ der Abminderungsfaktor nach Abschnitt 5 für die Steigung im linear-elastischen Bereich bei maximaler Stahltemperatur im Druckflansch $\theta_{a,com}$ zum Zeitpunkt t .

und die bezogene Schlankheit $\bar{\lambda}_{LT}$ ist gegeben durch:

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{ply} f_y}{M_{cr}}} \quad (7.22)$$

M_{cr} das ideale Moment bei Biegedrillknicken bezogen auf die Eigenschaften des Bruttoquerschnitts unter Berücksichtigung von Beanspruchungsbedingungen, tatsächlicher Momentenverteilung und seitlicher Stützung.

(6) Für die Berücksichtigung der Auswirkungen der Momentenverteilung zwischen der seitlichen Stützung der Bauteile darf der Abminderungsfaktor wie folgt modifiziert werden:

$$\chi_{LT,fi,mod} = \frac{\chi_{LT,fi}}{f} \text{ aber } \chi_{LT,fi,mod} \leq 1,0 \quad (7.23)$$

wobei f als abhängig von der Beanspruchungsart angenommen werden sollte nach folgender Gleichung:

$$f = 1 - 0,5(1 - k_c) \quad (7.24)$$

Dabei ist k_c ein Korrekturfaktor nach Tabelle 7.1.

Tabelle 7.1 — Korrekturfaktor k_c

Momentenverteilung	k_c
 $-1,0 \leq \psi \leq 1,0$	$0,6 + 0,3\psi + 0,15\psi^2$ aber $k_c \leq 1,0$
	0,91
	0,90
	0,91
	0,79
	0,73
	0,75
Für andere Biegeverläufe gilt $k_c = 1,0$.	

(7) Der Bemessungswert der Querkraftbeanspruchbarkeit $V_{fi,t,Rd}$ zum Zeitpunkt t eines Querschnitts der Klasse 1 oder Klasse 2 sollte bestimmt werden nach:

$$V_{fi,t,Rd} = k_{y,\theta,web} V_{c,Rd} [\gamma_{M,0} / \gamma_{M,fi}] \quad (7.25)$$

Dabei ist

$V_{c,Rd}$ der Bemessungswert der Querkraftbeanspruchbarkeit des Bruttoquerschnitts bei Bemessung für Normaltemperatur, angenommen als $V_{pl,Rd}$ nach prEN 1993-1-1:2020, 8.2.6(2);

θ_{web} die mittlere Temperatur im Steg des Querschnitts;

$k_{y,\theta,web}$ der Abminderungsfaktor für die Fließgrenze von Stahl bei der Stahltemperatur θ_{web} , siehe Abschnitt 5.

(8) Der Wert des Anpassungsfaktors κ_1 für eine ungleichmäßige Temperaturverteilung über den Querschnitt sollte wie folgt angenommen werden:

- für einen auf allen vier Seiten beflammteten Träger: $\kappa_1 = 1,0$
- für einen dreiseitig beflammteten ungeschützten Träger mit einer Stahlbeton- oder Stahlbetonverbundplatte auf der vierten Seite: $\kappa_1 = 0,70$

- für einen dreiseitig beflamnten geschützten Träger mit einer Stahlbeton- oder Stahlbetonverbundplatte auf der vierten Seite: $\kappa_1 = 0,85$

(9) Bei ungleichmäßiger Temperaturverteilung entlang eines Trägers sollte der Anpassungsfaktor κ_2 wie folgt angesetzt werden:

- an den Auflagern eines statisch unbestimmt gelagerten Trägers: $\kappa_2 = 0,85$
- in allen anderen Fällen: $\kappa_2 = 1,0$.

7.4.4 Träger mit Querschnitten der Klasse 3

(1) Der Bemessungswert der Momententragfähigkeit $M_{fi,t,Rd}$ zum Zeitpunkt t eines Querschnitts der Klasse 3 mit gleichmäßiger Temperatur sollte bestimmt werden nach:

$$M_{fi,\theta,Rd} = k_{y,\theta} M_{c,Rd} [\gamma_{M,0} / \gamma_{M,fi}] \quad (7.26)$$

Dabei ist

$M_{c,Rd}$ die elastische Momententragfähigkeit des Bruttoquerschnitts $M_{el,Rd}$ bei Bemessung für Normaltemperatur nach prEN 1993-1-1:2020, 8.2.5(2), oder erforderlichenfalls die verringerte Momententragfähigkeit unter Berücksichtigung der Auswirkungen infolge Querkraft nach prEN 1993-1-1:2020, 8.2.8;

$k_{y,\theta}$ der Abminderungsfaktor für die Fließgrenze von Stahl bei der Stahltemperatur θ_a , siehe Abschnitt 5.

