

DIN EN 1993-1-2**DIN**

ICS 13.220.50; 91.010.30; 91.080.10

Ersatz für
DIN EN 1993-1-2:2006-10 und
DIN EN 1993-1-2
Berichtigung 1:2009-05

**Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten –
Teil 1-2: Allgemeine Regeln –
Tragwerksbemessung für den Brandfall;
Deutsche Fassung EN 1993-1-2:2005 + AC:2009**

Eurocode 3: Design of steel structures –
Part 1-2: General rules –
Structural fire design;
German version EN 1993-1-2:2005 + AC:2009

Eurocode 3: Calcul des structures en acier –
Partie 1-2: Règles générales –
Calcul du comportement au feu;
Version allemande EN 1993-1-2:2005 + AC:2009

Gesamtumfang 88 Seiten

Normenausschuss Bauwesen (NABau) im DIN

DIN EN 1993-1-2:2010-12

Nationales Vorwort

Diese Europäische Norm (EN 1993-1-2:2005 + AC:2009) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 250 „Eurocodes für den konstruktiven Ingenieurbau“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom BSI (Vereinigtes Königreich) gehalten wird.

Im DIN Deutsches Institut für Normung e. V. ist hierfür der Arbeitsausschuss NA 005-52-22 AA „Konstruktiver baulicher Brandschutz“ des Normenausschusses Bauwesen (NABau) zuständig.

Die Norm ist Bestandteil einer Reihe von Einwirkungs- und Bemessungsnormen, deren Anwendung nur im Paket sinnvoll ist. Dieser Tatsache wird durch das Leitpapier L der Kommission der Europäischen Union für die Anwendung der Eurocodes Rechnung getragen, in dem Übergangsfristen für die verbindliche Umsetzung der Eurocodes in den Mitgliedstaaten vorgesehen sind. Die im Vorwort dieser Europäischen Norm angegebenen Fristen korrelieren in etwa mit diesen Übergangsfristen.

Die Anwendung dieser Norm gilt in Deutschland in Verbindung mit dem Nationalen Anhang.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Texte dieses Dokuments Patentrechte berühren können. Das DIN [und/oder die DKE] sind nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

In Abhängigkeit von der Bedeutung der einzelnen Absätze wird in dieser Norm zwischen verbindlichen Regeln und Anwendungsregeln unterschieden (siehe auch 1.4 dieser Europäischen Norm). Die verbindlichen Regeln sind durch den Buchstaben P nach der Nummer des Absatzes gekennzeichnet, z. B. (1)P. Bei allen Absätzen, die nicht als verbindliche Regeln gekennzeichnet sind, handelt es sich um Anwendungsregeln.

Der Beginn und das Ende des hinzugefügten oder geänderten Textes der europäischen Berichtigungen AC:2005 und AC:2009 wird im Text durch die Textmarkierungen AC AC angezeigt.

Änderungen

Gegenüber DIN V ENV 1993-1-2:1997-05 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Vornorm-Charakter wurde aufgehoben;
- b) die Stellungnahmen der nationalen Normungsinstitute von CEN zu ENV 1993-1-2:1997-05 wurden berücksichtigt und der Inhalt wurde vollständig überarbeitet;
- c) Berichtigung EN 1993-1-2/AC:2005 wurde eingearbeitet.

Gegenüber DIN EN 1993-1-2:2006-10 und DIN EN 1993-1-2 Berichtigung 1:2009-05 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Vorgänger-Norm mit der Berichtigung 1 konsolidiert;
- b) redaktionelle Änderungen durchgeführt.

Frühere Ausgaben

DIN V ENV 1993-1-2: 1997-05

DIN EN 1993-1-2: 2006-10

DIN EN 1993-1-2 Berichtigung 1: 2009-05

EUROPÄISCHE NORM
EUROPEAN STANDARD
NORME EUROPÉENNE

EN 1993-1-2

April 2005

+AC

März 2009

ICS 13.220.50; 91.010.30; 91.080.10

Ersatz für ENV 1993-1-2:1995

Deutsche Fassung

Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-2: Allgemeine Regeln — Tragwerksbemessung für den Brandfall

Eurocode 3: Design of steel structures —
Part 1-2: General rules —
Structural fire design

Eurocode 3: Calcul des structures en acier —
Partie 1-2: Règles générales —
Calcul du comportement au feu

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 23. April 2004 angenommen.

Die Berichtigung tritt am 18. März 2009 in Kraft und wurde in EN 1993-1-2:2005 eingearbeitet.

Die CEN-Mitglieder sind gehalten, die CEN/CENELEC-Geschäftsordnung zu erfüllen, in der die Bedingungen festgelegt sind, unter denen dieser Europäischen Norm ohne jede Änderung der Status einer nationalen Norm zu geben ist. Auf dem letzten Stand befindliche Listen dieser nationalen Normen mit ihren bibliographischen Angaben sind beim Management-Zentrum des CEN oder bei jedem CEN-Mitglied auf Anfrage erhältlich.

Diese Europäische Norm besteht in drei offiziellen Fassungen (Deutsch, Englisch, Französisch). Eine Fassung in einer anderen Sprache, die von einem CEN-Mitglied in eigener Verantwortung durch Übersetzung in seine Landessprache gemacht und dem Management-Zentrum mitgeteilt worden ist, hat den gleichen Status wie die offiziellen Fassungen.

CEN-Mitglieder sind die nationalen Normungsinstitute von Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, der Schweiz, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.



EUROPÄISCHES KOMITEE FÜR NORMUNG
EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION
COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION

Management-Zentrum: Avenue Marnix 17, B-1000 Brüssel

DIN EN 1993-1-2:2010-12
EN 1993-1-2:2005 + AC:2009 (D)

Inhalt

Seite

| | |
|--|-----------|
| Vorwort | 4 |
| Hintergrund des Eurocode-Programms | 4 |
| Status und Gültigkeitsbereich der Eurocodes | 5 |
| Nationale Fassungen der Eurocodes | 6 |
| Verhältnis zwischen den Eurocodes und den harmonisierten Technischen Spezifikationen für Bauprodukte (ENs und ETAs) | 6 |
| 1 Allgemeines | 10 |
| 1.1 Anwendungsbereich | 10 |
| 1.1.1 Anwendungsbereich von EN 1993 | 10 |
| 1.1.2 Anwendungsbereich von EN 1993-1-2 | 10 |
| 1.2 Normative Verweisungen | 11 |
| 1.3 Annahmen | 12 |
| 1.4 Unterscheidung nach Grundsätzen und Anwendungsregeln | 12 |
| 1.5 Begriffsbestimmungen | 12 |
| 1.5.1 Besondere Begriffe zur allgemeinen Bemessung | 12 |
| 1.5.2 Begriffe zu thermischen Einwirkungen | 12 |
| 1.5.3 Begriffe mit Bezug auf Baustoffe und Bauprodukte | 13 |
| 1.5.4 Begriffe mit Bezug auf Wärmeübertragungsberechnungen | 13 |
| 1.5.5 Begriffe mit Bezug auf die Berechnung des Tragverhaltens | 13 |
| 1.6 Symbole | 14 |
| 2 Grundlagen der Bemessung | 18 |
| 2.1 Anforderungen | 18 |
| 2.1.1 Grundlegende Anforderungen | 18 |
| 2.1.2 Nominelle Brandbeanspruchung | 19 |
| 2.1.3 Parametrische Brandbeanspruchung | 19 |
| 2.2 Einwirkungen | 19 |
| 2.3 Bemessungswerte der Materialeigenschaften | 19 |
| 2.4 Nachweisverfahren | 20 |
| 2.4.1 Allgemeines | 20 |
| 2.4.2 Bauteilberechnung | 20 |
| 2.4.3 Berechnung von Teiltragwerken | 22 |
| 2.4.4 Gesamttragwerksberechnung | 23 |
| 3 Materialeigenschaften | 23 |
| 3.1 Allgemeines | 23 |
| 3.2 Mechanische Werkstoffeigenschaften von Kohlenstoffstahl | 23 |
| 3.2.1 Festigkeits- und Verformungseigenschaften | 23 |
| 3.2.2 Rohdichte | 23 |
| 3.3 Mechanische Werkstoffeigenschaften von nichtrostendem Stahl | 26 |
| 3.4 Thermische Werkstoffeigenschaften | 26 |
| 3.4.1 Kohlenstoffstahl | 26 |
| 3.4.2 Nichtrostender Stahl | 29 |
| 3.4.3 Brandschutzmaterialien | 29 |
| 4 Tragwerksbemessung für den Brandfall | 29 |
| 4.1 Allgemeines | 29 |
| 4.2 Einfache Bemessungsverfahren | 30 |
| 4.2.1 Allgemeines | 30 |
| 4.2.2 Querschnittsklassifizierung | 31 |
| 4.2.3 Tragfähigkeit | 31 |
| 4.2.4 Kritische Temperatur | 39 |

| | Seite |
|--|-----------|
| 4.2.5 Entwicklung der Stahltemperatur | 40 |
| 4.3 Erweiterte Berechnungsmodelle | 45 |
| 4.3.1 Allgemeines | 45 |
| 4.3.2 Thermisches Verhalten | 46 |
| 4.3.3 Tragverhalten | 46 |
| 4.3.4 Überprüfung erweiterter Berechnungsmodelle | 47 |
| Anhang A (normativ) Verfestigung von Kohlenstoffstahl unter erhöhter Temperatur | 48 |
| Anhang B (normativ) Wärmeübertragung auf außen liegende Stahlbauteile..... | 50 |
| B.1 Allgemeines | 50 |
| B.1.1 Grundlagen | 50 |
| B.1.2 Vereinbarungen bei den Bauteilabmessungen | 50 |
| B.1.3 Wärmebilanz | 50 |
| B.1.4 Gesamtkonfigurationsfaktoren | 52 |
| B.2 Nicht direkt beflammete Stützen..... | 53 |
| B.2.1 Wärmeübertragung durch Strahlung | 53 |
| B.2.2 Emissionswert der Flamme..... | 54 |
| B.2.3 Flammentemperatur | 58 |
| B.2.4 Absorptionswert der Flamme..... | 59 |
| B.3 Nicht direkt beflammter Träger | 59 |
| B.3.1 Wärmeübertragung durch Strahlung | 59 |
| B.3.2 Emissionswert der Flamme..... | 61 |
| B.3.3 Flammentemperatur | 62 |
| B.3.4 Absorptionswert der Flamme..... | 62 |
| B.4 Direkt beflammete Stützen | 62 |
| B.5 Vollständig oder teilweise beflammete Träger..... | 65 |
| B.5.1 Wärmeübertragung durch Strahlung | 65 |
| B.5.2 Emissionswert der Flamme..... | 68 |
| B.5.3 Absorptionswert der Flamme..... | 68 |
| Anhang C (informativ) Nichtrostender Stahl..... | 70 |
| C.1 Allgemeines | 70 |
| C.2 Mechanische Eigenschaften von nichtrostendem Stahl..... | 70 |
| C.2.1 Festigkeits- und Verformungseigenschaften | 70 |
| C.2.2 Rohdichte | 71 |
| C.3 Thermische Materialeigenschaften | 76 |
| C.3.1 Thermische Dehnung | 76 |
| C.3.2 Spezifische Wärmekapazität | 77 |
| C.3.3 Wärmeleitfähigkeit..... | 78 |
| Anhang D (informativ) Verbindungen | 80 |
| D.1 Geschraubte Verbindungen | 80 |
| D.1.1 Tragfähigkeit von Schrauben auf Schub | 80 |
| D.1.2 Tragfähigkeit von Schrauben auf Zug | 81 |
| D.2 Tragfähigkeit von Schweißnähten | 81 |
| D.2.1 Stumpfnähte..... | 81 |
| D.2.2 Kehlnähte | 81 |
| D.3 Temperaturen von Verbindungen im Brandfall..... | 82 |
| D.3.1 Allgemeines | 82 |
| Anhang E (informativ) Klasse 4 Querschnitte..... | 84 |
| E.1 Erweiterte Berechnungsmodelle | 84 |
| E.2 Einfache Berechnungsverfahren | 84 |

DIN EN 1993-1-2:2010-12
EN 1993-1-2:2005 + AC:2009 (D)

Vorwort

Dieses Dokument (EN 1993-1-2:2005 + AC:2009) wurde vom Technischen Komitee CEN /TC 250 „Eurocodes für den konstruktiven Ingenieurbau“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom BSI gehalten wird. CEN /TC 250 ist für alle Eurocodes zuständig.

