

DIN EN 1994-1-2



ICS 13.220.50; 91.010.30; 91.080.13; 91.080.40

Einsprüche bis 2024-05-01
Vorgesehen als Ersatz für
DIN EN 1994-1-2:2010-12**Entwurf**

**Eurocode 4 –
Bemessung und Konstruktion von Verbundtragwerken aus Stahl und
Beton –
Teil 1-2: Tragwerksbemessung für den Brandfall;
Deutsche und Englische Fassung prEN 1994-1-2:2024**

Eurocode 4 –
Design of composite steel and concrete structures –
Part 1-2: Structural fire design;
German and English version prEN 1994-1-2:2024

Eurocode 4 –
Calcul des structures mixtes acier-béton –
Partie 1-2: Calcul du comportement au feu;
Version allemande et anglaise prEN 1994-1-2:2024

Anwendungswarnvermerk

Dieser Entwurf mit Erscheinungsdatum 2024-03-01 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

Weil das beabsichtigte Dokument 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.

Es wird gebeten, mit den Kommentaren zu diesem Entwurf jegliche relevanten Patentrechte, die bekannt sind, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 274 Seiten

DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau)

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (prEN 1994-1-2:2024) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 250 „Eurocodes für den konstruktiven Ingenieurbau“ erarbeitet, dessen Sekretariat von BSI (Vereinigtes Königreich) 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.

Das zuständige nationale 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 1994-1-2:2010-12 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) vollständige technische Überarbeitung im Rahmen der Revision des Eurocodes;
- b) redaktionelle Überarbeitung des Dokuments.

<i>Titel de:</i>	Eurocode 4 — Bemessung und Konstruktion von Verbundtragwerken aus Stahl und Beton — Teil 1-2: Tragwerksbemessung für den Brandfall
<i>Titel en:</i>	Eurocode 4 — Design of composite steel and concrete structures — Part 1-2: Structural fire design
<i>Titel fr:</i>	Eurocode 4 — Calcul des structures mixtes acier-béton — Partie 1-2: Calcul du comportement au feu

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	6
0 Einleitung	7
0.1 Einleitung zu den Eurocodes	7
0.2 Einleitung zu EN 1994 (alle Teile)	7
0.3 Einleitung zu prEN 1994-1-2	8
0.4 In den Eurocodes verwendete Verbformen	8
0.5 Nationaler Anhang zu prEN 1994-1-2	9
1 Anwendungsbereich	10
1.1 Anwendungsbereich von prEN 1994-1-2	10
1.2 Voraussetzungen	10
2 Normative Verweisungen	10
3 Begriffe, Symbole und Abkürzungen	10
3.1 Begriffe	10
3.2 Symbole und Abkürzungen	12
3.2.1 Formelzeichen	12
3.2.2 Lateinische Kleinbuchstaben	13
3.2.3 In prEN 1994-1-2, Anhang A, verwendete zusätzliche Symbole	18
3.2.4 In prEN 1994-1-2, Anhang B, verwendete zusätzliche Symbole	18
3.2.5 In prEN 1994-1-2, Anhang C, verwendete zusätzliche Symbole	19
3.2.6 In prEN 1994-1-2, Anhang D, verwendete zusätzliche Symbole	19
3.2.7 In prEN 1994-1-2, Anhang E, verwendete zusätzliche Symbole	20
3.2.8 In prEN 1994-1-2, Anhang F, verwendete zusätzliche Symbole	21
3.2.9 In prEN 1994-1-2, Anhang G, verwendete zusätzliche Symbole	22
3.2.10 In prEN 1994-1-2, Anhang H, verwendete zusätzliche Symbole	23
3.2.11 In prEN 1994-1-2, Anhang I, verwendete zusätzliche Symbole	24
4 Grundlagen der Tragwerksplanung	24
4.1 Allgemeines	24
4.2 Nominelle Brandbeanspruchung	25
4.3 Physikalisch basierte Brandbeanspruchung	25
4.4 Einwirkungen	25
4.5 Bemessungswerte der Baustoffeigenschaften	26
4.6 Nachweisverfahren	26
4.7 Bauteilberechnung	27
4.8 Teiltragwerksberechnung	27
4.9 Berechnung des gesamten Tragwerks	28
5 Baustoffeigenschaften	28
5.1 Allgemeines	28
5.2 Thermische Eigenschaften	29
5.2.1 Kohlenstoffstahl	29
5.2.2 Beton	30
5.2.3 Brandschutzmaterialien	33
5.3 Mechanische Eigenschaften	33
5.3.1 Kohlenstoffstahl	33
5.3.2 Beton	38
6 Tabellierte Bemessungswerte	40

6.1	Allgemeines	40
6.2	Träger	41
6.3	Stützen	43
6.3.1	Allgemeines	43
6.3.2	Verbundstützen aus vollständig einbetonierten Stahlprofilen	44
6.3.3	Verbundstützen aus teilweise einbetonierten Stahlprofilen	45
6.3.4	Verbundstützen mit ausbetonierten Hohlprofilen	46
7	Vereinfachte Bemessungsverfahren	47
7.1	Allgemeines	47
7.2	Allgemeine Regeln für Verbunddecken und Verbundträger	48
7.3	Verbunddecken	48
7.3.1	Ungeschützte Verbunddecken	48
7.3.2	Geschützte Verbunddecken	49
7.4	Verbundträger	50
7.4.1	Thermische Berechnung	50
7.4.2	Mechanische Berechnung	53
7.5	Verbundstützen	63
7.5.1	Allgemeines	63
7.5.2	Teilweise einbetonierte Stahlprofile	65
7.5.3	Ungeschützte ausbetonierte Hohlprofile aus Stahl	65
7.5.4	Geschützte ausbetonierte Hohlprofile aus Stahl	65
8	Erweiterte Bemessungsverfahren	66
8.1	Allgemeines	66
8.2	Thermische Berechnung	66
8.3	Mechanische Berechnung	67
8.4	Validierung	67
9	Bauliche Durchbildung	67
9.1	Allgemeines	67
9.2	Verbundträger	68
9.2.1	Verbundträger mit teilweise einbetonierten Stahlträgern	68
9.2.2	Flache Verbunddeckenträger	69
9.3	Verbundstützen	70
9.3.1	Verbundstützen mit teilweise einbetonierten Stahlprofilen	70
9.3.2	Verbundstützen mit ausbetonierten Hohlprofilen	71
9.4	Anschlüsse zwischen Verbundträgern und Verbundstützen	72
9.4.1	Allgemeines	72
9.4.2	Anschlüsse zwischen Verbundträgern und Verbundstützen mit einbetonierten Stahlprofilen	73
9.4.3	Anschlüsse zwischen Verbundträgern und Verbundstützen mit teilweise einbetonierten Stahlprofilen	73
9.4.4	Anschlüsse zwischen Verbundträgern und Verbundstützen mit ausbetonierten Hohlprofilen	74
Anhang A (normativ)	Kaltverfestigung von Baustahl bei erhöhten Temperaturen	76
A.1	Anwendung dieses Anhangs	76
A.2	Anwendungs- und Gültigkeitsbereich	76
A.3	Spannungs-Dehnungs-Beziehungen von Baustahl bei erhöhten Temperaturen	76
Anhang B (informativ)	Modell zur Berechnung der Feuerwiderstandsfähigkeit ungeschützter Verbunddecken	79
B.1	Anwendung dieses Anhangs	79
B.2	Anwendungs- und Gültigkeitsbereich	79
B.3	Feuerwiderstandsfähigkeit bezüglich Wärmedämmung	79
B.4	Berechnung der positiven Momententragfähigkeit $M_{fi,Rd}^+$	81

B.5	Berechnung der negativen Momententragfähigkeit $M_{Rd,fi}^-$	84
B.6	Effektive Dicke einer Verbunddecke.....	87
Anhang C (normativ) Modell zur Berechnung der positiven und der negativen Momententragfähigkeiten eines mit einer Betonplatte verbundenen Stahlträgers unter Brandbeanspruchung von unten		
		88
C.1	Anwendung dieses Anhangs	88
C.2	Anwendungs- und Gültigkeitsbereich.....	88
C.3	Berechnung der positiven Momententragfähigkeit $M_{fi,Rd}^+$	88
C.4	Berechnungen der negativen Momententragfähigkeit $M_{Rd,fi}^-$	90
C.5	Lokale Tragfähigkeit an Auflagern.....	91
C.6	Vertikale Schubtragfähigkeit	92
Anhang D (normativ) Modell zur Berechnung der Biegemomententragfähigkeiten von mit Betonplatten verbundenen, teilweise einbetonierten Stahlträgern unter Brandbeanspruchung		
		93
D.1	Anwendung dieses Anhangs	93
D.2	Anwendungs- und Gültigkeitsbereich.....	93
D.3	Reduzierter Querschnitt für die positive Momententragfähigkeit $M_{Rd,fi}^+$	94
D.4	Reduzierter Querschnitt für die negative Momententragfähigkeit $M_{Rd,fi}^-$	98
Anhang E (normativ) Modell zur Berechnung der Knicktragfähigkeit in Axialrichtung um die schwache Achse einer teilweise einbetonierten Verbundstütze unter Brandbeanspruchung		
		100
E.1	Anwendung dieses Anhangs	100
E.2	Anwendungs- und Gültigkeitsbereich.....	100
E.3	Allgemeines	101
E.4	Gurte des Stahlprofils	101
E.5	Steg des Stahlprofils	102
E.6	Beton	103
E.7	Bewehrungsstäbe	104
E.8	Berechnung der Knicklast in Axialrichtung bei erhöhten Temperaturen	105
E.9	Exzentrizität der Lasteinleitung.....	106
Anhang F (normativ) Vereinfachtes Berechnungsmodell für ausbetonierte Hohlprofile unter Beanspruchung entsprechend Einheits-Temperaturzeitkurve		
		107
F.1	Anwendung dieses Anhangs	107
F.2	Anwendungs- und Gültigkeitsbereich.....	107
F.3	Schritte	108
F.4	Temperaturverteilung.....	109
F.5	Bemessungswert der Knicklast in Axialrichtung bei erhöhter Temperatur.....	110
F.6	Exzentrizität der Lasteinleitung.....	112
Anhang G (normativ) Vereinfachtes Berechnungsverfahren für die Feuerwiderstandsfähigkeit von Stahl/Beton-Verbunddecken unter Membranzugwirkung		
		114
G.1	Anwendung dieses Anhangs	114
G.2	Anwendungs- und Gültigkeitsbereich.....	114
G.3	Allgemeine Regeln.....	115
G.4	Temperaturverteilung.....	116
G.5	Berechnung der Tragfähigkeit einer Deckenplatte unter Membranzugwirkung.....	116
G.5.1	Allgemeines	116
G.5.2	Berechnung der Tragfähigkeit einer Verbunddecke.....	117
G.5.3	Berechnung der Tragfähigkeit ungeschützter Sekundärträger innerhalb der Deckenbemessungszone	120
G.5.4	Berechnung der Gesamtragfähigkeit der Deckenbemessungszone.....	121

G.6	Bauliche Durchbildung.....	122	
G.6.1	Betonstahlmatten.....	122	
G.6.2	Rand der Verbunddecke	122	
G.6.3	Brandschutz.....	123	
Anhang H (normativ) Berechnung der positiven Momententragfähigkeit $M_{fi,Rd}^{+}$ eines flachen			
	Deckenträgers unter Brandbeanspruchung	125	
H.1	Anwendung dieses Anhangs.....	125	
H.2	Anwendungs- und Gültigkeitsbereich	125	
H.3	Berechnung der positiven Momententragfähigkeit $M_{Rd,fi}^{+}$	127	
H.4	Geschützte flache Deckenträger	130	
Anhang I (normativ) Träger mit großen Stegöffnungen unter Brandbeanspruchung.....			132
I.1	Anwendung dieses Anhangs.....	132	
I.2	Anwendungs- und Gültigkeitsbereich	132	
I.3	Thermisches Verhalten.....	132	
I.4	Mechanisches Verhalten	132	
Literaturhinweise.....			134

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (prEN 1994-1-2:2024) 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 1994-1-2:200^{N1} einschließlich Änderungen und 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.

N1 Nationale Fußnote: In der englischen Referenzfassung ist hier fehlerhaft „200“ statt „2005“ angegeben.

0 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 Planung von Tragwerken und geotechnischen Bauwerken*
- 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 derzeit in Erarbeitung, z. B. der Eurocode für die Bemessung und Konstruktion von Tragwerken aus Glas.

Die Eurocodes sind für die Anwendung durch Tragwerksplaner, Bauherren, Hersteller, Ausführende, zuständige Behörden (bei der Wahrnehmung ihrer Aufgaben in Übereinstimmung mit nationalen oder internationalen Vorschriften), Lehrkräfte, Softwareentwickler und Normenausschüsse, in denen verwandte Produktnormen, Prüfnormen und Ausführungsnormen erarbeitet werden, gedacht.

ANMERKUNG Einige Entwurfs- und Bemessungsaspekte werden am zutreffendsten von den zuständigen Behörden festgelegt oder können, sofern keine Festlegungen getroffen wurden, für ein bestimmtes Bauvorhaben zwischen den beteiligten Parteien wie Tragwerksplanern und Bauherren vereinbart werden. In den Eurocodes werden solche Aspekte durch ausdrückliche Bezugnahme auf die zuständigen Behörden und die beteiligten Parteien gekennzeichnet.

0.2 Einleitung zu EN 1994 (alle Teile)

EN 1994 gilt für die Bemessung und Konstruktion von Verbundtragwerken aus Stahl und Beton in Hoch- und Ingenieurbauten. EN 1994 entspricht den Grundsätzen und Anforderungen an die Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit von Tragwerken sowie den Grundlagen für ihre Bemessung und Nachweise, die in EN 1990, *Grundlagen der Planung von Tragwerken und geotechnischen Bauwerken*, enthalten sind.

EN 1994 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 1994 besteht aus mehreren Teilen:

EN 1994-1-1, *Eurocode 4 — Bemessung und Konstruktion von Verbundtragwerken aus Stahl und Beton — Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Anwendungsregeln für den Hochbau*

EN 1994-1-2, Eurocode 4 — Bemessung und Konstruktion von Verbundtragwerken aus Stahl und Beton — Teil 1-2: Tragwerksbemessung für den Brandfall

EN 1994-2, Eurocode 4 — Bemessung und Konstruktion von Verbundtragwerken aus Stahl und Beton — Teil 2: Brücken

0.3 Einleitung zu prEN 1994-1-2

prEN 1994-1-2 enthält die Grundsätze, Anforderungen und Regeln für die Bemessung von Verbundtragwerken aus Stahl und Beton in Hochbauten unter Brandbeanspruchung.

prEN 1994-1-2 ist für Bauherren (z. B. für die Aufstellung ihrer speziellen Anforderungen), Planer, Bauunternehmer und zuständige Behörden bestimmt.

Die allgemeine Zielsetzung des Brandschutzes ist die Begrenzung der Risiken für Einzelpersonen und die Gesellschaft, benachbarte Bauwerke und, falls erforderlich, die Umgebung oder direkt betroffene Bauwerke im Brandfall.

Die den Brandschutz betreffenden Teile der Eurocodes für den konstruktiven Ingenieurbau behandeln bestimmte Aspekte des vorbeugenden Brandschutzes, indem Regeln für die Bemessung und Konstruktion von Tragwerken und Teiltragwerken hinsichtlich einer ausreichenden Tragfähigkeit und, falls erforderlich, der Begrenzung der Brandausbreitung festgelegt werden.

Die funktionellen Anforderungen und die Leistungsniveaus können entweder als Feuerwiderstandsdauer z. B. bei Einheits-Temperaturzeitkurve, die im Allgemeinen in nationalen Brandschutzregularien angegeben wird, festgelegt werden, oder als Aufgabe des Brandschutzingenieurs unter Berücksichtigung vorbeugender und abwehrender Brandschutzmaßnahmen erreicht werden, siehe EN 1991-1-2.

Zusätzliche Anforderungen, die z. B.