(2) Der Bemessungswert der Momententragfähigkeit $M_{fi,t,Rd}$ zum Zeitpunkt t eines Querschnitts der Klasse 3 mit ungleichmäßiger Temperaturverteilung darf bestimmt werden nach:

$$M_{fi,t,Rd} = k_{y,\theta,max} M_{c,Rd} [\gamma_{M,0} / \gamma_{M,fi}] / (\kappa_1 \kappa_2) \text{ aber } M_{fi,t,Rd} \leq M_{c,Rd} \quad (7.27)$$

Dabei ist

$k_{y,\theta,max}$ der Abminderungsfaktor für die Fließgrenze von Stahl bei der maximalen Stahltemperatur $\theta_{a,max}$ zum Zeitpunkt t ;

κ_1 ein Anpassungsfaktor für ungleichmäßige Temperatur in einem Querschnitt, siehe 7.4.3(8);

κ_2 ein Anpassungsfaktor für ungleichmäßige Temperatur entlang des Trägers, siehe 7.4.3(9).

(3) Der Bemessungswert der Momententragfähigkeit bei Knicken $M_{b,fi,t,Rd}$ zum Zeitpunkt t eines seitlich nicht gehaltenen Trägers mit einem Querschnitt der Klasse 3 sollte bestimmt werden nach:

$$M_{b,fi,t,Rd} = \chi_{LT,fi} W_{el,y} k_{y,\theta,com} f_y / \gamma_{M,fi} \quad (7.28)$$

Dabei ist

$W_{el,y}$ das elastische Widerstandsmoment des Querschnitts;

$\chi_{LT,fi}$ wie in Gleichung (7.19) angegeben, mit

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{el,y} f_y}{M_{cr}}} \quad (7.29)$$

Konservativ darf $\theta_{a,com}$ als gleich der Höchsttemperatur $\theta_{a,max}$ angenommen werden.

(4) Der Bemessungswert der Querkraftbeanspruchbarkeit $V_{fi,t,Rd}$ zum Zeitpunkt t eines Querschnitts der Klasse 3 sollte nach Gleichung (7.25) bestimmt werden.

7.4.5 Träger mit Querschnitten der Klasse 4

(1) Der Bemessungswert der Momententragfähigkeit $M_{fi,\theta,Rd}$ eines Querschnitts der Klasse 4 mit gleichmäßiger Temperatur θ_a sollte bestimmt werden nach:

$$M_{fi,\theta,Rd} = W_{eff} k_{y,\theta} f_y / \gamma_{M,fi} \quad (7.30)$$

Dabei ist

W_{eff} das wirksame Widerstandsmoment des Querschnitts, bestimmt nach EN 1993-1-1 unter Verwendung des Abminderungsfaktors für Plattenbeulen nach 7.3;

$k_{y,\theta}$ der Abminderungsfaktor für die Fließgrenze von Stahl bei Temperatur θ_a , siehe Abschnitt 5.

(2) Der Bemessungswert der Momententragfähigkeit bei Biegedrillknicken $M_{b,fi,t,Rd}$ zum Zeitpunkt t eines seitlich nicht gehaltenen Trägers mit einem Querschnitt der Klasse 4 sollte bestimmt werden nach:

$$M_{b,fi,t,Rd} = \chi_{LT,fi} W_{eff,y} k_{y,\theta,com} f_y / \gamma_{M,fi} \quad (7.31)$$

Dabei ist

$k_{y,\theta,com}$ der Abminderungsfaktor nach Abschnitt 5 für die Fließgrenze von Stahl bei Höchsttemperatur im Druckflansch $\theta_{a,com}$ zum Zeitpunkt t ;

$\chi_{LT,fi}$ der Abminderungsfaktor für Biegedrillknicken im Bemessungsbrandfall nach Gleichung (7.32):

$$\chi_{LT,fi} = \frac{1}{\phi_{LT,\theta,com} + \sqrt{\phi_{LT,\theta,com}^2 - \bar{\lambda}_{LT,\theta,com}^2}} \text{ aber } \chi_{LT,fi} \leq 1 \quad (7.32)$$

mit

$$\phi_{LT,\theta,com} = 0,5 \left[1 + \alpha_{LT} (\bar{\lambda}_{LT,\theta,com} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT,\theta,com}^2 \right] \quad (7.33)$$

der Wert von α_{LT} nach Tabelle 7.2 und

$$\bar{\lambda}_{LT,\theta,com} = \bar{\lambda}_{LT} \sqrt{\frac{k_{y,\theta,com}}{k_{E,\theta,com}}} \quad (7.34)$$

und

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{eff,y} f_y}{M_{cr}}} \quad (7.35)$$

Dabei ist

M_{cr} das ideale Moment bei Biegedrillknicken bezogen auf die Eigenschaften des Bruttoquerschnitts unter Berücksichtigung von Beanspruchungsbedingungen, tatsächlicher Momentenverteilung und seitlicher Stützung;

$k_{E,\theta,com}$ der Abminderungsfaktor nach Abschnitt 5 für die Steigung im linear-elastischen Bereich bei maximaler Stahltemperatur im Druckflansch $\theta_{a,com}$ zum Zeitpunkt t .