Diese Europäische Norm muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis Oktober 2005, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis März 2010 zurückgezogen werden.

Dieses Dokument ersetzt ENV 1993-1-2.

Entsprechend der CEN/CENELEC-Geschäftsordnung sind die nationalen Normungsinstitute der folgenden Länder gehalten, diese Europäische Norm zu übernehmen: Belgien, Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, Niederlande, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Schweden, Schweiz, Slowakei, Slowenien, Spanien, Tschechische Republik, Ungarn, Vereinigtes Königreich und Zypern.

Hintergrund des Eurocode-Programms

Im Jahre 1975 beschloss die Kommission der Europäischen Gemeinschaften, für das Bauwesen ein Aktionsprogramm auf der Grundlage des Artikels 95 der Römischen Verträge durchzuführen. Das Ziel des Programms war die Beseitigung technischer Handelshemmnisse und die Harmonisierung technischer Spezifikationen.

Im Rahmen dieses Aktionsprogramms leitete die Kommission die Bearbeitung von harmonisierten technischen Regelwerken für die Tragwerksplanung von Bauwerken ein, die im ersten Schritt als Alternative zu den in den Mitgliedsländern geltenden Regeln dienen und schließlich diese ersetzen sollten.

15 Jahre lang leitete die Kommission mit Hilfe eines Lenkungsausschusses mit Vertretern der Mitgliedsländer die Entwicklung des Eurocode-Programms, das zu der ersten Eurocode-Generation in den 80er Jahren des zwanzigsten Jahrhunderts führte.

Im Jahre 1989 entschieden sich die Kommission und die Mitgliedsländer der Europäischen Union und der EFTA, die Entwicklung und Veröffentlichung der Eurocodes über eine Reihe von Mandaten an CEN zu übertragen, damit diese den Status von Europäischen Normen (EN) erhielten. Grundlage war eine Vereinbarung¹⁾ zwischen der Kommission und CEN. Dieser Schritt verknüpft die Eurocodes de facto mit den Regelungen der Ratsrichtlinien und Kommissionsentscheidungen, die die Europäischen Normen behandeln (z. B. die Ratsrichtlinie 89/106/EWG zu Bauprodukten, die Bauproduktenrichtlinie, die Ratsrichtlinien 93/37/EWG, 92/50/EWG und 89/440/EWG zur Vergabe öffentlicher Aufträge und Dienstleistungen und die entsprechenden EFTA-Richtlinien, die zur Einrichtung des Binnenmarktes eingeleitet wurden).

Das Eurocode-Programm umfasst die folgenden Normen, die in der Regel aus mehreren Teilen bestehen:

EN 1990, Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung.

EN 1991, Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke.

1) Vereinbarung zwischen der Kommission der Europäischen Gemeinschaften und dem Europäischen Komitee für Normung (CEN) zur Bearbeitung der Eurocodes für die Tragwerksplanung von Hochbauten und Ingenieurbauwerken (BC/CEN/03/89).

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.

Die Eurocode-Normen berücksichtigen die Verantwortlichkeit der Bauaufsichtsorgane in den Mitgliedsländern und haben deren Recht zur nationalen Festlegung sicherheitsbezogener Werte berücksichtigt, so dass diese Werte von Land zu Land unterschiedlich bleiben können.

Status und Gültigkeitsbereich der Eurocodes

Die Mitgliedsländer der EU und von EFTA betrachten die Eurocodes als Bezugsdokumente für folgende Zwecke:

- als Mittel zum Nachweis der Übereinstimmung von Hoch- und Ingenieurbauten mit den wesentlichen Anforderungen der Richtlinie des Rates 89/106/EWG, besonders mit der wesentlichen Anforderung Nr. 1: Mechanische Festigkeit und Standsicherheit und der wesentlichen Anforderung Nr. 2: Brandschutz;
- als Grundlage für die Spezifizierung von Verträgen für die Ausführung von Bauwerken und die dazu erforderlichen Ingenieurleistungen;
- als Rahmenbedingung für die Erstellung harmonisierter, technischer Spezifikationen für Bauprodukte (ENs und ETAs).

Die Eurocodes haben, da sie sich auf Bauwerke beziehen, eine direkte Verbindung zu den Grundlagendokumenten²⁾, auf die in Artikel 12 der Bauproduktenrichtlinie hingewiesen wird, wenn sie auch anderer Art sind als die harmonisierten Produktnormen³⁾. Daher sind die technischen Gesichtspunkte, die sich aus den Eurocodes ergeben, von den Technischen Komitees von CEN und den Arbeitsgruppen von EOTA, die an Produktnormen arbeiten, zu beachten, damit diese Produktnormen mit den Eurocodes vollständig kompatibel sind.

2) Entsprechend Artikel 3.3 der Bauproduktenrichtlinie sind die wesentlichen Anforderungen in Grundlagendokumenten zu konkretisieren, um damit die notwendigen Verbindungen zwischen den wesentlichen Anforderungen und den Mandaten für die Erstellung harmonisierter Europäischer Normen und Richtlinien für die europäische Zulassung selbst zu schaffen.

3) Nach Artikel 12 der Bauproduktenrichtlinie hat das Grundlagendokument

- a) die wesentlichen Anforderungen zu konkretisieren, indem die Begriffe und, soweit erforderlich, die technische Grundlage für Klassen und Anforderungsstufen vereinheitlicht werden,
- b) Methoden zur Verbindung dieser Klassen oder Anforderungsstufen mit technischen Spezifikationen anzugeben, z. B. Berechnungs- oder Nachweisverfahren, technische Entwurfsregeln usw.,
- c) als Bezugsdokument für die Erstellung harmonisierter Normen oder Richtlinien für Europäische Technische Zulassungen zu dienen.

Die Eurocodes spielen de facto eine ähnliche Rolle für die wesentliche Anforderung Nr. 1 und einen Teil der wesentlichen Anforderung Nr. 2.

DIN EN 1993-1-2:2010-12 EN 1993-1-2:2005 + AC:2009 (D)

Die Eurocodes liefern Regelungen für den Entwurf, die Berechnung und die Bemessung von kompletten Tragwerken und Bauteilen für die allgemeine praktische Anwendung. Sie gehen auf traditionelle Bauweisen und Aspekte innovativer Anwendungen ein, liefern aber keine vollständigen Regelungen für außergewöhnliche Baulösungen und Entwurfsbedingungen. Für diese Fälle können zusätzliche Spezialkenntnisse für den Bauplaner erforderlich sein.

Nationale Fassungen der Eurocodes

Die Nationale Fassung eines Eurocodes enthält den vollständigen Text des Eurocodes (einschließlich aller Anhänge), so wie von CEN veröffentlicht, möglicherweise mit einer nationalen Titelseite und einem nationalen Vorwort sowie einem Nationalen Anhang.

Der Nationale Anhang darf nur Hinweise zu den Parametern geben, die im Eurocode für nationale Entscheidungen offen gelassen wurden. Diese national festzulegenden Parameter (NDP) gelten für die Tragwerksplanung von Hochbauten und Ingenieurbauten in dem Land, in dem sie erstellt werden. Sie umfassen:

- Zahlenwerte und/oder Klassen, wo die Eurocodes Alternativen eröffnen,
- Zahlenwerte, wo die Eurocodes nur Symbole angeben,
- landesspezifische, geographische und klimatische Daten, die nur für ein Mitgliedsland gelten, z. B. Schneekarten,
- Vorgehensweisen, wenn die Eurocodes mehrere Verfahren zur Wahl anbieten.

Der Nationale Anhang darf enthalten:

- Entscheidungen über die Anwendung der informativen Anhänge,
- Verweise zu ergänzenden, nicht widersprechenden Informationen, die dem Nutzer bei der Anwendung der Eurocodes helfen.

Verhältnis zwischen den Eurocodes und den harmonisierten Technischen Spezifikationen für Bauprodukte (ENs und ETAs)

Es besteht die Notwendigkeit, dass die harmonisierten Technischen Spezifikationen für Bauprodukte und die technischen Regelungen für die Tragwerksplanung⁴⁾ konsistent sind. Insbesondere sollten die Hinweise, die mit der CE-Kennzeichnung von Bauprodukten verbunden sind, die die Eurocodes in Bezug nehmen, klar erkennen lassen, welche national festzulegenden Parameter (NDP) zugrunde liegen.

Besondere Hinweise zu EN 1993-1-2

EN 1993-1-2 beschreibt Grundsätze, Anforderungen und Regeln für die Tragwerksbemessung von Stahlkonstruktionen unter Brandbeanspruchung unter Berücksichtigung der folgenden Aspekte:

Sicherheitstechnische Anforderungen

EN 1993-1-2 ist für Bauherren (z. B. für die Aufstellung ihrer speziellen Anforderungen), Planer, Bauunternehmer und relevante Behörden bestimmt.

Die allgemeine Zielsetzung des Brandschutzes ist die Begrenzung der Risiken für Einzelpersonen und für die Gesellschaft, benachbarter Besitz und, falls erforderlich, der Umwelt oder unmittelbar betroffener Besitz im Brandfall.

4) Siehe Artikel 3.3 und Art. 12 der Bauproduktenrichtlinie ebenso wie die Abschnitte 4.2, 4.3.1, 4.3.2 und 5.2 des Grundlagendokumentes Nr. 1.