- den möglichen Einbau und die Instandhaltung von Sprinkleranlagen;
 - die Bedingungen für die Bewohnbarkeit von Gebäude- oder Brandabschnitten; und
 - die Verwendung von zugelassenen Dämm- und Beschichtungsstoffen einschließlich ihrer Instandhaltung
- betreffen, sind nicht Gegenstand dieser Norm, da sie von der zuständigen Behörde festgelegt werden.

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 können 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 1994-1-2

Nationale Festlegungen sind in diesem Dokument zulässig, wo dies in Anmerkungen ausdrücklich angegeben ist. Nationale Festlegungen umfassen die Auswahl von Werten für national festgelegte Parameter (NDP, en: nationally determined parameters).

Hierzu kann die jeweilige nationale Ausgabe von prEN 1994-1-2 einen Nationalen Anhang mit allen national festgelegten 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 prEN 1994-1-2 durch Anmerkungen zu den folgenden Abschnitten gestattet:

4.5(1) 4.7(2) G.2(1)

Nationale Festlegungen sind in prEN 1994-1-2 zur Anwendung des folgenden informativen Anhangs gestattet:

Anhang B

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 1994-1-2

(1) prEN 1994-1-2 enthält Regeln für die Bemessung und Konstruktion von Stahl/Beton-Verbundtragwerken für die außergewöhnliche Bemessungssituation des Brandfalls. prEN 1994-1-2 legt ausschließlich Unterschiede oder Ergänzungen zu den Bemessungsregeln für Normaltemperatur fest.

(2) prEN 1994-1-2 gilt ausschließlich für Tragwerke oder Teiltragwerke, die in den Anwendungsbereich von EN 1994-1-1 fallen und dementsprechend bemessen werden.

1.2 Voraussetzungen

(1) Die in EN 1990 angegebenen Voraussetzungen gelten gemeinsam mit den folgenden:

- die Festlegung des maßgebenden Bemessungsbrandfalls erfolgt durch angemessen qualifiziertes und erfahrenes Personal oder ist durch die maßgebende nationale Vorschrift vorgegeben;
- jede bei der Bemessung berücksichtigte Brandschutzmaßnahme wird angemessen 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), Erlaubnisse („darf“-Sätze), Möglichkeiten („kann“-Sätze) sowie in Anmerkungen in Bezug genommen werden.

EN 1990, *Eurocode — Grundlagen der Tragwerksplanung*

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

FprEN 1991-1-2:2023, *Eurocode 1 — Einwirkungen auf Tragwerke — Teil 1-2: Einwirkungen im Brandfall*

EN 1992-1-1, *Eurocode 2 — Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken — Teil 1-1: Allgemeine Regeln — Regeln für Hochbauten, Brücken und Ingenieurbauwerke*

EN 1993-1-1:2022, *Eurocode 3 — Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau*

prEN 1994-1-1:2024, *Eurocode 4 — Bemessung und Konstruktion von Verbundtragwerken aus Stahl und Beton — Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau*

3 Begriffe, Symbole und Abkürzungen

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

Achsabstand

Abstand des Mittelpunkts eines Bewehrungsstabs zur nächsten Betonoberfläche

3.1.2

kritische Temperatur der Bewehrung

Temperatur in der Bewehrung, bei der ein Versagen des Bauteils bei einer bestimmten Spannung erwartet wird

3.1.3

kritische Temperatur des Stahlbauteils

Temperatur, bei der Versagen in einem Stahlbauteil mit gleichförmiger Temperaturverteilung bei einem bestimmten Beanspruchungsniveau erwartet wird

3.1.4

wirksamer Querschnitt

Querschnitt des brandschutztechnisch zu bemessenen Bauteils, der bei der Methode der wirksamen Querschnitte verwendet wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Der wirksame Querschnitt ergibt sich aus der Vernachlässigung der Festigkeit und Steifigkeit ausgefallener Querschnittsteile.

3.1.5

Versagenszeit des Brandschutzsystems

Dauer der Funktionstüchtigkeit einer Brandschutzbekleidung, ein Bauteil gegen direkte Brandbeanspruchung zu schützen, wobei sich die Versagenszeit auf den Zeitpunkt bezieht, bei dem die Brandschutzbekleidung vom Verbundbauteil abfällt, oder ein zunächst schützendes, tragendes Bauteil versagt, oder der Schutz durch ein anderes tragendes Bauteil infolge übermäßiger Verformungen ausfällt

3.1.6

Brandschutzmaterial

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

3.1.7

maximales Spannungsniveau

Spannungsniveau, bei dem die Spannungs-Dehnungsbeziehung von Stahl bei einer bestimmten Temperatur durch ein Fließplateau beschränkt wird

3.1.8

Teiltragwerk

Teil eines Tragwerks mit entsprechenden Lagerungs- und Randbedingungen

3.1.9

geschützte Bauteile

Bauteile mit Maßnahmen zur Verzögerung des Temperaturanstiegs im Bauteil infolge Brandeinwirkung

3.1.10

Profilfaktor

für ein (unbekleidetes) Stahlbauteil das Verhältnis der brandbeanspruchten Oberfläche zum Stahlvolumen und für ein bekleidetes Stahlbauteil das Verhältnis der inneren Oberfläche der brandbeanspruchten Bekleidung zum Stahlvolumen

3.2 Symbole und Abkürzungen

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Symbole.

3.2.1 Formelzeichen

3.2.1.1 Lateinische Großbuchstaben

Formelzeichen	Definition
A	Querschnittsfläche
A_c	Querschnittsfläche von Betonbauteilen
A_f	Querschnittsfläche eines Stahlgurtes
A_i	Fläche von einem Teil i des Querschnitts oder die brandbeanspruchte Oberfläche je Längeneinheit des Stahlquerschnittsteils i
$A_{i,\theta}$	verringerte Fläche von einem Teil i des Querschnitts bei Temperatur θ
A_i/V_i	Profilfaktor von einem Teil i des Stahlquerschnitts (ungeschütztes Bauteil)
A_p	innere Oberfläche des Brandschutzmaterials je Längeneinheit des Stahlträgers
A_p/V	Profilfaktor des Stahlquerschnitts mit kastenförmiger Ummantelung
$A_{p,i}$	innere Oberfläche des Brandschutzmaterials je Längeneinheit eines Teils i des Stahlbauteils
$A_{p,i}/V_i$	Profilfaktor von einem Teil i des Stahlquerschnitts
A_s	Querschnittsfläche der Bewehrungsstäbe
E	Raumabschlusskriterium
E_a	charakteristischer Wert des Elastizitätsmoduls von Baustahl bei 20 °C
$E_{a,\theta}$	charakteristischer Wert der Steigung im linear-elastischen Bereich der Spannungs-Dehnungs-Beziehung von Baustahl bei erhöhten Temperaturen
$E_{c,sec,\theta}$	charakteristischer Wert des Sekantenmoduls von Beton im Brandfall; gegeben durch $f_{c,\theta}$ dividiert durch $\varepsilon_{cu,\theta}$
E_d	Bemessungswert der Auswirkung von Einwirkungen bei Bemessung für Normaltemperatur
$E_{d,fi}$	Bemessungswert der Auswirkung von Einwirkungen im Brandfall, der als zeitabhängig angenommen wird
$(EI)_{eff,fi}$	effektive Biegesteifigkeit im Brandfall
E_k	charakteristischer Wert des Elastizitätsmoduls bei 20 °C
E_s	charakteristischer Wert des Elastizitätsmoduls von Betonstahl bei 20 °C
$E_{s,\theta}$	charakteristischer Wert der Steigung im linear-elastischen Bereich der Spannungs-Dehnungs-Beziehung von Betonstahl im Brandfall bei erhöhten Temperaturen
F_a	Zugkraft im Stahlprofil
F_c	Druckkraft in der Decke
HC	Hydrokarbon-Brandkurve

Formelzeichen	Definition
I	Wärmedämmkriterium
$I_{i,\theta}$	Flächenträgheitsmoment der teilweise reduzierten Teilfläche i eines Querschnitts bei Biegung um die schwache oder starke Achse im Brandfall
L	Systemlänge einer Stütze im betrachteten Geschoss
LC	Leichtbeton
$M_{Rd,fi}^{+}; M_{Rd,fi}^{-}$	Bemessungswert der positiven oder negativen Momententragfähigkeit (Grenzmoment) im Brandfall
$M_{Rd,fi,t}$	Bemessungswert der Momententragfähigkeit im Brandfall zum Zeitpunkt t
NC	Normalbeton
$N_{fi,cr}$	ideale Verzweigungslast im Brandfall
$N_{pl,Rd,fi}$	Bemessungswert der plastischen Normaldrucktragfähigkeit im Brandfall
$N_{pl,R,fi}$	Wert von $N_{pl,Rd,fi}$, wenn die Faktoren $\gamma_{M,fi,a}$, $\gamma_{M,fi,s}$ und $\gamma_{M,fi,c}$ gleich 1,0 angesetzt werden
$N_{Rd,fi}$	Bemessungswert der Normaldrucktragfähigkeit eines Bauteils im Brandfall
P_{Rd}	Bemessungswert der Schubtragfähigkeit eines Schubverbinders bei Normaltemperatur
$P_{Rd,fi}$	Bemessungswert der Schubtragfähigkeit eines Schubverbinders im Brandfall
R	Tragfähigkeitskriterium
R30, R60, R90, R120, R180	ein Bauteil, das das Tragfähigkeitskriterium 30 min, 60 min, 90 min, 120 min oder 180 min bei Brandbeanspruchung unter Einheits-Temperaturzeitkurve erfüllt
R_d	Bemessungswert der Tragfähigkeit bei Normaltemperatur
$R_{d,fi,t}$	Bemessungswert der Tragfähigkeit im Brandfall zum Zeitpunkt t
V_i	Volumen je Längeneinheit des Stahlquerschnittsteils i
$X_{d,fi}$	Bemessungswerte der mechanischen Baustoffeigenschaften (Festigkeit und Steifigkeit) im Brandfall
X_k	charakteristischer Wert einer Festigkeits- oder Steifigkeitseigenschaft bei Normaltemperatur
$X_{k,\theta}$	charakteristischer Wert einer Festigkeits- oder Steifigkeitseigenschaft im Brandfall

3.2.2 Lateinische Kleinbuchstaben

a_w	Schweißnahtdicke
b	Breite
b_1	Breite des Untergurtes eines Stahlprofils
b_2	Breite des Obergurtes eines Stahlprofils
b_c	Breite der Verbundstütze mit vollständig einbetoniertem Profil oder Breite des Kammerbetons von teilweise einbetonierten Stahlträgern
b_{eff}	mittragende Breite der Betonplatte

c	Betondeckung zwischen Betonoberfläche und Baustahloberfläche
c_a	spezifische Wärmekapazität von Stahl
c_c	spezifische Wärmekapazität von Beton
c_p	spezifische Wärmekapazität des Brandschutzmaterials
d	Durchmesser der Verbundstütze aus einem ausbetonierten kreisförmigen Hohlprofil oder Durchmesser der an den Steg des Stahlprofils angeschweißten Bolzen
d_p	Dicke des Brandschutzmaterials
e	Dicke des Hohlprofils
e_1	Dicke des Untergurtes eines Stahlprofils
e_2	Dicke des Obergurtes eines Stahlprofils
e_f	Gurtdicke des Stahlprofils
e_p	Dicke des unteren Bleches eines flachen Deckenträgers (Typ A)
e_w	Stegdicke des Stahlprofils
ef	Außenbrandkurve (EF)
$f_{ap,\theta}$	Proportionalitätsgrenze von Baustahl im Brandfall
$f_{au,\theta}$	Zugfestigkeit von Baustahl oder Stahl für Bolzendübel im Brandfall unter Berücksichtigung von Kaltverfestigung
$f_{ay,\theta}$	maximales Spannungsniveau oder effektive Streckgrenze von Baustahl im Brandfall
$f_{ay,\theta,i}$	maximales Spannungsniveau oder effektive Streckgrenze des Stahlprofilteils i im Brandfall
$f_{ay,\theta_{cr}}$	effektive Streckgrenze von Baustahl bei der kritischen Temperatur θ_{cr}
f_{ay}	charakteristischer Wert oder Nennwert der Streckgrenze von Baustahl bei 20 °C
f_{ck}	charakteristischer Wert der Zylinderdruckfestigkeit von Beton nach 28 Tagen und bei 20 °C
$f_{ck,j}$	charakteristischer Wert der Zylinderdruckfestigkeit des Teils j von Beton nach 28 Tagen und bei 20 °C
$f_{c,\theta}$	charakteristischer Wert der Zylinderdruckfestigkeit von Beton bei Temperatur θ
$f_{c,\theta,20\text{ °C}}$	charakteristischer Wert der Zylinderdruckfestigkeit von Beton, der auf eine Höchsttemperatur $\theta_{c,max}$ erwärmt und auf 20 °C abgekühlt wurde
$f_{c,\theta_{max}}$	charakteristischer Wert der Zylinderdruckfestigkeit von Beton im Brandfall bei der Höchsttemperatur θ_{max}
f_k	charakteristischer Wert der Festigkeit des Baustoffs
f_{sy}	charakteristischer Wert oder Nennwert der Streckgrenze eines Bewehrungsstabs bei 20 °C
$f_{sp,\theta}$	Proportionalitätsgrenze von Betonstahl im Brandfall
$f_{sy,\theta}$	maximales Spannungsniveau oder effektive Streckgrenze von Betonstahl im Brandfall
$f_{y,i}$	Nennwert der Streckgrenze f_y für die Teilfläche A_i , der auf der Druckseite der plastischen Nulllinie als positiver und auf der Zugseite als negativer Wert angesetzt wird
h	Breite oder Höhe des Stahlprofils

h_1	Höhe der Betonschicht einer Verbunddecke oberhalb der Bleche
h_2	Höhe der Betonschicht einer Verbunddecke innerhalb der Bleche
h_3	Dicke des Estrichs oberhalb des Betons
h_c	Dicke der Betonplatte oder Breite der Verbundstütze mit vollständig einbetoniertem Profil
h_{eff}	effektive Dicke einer Verbunddecke
h_{fi}	Höhenreduzierung des Kammerbetons zwischen den Gurten im Brandfall
$\dot{h}_{\text{net}}$	Bemessungswert des Netto-Wärmestroms je Flächeneinheit
$\dot{h}_{\text{net,c}}$	Bemessungswert des Netto-Wärmestroms durch Konvektion je Flächeneinheit
$\dot{h}_{\text{net,r}}$	Bemessungswert des Netto-Wärmestroms durch Strahlung je Flächeneinheit
h_v	Höhe des an den Steg des Stahlprofils angeschweißten Bolzens
h_w	Steghöhe des Stahlprofils
$k_{c,\theta}$	Abminderungsfaktor für die Druckfestigkeit von Beton zur Ermittlung der Festigkeit bei erhöhter Temperatur $f_{c,\theta}$
$k_{c,\theta,j}$	Abminderungsfaktor für die Druckfestigkeit des Teils j von Beton zur Ermittlung der Festigkeit bei erhöhter Temperatur $f_{c,\theta}$
$k_{c,\theta,\text{max}}$	Abminderungsfaktor für die Druckfestigkeit von Beton zur Ermittlung der Festigkeit bei Höchsttemperatur $\theta_{c,\text{max}}$
$k_{E,\theta}$	Abminderungsfaktor für den Elastizitätsmodul von Baustahl oder Betonstahl zur Ermittlung der Steigung im linear-elastischen Bereich bei erhöhter Temperatur $E_{a,\theta}$
$k_{E,\theta,j}$	Abminderungsfaktor für den Elastizitätsmodul des Teils i von Baustahl oder Betonstahl zur Ermittlung der Steigung im linear-elastischen Bereich bei erhöhter Temperatur $E_{a,\theta}$
$k_{y,\theta}$	Abminderungsfaktor für die Streckgrenze von Baustahl oder Betonstahl zur Ermittlung des maximalen Spannungsniveaus bei erhöhter Temperatur $f_{a,\theta}$
$k_{y,\theta,i}$	Abminderungsfaktor für die Streckgrenze von Baustahl oder Betonstahl für die Teilfläche A_i zur Ermittlung des maximalen Spannungsniveaus bei erhöhter Temperatur $f_{a,\theta}$ oder $f_{s,\theta}$
$k_{p,\theta}$	Abminderungsfaktor für die Streckgrenze von Baustahl oder Betonstahl zur Ermittlung der Proportionalitätsgrenze bei erhöhter Temperatur $f_{ap,\theta}$ oder $f_{sp,\theta}$
k_r, k_s	Abminderungsfaktor für die Streckgrenze von Betonstahl
k_{sh}	Korrekturfaktor für den Abschattungseffekt
$k_{u,\theta}$	Abminderungsfaktor für die Streckgrenze von Baustahl zur Ermittlung des Spannungsniveaus im Kaltverfestigungsbereich bei erhöhter Temperatur q
k_θ	temperaturabhängiger Abminderungsfaktor für eine Festigkeits- oder Steifigkeitseigenschaft
l	Länge des Bauteils bei 20 °C
l_1, l_2, l_3	spezielle Maße des hinterschnittenen oder trapezförmigen Stahlbleches
l_a	Auflagerbreite der Betonplatte
l_{fi}	Knicklänge der Stütze im Brandfall

l_w	Schweißnahtlänge
$m_{Ed,fi}$	Bemessungswert des Querbiegemoments je Längeneinheit des unteren Bleches oder Gurtes im Brandfall
$m_{pl,Rd,\theta}$	Momententragfähigkeit bei plastischer Biegebeanspruchung je Längeneinheit des unteren Bleches oder Gurtes bei Temperatur θ
t	Zeit, Brandbeanspruchungsdauer
u_s	Mindestachsabstand der Bewehrungsstäbe
$u_1; u_2$	Mindestachsabstand oder kleinster Abstand vom Mittelpunkt des Bewehrungsstabs zu jedem Punkt auf einem Steg des Stahlbleches
$z_i; z_j$	Abstand der plastischen Nulllinie zum Schwerpunkt einer Teilfläche A_i oder A_j