Tabelle 7.2 — Wahl des Imperfektionsbeiwertes α_{LT}

Kurve	Grenzen	α_{LT}
L1	$\frac{W_{eff,y}}{W_{el,y}} > 0,9$	$1,25 \sqrt{235/f_y}$
L2	$0,8 < \frac{W_{eff,y}}{W_{el,y}} \leq 0,9$	$1,00 \sqrt{235/f_y}$
L3	$\frac{W_{eff,y}}{W_{el,y}} \leq 0,8$	$0,75 \sqrt{235/f_y}$

(3) Zur Berücksichtigung der Auswirkungen infolge Momentenverteilung zwischen der seitlichen Stützung eines Bauteils mit einem Querschnitt der Klasse 4 sollte der Abminderungsfaktor $\chi_{LT,fi}$ nach Gleichung (7.23) modifiziert werden, wobei der Faktor f definiert wird als:

$$f = 1 - 0,5(1 - k_c) \geq 0,8 \quad (7.36)$$

(4) Der Bemessungswert der Querkraftbeanspruchbarkeit $V_{fi,t,Rd}$ zum Zeitpunkt t eines Querschnitts der Klasse 4 sollte nach Gleichung (7.25) bestimmt werden.

7.4.6 Bauteile mit Querschnitten der Klassen 1, 2 oder 3 unter Beanspruchung aus Biegung und Normdruck

(1) Der Bemessungswert des Knickwiderstands $R_{fi,t,d}$ zum Zeitpunkt t eines Bauteils unter Beanspruchung aus Biegung und Normdruck sollte unter Verwendung von Gleichung (7.37) und Gleichung (7.38) für ein Bauteil mit einem Querschnitt der Klasse 1 oder Klasse 2 oder von Gleichung (7.39) und Gleichung (7.40) für ein Bauteil mit einem Querschnitt der Klasse 3 nachgewiesen werden.

Für die starke Achse:

$$\frac{N_{fi,Ed}}{\chi_{min,fi} A k_{y,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} + k_y \frac{M_{y,fi,Ed}}{W_{pl,y} k_{y,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} + k_z \frac{M_{z,fi,Ed}}{W_{pl,z} k_{y,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} \leq 1,0 \quad (7.37)$$

$$\frac{N_{fi,Ed}}{\chi_{z,fi} A k_{y,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} + k_{LT} \frac{M_{y,fi,Ed}}{\chi_{LT,fi} W_{pl,y} k_{y,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} + k_z \frac{M_{z,fi,Ed}}{W_{pl,z} k_{y,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} \leq 1,0 \quad (7.38)$$

$$\frac{N_{fi,Ed}}{\chi_{min,fi} A k_{y,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} + k_y \frac{M_{y,fi,Ed}}{W_{el,y} k_{y,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} + k_z \frac{M_{z,fi,Ed}}{W_{el,z} k_{y,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} \leq 1,0 \quad (7.39)$$

$$\frac{N_{fi,Ed}}{\chi_{z,fi} A k_{y,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} + k_{LT} \frac{M_{y,fi,Ed}}{\chi_{LT,fi} W_{el,y} k_{y,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} + k_z \frac{M_{z,fi,Ed}}{W_{el,z} k_{y,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} \leq 1,0 \quad (7.40)$$

Dabei ist

$\chi_{min,fi}$ wie in 7.4.2(2) definiert;

$\chi_{z,fi}$ wie in 7.4.2(2) definiert;