Die Bauproduktenrichtlinie 89/106/EWG nennt die folgende wesentliche Anforderung für den Brandschutz:

„Das Bauwerk muss derartig entworfen und ausgeführt sein, dass bei einem Brand

- die Tragfähigkeit des Bauwerks über einen bestimmten Zeitraum vorausgesetzt werden kann,
- die Entstehung und Ausbreitung von Feuer und Rauch innerhalb des Bauwerks begrenzt bleibt,
- die Ausbreitung von Feuer auf benachbarte Bauwerke begrenzt bleibt,
- die Nutzer das Gebäude unverletzt verlassen oder durch andere Maßnahmen gerettet werden können,
- die Sicherheit von Rettungsmannschaften berücksichtigt ist.“

Gemäß dem Grundlagendokument Nr. 2 „Brandschutz“⁴⁾ darf die wesentliche Anforderung durch Befolgen verschiedener in den Mitgliedstaaten geltender Brandschutzstrategien, wie konventionelle Brandszenarien (nominelle Brände) oder „natürliche“ (parametrische Brände) Brandszenarien, einschließlich vorbeugender und abwehrender Brandschutzmaßnahmen erfüllt werden.

Die den Brandschutz betreffenden Teile der Eurocodes für den konstruktiven Ingenieurbau behandeln bestimmte Aspekte des passiven Brandschutzes, indem Regeln für die Bemessung und Konstruktion von Bauwerken und Bauteilen 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. nach der Einheits-Temperaturzeitkurve, die im Allgemeinen in nationalen Brandschutzregularien angegeben wird, festgelegt werden, oder mit Bezug auf Ingenieurmethoden im Brandschutz für die Ermittlung aktiver und passiver Brandschutzmaßnahmen gestellt werden.

Zusätzliche Anforderungen, die zum Beispiel

- den möglichen Einbau und die Instandhaltung von Sprinkleranlagen,
- die Bedingungen an die Nutzung von Gebäuden oder Brandabschnitten,
- die Verwendung von zugelassenen Dämm- und Beschichtungsstoffen einschließlich ihrer Instandhaltung

betreffen, sind nicht Gegenstand dieses Dokuments, da sie von der zuständigen Behörde festgelegt werden.

Zahlenwerte für Teilsicherheitsbeiwerte und andere Sicherheitselemente werden als empfohlene Werte angegeben, die ein annehmbares Niveau der Zuverlässigkeit ergeben. Sie wurden unter der Annahme ausgewählt, dass eine angemessene Ausführungsqualität und Qualitätsüberwachung stattfinden.

Bemessungsverfahren

Ein vollständiges analytisches Verfahren der konstruktiven Bemessung im Brandfall würde das Tragverhalten bei erhöhten Temperaturen, die mögliche Beanspruchung durch Wärme und die positiven Auswirkungen von vorbeugenden und abwehrenden Brandschutzmaßnahmen sowie die mit diesen drei Faktoren verbundenen Unsicherheiten und die Bedeutung des Bauwerks (Konsequenzen bei Versagen) berücksichtigen.

Gegenwärtig ist es möglich, einen Nachweis zur Bestimmung einer ausreichenden Leistungsfähigkeit durchzuführen, der zumindest eine Reihe dieser Parameter beinhaltet, um damit nachzuweisen, dass das Bauwerk oder seine Bauteile bei einem tatsächlichen Brand eine ausreichende Leistungsfähigkeit aufweisen. Wenn das Nachweisverfahren jedoch auf einer nominellen Brandkurve beruht, das bestimmte Feuerwider-

4) Siehe Seite 6.

DIN EN 1993-1-2:2010-12
EN 1993-1-2:2005 + AC:2009 (D)

standsdauern vorgibt, berücksichtigt das Klassifizierungssystem (wenn auch nicht explizit) die oben angegebenen Merkmale und Unsicherheiten.

Die Anwendung dieses Teils 1-2 ist in Bild 0.1 dargestellt. Die Ansätze mit festgelegten Vorgaben und mit leistungsabhängigen Festlegungen werden herausgestellt. Der Ansatz mit festgelegten Vorgaben beruht auf nominellen Bränden, aus denen sich die thermischen Einwirkungen ergeben. Der auf leistungsabhängigen Festlegungen beruhende Ansatz mit Ingenieurmethoden für den Brandschutz bezieht sich auf thermische Einwirkungen, die auf physikalischen und chemischen Parametern beruhen.

Für die Bemessung nach diesem Teil wird EN 1991-1-2 benötigt, um die thermischen und mechanischen Einwirkungen auf die Konstruktion zu bestimmen.

Planungshilfen

Wenn vereinfachte Bemessungsverfahren nicht verfügbar sind, liefern die Brandschutzteile der Eurocodes Bemessungslösungen in Form von Tabellen (auf der Grundlage von Versuchen oder erweiterten Berechnungsmodellen), die innerhalb ihrer Gültigkeitsgrenzen verwendet werden dürfen.

Es wird erwartet, dass auf den Berechnungsmodellen nach EN 1993-1-2 beruhende Planungshilfen von den interessierten externen Organisationen erarbeitet werden.

Der Haupttext der EN 1993-1-2 beinhaltet zusammen mit den normativen Anhängen die meisten der grundsätzlichen Konzepte und Regeln für die Tragwerksbemessung von Stahlkonstruktionen im Brandfall.

Nationaler Anhang zu prEN 1993-1-2

Diese Norm enthält alternative Vorgehensweisen, Zahlenwerte sowie Empfehlungen für Klassen. In Anmerkungen wird angegeben, wo eine nationale Wahl getroffen werden darf. Daher sollte die die EN 1993-1-2 einführende nationale Norm einen Nationalen Anhang haben, in dem alle national zu bestimmenden Parameter festgelegt sind, die für den Entwurf, Bemessung und Berechnung von Stahlbauten in dem jeweiligen Land gültig sind.

Eine nationale Wahl darf in EN 1993-1-2 für folgende Abschnitte erfolgen:

2.3 (1)

2.3 (2)

4.1 (2)

4.2.3.6 (1)

4.2.4 (2)

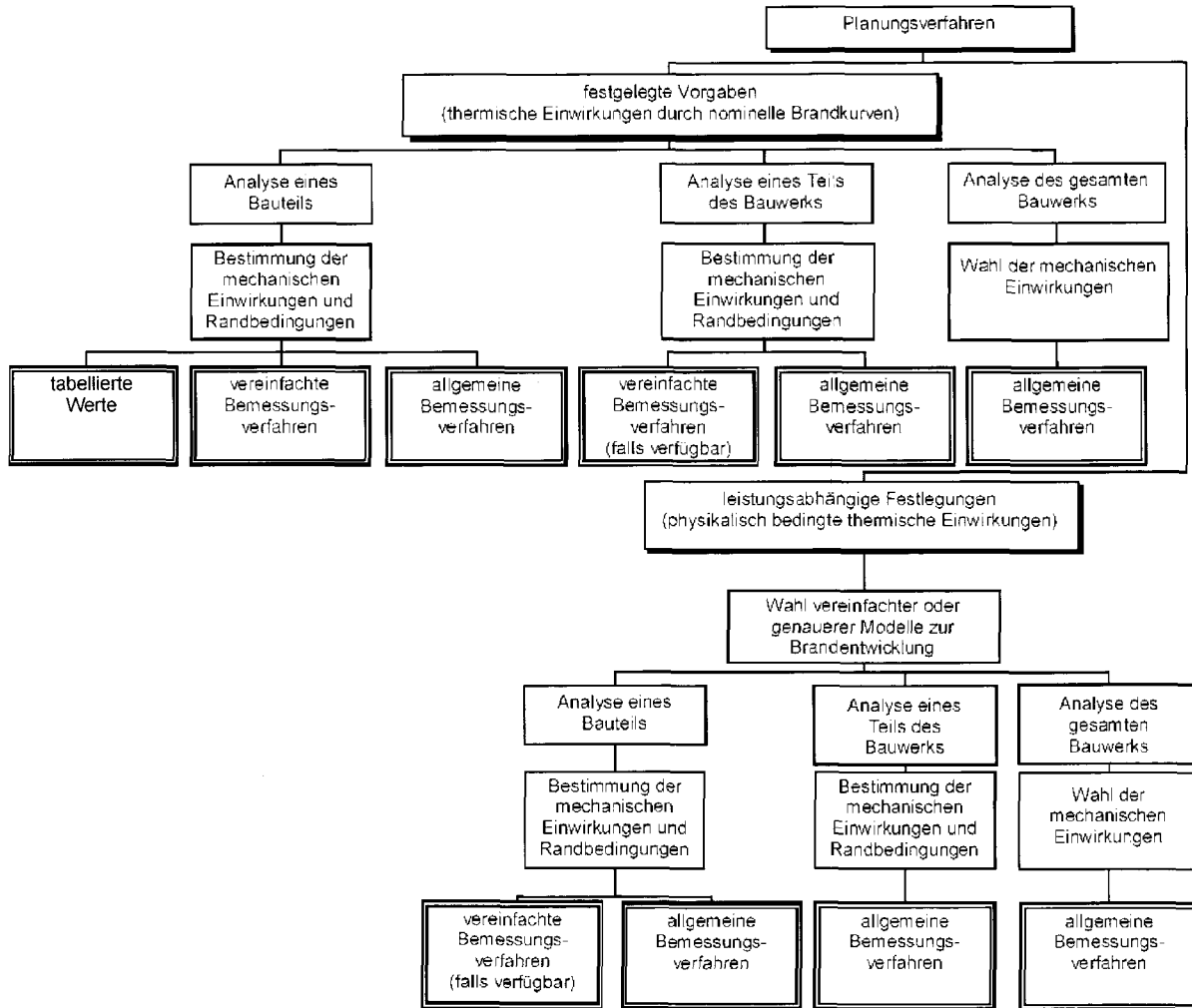


Bild 0.1 — Bemessungsverfahren

DIN EN 1993-1-2:2010-12
EN 1993-1-2:2005 + AC:2009 (D)

1 Allgemeines

1.1 Anwendungsbereich

1.1.1 Anwendungsbereich von EN 1993

(1) EN 1993 gilt für den Entwurf, die Berechnung und die Bemessung von Bauwerken aus Stahl. Der Eurocode 3 entspricht den Grundsätzen und Anforderungen an die Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit von Tragwerken sowie den Grundlagen für ihre Bemessung und Nachweise, die in der EN 1990 – Grundlagen der Tragwerksplanung – enthalten sind.

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

(3) Die Anwendung von EN 1993 ist in Verbindung mit folgenden Regelwerken beabsichtigt:

- EN 1990 „Grundlagen der Tragwerksplanung“;
- EN 1991 „Einwirkungen auf Tragwerke“;
- hENs für Bauprodukte, die für Stahlbauten Verwendung finden;
- EN 1090 „Ausführung von Stahltragwerken und Aluminiumtragwerken“;
- EN 1998 „Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben“, soweit Stahltragwerke in Erdbebengebieten errichtet werden.