3.2.2.1 Griechische Großbuchstaben

Δl	temperaturbedingte Bauteildehnung
$\Delta l/l$	thermische Dehnung
Δt	Zeitintervall
$\Delta \theta_{a,t}$	Temperaturanstieg eines Stahlträgers innerhalb eines Zeitintervalls Δt
$\Delta \theta_t$	Anstieg der Gastemperatur [°C] innerhalb eines Zeitintervalls Δt
Φ	Konfigurationsfaktor

3.2.2.2 Griechische Kleinbuchstaben

α_1	Verringerung der Streckgrenze eines Gurtes (oder Bleches) infolge Querschub- und -biegebeanspruchung
α_c	konvektiver Wärmeübergangskoeffizient
α_{slab}	Koeffizient für die Anwendung der Annahme des rechteckigen Spannungsblocks bei der Bemessung von Betonplatten und flachen Verbunddeckenträgern
β	Beanspruchungsniveau eines Bleches (oder Gurtes) unter Querschubbeanspruchung
$\gamma_{M,fi}$	Teilsicherheitsbeiwert für eine Baustoffeigenschaft im Brandfall
$\gamma_{M,a,fi}$	Teilsicherheitsbeiwert für die Festigkeit von Baustahl im Brandfall
$\gamma_{M,c,fi}$	Teilsicherheitsbeiwert für die Festigkeit von Beton im Brandfall
$\gamma_{M,s,fi}$	Teilsicherheitsbeiwert für die Festigkeit von Betonstahl im Brandfall
$\gamma_{M,v,fi}$	Teilsicherheitsbeiwert für die Schubtragfähigkeit von Kopfbolzendübeln im Brandfall
γ_v	Teilsicherheitsbeiwert für die Schubtragfähigkeit von Bolzendübeln bei Normaltemperatur
$\varepsilon_{a,\theta}$	Dehnung von Stahl im Brandfall
$\varepsilon_{ae,\theta}$	Bruchdehnung von Stahl im Brandfall
$\varepsilon_{ay,\theta}$	Fließdehnung von Stahl im Brandfall
$\varepsilon_{ap,\theta}$	Dehnung an der Proportionalitätsgrenze von Stahl im Brandfall

$\varepsilon_{\text{au},\theta}$	Grenzdehnung für die Streckgrenze von Stahl im Brandfall
$\varepsilon_{\text{c},\theta}$	Betonstauchung im Brandfall
$\varepsilon_{\text{c}1,\theta}$	die zu $f_{\text{c},\theta}$ gehörige Betonstauchung
$\varepsilon_{\text{cu}1,\theta}$	maximale Betonstauchung im Brandfall
ε_{f}	Emissivitätskoeffizient der Flamme
ε_{fi}	Koeffizient für die Querschnittsklassifizierung für den Brandfall
ε_{m}	Oberflächenemissivität des Bauteils
ϕ	Abminderungsfaktor für die Restbetonfestigkeit nach Erwärmen und Abkühlen in physikalisch basierten Modellen
ϕ_{s}	Durchmesser von Bügelbewehrung
ϕ_{r}	Durchmesser von Längsbewehrung
ϕ_{b}	Durchmesser von durch den Steg geschweißten Stäben
$\varphi_{i,q}$	Abminderungskoeffizient in Abhängigkeit von der Auswirkung thermischer Spannungen von Teil i oder Korrekturfaktor für Biegesteifigkeit
η	Beanspruchungsniveau eines Bleches (oder Gurtes) unter Querbiegebeanspruchung
η_{fi}	Abminderungsfaktor für E_{d} zur Ermittlung von $E_{\text{fi,d}}$
$\eta_{\text{fi,t}}$	Beanspruchungsniveau für baulichen Brandschutz
θ_{a}	Stahltemperatur
$\theta_{\text{a,t}}$	Stahltemperatur zum Zeitpunkt t
θ_{c}	Betontemperatur
$\theta_{\text{c,max}}$	Höchsttemperatur von Beton
θ_{cr}	kritische Temperatur eines Bauteils
θ_i	Temperatur einer Teilfläche A_i
θ_{s}	Betonstahltemperatur
θ_{t}	Gastemperatur zum Zeitpunkt t
θ_{v}	Temperatur von Bolzendübeln
λ_{a}	Wärmeleitfähigkeit des Stahls
λ_{c}	Wärmeleitfähigkeit des Betons
λ_{p}	Wärmeleitfähigkeit des Brandschutzmaterials
$\bar{\lambda}_{\theta}$	bezogener Schlankheitsgrad im Brandfall
ρ_{a}	Rohdichte des Stahls
ρ_{c}	Rohdichte des Betons
$\rho_{\text{c,LC}}$	Rohdichte des Leichtbetons
ρ_{p}	Rohdichte der Brandschutzbekleidung

σ	Stephan-Boltzmann-Konstante ($= 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ [W/(m}^2\text{K}^4\text{)]}$)
$\sigma_{c,\theta}$	Betonspannung unter Druckbeanspruchung im Brandfall
τ_{Ed}	Bemessungswert der Querschubbeanspruchung je Längeneinheit [kN/m] des unteren Bleches bei Normaltemperatur
$\tau_{pl,Rd}$	plastische Schubtragfähigkeit je Längeneinheit [kN/m] des unteren Bleches bei Normaltemperatur
χ	Abminderungskoeffizient

3.2.3 In prEN 1994-1-2, Anhang A, verwendete zusätzliche Symbole

3.2.3.1 Griechische Kleinbuchstaben

$\sigma_{a,\theta}$	Spannung im Stahlprofil im Brandfall
---------------------	--------------------------------------

3.2.4 In prEN 1994-1-2, Anhang B, verwendete zusätzliche Symbole

3.2.4.1 Lateinische Großbuchstaben

A	Betonvolumen je Meter Bauteillänge
A/L_r	Rippengeometriefaktor
L_r	brandbeanspruchte Fläche der Rippe je Meter Rippenlänge
N_s	Normalkraft in der Stützbewehrung
Y	Y-Achse (Hauptachse)

3.2.4.2 Lateinische Kleinbuchstaben

a_i	Koeffizienten zur Bestimmung der Feuerwiderstandsfähigkeit in Bezug auf Wärmedämmung
b_i	Koeffizienten zur Bestimmung der Temperaturen in einzelnen Teilen des Stahlbleches
b_r	Breite des Obergurtes eines Stahlbleches
c_i	Koeffizienten zur Bestimmung der Temperatur der Bewehrungsstäbe in den Rippen
d_{ef}	Höhe der oberen hinterschnittenen Steife
d_i	Koeffizienten zur Bestimmung der Grenztemperatur
$h_{1,mod}$	angepasste Höhe des Betonteils einer Verbunddecke oberhalb der Bleche bei Profilblechen mit hinterschnittener Steife
$h_{2,mod}$	angepasste Höhe des Betonteils einer Verbunddecke innerhalb der Bleche bei Profilblechen mit hinterschnittener Steife
h_p	Gesamthöhe der Profilbleche, abzüglich der Höhe der oberen hinterschnittenen Steife
t_i	Feuerwiderstandsdauer in Bezug auf Wärmedämmung
u_3	Abstand vom Mittelpunkt des Bewehrungsstabs zum Untergurt des Stahlbleches
w_s	Breite der oberen hinterschnittenen Steife
z	Wert zur Definition der Lage des Stabs in der Rippe

3.2.4.3 Griechische Großbuchstaben

Φ Sichtfaktor des Obergurtes

3.2.4.4 Griechische Kleinbuchstaben

α Neigungswinkel des Steges

θ_{lim} Grenztemperatur

3.2.5 In prEN 1994-1-2, Anhang C, verwendete zusätzliche Symbole

3.2.5.1 Lateinische Großbuchstaben

A_r/V_r Profilkfaktor von Steifen

F^+, F^- Gesamtdruckkraft im Verbundprofil bei positiven oder negativen Biegemomenten

N Anzahl der Schubverbinder bezogen auf die bestimmende kritische Länge

$R_{y,Rd,fi}$ Bemessungswert der Dehngrenze des Steges mit den Steifen

T^+, T^- Zugkraft

3.2.5.2 Lateinische Kleinbuchstaben

b_{eff} mittragende Breite der Betonplatte in einem negativen Momentenbereich

h_{cr} Höhe entsprechend einer Betontemperatur unter 250 °C

h_u Dicke der Druckzone

$h_{u,n}$ Dicke der Druckzone (mit n Schichten)

n Gesamtanzahl der Betonschichten unter Druckbeanspruchung

r Fugenradius bei Walzprofilen

s_s Länge des biegesteifen Auflagers

3.2.5.3 Griechische Kleinbuchstaben

θ_r Temperatur der Steife

3.2.6 In prEN 1994-1-2, Anhang D, verwendete zusätzliche Symbole

3.2.6.1 Lateinische Großbuchstaben

$V_{pl,Rd,fi}$ Bemessungswert der plastischen Schubtragfähigkeit im Brandfall

$V_{Ed,fi}$ Bemessungswert der Schubkraft im Brandfall

3.2.6.2 Lateinische Kleinbuchstaben

b_{fi}	Breitenreduzierung des Obergurtes im Brandfall
$h_{c,fi}$	Dickenreduzierung der Betonplatte
h_h	oberer Teil der Steghöhe
h_l	unterer Teil der Steghöhe
k_a	Abminderungsfaktor für die Streckgrenze des Untergurtes
u_i	Abstand zwischen der Achse des Bewehrungsstabs und der Innenseite des Gurtes
u_{si}	Abstand zwischen der Achse des Bewehrungsstabs und der Betonoberfläche

3.2.7 In prEN 1994-1-2, Anhang E, verwendete zusätzliche Symbole

3.2.7.1 Lateinische Großbuchstaben

A_m	direkt beflamnte Oberfläche eines Bauteils je Längeneinheit
A_m/V	Profilmfaktor von Bauteilen
$E_{a,f}$	charakteristischer Wert des Elastizitätsmoduls eines Stahlgurtes bei 20 °C
$E_{a,f,t}$	charakteristischer Wert des Elastizitätsmoduls entsprechend der mittleren Gurttemperatur
$(EI)_{c,z,fi}$	Biegesteifigkeit von Beton im Brandfall (bezogen auf die Mittelachse Z des Verbundquerschnitts)
$(EI)_{f,z,fi}$	Biegesteifigkeit der beiden Gurte des Stahlprofils im Brandfall (bezogen auf die Mittelachse Z des Verbundquerschnitts)
$(EI)_{s,z,fi}$	Biegesteifigkeit der Bewehrungsstäbe im Brandfall (bezogen auf die Mittelachse Z des Verbundquerschnitts)
$(EI)_{eff,z,fi}$	effektive Biegesteifigkeit im Brandfall (bezogen auf die Mittelachse Z des Verbundquerschnitts)
$(EI)_{w,z,fi}$	Biegesteifigkeit des Steges eines Stahlprofils im Brandfall (bezogen auf die Mittelachse Z des Verbundquerschnitts)
$I_{s,z}$	Flächenträgheitsmoment des Betonstahls um die Mittelachse Z
$N_{cr,z,fi}$	ideale Verzweigungslast um die Mittelachse Z im Brandfall
$N_{pl,Rd,f,fi}$	Bemessungswert der plastischen Normaldrucktragfähigkeit der zwei Gurte
$N_{pl,Rd,w,fi}$	Bemessungswerte der plastischen Normaldrucktragfähigkeit des Steges
$N_{pl,Rd,c,fi}$	Bemessungswerte der plastischen Normaldrucktragfähigkeit des Betons im Brandfall
$N_{pl,Rd,s,fi}$	Bemessungswerte der plastischen Normaldrucktragfähigkeit der Bewehrungsstäbe im Brandfall
N_{Rd}	Bemessungswert der Normaldrucktragfähigkeit eines Bauteils bei 20 °C
$N_{Rd,\delta}$	Bemessungswert der Knicklast in Axialrichtung im Fall exzentrischer Lasteinleitung bei Normaltemperatur
$N_{Rd,\delta,fi}$	Bemessungswert der Knicklast bei einer Stütze unter exzentrischer Lasteinleitung
$N_{Rd,z,fi}$	Bemessungswert der Normaldrucktragfähigkeit eines Bauteils bei Knicken um die Achse Z im Brandfall

V	Volumen des Bauteils je Längeneinheit
Z	Mittelachse (schwache Achse) Z des Verbundquerschnitts

3.2.7.2 Lateinische Kleinbuchstaben

$b_{c,fi}$	Dickenreduzierung der Betonfläche im Brandfall
$h_{w,fi}$	Höhenreduzierung des Steges im Brandfall
$k_{E,t}$	Abminderungsfaktor des Elastizitätsmoduls für Betonstahl
$k_{y,t}$	Abminderungsfaktor der Streckgrenze von Betonstahl

3.2.7.3 Griechische Kleinbuchstaben

δ	Exzentrizität
$\theta_{c,t}$	mittlere Temperatur im Beton
$\theta_{f,t}$	mittlere Gurttemperatur
χ_z	Abminderungskoeffizient für Biegung um die Achse Z

3.2.8 In prEN 1994-1-2, Anhang F, verwendete zusätzliche Symbole

3.2.8.1 Lateinische Großbuchstaben

B	kleineres Außenmaß eines rechteckigen oder elliptischen Querschnitts
D	Außendurchmesser eines Kreisquerschnitts
$(EI)_{\text{eff,II,fi}}$	effektive Biegesteifigkeit für Berechnung nach Theorie 2. Ordnung im Brandfall
$E_{i,\theta}$	Elastizitätsmodul von Teil i bei Temperatur θ_i
H	größeres Außenmaß eines rechteckigen oder elliptischen Querschnitts
I_i	Flächenträgheitsmoment von Teil i des Querschnitts
$K_{e,II}$	Korrekturfaktor zur Verwendung bei der Bemessung von Verbundstützen
K_0	Kalibrierfaktor zur Verwendung bei der Bemessung von Verbundstützen
K_θ	Korrekturfaktor zur Verwendung bei der Bemessung von Verbundstützen bei erhöhter Temperatur