$\chi_{LT,fi}$ wie in 7.4.3(5) und 7.4.3(6) für Bauteile mit Querschnitten der Klasse 1 und Klasse 2 sowie in 7.4.3(5) für Bauteile mit Querschnitten der Klasse 3 definiert;

$$k_{LT} = 1 - \frac{\mu_{LT} N_{fi,Ed}}{\chi_{z,fi} A k_{y,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} \leq 1,0 \quad (7.41)$$

$$\mu_{LT} = 0,15 \bar{\lambda}_{z,\theta} \beta_{M,LT} - 0,15 \leq 0,9 \quad (7.42)$$

$$k_y = 1 - \frac{\mu_y N_{fi,Ed}}{\chi_{y,fi} A k_{y,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} \leq 3,0 \quad (7.43)$$

$$\mu_y = \min[(2\beta_{M,y} - 5) \bar{\lambda}_{y,\theta} + 0,44\beta_{M,y} + 0,29; 0,8] \text{ mit } \bar{\lambda}_{y,20^\circ\text{C}} \leq 1,1 \quad (7.44)$$

$$k_z = 1 - \frac{\mu_z N_{fi,Ed}}{\chi_{z,fi} A k_{y,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} \leq 3,0 \quad (7.45)$$

$$\mu_z = \min[(1,2\beta_{M,z} - 3) \bar{\lambda}_{z,\theta} + 0,71\beta_{M,z} - 0,29; 0,8] \quad (7.46)$$

ANMERKUNG 1 Zu den äquivalenten Momentenbeiwerten β_M siehe Klasse 1, 2 oder 3 nach Tabelle 7.3.

(2) Die äquivalenten Momentenbeiwerte $\beta_{M,y}$, $\beta_{M,z}$ und $\beta_{M,LT}$ sollten dem Biegemomentenverlauf zwischen den betrachteten Versteifungspunkten wie folgt entnommen werden:

Momentenfaktor	Biegeachse	Punkte versteift in Richtung
$\beta_{M,y}$	y-y	z-z
$\beta_{M,z}$	z-z	y-y
$\beta_{M,LT}$	y-y	y-y

7.4.7 Bauteile mit Querschnitten der Klasse 4 unter Beanspruchung aus Biegung und Normaldruck

(1) Der Bemessungswert des Knickwiderstands $R_{fi,d,t}$ zum Zeitpunkt t eines Bauteils unter Beanspruchung aus Biegung und Normaldruck sollte durch Übereinstimmung mit Gleichung (7.47) und Gleichung (7.48) für ein Bauteil mit einem Querschnitt der Klasse 4 nachgewiesen werden.

$$\frac{N_{fi,Ed}}{\chi_{min,fi} A_{eff} k_{y,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} + k_y \frac{M_{y,fi,Ed} + \Delta M_{y,fi,Ed}}{W_{eff,y} k_{y,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} + k_z \frac{M_{z,fi,Ed} + \Delta M_{z,fi,Ed}}{W_{eff,z} k_{y,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} \leq 1,0 \quad (7.47)$$

$$\frac{N_{fi,Ed}}{\chi_{z,fi} A_{eff} k_{y,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} + k_{LT} \frac{M_{y,fi,Ed} + \Delta M_{y,fi,Ed}}{\chi_{LT,fi} W_{eff,y} k_{y,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} + k_z \frac{M_{z,fi,Ed} + \Delta M_{z,fi,Ed}}{W_{eff,z} k_{y,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} \leq 1,0 \quad (7.48)$$

Dabei ist/sind

$\chi_{min,fi}$ wie in 7.4.2(2) definiert;

$\chi_{z,fi}$ wie in 7.4.2(2) definiert;

$\chi_{LT,fi}$ wie in 7.4.5(2) und 7.4.5(3) definiert;

$\Delta M_{y,fi,Ed}, \Delta M_{z,fi,Ed}$ die zusätzlichen Biegemomente infolge der Verschiebung der Hauptachse bei nur druckbeanspruchtem Querschnitt, siehe prEN 1993-1-1:2020, 8.2.2.5(3);

$$k_{LT} = 1 - \frac{\mu_{LT} N_{fi,Ed}}{\chi_{z,fi} A_{eff} k_{y,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} \leq 1,0 \quad (7.49)$$

$$\mu_{LT} = 0,45 \bar{\lambda}_{z,\theta} \beta_{M,LT} + 0,2 \leq 0,7 \quad (7.50)$$

$$k_y = 1 - \frac{\mu_y N_{fi,Ed}}{\chi_{y,fi} A_{eff} k_{y,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} \leq 3,0 \quad (7.51)$$