(4) EN 1993 ist in sechs Teile eingeteilt:

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

EN 1993-2 Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 2: Stahlbrücken.

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

EN 1993-4 Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 4: Tank- und Silobauwerke und Rohrleitungen.

EN 1993-5 Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 5: Pfähle und Spundwände.

EN 1993-6 Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten: Kranbahnträger.

1.1.2 Anwendungsbereich von EN 1993-1-2

(1) EN 1993-1-2 behandelt die Bemessung von Stahlkonstruktionen für die außergewöhnliche Situation einer Brandeinwirkung. Seine Anwendung ist in Verbindung mit EN 1993-1-1 und EN 1991-1-2 vorgesehen. EN 1993-1-2 beschränkt sich auf Unterschiede oder Ergänzungen zur Bemessung bei Normaltemperatur.

(2) EN 1993-1-2 behandelt ausschließlich vorbeugende Verfahren des Brandschutzes.

(3) EN 1993-1-2 gilt für Stahlkonstruktionen, für die lastabtragende Funktion im Brandfall gefordert wird, indem ein vorzeitiges Versagen des Tragwerks vermieden werden soll.

ANMERKUNG Dieser Teil enthält keine Regeln für raumabschließende Bauteile.

(4) EN 1993-1-2 liefert Grundsätze und Anwendungsregeln für die Bemessung von Tragwerken für bestimmte Anforderungen im Hinblick auf die Tragfähigkeit und die Leistungsklassen.

(5) EN 1993-1-2 gilt für Tragwerke oder Teile davon, die in den Anwendungsbereich von EN 1993-1 fallen und danach bemessen wurden.

(6) Die angegebenen Verfahren können auf die folgenden Baustähle angewendet werden: S235, S275, S355, S420 und S460 nach EN 10025 sowie alle Stahlgüten nach EN 10210 und EN 10219.

(7) Die angegebenen Verfahren sind ebenfalls auf kaltgeformte dünnwandige Bauteile im Anwendungsbereich von EN 1993-1-3 anwendbar.

(8) Die angegebenen Verfahren sind auf alle Stahlgüten anwendbar, für die Hochtemperatureigenschaften nach harmonisierten Europäischen Normen vorliegen.

(9) Die angegebenen Verfahren sind auch auf nichtrostende Stähle innerhalb des Anwendungsbereichs nach EN 1993-1-4 anwendbar.

ANMERKUNG Zum Feuerwiderstand von Stahl-Beton-Verbundkonstruktionen siehe EN 1994-1-2.

1.2 Normative Verweisungen

(1) Diese Europäische Norm enthält durch datierte oder undatierte Verweisungen Festlegungen aus anderen Publikationen. Diese normativen Verweisungen sind an den jeweiligen Stellen im Text zitiert, und die Publikationen sind nachstehend aufgeführt. Bei datierten Verweisungen gehören spätere Änderungen oder Überarbeitungen dieser Publikationen nur zu dieser Europäischen Norm, falls sie durch Änderung oder Überarbeitung eingearbeitet sind. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe der in Bezug genommenen Publikation (einschließlich Änderungen).

EN 10025 (alle Teile), *Warmgewalzte Erzeugnisse aus Baustählen*

AC gestrichener Text AC

EN 10210-1, *Warmgefertigte Hohlprofile für den Stahlbau aus unlegierten Baustählen und aus Feinkornbaustählen — Teil 1: Technische Lieferbedingungen*

EN 10219-1, *Kaltgefertigte geschweißte Hohlprofile für den Stahlbau aus unlegierten Baustählen und aus Feinkornbaustählen — Teil 1: Technische Lieferbedingungen*

EN 1363-1, *Feuerwiderstandsprüfungen — Teil 1: Allgemeine Anforderungen*

EN 13501-2, *Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten — Teil 2: Klassifizierung mit den Ergebnissen aus den Feuerwiderstandsprüfungen, mit Ausnahme von Lüftungsanlagen*

CEN/TS 13381-1, *Prüfverfahren zur Bestimmung des Beitrages zum Feuerwiderstand von tragenden Bauteilen — Teil 1: Horizontal angeordnete Brandschutzbekleidungen*

ENV 13381-2, *Prüfverfahren zur Bestimmung des Beitrages zum Feuerwiderstand von tragenden Bauteilen — Teil 2: Vertikal angeordnete Brandschutzbekleidungen*

ENV 13381-4, *Prüfverfahren zur Bestimmung des Beitrages zum Feuerwiderstand von tragenden Bauteilen — Teil 4: Brandschutzmaßnahmen für Stahlbauteile*

EN 1990, *Eurocode — Grundlagen der Tragwerksplanung*

DIN EN 1993-1-2:2010-12
EN 1993-1-2:2005 + AC:2009 (D)

EN 1991-1-2, *Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke — Teil 1-2: Allgemeine Einwirkungen; Brandeinwirkungen auf Tragwerke*

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

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

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

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

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

ISO 1000, *SI units and recommendations for the use of their multiples and of certain other units*

1.3 Annahmen

(1) Zusätzlich zu den allgemeinen Annahmen nach EN 1990 gilt die folgende Annahme:

Jede berücksichtigte vorbeugende oder abwehrende Brandschutzmaßnahme wird ausreichend gewartet.

1.4 Unterscheidung nach Grundsätzen und Anwendungsregeln

(1) Es gelten die Regelungen nach EN 1990, 1.4 und EN 1991-1-2, 1.4.

1.5 Begriffsbestimmungen

(1) Es gelten die Regeln nach EN 1990, 1.5.

(2) Die folgenden Begriffsbestimmungen werden in dieser Europäischen Norm mit der folgenden Bedeutung verwendet:

1.5.1 Besondere Begriffe zur allgemeinen Bemessung

1.5.1.1

ausgesteifter Rahmen [en: braced frame]

ein Rahmen darf als ausgesteift klassifiziert werden, wenn seine Seitensteifigkeit durch ein Aussteifungssystem gegen Horizontallasten in der Rahmenebene gewährleistet wird. Das Aussteifungssystem sollte ausreichend steif sein, um annehmen zu dürfen, dass alle Horizontalkräfte aufgenommen werden.

1.5.1.2

Teiltragwerk [en: part of structure]

Teil eines Gesamttragwerks mit entsprechenden Lagerungs- und Randbedingungen

1.5.2 Begriffe zu thermischen Einwirkungen

1.5.2.1

Einheits-Temperaturzeitkurve [en: standard temperature-time curve]

nominelle Temperaturzeitkurve, die in EN 13501-2 definiert ist, um einen voll entwickelten Brand in einem Brandabschnitt abzubilden

1.5.3 Begriffe mit Bezug auf Baustoffe und Bauprodukte

1.5.3.1

Kohlenstoffstahl [en: carbon steel]

Stahlsorten nach EN 1993-1-1 mit Ausnahme von nichtrostendem Stahl

1.5.3.2

Brandschutzmaterial [en: fire protection material]

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

1.5.3.3

nichtrostender Stahl [en: stainless steel]

Stahl, der in EN 1993-1-4 behandelt wird

1.5.4 Begriffe mit Bezug auf Wärmeübertragungsberechnungen

1.5.4.1

Konfigurationsfaktor (Einstrahlzahl) [en: configuration factor]

der Konfigurationsfaktor für die Wärmestrahlung der Oberfläche A auf die Oberfläche B ist der Anteil der diffus von der Oberfläche A abgestrahlten Wärmeenergie, die auf der Oberfläche B einfällt

1.5.4.2

konvektiver Wärmeübergangskoeffizient [en: convective heat transfer coefficient]

konvektiver Wärmefluss zum Bauteil hin bezogen auf die Differenz zwischen Umgebungs- und Oberflächentemperatur

1.5.4.3

Emissivität [en: emissivity]

entspricht der Absorptivität einer Oberfläche, die das Verhältnis der von der betrachteten Oberfläche absorbierten Strahlung zu der von einer schwarzen Oberfläche absorbierten Strahlung angibt

1.5.4.4

Netto-Wärmestrom [en: net heat flux]

von Bauteilen absorbierte Energie pro Zeiteinheit und Oberfläche

1.5.4.5

Profilmfaktor [en: section factor]

für unbedeckte Stahlbauteile das Verhältnis der brandbeanspruchten Oberfläche zum Stahlvolumen und für bedeckte Stahlbauteile das Verhältnis der inneren Oberfläche der brandbeanspruchten Bekleidung zum Stahlvolumen

1.5.4.6

Profilmfaktor des das Profil umschließenden Kastens [en: box value of section factor]

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

1.5.5 Begriffe mit Bezug auf die Berechnung des Tragverhaltens

1.5.5.1

kritische Temperatur von Baustahl [en: critical temperature of a structural steel element]

Stahltemperatur, bei der unter einer gegebenen Belastung und gleichförmiger Temperaturverteilung Versagen in einem Stahlbauteil erwartet wird

1.5.5.2

effektive Fließgrenze [en: effective yield strength]

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

DIN EN 1993-1-2:2010-12
EN 1993-1-2:2005 + AC:2009 (D)

1.6 Symbole

(1) Für die Anwendung von EN 1993-1-2 gelten die folgenden Formelzeichen:

Lateinische Großbuchstaben

- A_i Teilfläche eines Querschnittes mit der Temperatur θ_i ;
- A_m Bauteiloberfläche bezogen auf die Einheitslänge;
- A_m / V Profilkoeffizient des ungeschützten Stahlbauteils;
- C_i Schutzbeiwert der Bauteilseite i ;
- A_p entsprechende Oberfläche des Brandschutzmaterials bezogen auf die Einheitslänge [AC] m^2/m [AC];
- E_a Elastizitätsmodul bei Normaltemperatur;
- $E_{a,\theta}$ Steigung im linear-elastischen Bereich von Stahl unter erhöhter Temperatur θ_a ;
- $F_{fi,d}$ Bemessungswert der Beanspruchung im Brandfall nach EN 1991-1-2, einschließlich der Temperaturdehnung und -verformung;
- $F_{b,Rd}$ Bemessungswert der Tragfähigkeit von Schrauben;
- $F_{b,t,Rd}$ Bemessungswert der Tragfähigkeit von Schrauben im Brandfall;
- $F_{v,Rd}$ Bemessungswert der Schubtragfähigkeit von Schrauben je Scherfuge unter der Annahme, dass die Scherfuge im Schaft liegt;
- $F_{v,t,Rd}$ Bemessungswert der Schubtragfähigkeit von Schrauben im Brandfall;
- $F_{w,Rd}$ Bemessungswert der Kehlnahtfestigkeit pro Längeneinheit;
- $F_{w,t,Rd}$ Bemessungswert der Kehlnahtfestigkeit pro Längeneinheit im Brandfall;
- G_k charakteristischer Wert einer ständigen Einwirkung;
- I_f Wärmestrom durch Strahlung aus einer Öffnung;
- I_z Wärmestrom durch Strahlung von einer Flamme;
- $I_{z,i}$ Wärmestrom durch Strahlung von einer Flamme zu der Bauteilseite i einer Stütze;
- L Systemhöhe des betrachteten Stockwerkes;
- $M_{b,fi,t,Rd}$ Bemessungswert der Biegedrillknickbeanspruchbarkeit zum Zeitpunkt t ;
- $M_{fi,t,Rd}$ Bemessungswert der Momententragfähigkeit zum Zeitpunkt t ;
- $M_{fi,\theta,Rd}$ Bemessungswert der Momententragfähigkeit eines Querschnittes mit einer gleichmäßigen Temperatur θ_a , die der gleichmäßigen Temperatur θ_a im Querschnitt zum Zeitpunkt t entspricht. Die Momententragfähigkeit ist dabei nicht durch Auflagerungen beeinflusst;
- M_{Rd} plastische Momententragfähigkeit $M_{pl,Rd}$ des Bruttoquerschnitts bei Normaltemperatur oder die elastische Momententragfähigkeit $M_{el,Rd}$ des Bruttoquerschnitts bei Normaltemperatur;