3.2.8.2 Griechische Kleinbuchstaben

α_M	Koeffizient in Bezug auf die Biegebeanspruchung einer Verbundstütze
β_i	Koeffizient für die Berechnung der äquivalenten Betonstahltemperatur
$\theta_{c,eq}$	äquivalente Temperatur des Betonkerns
$\theta_{s,eq}$	äquivalente Temperatur der Bewehrungsstäbe
$\theta_{a,eq}$	äquivalente Temperatur des Stahlprofils
ρ_s	Bewehrungsgrad des Betonkerns

3.2.9 In prEN 1994-1-2, Anhang G, verwendete zusätzliche Symbole

3.2.9.1 Lateinische Großbuchstaben

K	Verhältnis zwischen der Zugkraft je Längeneinheit der Breite einer Betonstahlmatte im Querschnitt der kürzeren Seite und der Zugkraft je Längeneinheit der Breite einer Betonstahlmatte im Querschnitt der längeren Seite
L	längere Spannweite der Deckenbemessungszone
L_1, L_2	Spannweiten einer Verbunddecke
$M_{0,fi}$	positive Momententragfähigkeit je Längeneinheit der Breite eines Verbunddeckenquerschnitts entlang der längeren Seite der Deckenbemessungszone
$M_{Ed,b,1,fi}$	Bemessungswert des Biegemoments im Brandfall in den zwei Umfangssekundärträgern
$M_{Ed,b,2,fi}$	Bemessungswert des Biegemoments im Brandfall in den Umfangshauptträgern
$M_{Rd,j,fi}$	Bemessungswert der positiven Momententragfähigkeit des innenliegenden Sekundärverbundträgers j
$V_{Ed,b,1,fi}$	Bemessungswert der Schubkraft im Brandfall in den zwei Umfangssekundärträgern
$V_{Ed,b,2,fi}$	Bemessungswert des Biegemoments im Brandfall in den Umfangshauptträgern

3.2.9.2 Lateinische Kleinbuchstaben

a	Seitenverhältnis der Deckenbemessungszone
b_j	Breite der durch den innenliegenden Verbundträger j abgestützten Verbunddecke
c_M	Faktor in Bezug auf Haupt- oder Sekundärträger unter Berücksichtigung der Membranzugwirkung
d	Abstand zwischen dem Mittelpunkt der Betonstahlmatte (Mittelebene) und der Oberseite der Verbunddecke
e	Gesamtverstärkungsfaktor unter Membranzugwirkung
$(g_0)_1, (g_0)_2$	Parameter zur Definition des Druckspannungsblocks von Beton für die positive Momententragfähigkeit der Verbunddecke je Längeneinheit der Breite in den Querschnitten der kürzeren bzw. der längeren Seite
n_{ub}	Gesamtanzahl innenliegender Sekundärverbundträger
$q_{Ed,fi}$	gleichmäßig verteilte Last, die durch die Deckenbemessungszone im Brandfall aufzunehmen ist
$q_{Rd,fi}$	Bezugswert der Tragfähigkeit der Verbunddecke auf der Grundlage einer Fließlinienlösung
$q_{Rd,slab,fi}$	Tragfähigkeit der Verbunddecke unter Membranzugwirkung
w	Durchbiebungsgrenze einer Verbunddecke im Brandfall unter Membranzugwirkung

3.2.9.3 Griechische Kleinbuchstaben

α_c	Koeffizient der thermischen Dehnung des Betons
θ_1	Temperatur der unbeflammten Seite der Verbunddecke
θ_2	Temperatur der brandbeanspruchten Seite der Verbunddecke
μ	Koeffizient zur Definition des Verhältnisses der positiven Momententragfähigkeiten der Verbunddecke in rechtwinkligen Richtungen

3.2.10 In prEN 1994-1-2, Anhang H, verwendete zusätzliche Symbole

3.2.10.1 Lateinische Großbuchstaben

A_i, A_w, A_r	Parameter zur Bestimmung der Biegetragfähigkeit eines flachen Deckenträgers
B_i, B_w, B_r	Parameter zur Bestimmung der Biegetragfähigkeit eines flachen Deckenträgers
C_i, C_w, C_r	Parameter zur Bestimmung der Biegetragfähigkeit eines flachen Deckenträgers
$N_{c,Rd,fi}$	größter Bemessungswert der Betondruckkraft
$N_{t,Rd,fi}$	Zugtragfähigkeit des Stahlprofils
$V_{w,Rd,fi}$	Schubtragfähigkeit des Stahlsteges

3.2.10.2 Lateinische Kleinbuchstaben

b_f	Gurtbreite
b_p	Breite des unteren Bleches eines flachen Deckenträgers (Typ A)
$b_{p,eff,fi}$	verringerte Breite des unteren Bleches, welches als Auflagerung der Betonplatte wirkt und an das Baustahlprofil (Typ A) angeschweißt ist, im Brandfall
$b_{fb,eff,fi}$	verringerte Breite des Untergurtes, welcher als Auflagerung der Betonplatte wirkt und an den Baustahlgurt (Typ B) angeschweißt ist, im Brandfall
b_{fb}	Breite des unteren Bleches eines flachen Deckenträgers (Typ B)
b_{ft}	Breite des Obergurtes eines flachen Deckenträgers (Typ B)
b_w	Breite des Ortbetons zwischen zwei Platten eines flachen Deckenträgers (Typ A und Typ B)
c_z	Betondeckung über dem Obergurt des Stahlprofils
e_{fb}	Dicke des Untergurtes eines flachen Deckenträgers (Typ B)
e_{ft}	Dicke des Obergurtes eines flachen Deckenträgers (Typ B)
$h_{c,1}$	Höhe des Ortbetons zwischen Platte und Obergurt eines flachen Deckenträgers (Typ A und Typ B)
h_s	Betonhöhe zur Definition der Lage der Längsbewehrung in Bezug auf den Steg des Stahlprofils für flache Deckenträger (Typ A und Typ B)
k_c	Koeffizient in Abhängigkeit von der die Oberfläche des unteren Bleches abdeckenden Deckenplatte
k_h	Koeffizient zur Berechnung des größten Bemessungswertes der Betondruckkraft
k_t	Koeffizient zur Berechnung der Untergurttemperatur eines flachen Deckenträgers
$k_{wy,\theta}$	Abminderungsfaktor für die Schubtragfähigkeit des Stahlsteges
l_a	Auflagerbreite der Betonplatte (gleich der für l_p nach 7.4.2.4)
u_c	horizontale Betondeckung der Längsbewehrung eines flachen Deckenträgers (Typ A und Typ B)
u_r	vertikale Betondeckung der Längsbewehrung eines flachen Deckenträgers (Typ A und Typ B)
u_w	Betondeckung zwischen der Längsbewehrung und dem Stahlsteg eines flachen Deckenträgers (Typ A und Typ B)

3.2.10.3 Griechische Kleinbuchstaben

θ_{fb}	Temperatur des Untergurtes
θ_p	Temperatur des geschweißten Bleches
θ_w	Temperatur im Steg

3.2.11 In prEN 1994-1-2, Anhang I, verwendete zusätzliche Symbole

3.2.11.1 Lateinische Großbuchstaben

$N_{oc,Rd}$	Bemessungswert der Drucktragfähigkeit der Betonplatte am Mittelpunkt einer Öffnung
$V_{oc,Rd}$	Bemessungswert der Schubtragfähigkeit der Betonplatte an der Öffnung

3.2.11.2 Lateinische Kleinbuchstaben

$b_{eff,o}$	mittragende Breiten für lokale Schub- und Biegebeanspruchung
$k_{a,fi}$	Abminderungsfaktor der <i>Vierendeel</i> -Biegetragfähigkeit infolge Verbundwirkung

4 Grundlagen der Tragwerksplanung

4.1 Allgemeines

(1) Die Tragwerksbemessung für den Brandfall muss den allgemeinen Regeln nach EN 1990 und EN 1991 (alle Teile) sowie den jeweiligen Bemessungsvorschriften für Stahl/Beton-Verbundtragwerke nach EN 1994-1-1 entsprechen.

(2) Falls Tragfähigkeit im Brandfall gefordert wird, müssen Verbundtragwerke aus Stahl und Beton so bemessen und ausgeführt werden, dass ihre lasttragende Funktion während der maßgebenden Brandbeanspruchung aufrechterhalten bleibt.

(3) Ist eine Unterteilung in Brandabschnitte erforderlich, müssen die Bauteile, die den Brandabschnitt begrenzen, einschließlich Verbindungen, so bemessen und ausgeführt werden, dass ihre raumabschließende Funktion während der maßgebenden Brandbeanspruchung aufrechterhalten bleibt und sichergestellt wird, dass kein Versagen von Raumabschluss und Wärmedämmung eintritt.

ANMERKUNG Bei nichttragenden Bauteilen wird erwartet, dass die lasttragende Funktion unter Eigengewicht aufrechterhalten bleibt, um die raumabschließende Funktion zu erfüllen.

(4) Verformungskriterien müssen berücksichtigt werden, wenn die Brandschutzmaßnahmen die Berücksichtigung der Verformung des Tragwerks erfordern.

(5) Die Berücksichtigung der Tragwerksverformung darf entfallen, wenn der Wirkungsgrad der Schutzmaßnahmen nach 5.2.3 ausgewertet wurde.

(6) Verformungskriterien müssen berücksichtigt werden, wenn die Bemessungskriterien für raumabschließende Bauteile die Berücksichtigung der Tragwerksverformung erfordern.

(7) Die Berücksichtigung der Verformung des Tragwerks darf entfallen, wenn die raumabschließenden Bauteile die Anforderungen bei nomineller Brandbeanspruchung erfüllen.

(8) Bei nach EN 1993-1-1 bemessenen Verbundtragwerken aus Stahl und Beton sollte eine ausreichende Mindestrobustheit für die außergewöhnliche Bemessungssituation des Brandfalls angenommen werden. Wenn zusätzliche Anforderungen notwendig sind, gelten die Verfahren nach prEN 1991-1-7:2023, Anhang A.

4.2 Nominelle Brandbeanspruchung

(1) Bei der Brandbeanspruchung unter Einheits-Temperaturzeitkurve müssen die Bauteile während der erforderlichen Brandbeanspruchungsdauer mit einer der folgenden Funktionen oder Funktionskombinationen nach EN 1991-1-2 übereinstimmen:

- nur lasttragende Funktion: Tragfähigkeit (R);
- nur raumabschließende Funktion: Raumabschluss (E) sowie erforderlichenfalls Wärmedämmung (I);
- lasttragende und raumabschließende Funktionen: R, E sowie erforderlichenfalls I.

ANMERKUNG 1 Die lasttragende Funktion wird als erfüllt angesehen, wenn die Tragfähigkeit beibehalten wird.

ANMERKUNG 2 Die raumabschließende Funktion wird als erfüllt angesehen, wenn der Raumabschluss sowie erforderlichenfalls die Wärmedämmung beibehalten werden.

ANMERKUNG 3 Der Raumabschluss gilt als aufrechterhalten, wenn ein raumabschließendes Bauteil bei Beflammung von einer Seite den Durchtritt von Flammen und heißen Gasen und eine Flammenbildung auf der unbeflammten Seite verhindert.

ANMERKUNG 4 Die Dämmung gilt als aufrechterhalten, wenn der mittlere Temperaturanstieg auf der gesamten unbeflammten Oberfläche auf 140 K begrenzt ist und der größte Temperaturanstieg an jedem Punkt dieser Oberfläche 180 K nicht übersteigt.

(2) Für die Außenbrandkurve gelten dieselben Funktionen (R, E, I), allerdings muss die Bezugnahme auf diese besondere Kurve durch die Buchstaben „ef“ gekennzeichnet werden.

(3) Für die Hydrokarbon-Brandkurve gelten dieselben Funktionen (R, E, I), allerdings muss die Bezugnahme auf diese besondere Kurve durch die Buchstaben „HC“ gekennzeichnet werden.

4.3 Physikalisch basierte Brandbeanspruchung

(1) Die lasttragende Funktion muss während der gesamten Branddauer, einschließlich Abkühlungsphase, bzw. während einer erforderlichen Dauer nach FprEN 1991-1-2:2023, 4.4(4), aufrechterhalten bleiben.

(2) Für den Nachweis der raumabschließenden Funktion gilt Folgendes unter der Annahme einer Normaltemperatur von 20 °C:

- während der Aufwärmphase bis zum Erreichen der Höchsttemperatur im Brandabschnitt sollte der mittlere Temperaturanstieg auf der unbeflammten Seite des Bauwerks auf 140 K begrenzt sein und der größte Temperaturanstieg auf der unbeflammten Seite sollte 180 K nicht überschreiten;
- während der Abkühlphase sollte der mittlere Temperaturanstieg auf der unbeflammten Seite des Bauwerks auf 200 K begrenzt sein und der größte Temperaturanstieg auf der unbeflammten Seite sollte 240 K nicht überschreiten.

4.4 Einwirkungen

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

4.5 Bemessungswerte der Baustoffeigenschaften

(1) Bemessungswerte mechanischer Baustoffeigenschaften (Festigkeit und Steifigkeit) für den Brandfall $X_{d,fi}$ werden wie folgt definiert:

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

Dabei ist

X_k der charakteristische Wert einer Festigkeits- oder Steifigkeitseigenschaft (im Allgemeinen f_k oder E_k) für die Bemessung bei Normaltemperatur nach EN 1994-1-1;

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 maßgebende mechanische Baustoffeigenschaft im Brandfall, wie in 4.5(2) definiert.

ANMERKUNG 1 Die empfohlenen Teilsicherheitsbeiwerte der mechanischen Eigenschaften von Stahl und Beton für den Brandfall sind $\gamma_{M,a,fi} = 1,0$; $\gamma_{M,s,fi} = 1,0$; $\gamma_{M,c,fi} = 1,0$; sofern die Nationalen Anhänge von EN 1992-1-2 und EN 1993-1-2 keinen abweichenden Wert angeben.

ANMERKUNG 2 Der empfohlene Teilsicherheitsbeiwert der Schubtragfähigkeit des Bolzendübels im Brandfall ist $\gamma_{M,v,fi} = 1,0$, sofern der Nationale Anhang keinen abweichenden Wert angibt.

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

ANMERKUNG Die charakteristischen Werte der thermischen Eigenschaften entsprechen den Mittelwerten.

4.6 Nachweisverfahren

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

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

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

Dabei ist

$E_{d,fi,t}$ der Bemessungswert der Auswirkung von Einwirkungen im Brandfall bei Bestimmung nach EN 1991-1-2 unter Berücksichtigung der Auswirkungen von thermischen Dehnungen und Verformungen;

$R_{d,fi,t}$ der entsprechende Bemessungswert der Tragfähigkeit im Brandfall.

(3) Die statische Berechnung für den Brandfall sollte nach EN 1990:2023, 7.1.5, durchgeführt werden.

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

(4) Wenn Anwendungsregeln nach diesem Teil von EN 1994 nur in Verbindung mit der Einheits-Temperaturzeitkurve gültig sind, wird das in den entsprechenden Abschnitten gekennzeichnet.

(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; und
- Anwendung erweiterter Bemessungsverfahren für die Berechnung von Bauteilen, Teiltragwerken oder des gesamten Tragwerks, siehe Abschnitt 8.

(6) Als Alternative zur Bemessung durch Berechnung darf baulicher Brandschutz auf den Ergebnissen von Brandversuchen oder auf einer Kombination aus Brandversuchen und Berechnungen beruhen.

4.7 Bauteilberechnung

(1) Der Bemessungswert der Auswirkung von Einwirkungen sollte zum Zeitpunkt $t = 0$ unter Verwendung der Kombinationsfaktoren nach FprEN 1991-1-2:2023, 6.3, bestimmt werden.