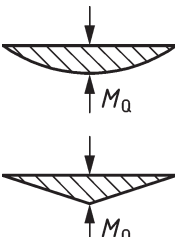
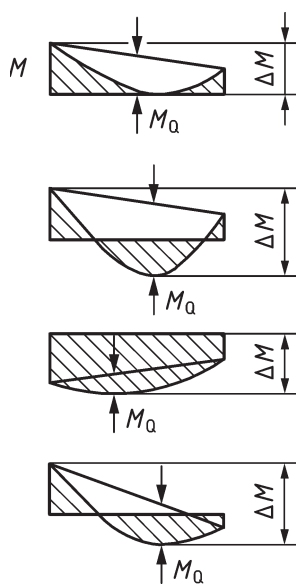
$$\mu_y = \min[(2\beta_{M,y,1} - 5) \bar{\lambda}_{y,\theta} + 0,44\beta_{M,y,2} + 0,7; 0,6] \text{ mit } \bar{\lambda}_{y,20^\circ\text{C}} \leq 1,1 \quad (7.52)$$

$$k_z = 1 - \frac{\mu_z N_{fi,Ed}}{\chi_{z,fi} A_{eff} k_{y,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} \leq 3,0 \quad (7.53)$$

$$\mu_z = \min[(1,2\beta_{M,z} - 3) \bar{\lambda}_{z,\theta} + 0,71\beta_{M,z} - 0,29; 0,8] \quad (7.54)$$

ANMERKUNG Zu den äquivalenten Momentenbeiwerten β_M siehe Klasse 4 nach Tabelle 7.3 und 7.4.6, ANMERKUNG 2.

Tabelle 7.3 — Äquivalente Momentenbeiwerte

Momentenverlauf	Äquivalenter Momentenbeiwert β_M	
	Klasse 1, Klasse 2 oder Klasse 3	Klasse 4
<p>Endmomente</p>  <p>$-1 \leq \psi \leq 1$</p>	$\beta_{M,\psi} = 1,8 - 0,7\psi$	$\beta_{M,y,1} = \beta_{M,\psi} = 1,8 - 0,9\psi$ $\beta_{M,y,2} = \beta_{M,y,1}$ $\beta_{M,LT} = \beta_{M,\psi} = 1,8 - 0,9\psi$
<p>Momente aus Querlasten in der Tragwerksebene</p> 	$\beta_{M,Q} = 1,3$ $\beta_{M,Q} = 1,4$	$\beta_{M,y,1} = \beta_{M,Q} = 1,6$ $\beta_{M,y,2} = 0$ $\beta_{M,LT} = \beta_{M,Q} = 1,6$
<p>Momente aus Querlasten in der Tragwerksebene mit zusätzlichen Endmomenten</p> 	$\beta_M = \beta_{M,\psi} + \frac{M_Q}{\Delta M} (\beta_{M,Q} - \beta_{M,\psi})$ <p>$M_Q = \max M$ nur aus Querlast</p> $\Delta M \begin{cases} \max M & \text{Für Momentenverlauf ohne Vorzeichenänderung} \\ \max M + \min M & \text{Für Momentenverlauf mit Vorzeichenänderung} \end{cases}$	

7.5 Kritische Temperatur

(1) Alternativ zu 7.4 darf der Nachweis auf Temperaturebene durchgeführt werden.

(2) Mit der Ausnahme, dass Verformungskriterien betrachtet werden oder Instabilitätserscheinungen zu berücksichtigen sind, darf die kritische Temperatur $\theta_{a,cr}$ von Kohlenstoffstahl nach 1.2(5) zum Zeitpunkt t bei gleichmäßiger Temperaturverteilung in einem Bauteil für jeden Ausnutzungsgrad μ_0 zum Zeitpunkt $t = 0$ bestimmt werden unter Verwendung von:

$$\theta_{a,cr} = 39,19 \ln \left(\frac{1}{0,9674 \mu_0^{3,833}} - 1 \right) + 482 \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (7.55)$$

Dabei sollte für μ_0 ein Mindestwert von 0,013 angesetzt werden.

ANMERKUNG 1 Standardwerte für kritische Temperaturen können durch den Nationalen Anhang für die Verwendung in einem Land festgelegt werden.

ANMERKUNG 2 Bei Bauteilen mit Querschnitten der Klasse 4 ist ein Standardwert der kritischen Temperatur $\theta_{a,cr}$ gleich 350 °C, sofern nicht ein abweichender Wert im Nationalen Anhang für die Verwendung in einem Land angegeben ist.

(3) Der Ausnutzungsgrad μ_0 zum Zeitpunkt $t = 0$ von Bauteilen mit Querschnitten der Klasse 1, Klasse 2 oder Klasse 3 und bei allen Zuggliedern darf ermittelt werden nach:

$$\mu_0 = E_{fi,d}/R_{fi,d,0} \quad (7.56)$$

Dabei ist/sind

$R_{fi,d,0}$ der Wert von $R_{fi,d,t}$ zum Zeitpunkt $t = 0$ nach 7.4;

$E_{fi,d}$ und $R_{fi,d,t}$ wie in 7.1(3) definiert.