- $N_{b,fi,t,Rd}$ Knickfestigkeit druckbeanspruchter Bauteile zum Zeitpunkt t ;
- N_{Rd} Bemessungswert der Tragfähigkeit des Bruttoquerschnitts $N_{pl,Rd}$ bei Berechnung für Normaltemperatur nach EN 1993-1-1;
- $N_{fi,\theta,Rd}$ Bemessungswert der Tragfähigkeit eines auf Zug beanspruchten Bauteils mit gleichmäßiger Temperatur θ_a ;
- $N_{fi,t,Rd}$ Bemessungswert der Tragfähigkeit zum Zeitpunkt t eines auf Zug beanspruchten Bauteils mit einer ungleichmäßigen Temperaturverteilung über den Querschnitt;
- $Q_{k,1}$ größte veränderliche Einwirkung;
- $R_{fi,d,t}$ Bemessungswert der Beanspruchbarkeit des Stahlbauteils im Brandfall zum Zeitpunkt t ;
- $R_{fi,d,0}$ Wert von $R_{fi,d,t}$ zum Zeitpunkt $t = 0$;
- T_f Temperatur des Brandes [K];
- T_o Flammentemperatur an der Öffnung [K];
- T_x Temperatur an der Flammenoberseite [813 K];
- T_z Temperatur der Flamme [K];
- $T_{z,1}$ Flammentemperatur [K] nach EN 1991-1-2, Anhang B, in Höhe der Trägerunterkante;
- $T_{z,2}$ Flammentemperatur [K] nach EN 1991-1-2, Anhang B, in Höhe der Trägeroberkante;
- V Volumen des Bauteils bezogen auf die Einheitslänge;
- $V_{fi,t,Rd}$ Bemessungswert der Querkraftbeanspruchbarkeit zum Zeitpunkt t ;
- V_{Rd} Bemessungswert der Querkraftbeanspruchbarkeit des Bruttoquerschnitts bei Normaltemperatur nach EN 1993-1-1;
- X_k charakteristische Wert einer Festigkeits- oder Verformungseigenschaft (im Allgemeinen f_k oder E_k) bei Bemessung für Normaltemperatur nach EN 1993-1-1;

Lateinische Kleinbuchstaben

- a_z Absorptionswert der Flammen;
- c spezifische Wärmekapazität;
- c_a spezifische Wärmekapazität von Stahl;
- c_p temperaturunabhängige spezifische Wärmekapazität des Brandschutzmaterials;
- d_i Querschnittsabmessung der Bauteilseite i ;
- d_p Dicke des Brandschutzmaterials;
- d_f Dicke des Brandschutzmaterials ($d_f = 0$ bei ungeschützten Bauteilen);
- $f_{p,\theta}$ Proportionalitätsgrenze von Stahl bei erhöhter Temperatur θ_a ;

DIN EN 1993-1-2:2010-12
EN 1993-1-2:2005 + AC:2009 (D)

- f_y Fließgrenze bei 20 °C;
- $f_{y,\theta}$ effektive Fließgrenze von Stahl bei erhöhter Temperatur θ_a ;
- $f_{y,i}$ die nominale Fließgrenze f_y der Teilfläche A_i , auf der Druckseite positiv und auf der Zugseite negativ;
- $f_{u,\theta}$ Bruchfestigkeit unter erhöhter Temperatur und bei Berücksichtigung der Verfestigung;
- $\dot{h}_{net,d}$ Bemessungswert des Netto-Wärmestroms bezogen auf die Fläche;
- h_z Höhe der Flammenoberseite über der Trägerunterkante;
- i Bezeichnung der Stützensseite (1), (2), (3) oder (4);
- $k_{b,\theta}$ Abminderungsfaktor für die entsprechende Schraubentemperatur;
- $k_{E,\theta}$ Abminderungsfaktor nach Abschnitt 3 für die Steigung im linear elastischen Bereich bei der Stahltemperatur θ_a zum Zeitpunkt t ;
- $k_{E,\theta,com}$ Abminderungsfaktor nach Abschnitt 3 für die Steigung im linear elastischen Bereich bei maximaler Temperatur im Druckflansch $\theta_{a,com}$ zum Zeitpunkt t ;
- k_{sh} Korrekturfaktor für den Abschattungseffekt;
- K_θ relativer Wert der Festigkeits- oder Verformungseigenschaft bei erhöhter Temperatur θ_a ;
- k_θ Abminderungsfaktor für eine Festigkeits- oder Verformungseigenschaft ($X_{k,\theta}/X_k$), in Abhängigkeit von der Materialtemperatur, siehe Abschnitt 3;
- $k_{w,\theta}$ Abminderungsfaktor für die entsprechende Schweißnahttemperatur;
- $k_{y,\theta}$ Abminderungsfaktor der Fließspannung von Stahl bei der Temperatur θ_a zum Zeitpunkt t , siehe Abschnitt 3;
- $k_{y,\theta,com}$ Abminderungsfaktor nach Abschnitt 3 für die Fließgrenze bei maximaler Temperatur im Druckflansch $\theta_{a,com}$ zum Zeitpunkt t ;
- $k_{y,\theta,i}$ Abminderungsfaktor der Fließspannung von Stahl bei der Temperatur θ der Teilfläche i ;
- $k_{y,\theta,max}$ Abminderungsfaktor für die Fließgrenze von Stahl unter der maximal auftretenden Stahltemperatur $\theta_{a,max}$ zum Zeitpunkt t , siehe Abschnitt 3;
- $k_{y,\theta,web}$ Abminderungsfaktor für die Fließgrenze von Stahl bei der Stahltemperatur θ_{web} , siehe Abschnitt 3;
- k_y Überlagerungsfaktor;
- k_z Überlagerungsfaktor;
- k_{LT} Überlagerungsfaktor;
- m Zahl der Öffnungen auf Seite m ;
- n Zahl der Öffnungen auf Seite n ;
- l Länge bei 20 °C oder Abstand einer Flamme von einer Öffnung, entlang der Flammenachse gemessen;
- l_{fi} Knicklänge einer Stütze bei einer Bemessung im Brandfall;

- s die horizontale Entfernung einer Stützenachse von der Wand des Brandabschnitts;
 t Dauer der Brandbeanspruchung;
 w_i Breite der Öffnung;
 z_i Abstand des Schwerpunktes der Teilfläche A_i von der plastische Nulllinie;

Griechische Großbuchstaben

- Δt Zeitintervall;
 Δl Ausdehnung infolge Temperatur;
 $\Delta \theta_{g,t}$ Anstieg der Umgebungstemperatur während des Zeitintervalls Δt [K];
 $\phi_{r,i}$ Konfigurationsfaktor einer Bauteilseite i zu einer Öffnung;
 ϕ_r Gesamtkonfigurationsfaktor zur Berechnung der Wärmeübertragung durch Strahlung aus einer Öffnung;
 ϕ_z Gesamtkonfigurationsfaktor für die Berechnung der Wärmestrahlung einer Flamme;
 $\phi_{z,i}$ Konfigurationsfaktor der Bauteilseite i für die Flamme;
 $\phi_{z,m}$ Gesamtkonfigurationsfaktor der Stütze für die Wärmestrahlung der Flammen auf der Seite m ;
 $\phi_{z,n}$ Gesamtkonfigurationsfaktor der Stütze für die Wärmestrahlung der Flammen auf der Seite n ;

Griechische Kleinbuchstaben

- α konvektive Wärmeübergangskoeffizient;
 β_M Anpassungsfaktor für den Momentenverlauf;
 γ_G Teilsicherheitsbeiwert für ständige Einwirkungen;
 γ_{M2} Teilsicherheitsbeiwert bei Normaltemperatur (Verbindungen);
 $\gamma_{M,fi}$ Teilsicherheitsbeiwert unter Brandbedingungen für die entsprechende Materialeigenschaft;
 $\gamma_{Q,1}$ Teilsicherheitsbeiwert für die veränderliche Einwirkung 1;
 ε_f Emissionswert einer Öffnung;
 ε_z Emissionswert der Flamme;
 $\varepsilon_{z,m}$ Gesamtemissionswert der Flammen auf der Seite m eines Bauteils;
 $\varepsilon_{z,n}$ Gesamtemissionswert der Flammen auf der Seite n eines Bauteils;
 ξ Abminderungsfaktor für ungünstige ständige Einwirkungen G ;
 η_{fi} Abminderungsfaktor der Bemessungslasten im Brandfall;
 θ Temperatur;

DIN EN 1993-1-2:2010-12
EN 1993-1-2:2005 + AC:2009 (D)

| | |
|-----------------|--|
| θ_a | Stahltemperatur [$^{\circ}\text{C}$]; |
| $\theta_{a,cr}$ | kritische Stahltemperatur; |
| $\theta_{g,t}$ | Temperatur der umgebenden Brandgase zum Zeitpunkt t ; |
| θ_{web} | mittlere Temperatur im Steg; |
| θ_i | Temperatur der Teilfläche A_i ; |
| κ | Anpassungsfaktor; |
| κ_1 | Anpassungsfaktors für eine ungleichmäßige Temperaturverteilung über den Querschnitt; |
| κ_2 | Anpassungsfaktors für eine ungleichmäßige Temperaturverteilung entlang des Trägers; |
| λ | Wärmeleitfähigkeit; |
| λ_i | Flammdicke für eine Öffnung i ; |
| λ_p | Wärmeleitfähigkeit des Brandschutzsystems; |
| λ_f | effektive Wärmeleitfähigkeit des Brandschutzmaterials; |
| μ_0 | Ausnutzungsgrad zum Zeitpunkt $t =$; |
| σ | Stefan-Boltzmann-Konstante [$5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$]; |
| ρ_a | Rohdichte von Stahl; |
| ρ_p | Rohdichte des Brandschutzsystems; |
| χ_{fi} | Abminderungsfaktor für Biegeknicken im Brandfall; |
| $\chi_{LT,fi}$ | Abminderungsfaktor für Biegedrillknicken im Brandfall; |
| $\chi_{min,fi}$ | kleinster Abminderungsfaktor von $\chi_{y,fi}$ und $\chi_{z,fi}$; |
| $\chi_{z,fi}$ | Abminderungsfaktor für Biegeknicken um die z-Achse im Brandfall; |
| $\chi_{y,fi}$ | Abminderungsfaktor für Biegeknicken um die y-Achse im Brandfall; |
| ψ_{fi} | Kombinationsbeiwert für häufige Einwirkungen, gegeben durch $\psi_{1,1}$ oder $\psi_{2,1}$. |

2 Grundlagen der Bemessung

2.1 Anforderungen

2.1.1 Grundlegende Anforderungen

AC (1)P Wenn Tragfähigkeit im Brandfall gefordert wird, müssen Stahltragwerke so konstruiert und bemessen werden, dass sie ihre Tragfunktion während der maßgebenden Brandeinwirkung erfüllen. **AC**

(2) Es sollten Verformungskriterien für die lastabtragende Konstruktion verwendet werden, wenn Schutzziele oder Anforderungen an raumabschließende Bauteile dies erfordern.