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

ANMERKUNG Wie in FprEN 1991-1-2:2023, 6.3, angegeben, können im Nationalen Anhang abweichende Werte für den Abminderungsfaktor η_{fi} angegeben sein.

(3) Bei der Verwendung tabellierter Bemessungswerte in Abschnitt 6 sollte das Beanspruchungsniveau für baulichen Brandschutz $\eta_{fi,t}$ nach Gleichung (4.3) berechnet werden:

$$\eta_{fi,t} = \frac{E_{d,fi}}{R_d} \quad (4.3)$$

Dabei ist

$E_{d,fi}$ der Bemessungswert der Auswirkung von Einwirkungen im Brandfall;

R_d der Bemessungswert der Tragfähigkeit bei Normaltemperatur.

(4) Die Auswirkungen der thermischen Verformungen, die sich aus den Temperaturgradienten über den Querschnitt ergeben, müssen berücksichtigt werden.

(5) Die Auswirkungen axialer oder ebener thermischer Dehnungen dürfen vernachlässigt werden.

(6) Die kinematischen Randbedingungen an Auflagern und Enden von Bauteilen, die zum Zeitpunkt $t = 0$ anwendbar sind, dürfen als während der gesamten Brandbeanspruchung unveränderlich angenommen werden.

(7) Tabellierte Bemessungswerte sowie vereinfachte oder erweiterte Bemessungsverfahren nach diesem Dokument dürfen für Bauteilnachweise im Brandfall angewendet werden.

4.8 Teiltragwerksberechnung

(1) Die Auswirkung von Einwirkungen sollte zum Zeitpunkt $t = 0$ unter Verwendung der Kombinationsfaktoren nach FprEN 1991-1-2:2023, 6.3, bestimmt werden.

(2) Für das zu berechnende Teiltragwerk müssen die maßgebende Versagensart im Brandfall, die temperaturabhängigen Baustoffeigenschaften und Bauteilsteifigkeiten sowie Auswirkungen von thermischen Dehnungen und Verformungen (indirekte Einwirkungen im Brandfall) berücksichtigt werden.

(3) Das zu berechnende Teiltragwerk sollte auf Grundlage der zu erwartenden thermischen Ausdehnungen und Verformungen so ausgewählt werden, dass sein Zusammenwirken mit anderen Teiltragwerken durch zeitunabhängige Lagerungs- und Randbedingungen während der Brandbeanspruchung angenähert werden kann.

(4) Als Alternative zu 4.8(1) dürfen die Auflagerkräfte und die Schnittgrößen an Rändern von Teiltragwerken anhand einer statischen Berechnung für die Bemessung bei Normaltemperatur nach 4.7 ermittelt werden.

(5) Eine Verbunddecke aus als Stahl-/Verbundträger ausgeführten Haupt- und Sekundärträgern sowie Verbunddeckenplatten kann in eine Reihe von tragenden Bereichen unterteilt werden, die jeweils einzeln berechnet werden. Die Feuerwiderstandsfähigkeit jedes Bereichs kann unter Berücksichtigung der Membranzugwirkung begründet werden, die sich in der von umgebenden Randträgern gestützten Verbunddecke entwickeln kann, was das Weglassen von Brandschutzbekleidung der innenliegenden Sekundärträger ermöglicht. Die Randträger sollten die zusätzlichen Vertikallasten aus dem Lastverteilungspfad der Membranzugwirkung aufnehmen können.

(6) Diese Membranzugwirkung muss mittels erweiterter Bemessungsverfahren nach Abschnitt 8 unter Berücksichtigung baustoffbezogener und geometrischer Nichtlinearitäten oder durch Anwendung von Anhang G, der einen vereinfachten Ansatz enthält, begründet werden.

4.9 Berechnung des gesamten Tragwerks

(1) Bei einer Berechnung des gesamten Tragwerks für den Brandfall muss Folgendes berücksichtigt werden:

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

5 Baustoffeigenschaften

5.1 Allgemeines

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

(2) Die mechanischen Eigenschaften von Beton, Betonstahl und Spannstahl bei Normaltemperatur (20 °C) müssen entsprechend den in EN 1992-1-1 für die Bemessung für Normaltemperatur angegebenen Werten angesetzt werden.

(3) Die mechanischen Eigenschaften von Baustahl bei Normaltemperatur (20 °C) müssen entsprechend den in EN 1993-1-1 für die Bemessung für Normaltemperatur angegebenen Werten angesetzt werden.

5.2 Thermische Eigenschaften

5.2.1 Kohlenstoffstahl

5.2.1.1 Emissivitätskoeffizient

(1) Die Werte der Oberflächenemissivität ε_m in Bezug auf die verschiedenen Stahllarten sollten Tabelle 5.1 entnommen werden.

Tabelle 5.1 — Oberflächenemissivität verschiedener Stahllarten

Stahllart	$\varepsilon_m (\leq 500\text{ °C})$	$\varepsilon_m (> 500\text{ °C})$
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 14713-2:2020, Tabelle 1.		

5.2.1.2 Wärmeleitfähigkeit

(1) Die für alle Bau- und Betonstahlgüten zutreffende Wärmeleitfähigkeit von Stahl λ_a sollte wie folgt bestimmt werden:

$$\lambda_a = 54 - 3,33 \cdot 10^{-2} \theta_a \text{ [W/(m·K)] für } 20\text{ °C} \leq \theta_a \leq 800\text{ °C} \quad (5.1)$$

$$\lambda_a = 27,3 \text{ [W/(m·K)] für } 800\text{ °C} < \theta_a \leq 1\,200\text{ °C} \quad (5.2)$$

Dabei ist

θ_a die Stahltemperatur.

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

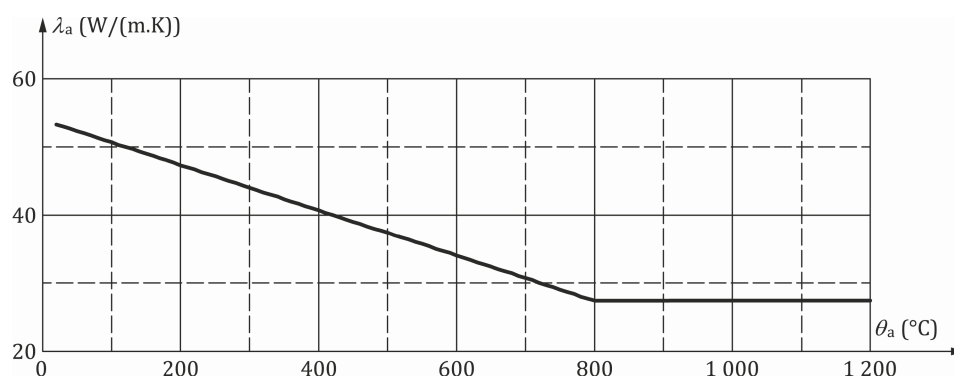


Bild 5.1 — Wärmeleitfähigkeit von Stahl als Funktion der Temperatur

5.2.1.3 Spezifische Wärmekapazität

(1) Die spezifische Wärmekapazität von Stahl c_a für alle Bau- und Betonstahlgüten sollte nach Gleichung (5.3) bis Gleichung (5.6) bestimmt werden:

$$c_a = 425 + 7,73 \cdot 10^{-1} \theta_a - 1,69 \cdot 10^{-3} \theta_a^2 + 2,22 \cdot 10^{-6} \theta_a^3 \text{ [J/(kg·K)] für } 20 \leq \theta_a \leq 600 \text{ °C} \quad (5.3)$$

$$c_a = 666 - \left(\frac{13\,002}{\theta_a - 738} \right) \text{ [J/(kg·K)] für } 600 < \theta_a \leq 735 \text{ °C} \quad (5.4)$$

$$c_a = 545 - \left(\frac{17\,820}{\theta_a - 731} \right) \text{ [J/(kg·K)] für } 735 < \theta_a \leq 900 \text{ °C} \quad (5.5)$$

$$c_a = 650 \text{ [J/(kg·K)] für } 900 < \theta_a \leq 1\,200 \text{ °C} \quad (5.6)$$

Dabei ist

θ_a die Stahltemperatur.

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

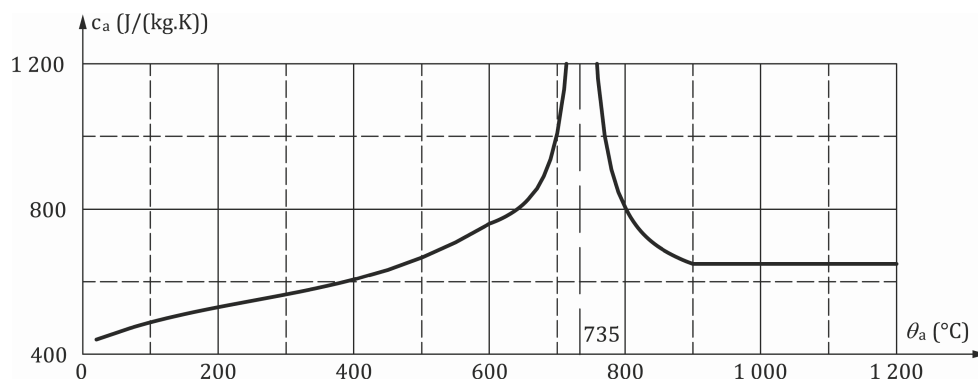


Bild 5.2 — Spezifische Wärmekapazität von Stahl als Funktion der Temperatur

5.2.1.4 Rohdichte

(1) Die Rohdichte von Stahl ρ_a darf als unabhängig von der Stahltemperatur angesehen werden. Der folgende Wert sollte angesetzt werden:

$$\rho_a = 7\,850 \text{ [kg/m}^3\text{]} \quad (5.7)$$

5.2.2 Beton

5.2.2.1 Emissivitätskoeffizient

(1) Der Emissivitätskoeffizient für die Betonoberfläche sollte gleich 0,7 angesetzt werden.

5.2.2.2 Wärmeleitfähigkeit

(1) Die Wärmeleitfähigkeit λ_c von Normalbeton sollte nach Gleichung (5.8) bis Gleichung (5.10) bestimmt werden:

$$\lambda_c = 2 - 0,245 \cdot 1(\theta_c/100) + 0,010 \cdot 7(\theta_c/100)^2 \text{ [W/(m·K)] für } \theta_c \leq 140 \text{ °C} \quad (5.8)$$

$$\lambda_c = -0,026 \cdot 04\theta_c + 5,324 \text{ [W/(m·K)] für } 140 < \theta_c < 160 \text{ °C} \quad (5.9)$$

$$\lambda_c = 1,36 - 0,136(\theta_c/100) + 0,005 \cdot 7(\theta_c/100)^2 \text{ [W/(m·K)] für } \theta_c \geq 160 \text{ °C} \quad (5.10)$$

Dabei ist

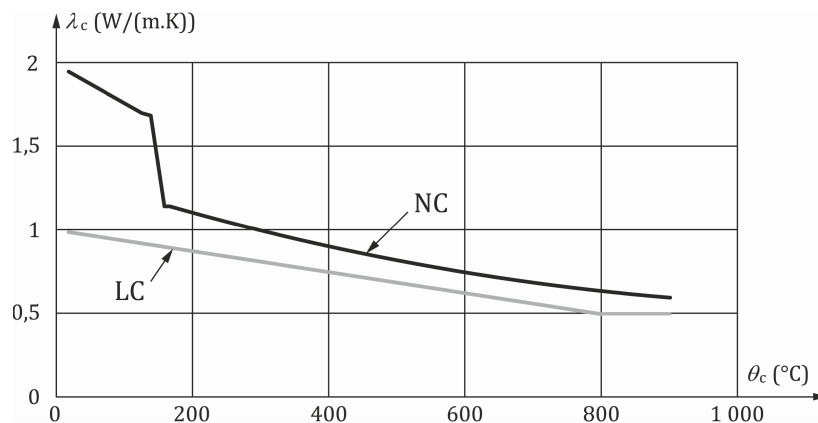
θ_c die Betontemperatur [°C].

(2) Die Wärmeleitfähigkeit λ_c von Leichtbeton sollte wie folgt ermittelt werden:

$$\lambda_c = 1,0 - (\theta_c/1 \, 600) \text{ [W/(m·K)] für } 20 \text{ °C} \leq \theta_c \leq 800 \text{ °C} \quad (5.11)$$

$$\lambda_c = 0,5 \text{ [W/(m·K)] für } \theta_c > 800 \text{ °C} \quad (5.12)$$

ANMERKUNG Der Verlauf der Wärmeleitfähigkeit λ_c in Abhängigkeit von der Temperatur ist in Bild 5.3 dargestellt.



Legende

- 1 LC
- 2 NC

Bild 5.3 — Wärmeleitfähigkeit von Normalbeton (NC) und Leichtbeton (LC) als Funktion der Temperatur

5.2.2.3 Spezifische Wärmekapazität

(1) Die spezifische Wärmekapazität c_c von trockenem Normal- und Leichtbeton (Feuchtegehalt $u = 0 \%$) sollte wie folgt angesetzt werden:

$$c_c = 900 \text{ [J/(kg·K)] für } 20 \text{ °C} \leq \theta_c \leq 100 \text{ °C} \quad (5.13)$$

$$c_c = 900 + (\theta_c - 100) \text{ [J/(kg·K)] für } 100 \text{ °C} < \theta_c \leq 200 \text{ °C} \quad (5.14)$$

$$c_c = 1 \, 000 + (\theta_c - 200)/2 \text{ [J/(kg·K)] für } 200 \text{ °C} < \theta_c \leq 400 \text{ °C} \quad (5.15)$$

$$c_c = 1 \, 100 \text{ [J/(kg·K)] für } 400 \text{ °C} < \theta_c \leq 1 \, 200 \text{ °C} \quad (5.16)$$

Dabei ist

θ_c die Betontemperatur [°C].

(2) Der Feuchtegehalt von Normalbeton sollte gleich dem Gleichgewichts-Feuchtegehalt angesetzt werden. Sind diese Daten nicht verfügbar, sollte der Feuchtegehalt nicht größer als 4 % des Betongewichts sein.

(3) Sofern der Feuchtegehalt nicht explizit im Berechnungsverfahren berücksichtigt wird, darf die für die spezifische Wärmekapazität von Beton angegebene Funktion mit einem konstanten Wert c_c^* zwischen 100 °C und 115 °C und einer linearen Beziehung zwischen 115 °C und 200 °C modelliert werden.

$$c_c^* = 900 \text{ für einen Feuchtegehalt von 0 \% des Betongewichts und [J/(kg·K)]} \quad (5.17)$$

$$c_c^* = 1\,470 \text{ für einen Feuchtegehalt von 1,5 \% des Betongewichts und [J/(kg·K)]} \quad (5.18)$$

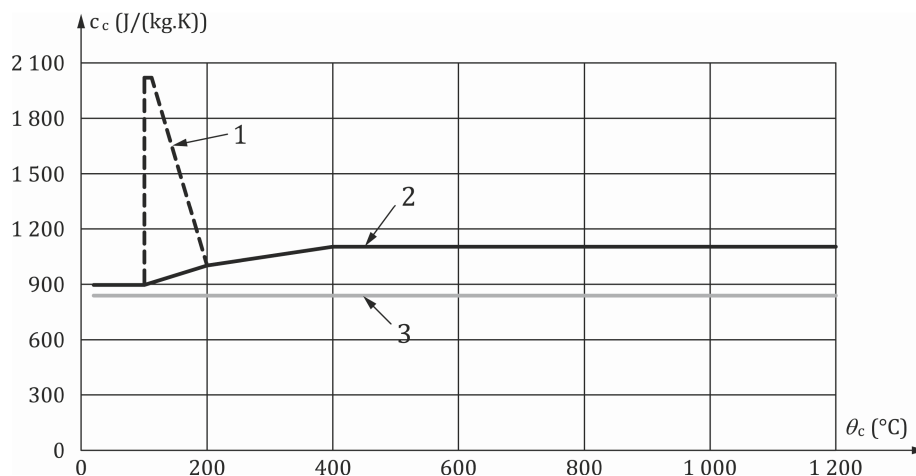
$$c_c^* = 2\,020 \text{ für einen Feuchtegehalt von 3 \% des Betongewichts und [J/(kg·K)]} \quad (5.19)$$

$$c_c^* = 5\,600 \text{ für einen Feuchtegehalt von 10 \% des Betongewichts und [J/(kg·K)]} \quad (5.20)$$

(4) Für einen Feuchtegehalt innerhalb der in (5) angegebenen Bereiche darf eine lineare Interpolation durchgeführt werden. Feuchtegehalte bis 10 % dürfen bei ausbetonierten Hohlprofilen auftreten.