(4) Alternativ darf μ_0 für Zugglieder und Träger, bei denen das Biegedrillknicken keine potenzielle Versagensform ist, konservativ bestimmt werden nach:

$$\mu_0 = \eta_{fi} [\gamma_{M,fi}/\gamma_{M0}] \quad (7.57)$$

Dabei ist

η_{fi} der Abminderungsfaktor nach 4.7(2).

7.6 Entwicklung der Stahltemperatur

7.6.1 Ungeschützte innenliegende Stahlkonstruktionen

(1) Bei äquivalenter gleichmäßiger Temperaturverteilung im Querschnitt sollte der Temperaturanstieg $\Delta\theta_{a,t}$ in einem ungeschützten Stahlbauteil während eines Zeitintervalls Δt bestimmt werden nach:

$$\Delta\theta_{a,t} = k_{sh} \frac{A_m/V}{c_a \rho_a} \dot{h}_{net,d} \Delta t \quad (7.58)$$

Dabei ist

k_{sh} der Korrekturfaktor für den Abschattungseffekt, siehe (2);

A_m/V der Profilfaktor für ungeschützte Stahlbauteile [m^{-1}];

A_m die brandbeanspruchte Oberfläche des Bauteils je Längeneinheit [m^2/m];

V das Volumen des Bauteils je Längeneinheit [m^3/m];

c_a die spezifische Wärmekapazität von Stahl nach Abschnitt 5 [J/kgK];

$\dot{h}_{\text{net,d}}$ der Bemessungswert des Netto-Wärmestroms je Flächeneinheit [W/m^2];

Δt das Zeitintervall [Sekunden];

ρ_a die Rohdichte von Stahl nach Abschnitt 5 [kg/m^3].

Gleichungen zur Berechnung von Bemessungswerten des Profilkfaktors A_m/V für ungeschützte Stahlbauteile dürfen Tabelle 7.4 entnommen werden.

(2) Bei I-Querschnitten unter nominellen Brandeinwirkungen darf der Korrekturfaktor für den Abschattungseffekt bestimmt werden nach:

$$k_{\text{sh}} = 0,9[A_m/V]_b/[A_m/V] \quad (7.59)$$

Dabei ist

$[A_m/V]_b$ der Profilkfaktor des das Profil umschließenden Kastens, definiert als das Verhältnis zwischen der beflamten Oberfläche eines gedachten das Stahlprofil umhüllenden Kastens und dem Stahlvolumen wie in Tabelle 7.5 angegeben [m^{-1}].

In allen anderen Fällen sollte der Wert für k_{sh} angesetzt werden als:

$$k_{\text{sh}} = [A_m/V]_b/[A_m/V] \quad (7.60)$$

ANMERKUNG 1 Bei vollständig von Brand umschlossenen Querschnitten konvexer Form (z. B. rechteckige oder runde Hohlquerschnitte) ist der Abschattungseffekt ohne Bedeutung, so dass der Korrekturfaktor k_{sh} gleich 1 ist.

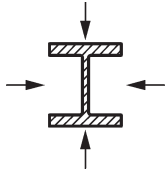
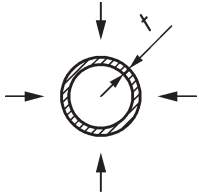
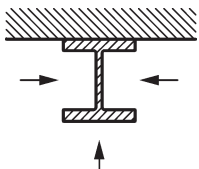
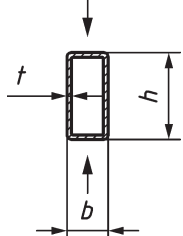
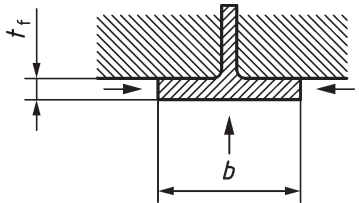
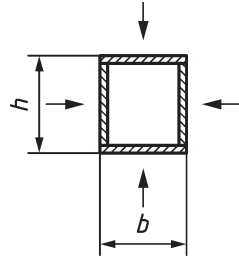
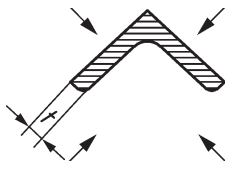
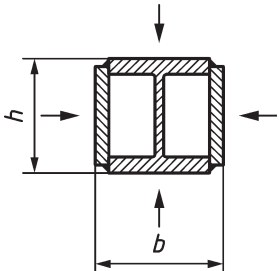
ANMERKUNG 2 Konservative Ergebnisse werden erzielt, wenn der Abschattungseffekt nicht berücksichtigt wird (d. h.: $k_{\text{sh}} = 1$).