(3) Mit Ausnahme von (2) ist es nicht erforderlich, die Verformungen der lastabtragenden Konstruktion zu berücksichtigen, wenn, soweit zutreffend:

- die Wirksamkeit von Schutzmaßnahmen nach 3.4.3 nachgewiesen wird und
- die raumabschließenden Bauteile die Anforderungen bei einer nominalen Brandbeanspruchung erfüllen müssen.

2.1.2 Nominelle Brandbeanspruchung

(1) Bei Beanspruchung durch die Einheits-Temperaturzeitkurve sollten die Bauteile das Kriterium „R“ wie folgt erfüllen:

Nur lastabtragend: mechanischer Widerstand (Kriterium R).

(2) Es wird unterstellt, dass das Kriterium „R“ erfüllt ist, wenn die lastabtragende Funktion über die geforderte Dauer der Brandbeanspruchung erhalten bleibt.

(3) Bei Verwendung der Hydrocarbonkurve sollte das gleiche Kriterium verwendet werden. Jedoch sollte der Bezug auf diese spezielle Kurve durch die Buchstaben „HC“ deutlich gemacht werden.

2.1.3 Parametrische Brandbeanspruchung

(1) Die lastabtragende Funktion ist sichergestellt, wenn kein Versagen während der gesamten Brandeinwirkung einschließlich der Abkühlphase oder innerhalb einer geforderten Widerstandsdauer eintritt.

2.2 Einwirkungen

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

(2) In Ergänzung zu EN 1991-1-2 sollte die Emissivität der Baustahloberfläche mit 0,7 und die von nichtrostendem Stahl nach Anhang C mit 0,4 berücksichtigt werden.

2.3 Bemessungswerte der Materialeigenschaften

(1) Die Bemessungswerte der mechanischen Materialeigenschaften $X_{d,fi}$ (Festigkeit und Verformung) sind wie folgt definiert:

$$X_{d,fi} = k_{\theta} X_k / \gamma_{M,fi} \quad (2.1)$$

Dabei ist

X_k der charakteristische Wert einer Festigkeits- oder Verformungseigenschaft (im Allgemeinen f_k oder E_k) bei Bemessung für Normaltemperatur nach EN 1993-1-1;

k_{θ} der Abminderungsfaktor für eine Festigkeits- oder Verformungseigenschaft ($X_{k,\theta} / X_k$), in Abhängigkeit von der Materialtemperatur, siehe Abschnitt 3;

$\gamma_{M,fi}$ der Teilsicherheitsbeiwert der entsprechenden Materialeigenschaft im Brandfall.

ANMERKUNG Siehe Nationaler Anhang zum Teilsicherheitsbeiwert der mechanischen Materialeigenschaften. Die Verwendung von $\gamma_{M,fi} = 1,0$ wird empfohlen.

(2) Die Bemessungswerte der thermischen Materialeigenschaften $X_{d,fi}$ sind wie folgt definiert:

DIN EN 1993-1-2:2010-12
EN 1993-1-2:2005 + AC:2009 (D)

— wenn sich eine Vergrößerung der Eigenschaft günstig auf die Sicherheit auswirkt:

$$X_{d,fi} = X_{k,\theta} / \gamma_{M,fi} \quad (2.2a)$$

— wenn sich eine Vergrößerung der Eigenschaft ungünstig auf die Sicherheit auswirkt:

$$X_{d,fi} = \gamma_{M,fi} X_{k,\theta} \quad (2.2b)$$

Dabei ist

$X_{k,\theta}$ der Wert einer Materialeigenschaft im Brandfall, im Allgemeinen abhängig von der Materialtemperatur, siehe Abschnitt 3,

$\gamma_{M,fi}$ der Teilsicherheitsbeiwert der entsprechenden Materialeigenschaft im Brandfall.

ANMERKUNG Zu den Teilsicherheitsbeiwerten der thermischen Materialeigenschaften in der jeweiligen Brandfallsituation, siehe Nationaler Anhang. Die Verwendung von $\gamma_{M,fi} = 1,0$ wird empfohlen.

2.4 Nachweisverfahren

2.4.1 Allgemeines

(1) Das für die Berechnung und Bemessung nach dieser Europäischen Norm herangezogene Tragwerksmodell sollte das erwartete Tragverhalten der Konstruktion im Brandfall abbilden.

ANMERKUNG Wenn die in dieser Europäischen Norm angegebenen Regeln ausschließlich für Brandbeanspruchungen nach der Einheits-Temperaturzeitkurve (ETK) gültig sind, dann wird darauf in den entsprechenden Abschnitten hingewiesen.

AC (2)P Es muss nachgewiesen werden, dass für die maßgebliche Dauer t der Brandeinwirkung gilt:

$$E_{fi,d} \leq R_{fi,d,t} \quad \text{AC} (2.3)$$

Dabei ist

$E_{fi,d}$ der Bemessungswert der Einwirkungen im Brandfall nach EN 1991-1-2, einschließlich der Wirkung aus Temperaturdehnung und -verformung;

$R_{fi,d,t}$ der zugehörige Bemessungswert des Widerstands im Brandfall.

(3) Die Tragwerksbemessung im Brandfall sollte nach EN 1990, 5.1.4 (2), durchgeführt werden.

ANMERKUNG 1 — Für die Bauteilberechnung, siehe 2.4.2;
 — für die Berechnung von Teilen des Tragwerkes, siehe 2.4.3;
 — für die Gesamttragwerksberechnung, siehe 2.4.4.

ANMERKUNG 2 Für den Nachweis der Anforderungen an den Feuerwiderstand bei Einheits-Temperaturzeitkurve ist eine Bauteilberechnung ausreichend.

(4) Alternativ zu den Berechnungsverfahren darf eine Bemessung auf der Grundlage von Ergebnissen von Brandversuchen durchgeführt werden. Außerdem ist eine Bemessung durch Kombination von Berechnungen und Ergebnissen von Brandversuchen zulässig.

2.4.2 Bauteilberechnung

(1) Beanspruchungen sollten für den Zeitpunkt $t = 0$ unter Verwendung der Kombinationsbeiwerte $\psi_{1,1}$ oder $\psi_{2,1}$ nach EN 1991-1-2, 4.3.1, bestimmt werden.

(2) Als Vereinfachung von (1) dürfen die Beanspruchungen $E_{d,\text{fi}}$ der Berechnung des Gesamttragwerks für Normaltemperatur entnommen werden, mit:

$$E_{d,\text{fi}} = \eta_{\text{fi}} E_d \quad (2.4)$$

Dabei ist

E_d der Bemessungswert der entsprechenden Schnittgröße bei Normaltemperatur gerechnet für die Grundkombination der Einwirkungen (siehe EN 1990);

η_{fi} der Abminderungsfaktor der Bemessungslasten für den Brandfall.

(3) Der Abminderungsfaktor η_{fi} für die Lastkombination (6.10) in EN 1990 sollte berechnet werden mit

$$\eta_{\text{fi}} = \frac{G_k + \psi_{\text{fi}} Q_{k,1}}{\gamma_G G_k + \gamma_{Q,1} Q_{k,1}} \quad (2.5)$$

oder bei Anwendung der Lastkombinationen (6.10a) und (6.10b) in EN 1990 als der kleinste Wert aus den beiden folgenden Gleichungen:

$$\eta_{\text{fi}} = \frac{G_k + \psi_{\text{fi}} Q_{k,1}}{\gamma_G G_k + \gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1}} \quad (2.5a)$$

$$\eta_{\text{fi}} = \frac{G_k + \psi_{\text{fi}} Q_{k,1}}{\xi \gamma_G G_k + \gamma_{Q,1} Q_{k,1}} \quad (2.5b)$$

Dabei ist

$Q_{k,1}$ die führende veränderliche Einwirkung;

G_k der charakteristische Wert einer ständigen Einwirkung;

γ_G der Teilsicherheitsbeiwert für ständige Einwirkungen;

$\gamma_{Q,1}$ der Teilsicherheitsbeiwert für die veränderliche Einwirkung 1;

ψ_{fi} der Kombinationsbeiwert für Einwirkungen, gegeben durch $\psi_{1,1}$ oder $\psi_{2,1}$, siehe EN1991-1-2;

ξ der Abminderungsfaktor für ungünstige ständige Einwirkungen G .

ANMERKUNG 1 Ein Beispiel für die Variation des Abminderungsfaktors η_{fi} in Abhängigkeit von dem Lastverhältnis $Q_{k,1}/G_k$ für verschiedene Größen des Kombinationsbeiwertes $\psi_{\text{fi}} = \psi_{1,1}$ nach Gleichung (2.5) ist in Bild 2.1 angegeben; dabei gelten die folgenden Annahmen: $\gamma_G = 1,35$ und $\gamma_Q = 1,5$. Die Teilsicherheitsbeiwerte werden in den entsprechenden Nationalen Anhängen von EN 1990 angegeben. Die Gleichungen (2.5a) und (2.5b) ergeben leicht erhöhte Werte.