(5) Der Feuchtegehalt von Leichtbeton sollte gleich dem Gleichgewichts-Feuchtegehalt angesetzt werden. Sind diese Daten nicht verfügbar, sollte der Feuchtegehalt nicht größer als 5 % des Betongewichts sein.

ANMERKUNG Der Verlauf der spezifischen Wärmekapazität in Abhängigkeit von der Temperatur ist in Bild 5.4 dargestellt.



Legende

- 1 NC mit $u = 3 \%$
- 2 NC mit $u = 0 \%$
- 3 LC

Bild 5.4 — Spezifische Wärmekapazität von Normalbeton (NC) und Leichtbeton (LC) als Funktion der Temperatur

5.2.2.4 Rohdichte

(1) Die Veränderung der Betondichte in Abhängigkeit von der Temperatur wird durch den Wasserverlust beeinflusst und sollte wie folgt angesetzt werden:

$$\rho(\theta_c) = \rho(20\text{ °C}) \text{ (kg/m}^3\text{) für } 20\text{ °C} \leq \theta_c \leq 115\text{ °C} \quad (5.21)$$

$$\rho(\theta_c) = \rho(20\text{ °C})(1 - 0,02(\theta_c - 115)/85) \text{ (kg/m}^3\text{) für } 115\text{ °C} < \theta_c \leq 200\text{ °C} \quad (5.22)$$

$$\rho(\theta_c) = \rho(20\text{ °C})(0,98 - 0,03(\theta_c - 200)/200) \text{ (kg/m}^3\text{) für } 200\text{ °C} < \theta_c \leq 400\text{ °C} \quad (5.23)$$

$$\rho(\theta_c) = \rho(20\text{ °C})(0,95 - 0,07(\theta_c - 400)/800) \text{ (kg/m}^3\text{) für } 400\text{ °C} < \theta_c \leq 1\,200\text{ °C} \quad (5.24)$$

(2) Die Rohdichte von Leichtbeton für die Tragwerksplanung muss in folgendem Bereich liegen:

$$\rho_{c,LC} = 1\,200 \text{ bis } 2\,000 \text{ [kg/m}^3\text{]} \quad (5.25)$$

5.2.3 Brandschutzmaterialien

(1) Die Beurteilung der bei der Bemessung verwendeten Eigenschaften und der Leistungen der Brandschutzmaterialien sollte unter Anwendung von Prüfverfahren nach den maßgebenden Teilen von EN 13381, sofern zutreffend, erfolgt sein.

5.3 Mechanische Eigenschaften

5.3.1 Kohlenstoffstahl

5.3.1.1 Thermische Dehnung

(1) Die thermische Dehnung von Stahl $\Delta l/l$ für alle Bau- und Betonstahlgüten darf wie folgt bestimmt werden:

$$\Delta l/l = -2,416 \cdot 10^{-4} + 1,2 \cdot 10^{-5} \theta_a + 0,4 \cdot 10^{-8} \theta_a^2 \text{ für } 20\text{ °C} < \theta_a \leq 750\text{ °C} \quad (5.26)$$

$$\Delta l/l = 11 \cdot 10^{-3} \text{ für } 750\text{ °C} < \theta_a \leq 860\text{ °C} \quad (5.27)$$

$$\Delta l/l = -6,2 \cdot 10^{-3} + 2,10^{-5} \theta_a \text{ für } 860\text{ °C} < \theta_a \leq 1\,200\text{ °C} \quad (5.28)$$

Dabei ist

l die Länge des Stahlbauteils bei 20 °C;

Δl die temperaturbedingte Dehnung des Stahlbauteils;

θ_a die Stahltemperatur [°C].

ANMERKUNG Der Verlauf der thermischen Dehnung in Abhängigkeit von der Temperatur ist in Bild 5.5 dargestellt.

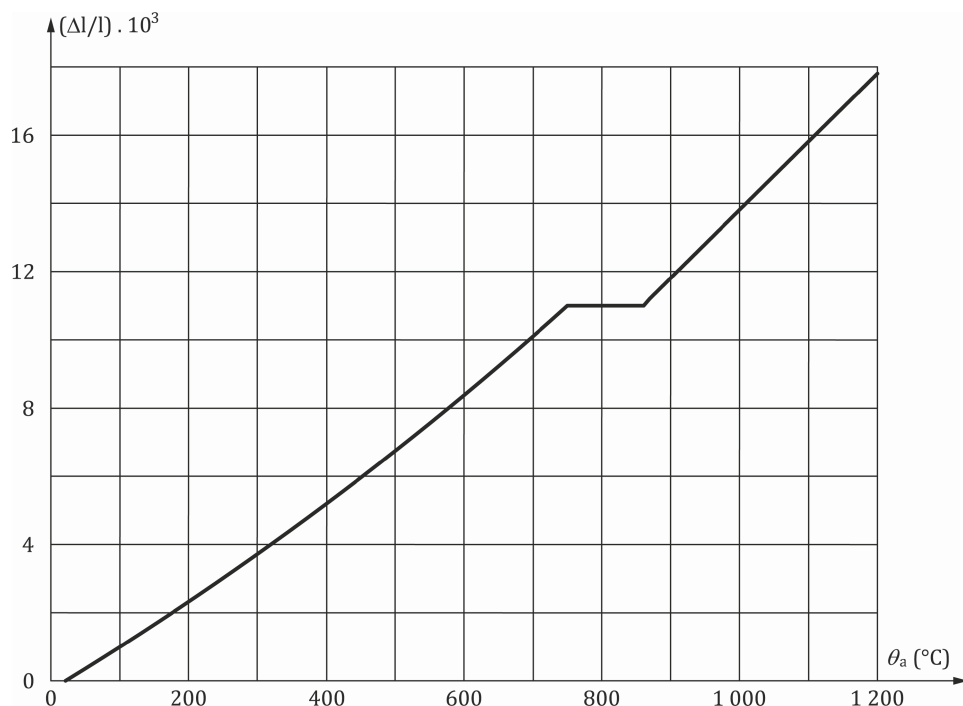


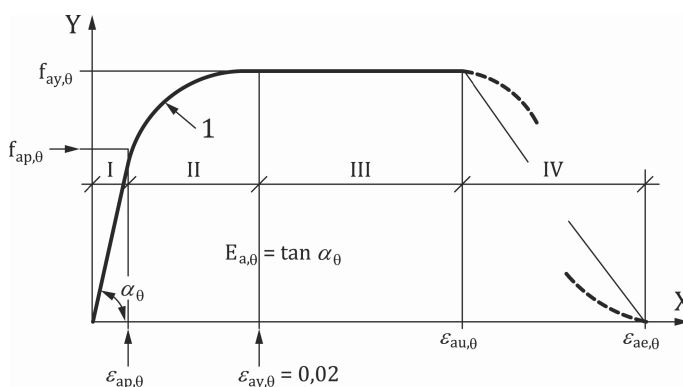
Bild 5.5 — Thermische Dehnung von Stahl als Funktion der Temperatur

5.3.1.2 Festigkeits- und Steifigkeitseigenschaften von Baustahl

(1) Für Aufwärmgeschwindigkeiten zwischen 2 K/min und 50 K/min sollten die Festigkeits- und Steifigkeitseigenschaften von Baustahl bei erhöhten Temperaturen anhand der in Bild 5.6 und Tabelle 5.2 angegebenen Spannungs-Dehnungs-Beziehung ermittelt werden.

ANMERKUNG Die in Bild 5.6 und Tabelle 5.2 angegebenen Spannungs-Dehnungs-Beziehungen sind durch drei Parameter definiert:

- die Steigung im linear-elastischen Bereich der Spannungs-Dehnungs-Beziehung von Baustahl bei erhöhten Temperaturen $E_{a,\theta}$;
- die Proportionalitätsgrenze $f_{ap,\theta}$;
- das maximale Spannungsniveau oder die effektive Streckgrenze $f_{ay,\theta}$.



Legende

- 1 elliptischer Kurventeil

Bild 5.6 — Mathematisches Modell der Spannungs-Dehnungs-Beziehungen von Baustahl bei erhöhten Temperaturen

Tabelle 5.2 — Beziehung zwischen verschiedenen Parametern des mathematischen Modells nach Bild 5.6

Dehnungsbereich	Spannung σ	Tangentenmodul
I/elastisch $\varepsilon \leq \varepsilon_{ap,\theta}$	$E_{a,\theta} \varepsilon_{a,\theta}$	$E_{a,\theta}$
II/Übergang elliptisch $\varepsilon_{ap,\theta} \leq \varepsilon$ $\varepsilon \leq \varepsilon_{ay,\theta}$	$(f_{ap,\theta} - c) + \frac{b}{a} \sqrt{a^2 - (\varepsilon_{ay,\theta} - \varepsilon_{a,\theta})^2}$ mit $a^2 = (\varepsilon_{av,\theta} - \varepsilon_{ap,\theta})(\varepsilon_{av,\theta} - \varepsilon_{ap,\theta} + c/E_{a,\theta})b^2$ $b^2 = E_{a,\theta}(\varepsilon_{ay,\theta} - \varepsilon_{ap,\theta})c + c^2$ $c = \frac{(f_{ay,\theta} - f_{ap,\theta})^2}{E_{a,\theta}(\varepsilon_{ay,\theta} - \varepsilon_{ap,\theta}) - 2(f_{ay,\theta} - f_{ap,\theta})}$	$\frac{b(\varepsilon_{ay,\theta} - \varepsilon_{a,\theta})}{a \sqrt{a^2 - (\varepsilon_{ay,\theta} - \varepsilon_{a,\theta})^2}}$
III/plastisch $\varepsilon_{ay,\theta} \leq \varepsilon$ $\varepsilon \leq \varepsilon_{au,\theta}$	$f_{ay,\theta}$	0

(2) Die Formulierung der Spannungs-Dehnungs-Beziehungen wurde aus Zugversuchen abgeleitet. Diese Beziehungen dürfen auch für druckbeanspruchten Stahl verwendet werden.

(3) Die Abminderungsfaktoren k_θ für die Spannungs-Dehnungs-Beziehung von Stahl bei erhöhten Stahltemperaturen nach Tabelle 5.3 müssen auf den zutreffenden Wert E_a oder f_{ay} angewendet werden, um die in (1) angegebenen Parameter zu bestimmen. Zwischenwerte der Temperatur dürfen linear interpoliert werden.

(4) Alternativ dazu dürfen bei Temperaturen unter 400 °C die in (1) festgelegten Spannungs-Dehnungs-Beziehungen durch Berücksichtigung von Kaltverfestigung erweitert werden, sofern lokales Beulen oder Bauteilknicken nicht zu vorzeitigem Einsturz führt. Bei Berücksichtigung von Kaltverfestigung wird Anhang A (normativ) angewendet.

ANMERKUNG Werte für $\varepsilon_{au,\theta}$ und $\varepsilon_{ae,\theta}$, welche die Kurventeile der größten Spannungen und die abfallenden Kurventeile nach Bild 5.6 definieren, sind im normativen Anhang A angegeben.

(5) Im Fall thermischer Einwirkungen nach FprEN 1991-1-2:2023, 5.3, (physikalisch basierte Modelle) insbesondere bei Berücksichtigung des Kurventeils der Abkühlung dürfen die in Tabelle 5.3 festgelegten Werte für die Spannungs-Dehnungs-Beziehungen von Baustahl bis einschließlich S500 als ausreichend genaue Näherung verwendet werden. Zwischenwerte der Stahltemperatur dürfen linear interpoliert werden.

Tabelle 5.3 — Abminderungsfaktoren k_θ für Spannungs-Dehnungs-Beziehungen von Baustahl

Stahltemperatur θ_a °C	$k_{E,\theta} = \frac{E_{a,\theta}}{E_a}$	$k_{p,\theta} = \frac{f_{ap,\theta}}{f_{ay}}$	$k_{y,\theta} = \frac{f_{ay,\theta}}{f_{ay}}$	
20	1,00	1,00	1,00	1,25
100	1,00	1,00	1,00	1,25
200	0,90	0,807	1,00	1,25
300	0,80	0,613	1,00	1,25
400	0,70	0,420	1,00	
500	0,60	0,360	0,78	
600	0,31	0,180	0,47	
700	0,13	0,075	0,23	
800	0,09	0,050	0,11	
900	0,067 5	0,037 5	0,06	
1 000	0,045 0	0,025 0	0,04	
1 100	0,022 5	0,012 5	0,02	
1 200	0	0	0	

5.3.1.3 Festigkeits- und Steifigkeitseigenschaften von Betonstahl

(1) Die Festigkeits- und Steifigkeitseigenschaften von Betonstahl bei erhöhten Temperaturen dürfen anhand des gleichen mathematischen Modells wie für Baustahl nach 5.3.2.1 ermittelt werden.

(2) Die in Tabelle 5.4 angegebenen drei Parameter für warmgewalzten und kaltgeformten Betonstahl sollten angewendet werden. Zwischenwerte der Temperatur dürfen linear interpoliert werden.

(3) Die in FprEN 1992-1-2:2023, 5.3.3.1, angegebenen Festigkeits- und Steifigkeitseigenschaften von Spannstahl sollten verwendet werden.

Tabelle 5.4 — Abminderungsfaktoren k_θ für Spannungs-Dehnungs-Beziehungen von warmgewalztem und kaltgeformtem Betonstahl bei erhöhter Temperatur

Stahl- temperatur θ_s °C	$k_{y,\theta} = \frac{f_{ay,\theta}}{f_{ay}}$		$k_{p,\theta} = \frac{f_{ap,\theta}}{f_{ay}}$		$k_{E,\theta} = \frac{E_{s,\theta}}{E_s}$	
	warm- gewalzt	kaltgeformt	warm- gewalzt	kaltgeformt	warm- gewalzt	kaltgeformt
1	2	3	4	5	6	7
20	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
100	1,00	1,00	1,00	0,96	1,00	1,00
200	1,00	1,00	0,81	0,92	0,90	0,87
300	1,00	1,00	0,61	0,81	0,80	0,72
400	1,00	0,94	0,42	0,63	0,70	0,56
500	0,78	0,67	0,36	0,44	0,60	0,40
600	0,47	0,40	0,18	0,26	0,31	0,24
700	0,23	0,12	0,07	0,08	0,13	0,08
800	0,11	0,11	0,05	0,06	0,09	0,06
900	0,06	0,08	0,04	0,05	0,07	0,05
1 000	0,04	0,05	0,02	0,03	0,04	0,03
1 100	0,02	0,03	0,01	0,02	0,02	0,02
1 200	0	0	0	0	0	0

(4) Bezüglich der Grenzen des abfallenden Kurventeils gilt:

- $\varepsilon_{au,\theta} = 0,05$ und $\varepsilon_{ae,\theta} = 0,10$ bei Bewehrung der Klasse A;
- $\varepsilon_{au,\theta} = 0,15$ und $\varepsilon_{ae,\theta} = 0,20$ bei Bewehrung der Klasse B und Klasse C.

(5) Im Fall thermischer Einwirkungen nach FprEN 1991-1-2:2023, 5.3, (physikalisch basierte Brandmodelle) insbesondere bei Berücksichtigung des Kurventeils der Abkühlung, dürfen die in Tabelle 5.3 festgelegten Werte für die Spannungs-Dehnungs-Beziehungen von Baustahl und die in Tabelle 5.4 festgelegten Werte für die Spannungs-Dehnungs-Beziehungen von Betonstahl als ausreichend genaue Näherung verwendet werden.