(3) Der Wert von $\dot{h}_{\text{net,d}}$ sollte nach EN 1991-1-2 unter Verwendung von $\varepsilon_f = 1,0$ und ε_m nach 5.2.1.1 ermittelt werden, wobei ε_f und ε_m in EN 1991-1-2 definiert sind. Für nichtrostende Stähle ist ε_m in Anhang C angegeben.

(4) Der Wert von Δt sollte nicht größer als 5 Sekunden sein.

(5) Der Wert des Profilkfaktors A_m/V sollte in Gleichung (7.58) nicht kleiner als 10 m^{-1} angesetzt werden.

Tabelle 7.4 — Profilmfaktor A_m/V für ungeschützte Stahlbauteile

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

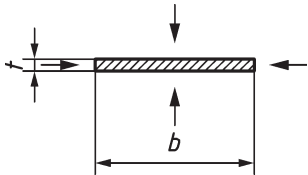
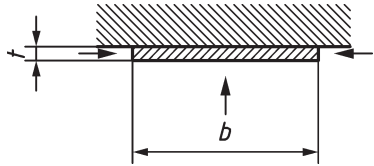
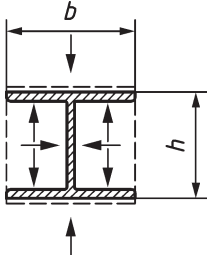
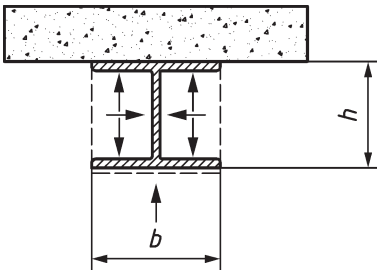
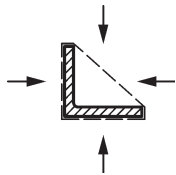
<p>Flachstahl mit allseitiger Brandbeanspruchung: $A_m/V = 2(b+t)/(bt)$ Wenn $t \ll b$: $A_m/V \approx 2/t$</p> 	<p>Flachstahl mit allseitiger Brandbeanspruchung: $A_m/V = (b+2t)/(bt)$ Wenn $t \ll b$: $A_m/V \approx 1/t$</p> 
--	---

Tabelle 7.5 — Profilfaktor $[A_m/V]_b$ für ungeschützte Stahlbauteile

Skizze	Profilfaktor $[A_m/V]_b$
	$\frac{2(b+h)}{\text{Querschnittsfläche von Stahl}}$
	$\frac{b+2h}{\text{Querschnittsfläche von Stahl}}$
	$\frac{\text{Kastenumfang}}{\text{Querschnittsfläche von Stahl}}$

7.6.2 Mit Brandschutzmaterial bekleidete innenliegende Stahlkonstruktionen

(1) Bei gleichmäßiger Temperaturverteilung in einem Querschnitt sollte der Temperaturanstieg $\Delta\theta_{a,t}$ eines bekleideten Stahlbauteils während eines Zeitintervalls Δt ermittelt werden nach:

$$\Delta\theta_{a,t} = \frac{\lambda_p A_p/V}{d_p c_a \rho_a} \frac{(\theta_{g,t} - \theta_{a,t})}{(1+\phi/3)} \Delta t - (e^{\phi/10} - 1) \Delta\theta_{g,t} \quad (\text{aber } \Delta\theta_{a,t} \geq 0, \text{ wenn } \Delta\theta_{g,t} > 0) \quad (7.61)$$

mit

$$\phi = \frac{c_p \rho_p}{c_a \rho_a} d_p A_p / V \quad (7.62)$$

Dabei ist

- A_p/V der Profilkfaktor der mit Brandschutzmaterial bekleideten Stahlbauteile;
- A_p die angemessene Fläche des Brandschutzmaterials je Längeneinheit des Bauteils [m^2/m];
- V das Volumen des Bauteils je Längeneinheit [m^3/m];
- c_a die temperaturabhängige spezifische Wärmekapazität von Stahl nach Abschnitt 5 [$\text{J}/(\text{kgK})$];
- c_p die temperaturunabhängige spezifische Wärmekapazität des Brandschutzmaterials [$\text{J}/(\text{kgK})$];
- d_p die Dicke des Brandschutzmaterials [m];
- Δt das Zeitintervall [Sekunden];
- $\theta_{a,t}$ die Stahltemperatur zum Zeitpunkt t [$^{\circ}\text{C}$];
- $\theta_{g,t}$ die Gastemperatur zum Zeitpunkt t [$^{\circ}\text{C}$];
- $\Delta\theta_{g,t}$ der Anstieg der Gastemperatur während des Zeitintervalls Δt [K];
- λ_p die Wärmeleitfähigkeit des Brandschutzsystems [$\text{W}/(\text{mK})$];
- ρ_a die Rohdichte von Stahl nach Abschnitt 5 [kg/m^3];
- ρ_p die Rohdichte des Brandschutzmaterials [kg/m^3].