DIN EN 1993-1-2:2010-12
EN 1993-1-2:2005 + AC:2009 (D)

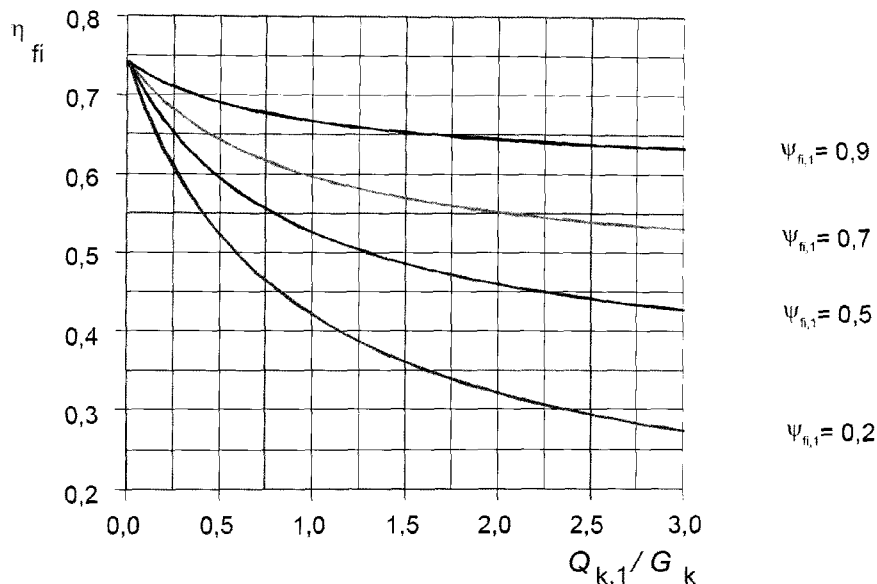


Bild 2.1 — Abhängigkeit des Abminderungsfaktors η_{fi} vom Verhältnis von $Q_{k,1}/G_k$

ANMERKUNG 2 Als Vereinfachung wird die Verwendung von $\eta_{fi} = 0,65$ empfohlen. Ausgenommen davon sind aufgebrachte Lasten der Kategorie E nach EN 1991-1-1 (Flächen, die zur Lagerung von Waren vorgesehen sind, einschließlich der Zufahrtsflächen), für die der Wert 0,7 empfohlen wird.

(4) Es brauchen für die Schnittgrößen nur die Folgen von Temperaturgradienten über den Querschnitt berücksichtigt zu werden. Die Folgen der Temperaturexpansion in Bauteilachse dürfen vernachlässigt werden.

(5) Die Randbedingungen an den Auflagerpunkten und Enden von Bauteilen dürfen als konstant über die Dauer der Brandbeanspruchung angenommen werden.

(6) Die vereinfachten oder erweiterten Berechnungsverfahren nach 4.2 und 4.3 sind für den Nachweis von Bauteilen im Brandfall geeignet.

2.4.3 Berechnung von Teiltragwerken

(1) Es gilt 2.4.2 (1).

(2) Alternativ zur Durchführung einer Gesamttragwerksberechnung für den Brandfall zum Zeitpunkt $t = 0$ dürfen die Schnittgrößen an den Auflagern und Rändern des Teiltragwerks aus der Berechnung bei Normaltemperatur nach 2.4.2 ermittelt werden.

(3) Das zu untersuchende Teiltragwerk sollte unter Berücksichtigung der möglichen Temperaturdehnungen und -verformungen in der Weise festgelegt werden, dass die Wechselwirkungen mit anderen Teilen des Gesamttragwerks näherungsweise durch zeitunabhängige Lagerungs- und Randbedingungen während der Brandbeanspruchung beschrieben werden können.

(4) Bei der Berechnung des zu untersuchenden Teiltragwerkes sollten die maßgebende Versagensart bei Brandbeanspruchung, die temperaturabhängigen Materialeigenschaften und Bauteilsteifigkeiten und die Temperaturdehnungen und -verformungen (indirekte Brandeinwirkung) berücksichtigt werden.

(5) Die Lagerungsbedingungen sowie Schnittgrößen an den Rändern des Teiltragwerkes dürfen im Brandfall als unveränderlich angesehen werden.

2.4.4 Gesamttragwerksberechnung

(1) Wird eine Gesamttragwerksberechnung im Brandfall durchgeführt, sollten die maßgebende Versagensart bei Brandbeanspruchung, die temperaturabhängigen Materialeigenschaften und Bauteilsteifigkeiten sowie die Auswirkungen von Temperaturdehnungen und -verformungen (indirekte Brandeinwirkungen) bei der Berechnung zu berücksichtigen.

3 Materialeigenschaften

3.1 Allgemeines

(1) Soweit die Werte der Materialeigenschaften nicht als Bemessungswerte angegeben wurden, sollten die in diesem Abschnitt angegebenen Werte als charakteristische Werte betrachtet werden.

(2) Die mechanischen Werkstoffeigenschaften von Stahl bei 20 °C sollten EN 1993-1-1 entnommen werden.

3.2 Mechanische Werkstoffeigenschaften von Kohlenstoffstahl

3.2.1 Festigkeits- und Verformungseigenschaften

(1) Bei Erwärmungsgeschwindigkeiten zwischen 2 K/min und 50 K/min sind die Festigkeits- und Verformungseigenschaften von Stahl unter erhöhter Temperatur der Spannungs-Dehnungsbeziehung in Bild 3.1 zu entnehmen.

ANMERKUNG Die Regeln dieser Norm unterstellen, dass die Erwärmungsgeschwindigkeit innerhalb dieser Grenzen liegt.

(2) Die Spannungs-Dehnungsbeziehung nach Bild 3.1 sollte für die Berechnung der Tragfähigkeiten bei Zug-, Druck-, Momenten- und Schubbeanspruchung verwendet werden.

(3) Tabelle 3.1 enthält die Abminderungsfaktoren für die Spannungs-Dehnungsbeziehung von Stahl unter erhöhter Temperatur nach Bild 3.1. Diese Abminderungsfaktoren sind wie folgt definiert:

— effektive Fließgrenze, relativ zur Fließgrenze bei 20 °C: $k_{y,\theta} = f_{y,\theta} / f_y$

— Proportionalitätsgrenze, relativ zur Fließgrenze bei 20 °C: $k_{p,\theta} = f_{p,\theta} / f_y$

— Steigung im elastischen Bereich, relativ zu der Steigung bei 20 °C: $k_{E,\theta} = E_{a,\theta} / E_a$

ANMERKUNG Bild 3.2 stellt die Abhängigkeit dieser Abminderungsfaktoren von der Temperatur dar.

(4) Alternativ darf bei Temperaturen unter 400 °C die in (1) angegebene Spannungs-Dehnungsbeziehung um die in Anhang A beschriebene Verfestigung erweitert werden, vorausgesetzt, es tritt kein frühzeitiges lokales oder globales Stabilitätsversagen auf.

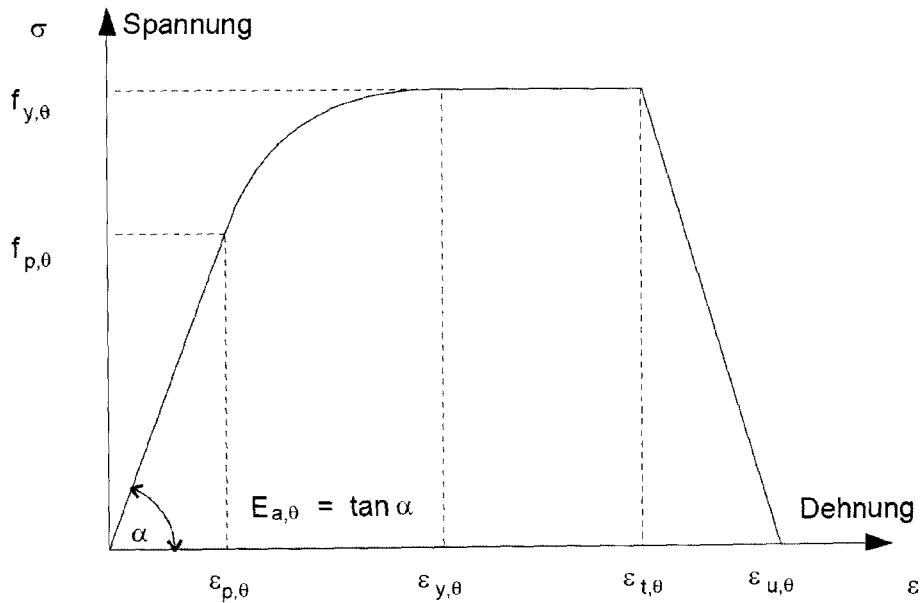
3.2.2 Rohdichte

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

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

DIN EN 1993-1-2:2010-12
EN 1993-1-2:2005 + AC:2009 (D)

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



Legende

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

Bild 3.1 — Spannungs-Dehnungsbeziehung von Stahl unter erhöhter Temperatur

Tabelle 3.1 — Abminderungsfaktoren für die Spannungs-Dehnungsbeziehung von Kohlenstoffstahl unter erhöhter Temperatur

| Stahl- temperatur θ_a | Abminderungsfaktoren bei Temperatur θ_a relativ zu dem Wert f_y oder E_a bei 20 °C | | |
|------------------------------------|---|--|---|
| | Abminderungsfaktor (relativ zu f_y) für die effektive Fließgrenze $k_{y,\theta} = f_{y,\theta} / f_y$ | Abminderungsfaktor (relativ zu f_y) für die Proportionalitätsgrenze $k_{p,\theta} = f_{p,\theta} / f_y$ | Abminderungsfaktor (relativ zu E_a) für die Steigung im elastischen Bereich $k_{E,\theta} = E_{a,\theta} / E_a$ |
| 20 °C | 1,000 | 1,000 | 1,000 |
| 100 °C | 1,000 | 1,000 | 1,000 |
| 200 °C | 1,000 | 0,807 | 0,900 |
| 300 °C | 1,000 | 0,613 | 0,800 |
| 400 °C | 1,000 | 0,420 | 0,700 |
| 500 °C | 0,780 | 0,360 | 0,600 |
| 600 °C | 0,470 | 0,180 | 0,310 |
| 700 °C | 0,230 | 0,075 | 0,130 |
| 800 °C | 0,110 | 0,050 | 0,090 |
| 900 °C | 0,060 | 0,0375 | 0,0675 |
| 1 000 °C | 0,040 | 0,0250 | 0,0450 |
| 1 100 °C | 0,020 | 0,0125 | 0,0225 |
| 1 200 °C | 0,000 | 0,0000 | 0,0000 |

ANMERKUNG Zwischenwerte dürfen linear interpoliert werden.