5.3.2 Beton

5.3.2.1 Thermische Dehnung

(1) Die thermische Dehnung $\Delta l/l$ des Betons sollte unabhängig von der Betonfestigkeit unter Bezugnahme auf die Länge bei 20 °C wie folgt bestimmt werden:

Quarzhaltige Gesteinskörnung:

$$\Delta l/l = -1,8 \cdot 10^{-4} + 9 \cdot 10^{-6} \theta_c + 2,3 \cdot 10^{-11} \theta_c^3 \quad \text{für } 20 \text{ °C} \leq \theta_c \leq 700 \text{ °C} \quad (5.29)$$

$$\Delta l/l = 14 \cdot 10^{-3} \quad \text{für } 700 \text{ °C} < \theta_c \leq 1\,200 \text{ °C} \quad (5.30)$$

Kalksteinhaltige Gesteinskörnung:

$$\Delta l/l = -1,2 \cdot 10^{-4} + 6 \cdot 10^{-6} \theta_c + 1,4 \cdot 10^{-11} \theta_c^3 \quad \text{für } 20 \text{ °C} \leq \theta_c \leq 700 \text{ °C} \quad (5.31)$$

$$\Delta l/l = 12 \cdot 10^{-3} \quad \text{für } 700 \text{ °C} < \theta_c \leq 1\,200 \text{ °C} \quad (5.32)$$

Leichtbeton:

$$\Delta l/l = 8 \cdot 10^{-6} (\theta_c - 20) \quad (5.33)$$

Dabei ist

l die Länge des Betonbauteils bei 20 °C;

Δl die temperaturbedingte Dehnung des Betonbauteils;

θ_c die Betontemperatur.

5.3.2.2 Festigkeits- und Steifigkeitseigenschaften von Beton

(1) Die Festigkeits- und Steifigkeitseigenschaften von einachsig spannungsbeanspruchtem Beton bei erhöhten Temperaturen sollten anhand der Spannungs-Dehnungs-Beziehungen nach Bild 5.8 ermittelt werden.

(2) Die Spannungs-Dehnungs-Beziehungen nach Bild 5.8 sollten durch drei Parameter definiert werden:

- die Druckfestigkeit $f_{c,\theta}$;
- die Dehnung $\varepsilon_{cu,\theta}$ entsprechend $f_{c,\theta}$;
- die Dehngrenze $\varepsilon_{ce,\theta}$.

(3) Werte der vorstehenden Parameter sollten Tabelle 5.5 als Funktion der Betontemperatur entnommen werden. Zwischenwerte der Temperatur dürfen linear interpoliert werden.

(4) Die in Tabelle 5.5 festgelegten Parameter sollten für Normalbeton mit quarzhaltiger oder kalksteinhaltiger Gesteinskörnung [mit einem Mindestgehalt kalksteinhaltiger Gesteinskörnung von 80 % (Massenanteil)] angewendet werden.

Tabelle 5.5 — Werte für die zwei Hauptparameter der Spannungs-Dehnungs-Beziehungen von Normalbeton (NC) und Leichtbeton (LC) bei erhöhten Temperaturen

Betontemperatur θ_c °C	NC Quarzhaltige Gesteinskörnung	NC Kalksteinhaltige Gesteinskörnung	$\varepsilon_{c1,\theta} \cdot 10^3$ NC	$\varepsilon_{cu1,\theta} \cdot 10^3$ NC
20	1	1	2,5	20,0
100	1	1	4,0	22,5
200	0,95	1	5,5	25,0
300	0,85	1	7,0	27,5
400	0,75	0,88	10,0	30,0
500	0,60	0,76	15,0	32,5
600	0,45	0,64	25,0	35,0
700	0,30	0,52	25,0	37,5
800	0,15	0,40	25,0	40,0
900	0,08	0,28	25,0	42,5
1 000	0,04	0,16	25,0	45,0
1 100	0,01	0,04	25,0	47,5
1 200	0	0	—	—

(5) Die Werte von $\varepsilon_{cu,\theta}$ und $\varepsilon_{ce,\theta}$ für Leichtbeton sollten auf Versuchen beruhen.

(6) Im Fall thermischer Einwirkungen nach FprEN 1991-1-2:2023, 5.3, (physikalisch basierte Modelle) darf bei Berücksichtigung der Abkühlungsphase die Festigkeit des Betons nach dessen Erwärmen auf eine Höchsttemperatur von $\theta_{c,max}$ und Abkühlung auf 20 °C entsprechend Gleichung (5.34) angesetzt werden:

$$f_{c,\theta,20\text{ °C}} = \phi f_{ck} \quad (5.34)$$

Dabei ist

$$20\text{ °C} \leq \theta_{max} < 100\text{ °C}; \phi = k_{c,\theta_{max}} \quad (5.35)$$

$$100\text{ °C} \leq \theta_{max} < 300\text{ °C}; \phi = (-0,000\,5\theta_{max} + 1,05)k_{c,\theta_{max}} \quad (5.36)$$

$$\theta_{max} \geq 300\text{ °C}; \phi = 0,9k_{c,\theta_{max}} \quad (5.37)$$

Dabei ist/sind

f_{ck} der charakteristische Wert der Zylinderdruckfestigkeit von Beton nach 28 Tagen und bei 20 °C;

$k_{c,\theta_{max}}$ der Abminderungsfaktor entsprechend $k_{c,\theta}$ bei Höchsttemperatur $\theta_{c,max}$, der nach Tabelle 5.5 angesetzt wird;

$\varepsilon_{c1,\theta}$ und $\varepsilon_{cu1,\theta}$ die Werte der Dehnungs-Spannungs-Beziehung während der Abkühlungsphase, die als dieselben Werte entsprechend der Höchsttemperatur $\theta_{c,\max}$ angesetzt werden dürfen.

Während der Abkühlung des Betons mit $\theta_{c,\max} \geq \theta \geq 20\text{ °C}$ darf die zugehörige Zylinderdruckfestigkeit $f_{c,\theta}$ linear zwischen $f_{c,\theta_{\max}}$ und $f_{c,\theta,20\text{ °C}}$ interpoliert werden.

(7) Die Zugfestigkeit von Beton darf, auf der sicheren Seite liegend, zu null angenommen werden.

(8) Wird die Zugfestigkeit bei Nachweisen mit erweitertem Bemessungsmodell berücksichtigt, sollte sie die Werte nach FprEN 1992-1-2:2023, 5.3.1.2, nicht überschreiten.

(9) Bei zugbeanspruchtem Beton sollten Modelle mit abfallendem Teil der Spannungs-Dehnungs-Kurve entsprechend Bild 5.7 verwendet werden.

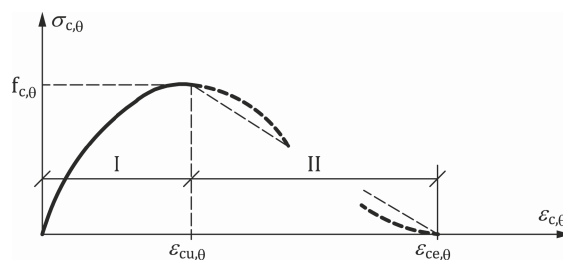


Bild 5.7 — Mathematisches Modell der Spannungs-Dehnungs-Beziehungen von druckbeanspruchtem Beton bei erhöhten Temperaturen

6 Tabellierte Bemessungswerte

6.1 Allgemeines

(1) Tabellierte Bemessungswerte beziehen sich auf die Bauteilberechnung nach 4.7. Sie dürfen ausschließlich für die Brandbeanspruchung entsprechend Einheits-Temperaturzeitkurve verwendet werden.

(2) Die Temperaturverteilung sollte als über die Bauteillänge gleichmäßig angenommen werden.

(3) Tabellierte Bemessungswerte müssen sichere Ergebnisse im Vergleich zu maßgebenden Versuchen oder vereinfachten oder erweiterten Bemessungsverfahren liefern. Sie müssen ohne Extrapolation außerhalb ihrer Anwendungsgrenzen verwendet werden.

ANMERKUNG Die tabellierten Werte können anhand von Versuchen, Berechnungsmodellen oder einer Kombination beider abgeleitet und entweder in Tabellenform oder als Gleichung angegeben werden.

(4) Tabellierte Bemessungswerte dürfen verwendet werden, um anerkannte Bemessungslösungen zu erhalten, die im Allgemeinen abhängig von der Bauteiltypologie (Maße, Achsabstand, Bewehrungsgrad usw.) sind, ohne auf eine Form von Gleichgewichtsgleichung zurückzugreifen.

(5) Für die in Tabelle 6.1 bis Tabelle 6.7 angegebenen Werte darf lineare Interpolation für alle physikalischen Parameter erfolgen.

ANMERKUNG Ist eine Klassifizierung nicht möglich, ist dies in den Tabellen durch „—“ gekennzeichnet.

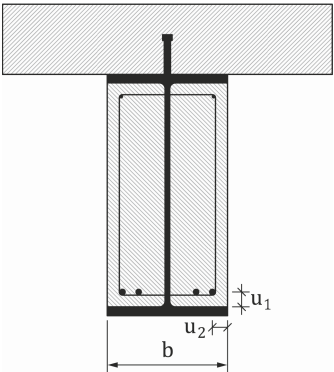
6.2 Träger

- (1) Verbundträger mit teilweise einbetoniertem Stahlträger dürfen nach Tabelle 6.1 festgelegt werden.
- (2) Die in Tabelle 6.1 angegebenen Werte gelten für Einfeldträger.
- (3) Bei der Bestimmung von R_d und $R_{d,fi,t} = \eta_{fi,t} R_d$ in Verbindung mit Tabelle 6.1 müssen die folgenden Bedingungen erfüllt werden:
- die Stegdicke e_w ist nicht größer als $1/15$ der Breite b ;
 - die Dicke des Untergurtes e_f ist nicht größer als das Doppelte der Stegdicke e_w ;
 - die Dicke der Betonplatte h_c beträgt mindestens 120 mm;
 - die Fläche der Zulagebewehrung bezogen auf die Gesamtfläche zwischen den Gurten $A_s/(A_c + A_s)$ ist nicht größer als 5 %;
 - der Wert von R_d wird auf Grundlage von EN 1994-1-1 berechnet, sofern:
 - die mittragende Plattenbreite b_{eff} nicht größer ist als 5 m; und
 - die Zulagebewehrung A_s nicht berücksichtigt wird.
- (4) Die in Tabelle 6.1 angegebenen Werte gelten für Baustahl der Sorte S355. Wird eine andere Baustahlsorte verwendet, sollten die in Tabelle 6.1 angegebenen Mindestwerte für die Zulagebewehrung mit dem Verhältnis zwischen der Streckgrenze dieser anderen Stahlsorte und der Streckgrenze von S355 multipliziert werden.
- (5) Die in Tabelle 6.1 angegebenen Werte gelten für Stahlsorte B500, die für die Zulagebewehrung A_s verwendet wird.
- (6) Die in Tabelle 6.1 und Tabelle 6.2 angegebenen Werte gelten für mit Vollbetonplatten verbundene Träger.
- (7) Die in Tabelle 6.1 und Tabelle 6.2 angegebenen Werte dürfen für Träger verwendet werden, die mit Verbunddecken mit Stahlprofilblechen verbunden sind, wenn die Oberseite des Stahlprofils zu mindestens 85 % direkt durch das Stahlblech abgedeckt ist. Andernfalls sollten Hohlräume an der Trägersoberseite mit Brandschutzmaterial verfüllt werden.
- (8) Das zur Hohlraumverfüllung verwendete Brandschutzmaterial sollte für den Brandschutz von Stahl geeignet sein (siehe EN 13381-4 für auf Stahlbauteile und/oder EN 13381-5 für passiven Brandschutz auf Verbundbauteilen aus Beton/Profilblechen).
- (9) Zulagebewehrung sollte unter Berücksichtigung der Achsabstände u_1 und u_2 nach Tabelle 6.2 möglichst nah am Untergurt angeordnet werden.

Tabelle 6.1 — Mindestquerschnittsmaße b und Mindest-Zulagebewehrung in Bezug auf die Gurtfläche A_s/A_f bei Verbundträgern mit teilweise einbetonierten Stahlträgern

	<p>Anwendungsbedingungen: Deckenplatte: $h_c \geq 120 \text{ mm}$ $b_{\text{eff}} \leq 5 \text{ m}$ Stahlprofil: $b/e_w \geq 15$ $e_f/e_w \leq 2$ Fläche der Zulagebewehrung bezogen auf die Gesamtfläche zwischen den Gurten: $A_s/(A_c + A_s) \leq 5 \%$ </p>	Feuerwiderstandsfähigkeit unter Einheits-Temperaturzeitkurve				
		R30	R60	R90	R120	R180
1	Mindestquerschnittsmaße für das Beanspruchungsniveau $\eta_{fi,t} \leq 0,3$					
	min b [mm] und Zulagebewehrung A_s in Bezug auf					
	die Gurtfläche A_s/A_f					
1.1	$h \geq 0,9 \times \min b$	70/0,0	100/0,0	170/0,0	200/0,0	260/0,0
1.2	$h \geq 1,5 \times \min b$	60/0,0	100/0,0	150/0,0	180/0,0	240/0,0
1.3	$h \geq 2,0 \times \min b$	60/0,0	100/0,0	150/0,0	180/0,0	240/0,0
2	Mindestquerschnittsmaße für das Beanspruchungsniveau $\eta_{fi,t} \leq 0,5$					
	min b [mm] und Zulagebewehrung A_s in Bezug auf					
	die Gurtfläche A_s/A_f					
2.1	$h \geq 0,9 \times \min b$	80/0,0	170/0,0	250/0,4	270/0,5	—
2.2	$h \geq 1,5 \times \min b$	80/0,0	150/0,0	200/0,2	240/0,3	300/0,5
2.3	$h \geq 2,0 \times \min b$	70/0,0	120/0,0	180/0,2	220/0,3	280/0,3
2.4	$h \geq 3,0 \times \min b$	60/0,0	100/0,0	170/0,2	200/0,3	250/0,3
3	Mindestquerschnittsmaße für das Beanspruchungsniveau $\eta_{fi,t} \leq 0,7$					
	min b [mm] und Zulagebewehrung A_s in Bezug auf die Gurtfläche A_s/A_f					
3.1	$h \geq 0,9 \times \min b$	80/0,0	270/0,4	300/0,6	—	—
3.2	$h \geq 1,5 \times \min b$	80/0,0	240/0,3	270/0,4	300/0,6	—
3.3	$h \geq 2,0 \times \min b$	70/0,0	190/0,3	210/0,4	270/0,5	320/1,0
3.4	$h \geq 3,0 \times \min b$	70/0,0	170/0,2	190/0,4	270/0,5	300/0,8

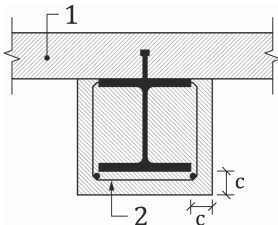
Tabelle 6.2 — Mindestachsabstände der Zulagebewehrung für Verbundträger

	Profilbreite b mm	Mindest- achsabstand mm	Feuerwiderstandsfähigkeit unter Einheits- Temperaturzeitkurve			
			R60	R90	R120	R180
	170	u_1	100	120	—	—
		u_2	45	60	—	—
	200	u_1	80	100	120	—
		u_2	40	55	60	—
	250	u_1	60	75	90	120
		u_2	35	50	60	60
	≥ 300	u_1	40	50	70	90
		u_2	25 ^a	45	60	60

^a Dieser Wert sollte nach FprEN 1992-1-1:2023, 6.4.2, nachgewiesen werden.

(10) Wenn der Kammerbeton des Stahlträgers lediglich eine Wärmedämmfunktion besitzt, darf die Feuerwiderstandsfähigkeit R30 bis R180 bei einer Betondeckung c des Stahlprofils nach Tabelle 6.3 als erfüllt angesehen werden.