(2) Die Werte von c_p , λ_p und ρ_p sollten nach 5.2.3 bestimmt werden.

(3) Der Wert von Δt sollte nicht größer als 30 Sekunden gewählt werden.

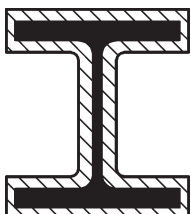
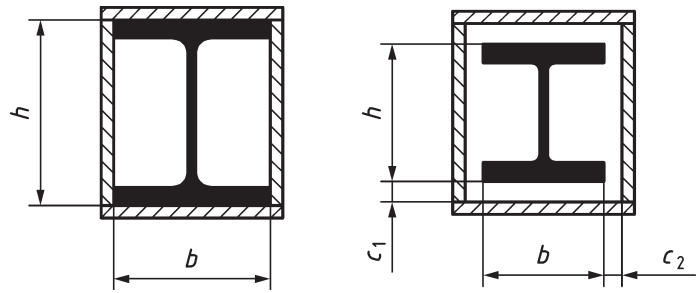
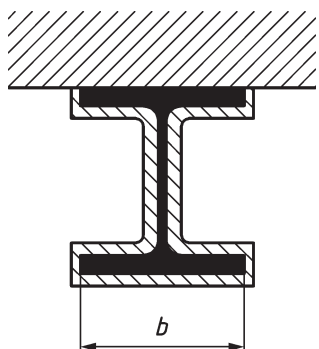
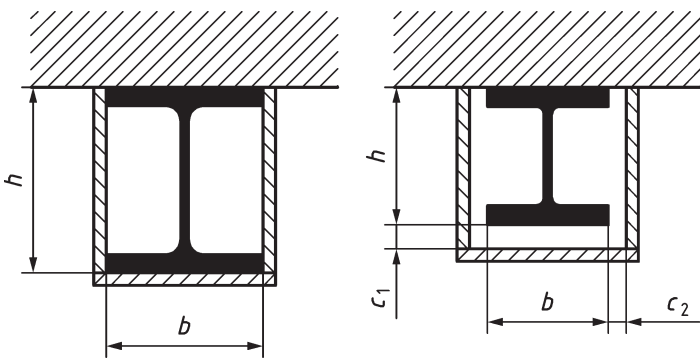
(4) Für die Fläche A_p des Brandschutzmaterials sollte im Allgemeinen die innere Fläche angesetzt werden; für Kastenverkleidungen mit einem Zwischenraum um das Stahlbauteil darf jedoch derselbe Wert wie bei einer Kastenverkleidung ohne Zwischenraum angewendet werden.

Einige Bemessungswerte für den Profilkfaktor A_p/V für bekleidete Stahlbauteile sind in Tabelle 7.6 angegeben.

(5) Bei feuchten Brandschutzmaterialien darf der Stahltemperaturanstieg $\Delta\theta_a$ zur Berücksichtigung einer zeitlichen Verzögerung bis zum Erreichen der Stahltemperatur von 100°C modifiziert werden. Diese zeitliche Verzögerung sollte anhand eines Verfahrens nach EN 13381-4 bestimmt werden.

(6) Als Alternative zu 7.6.2(1) darf die gleichmäßige Temperatur eines bekleideten Stahlbauteils nach einer gegebenen Beanspruchungsdauer unter Einheits-Temperaturzeitkurve unter Verwendung von nach EN 13381-4 abgeleiteten Flussdiagrammen bestimmt werden.

Tabelle 7.6 — Profilmfaktor A_p/V von mit Brandschutzmaterial bekleideten Stahlbauteilen

Skizze	Beschreibung	Profilfaktor (A_p/V)
	Profil- folgende Verkleidung konstanter Dicke	$\frac{\text{Umfang}}{\text{Querschnittsfläche von Stahl}}$
	Kasten- verkleidung konstanter Dicke ^a	$\frac{2(b+h)}{\text{Querschnittsfläche von Stahl}}$
	Profil- folgende Verkleidung konstanter Dicke mit dreiseitiger Brandbean- spruchung	$\frac{\text{Umfang} - b}{\text{Querschnittsfläche von Stahl}}$
	Kasten- verkleidung konstanter Dicke mit dreiseitiger Brandbean- spruchung ^a	$\frac{b + 2h}{\text{Querschnittsfläche von Stahl}}$

^a Die Maße der Zwischenräume c_1 und c_2 sollten üblicherweise $h/4$ nicht überschreiten.