Tabelle 6.3 — Mindestbetondeckung für ein Stahlprofil mit Beton als Brandschutzbekleidung

	Feuerwiderstandsfähigkeit unter Einheits- Temperaturzeitkurve				
	R30	R60	R90	R120	R180
Betondeckung c [mm]	0	25	30	40	50

Legende
1 Vollbetonplatte oder Verbunddecke
2 Beton für Wärmedämmung

ANMERKUNG Bei R30 ist der Beton zwischen den Gurten des Stahlprofils ausreichend.

(11) Wenn der Kammerbeton lediglich eine Wärmedämmfunktion besitzt, sollten Betonstahlmatten nach 9.1(6) angeordnet werden.

6.3 Stützen

6.3.1 Allgemeines

(1) Tabelle 6.4, Tabelle 6.6 und Tabelle 6.7 für die Bemessung gelten für ausgesteifte Stützen.

(2) Die in Tabelle 6.6 und Tabelle 6.7 angegebenen Beanspruchungsniveaus $\eta_{fi,t}$ sind in 4.7(3) definiert, wobei angenommen wird, dass die Berechnung von R_d auf dem zweifachen Wert der für die Bemessungssituation des Brandfalls verwendeten Knicklänge beruht.

(3) Tabelle 6.4 bis Tabelle 6.7 gelten sowohl für konzentrische Normallasten als auch für exzentrische Lasteinleitung auf Stützen. Bei der Bestimmung des Bemessungswertes der Tragfähigkeit für die Bemessung bei Normaltemperatur R_d sollte die Exzentrizität der Lasteinleitung berücksichtigt werden.

(4) Die in Tabelle 6.4 bis Tabelle 6.7 angegebenen tabellierten Werte gelten für Stützen mit einer Länge von höchstens dem 30-Fachen des kleinsten Außenmaßes eines gewählten Querschnitts.

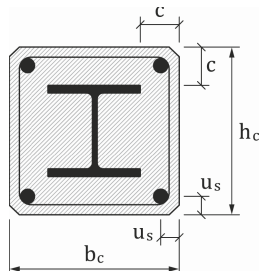
6.3.2 Verbundstützen aus vollständig einbetonierten Stahlprofilen

(1) Verbundstützen aus vollständig einbetonierten Stahlprofilen dürfen unter Verwendung von Tabelle 6.4 klassifiziert werden.

(2) Alle Beanspruchungsniveaus $\eta_{fi,t}$ dürfen verwendet werden, wenn die Bemessungstragfähigkeit im Brandfall mittels $R_{d,fi,t} = \eta_{fi,t} R_d$ berechnet wird.

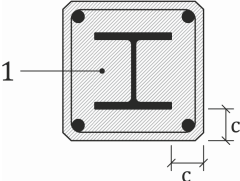
(3) Die Längsbewehrung sollte aus mindestens 4 Stäben mit einem Minstdurchmesser von 12 mm bestehen. Für Bügelbewehrung sollte auf EN 1992-1-1 Bezug genommen werden.

Tabelle 6.4 — Mindestquerschnittsmaße, Mindestbetondeckung des Stahlprofils und Mindestachsabstand der Bewehrungsstäbe von Verbundstützen aus vollständig einbetonierten Stahlprofilen

		Feuerwiderstandsfähigkeit unter Einheits-Temperaturzeitkurve					
		R30	R60	R90	R120	R180	R240
1.1	Mindestmaße h_c und b_c [mm]	150	180	220	300	350	400
1.2	Mindestbetondeckung des Stahlprofils c [mm]	40	50	50	75	75	75
1.3	Mindestachsabstand der Bewehrungsstäbe u_s [mm]	20 ^a	30	30	40	50	50
	Oder						
2.1	Mindestmaße h_c und b_c [mm]	—	200	250	350	400	—
2.2	Mindestbetondeckung des Stahlprofils c [mm]	—	40	40	50	60	—
2.3	Mindestachsabstand der Bewehrungsstäbe u_s [mm]	—	20 ^a	20 ^a	30	40	—
^a Diese Werte sollten nach FprEN 1992-1-1:2023, 6.4.2, nachgewiesen werden.							

(4) Wenn der Kammerbeton des Stahlprofils lediglich eine Wärmedämmfunktion besitzt, darf bei der Bemessung der Stütze für Normaltemperatur eine Feuerwiderstandsfähigkeit R30 bis R180 bei einer Betondeckung c des Stahlprofils nach Tabelle 6.5 als erfüllt angesehen werden.

Tabelle 6.5 — Mindestbetondeckung für ein Stahlprofil mit Beton als Brandschutzbekleidung

 <p>Legende 1 Beton für Wärmedämmung</p>	Feuerwiderstandsfähigkeit unter Einheits-Temperaturzeitkurve				
	R30	R60	R90	R120	R180
Betondeckung c [mm]	0	25	30	40	50
ANMERKUNG Bei R30 ist der Beton zwischen den Gurten des Stahlprofils ausreichend.					

(5) Wenn der Kammerbeton lediglich eine Wärmedämmfunktion besitzt, sollten Betonstahlmatten nach 9.1(6) angeordnet werden, ausgenommen bei R30.

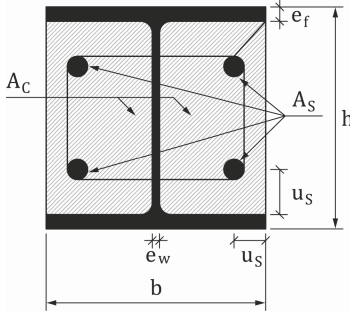
6.3.3 Verbundstützen aus teilweise einbetonierten Stahlprofilen

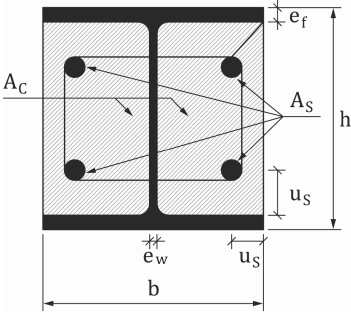
(1) Verbundstützen aus teilweise einbetonierten Stahlprofilen dürfen nach Tabelle 6.6 klassifiziert werden.

(2) Bei der Bestimmung von R_d und $R_{d,fi,t} = \eta_{fi,t} R_d$ in Verbindung mit Tabelle 6.6 sollten Bewehrungsgrade $A_s/(A_c + A_s)$, die größer als 6 % oder kleiner als 1 % sind, nicht berücksichtigt werden.

(3) Tabelle 6.6 darf für die Baustahlorten S235, S275 und S355 angewendet werden.

Tabelle 6.6 — Mindestquerschnittsmaße, Mindestachsabstand und Mindestbewehrungsgrade von Verbundstützen aus teilweise einbetonierten Stahlprofilen

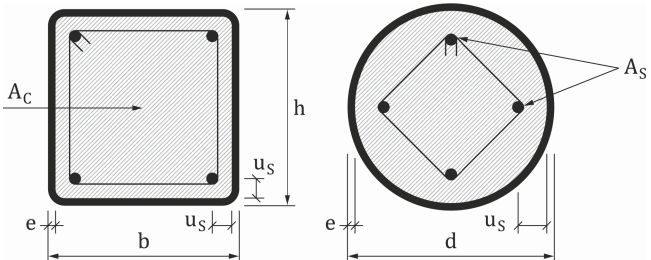
		Feuerwiderstands-fähigkeit unter Einheits-Temperaturzeitkurve			
		R30	R60	R90	R120
	Mindestverhältnis von Steg- zu Gurt Dicke e_w/e_f	0,5	0,5	0,5	0,5
1	Mindestquerschnittsmaße für das Beanspruchungsniveau $\eta_{fi,t} \leq 0,28$				
1.1	Mindestmaße h und b [mm]	160	200	300	400
1.2	Mindestachsabstand der Bewehrungsstäbe u_s [mm]		50	50	70
1.3	Mindestbewehrungsgrad $A_s/(A_c + A_s)$ in %	—	4	3	4
2	Mindestquerschnittsmaße für das Beanspruchungsniveau $\eta_{fi,t} \leq 0,47$				
2.1	Mindestmaße h und b [mm]	160	300	400	—
2.2	Mindestachsabstand der Bewehrungsstäbe u_s [mm]	—	50	70	—
2.3	Mindestbewehrungsgrad $A_s/(A_c + A_s)$ in %	—	4	4	—

		Feuerwiderstands- fähigkeit unter Einheits- Temperaturzeitkurve			
		R30	R60	R90	R120
3	Mindestquerschnittsmaße für das Beanspruchungsniveau $\eta_{fi,t} \leq 0,66$				
3.1	Mindestmaße h und b [mm]	160	400	—	—
3.2	Mindestachsabstand der Bewehrungsstäbe u_s [mm]	40	70	—	—
3.3	Mindestbewehrungsgrad $A_s/(A_c + A_s)$ in %	1	4	—	—

6.3.4 Verbundstützen mit ausbetonierten Hohlprofilen

- (1) Verbundstützen aus ausbetonierten Hohlprofilen dürfen nach Tabelle 6.7 klassifiziert werden.
- (2) Die in Tabelle 6.7 angegebenen Werte gelten für Betonstahl der Sorte B500.
- (3) Alternativ zu (1) dürfen die Bemessungsregeln nach FprEN 1992-1-2:2023, 6.3.2 oder 6.3.3, unter Vernachlässigung der Mitwirkung des Stahlprofils angewendet werden.
- (4) Bei der Berechnung von R_d und $R_{d,fi,t} = \eta_{fi,t} R_d$ in Verbindung mit Tabelle 6.7 gelten die folgenden Regeln:
- unabhängig von der Stahlsorte der Hohlprofile wird eine Nenn-Streckgrenze von 235 N/mm^2 angenommen;
 - die Wanddicke e des Hohlprofils wird bis zu einem Höchstwert von $1/25 d$ bei Kreisquerschnitten oder bis zum Mindestwert von b oder d bei Rechteckquerschnitten berücksichtigt;
 - Bewehrungsgrade $A_s/(A_c + A_s)$ größer als 3 % werden nicht berücksichtigt;
 - die Betonfestigkeit wird wie bei der Bemessung für Normaltemperatur angenommen.

Tabelle 6.7 — Mindestquerschnittsmaße, Mindestbewehrungsgrade und Mindestachsabstand der Bewehrungsstäbe von Verbundstützen mit ausbetonierten Hohlprofilen

		Feuerwiderstandsfähigkeit unter Einheits-Temperaturzeitkurve				
Stahlprofil: $(b/e) \geq 25$ oder $(d/e) \geq 25$		R30	R60	R90	R120	R180
1	Mindestquerschnittsmaße für das Beanspruchungsniveau $\eta_{fi,t} \leq 0,28$					
1.1	Mindestmaße h und b oder Mindestdurchmesser d [mm]	160	200	220	260	400
1.2	Mindestbewehrungsgrad $A_s/(A_c + A_s)$ in (%)	0	1,5	3,0	6,0	6,0
1.3	Mindestachsabstand der Bewehrungsstäbe u_s [mm]	—	30	40	50	60
2	Mindestquerschnittsmaße für das Beanspruchungsniveau $\eta_{fi,t} \leq 0,47$					
2.1	Mindestmaße h und b oder Mindestdurchmesser d [mm]	260	260	400	450	500
2.2	Mindestbewehrungsgrad $A_s/(A_c + A_s)$ in (%)	0	3,0	6,0	6,0	6,0
2.3	Mindestachsabstand der Bewehrungsstäbe u_s [mm]	—	30	40	50	60
3	Mindestquerschnittsmaße für das Beanspruchungsniveau $\eta_{fi,t} \leq 0,66$					
3.1	Mindestmaße h und b oder Mindestdurchmesser d [mm]	260	450	550	—	—
3.2	Mindestbewehrungsgrad $A_s/(A_c + A_s)$ in (%)	3,0	6,0	6,0	—	—
3.3	Mindestachsabstand der Bewehrungsstäbe u_s [mm]	25	30	40	—	—

7 Vereinfachte Bemessungsverfahren

7.1 Allgemeines

(1) Vereinfachte Bemessungsverfahren beziehen sich auf die Bauteilberechnung nach 4.7. Sie müssen sichere Ergebnisse im Vergleich zu maßgebenden Versuchen oder erweiterten Bemessungsverfahren liefern. Sie müssen ohne Extrapolation außerhalb ihres Gültigkeitsbereichs verwendet werden.

ANMERKUNG 1 Vereinfachte Bemessungsverfahren beruhen auf globalen Gleichgewichtsgleichungen, die für ein Profil oder Bauteil erfüllt werden.

ANMERKUNG 2 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.

7.2 Allgemeine Regeln für Verbunddecken und Verbundträger

(1) Im Folgenden werden gemeinsame Regeln für Verbunddecken und Verbundträger angegeben. Zusätzliche Regeln sind in 7.3 für Deckenplatten und in 7.4 für Verbundträger angegeben.

(2) Für Verbundträger mit Querschnitten der Klasse 1 oder Klasse 2 (siehe EN 1994-1-1) und für Verbunddecken sollte der Bemessungswert der Biegetragfähigkeit nach der Plastizitätstheorie bestimmt werden.

(3) Die plastische Nulllinie einer Verbunddecke oder eines Verbundträgers sollte nach Gleichung (7.1) bestimmt werden:

$$\sum_{i=1}^m A_i k_{y,\theta,i} \left(\frac{f_{y,i}}{\gamma_{M,a,fi}} \right) + \alpha_{slab} \sum_{j=1}^n A_j k_{c,\theta,j} \left(\frac{f_{c,j}}{\gamma_{M,c,fi}} \right) \quad (7.1)$$

Dabei ist/sind

α_{slab} der Koeffizient, der die Annahme eines rechteckigen Spannungsblocks bei der Bemessung von Deckenplatten ermöglicht, $\alpha_{slab} = 0,85$; der gleiche Wert darf für Träger verwendet werden;

$f_{y,i}$ der Nennwert der Streckgrenze f_y für die Teilfläche A_i des Stahls, der auf der Druckseite der plastischen Nulllinie als positiver Wert und auf deren Zugseite als negativer Wert angesetzt wird;

$f_{c,j}$ der charakteristische Wert der Festigkeit von Teilfläche A_j des Betons bei 20 °C. Zugbeanspruchte Betonteile werden vernachlässigt;

$k_{y,\theta,i}$ oder $k_{c,\theta,j}$ wie in Tabelle 5.3 (oder Tabelle 5.4) und Tabelle 5.5 definiert.

(4) Der Bemessungswert der Momententragfähigkeit $M_{Rd,fi,t}$ sollte nach Gleichung (7.2) bestimmt werden:

$$M_{Rd,fi,t} = \sum_{i=1}^m A_i z_i k_{y,\theta,i} \left(\frac{f_{y,i}}{\gamma_{M,a,fi}} \right) + \alpha_{slab} \sum_{j=1}^n A_j z_j k_{c,\theta,j} \left(\frac{f_{c,j}}{\gamma_{M,c,fi}} \right) \quad (7.2)$$

Dabei ist

z_i, z_j der Abstand der plastischen Nulllinie zum Schwerpunkt der Teilfläche A_i oder A_j .

(5) Für durchlaufende Verbunddecken und -träger gelten die Regeln nach EN 1992-1-2 und EN 1994-1-1, um die erforderliche Rotationskapazität sicherzustellen.

(6) Vereinfachte Bemessungsverfahren für Deckenplatten und Träger dürfen auf spezifischen Temperaturverteilungen durch den Querschnitt beruhen, wie in 7.4 angegeben, oder auf Verteilungen, die mit anderen geeigneten Verfahren oder durch Versuche bestimmt werden.

7.3 Verbunddecken

7.3.1 Ungeschützte Verbunddecken

(1) Die folgenden Regeln gelten für die Berechnung der Feuerwiderstandsfähigkeit unter Einheits-Temperaturzeitkurve sowohl einfeldriger als auch durchlaufender Betonplatten mit Stahlblechen und Bewehrung entsprechend nachstehender Beschreibung, wenn sie von unten entsprechend Einheits-Temperaturzeitkurve beflammt werden.