DIN EN 1993-1-2:2010-12
EN 1993-1-2:2005 + AC:2009 (D)

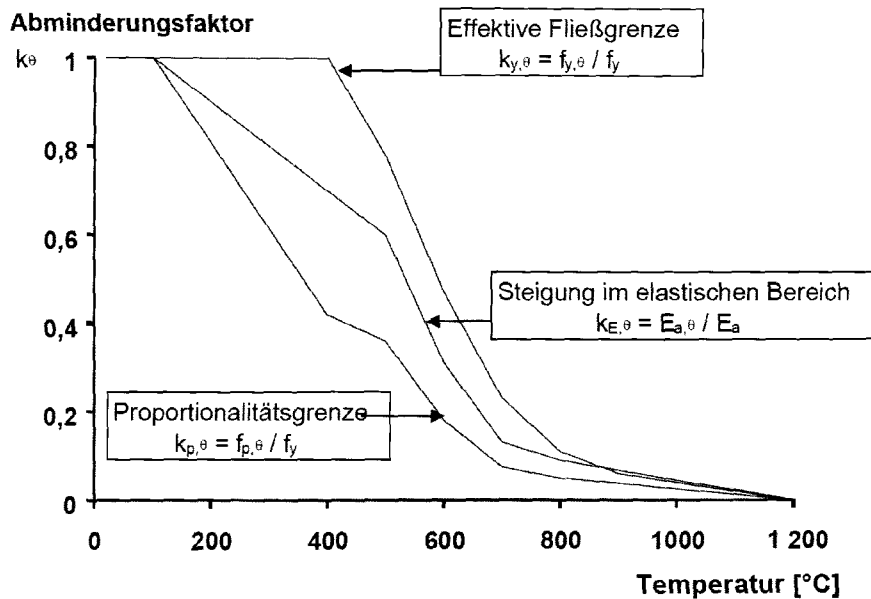


Bild 3.2 — Abminderungsfaktoren für die Spannungs-Dehnungsbeziehung von Kohlenstoffstahl unter erhöhten Temperaturen

3.3 Mechanische Werkstoffeigenschaften von nichtrostendem Stahl

(1) Die mechanischen Werkstoffeigenschaften von nichtrostendem Stahl können Anhang C entnommen werden.

3.4 Thermische Werkstoffeigenschaften

3.4.1 Kohlenstoffstahl

3.4.1.1 Thermische Dehnung

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

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

$$\Delta l / l = 1,2 \times 10^{-5} \theta_a + 0,4 \times 10^{-8} \theta_a^2 - 2,416 \times 10^{-4} \quad (3.1a)$$

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

$$\Delta l / l = 1,1 \times 10^{-2} \quad (3.1b)$$

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

$$\Delta l / l = 2 \times 10^{-5} \theta_a - 6,2 \times 10^{-3} \quad (3.1c)$$

Dabei ist

l die Länge bei 20 °C ;

Δl die Ausdehnung infolge Temperatur;

θ_a die Stahltemperatur [°C].

ANMERKUNG Die Abhängigkeit der Temperaturdehnung von der Temperatur ist in Bild 3.3 dargestellt.

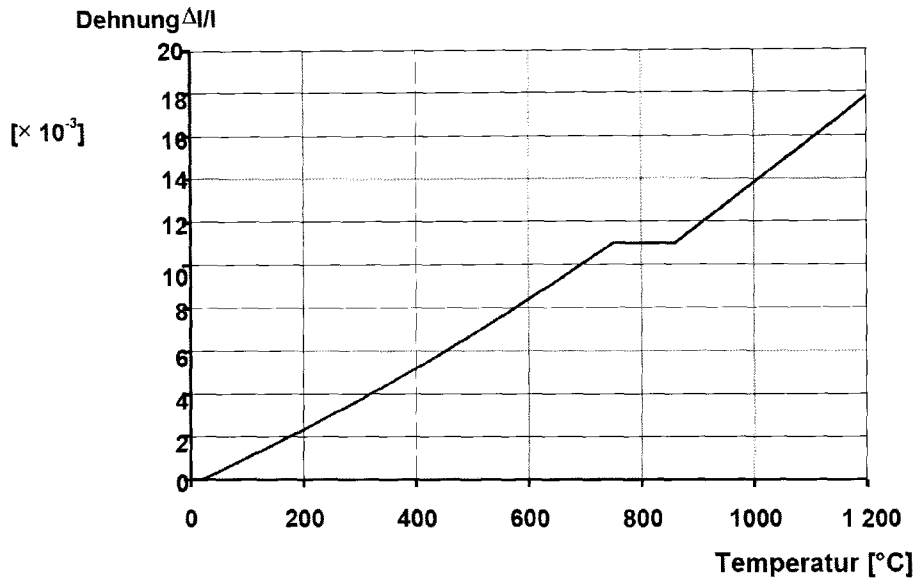


Bild 3.3 — Thermische Dehnung von Kohlenstoffstahl in Abhängigkeit von der Temperatur

3.4.1.2 Spezifische Wärmekapazität

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

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

$$c_a = 425 + 7,73 \times 10^{-1} \theta_a - 1,69 \times 10^{-3} \theta_a^2 + 2,22 \times 10^{-6} \theta_a^3 \text{ J/kgK} \quad (3.2a)$$

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

$$c_a = 666 + \frac{13002}{738 - \theta_a} \text{ J/kgK} \quad (3.2b)$$

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

$$c_a = 545 + \frac{17820}{\theta_a - 731} \text{ J/kgK} \quad (3.2c)$$

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

$$c_a = 650 \text{ J/kgK} \quad (3.2d)$$

Dabei ist

θ_a die Stahltemperatur [°C].

ANMERKUNG Die Abhängigkeit der spezifischen Wärmekapazität von der Temperatur ist in Bild 3.4 dargestellt.

DIN EN 1993-1-2:2010-12
EN 1993-1-2:2005 + AC:2009 (D)

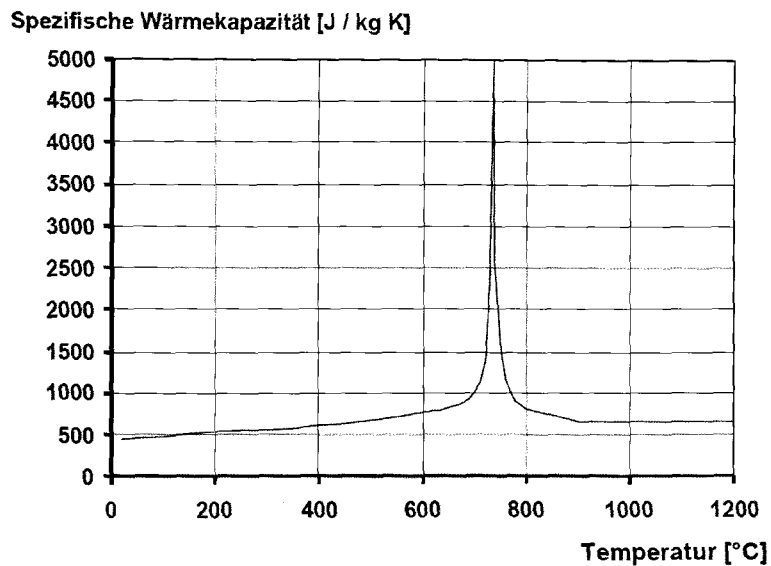


Bild 3.4 — Spezifische Wärmekapazität von Kohlenstoffstahl in Abhängigkeit von der Temperatur

3.4.1.3 Wärmeleitfähigkeit

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

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

$$\lambda_a = 54 - 3,33 \times 10^{-2} \theta_a \text{ W/mK} \quad (3.3a)$$

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

$$\lambda_a = 27,3 \text{ W/mK} \quad (3.3b)$$

Dabei ist

θ_a die Stahltemperatur [°C].

ANMERKUNG Die Abhängigkeit der Wärmeleitfähigkeit von der Temperatur ist in Bild 3.5 dargestellt.

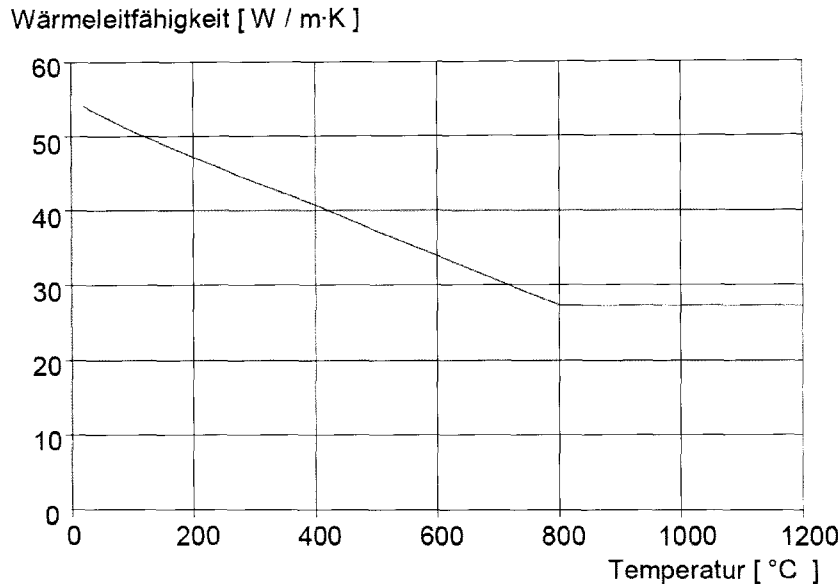


Bild 3.5 — Wärmeleitfähigkeit von Kohlenstoffstahl in Abhängigkeit von der Temperatur

3.4.2 Nichtrostender Stahl

(1) Die thermischen Werkstoffeigenschaften von nichtrostendem Stahl können Anhang C entnommen werden.

3.4.3 Brandschutzmaterialien

(1) Die Eigenschaften und die Wirkung von Brandschutzmaterialien, die bei der Bemessung angesetzt werden, sollten mit den entsprechenden Prüfverfahren nach CEN/TS 13381-1, ENV 13381-2 oder ENV 13381-4 bestimmt werden.

ANMERKUNG Diese Normen enthalten die Anforderung, dass das Brandschutzmaterial während der maßgebenden Brandbeanspruchung zusammenhalten muss und nicht abfallen darf.

4 Tragwerksbemessung für den Brandfall

4.1 Allgemeines

(1) Dieser Abschnitt enthält Regeln für Stahlkonstruktionen, die:

- ungeschützt,
- durch Brandschutzmaterialien wärme gedämmt,
- durch Wärmeschilde geschützt

sein können.

ANMERKUNG Beispiele für andere Schutzmaßnahmen sind Wasserfüllung oder teilweiser Schutz in Wänden und Decken.

(2) Für die Bestimmung der Feuerwiderstandsfähigkeit sind die folgenden Methoden zugelassen:

DIN EN 1993-1-2:2010-12
EN 1993-1-2:2005 + AC:2009 (D)

- einfache Berechnungsmodelle;
- erweiterte Berechnungsmodelle;
- Versuche.

ANMERKUNG Die Entscheidung über die Verwendung erweiterter Berechnungsverfahren in einem Land kann im Nationalen Anhang getroffen werden.

(3) Einfache Berechnungsmodelle sind vereinfachte Berechnungsverfahren für einzelne Bauteile auf der Grundlage konservativer Annahmen.

(4) Erweiterte Berechnungsmodelle sind Berechnungsverfahren, bei denen für bestimmte Anwendungsfälle mit realistischeren Annahmen gerechnet wird.

4.2 Einfache Bemessungsverfahren

4.2.1 Allgemeines

Ⓐ (1)P Es wird unterstellt, dass ein Bauteil seine lastabtragende Funktion zum Zeitpunkt t eines gegebenen Brandes erfüllt, wenn:

$$E_{fi,d} \leq R_{fi,d,t} \quad \text{Ⓐ (4.1)}$$

Dabei ist

$E_{fi,d}$ der Bemessungswert der maßgebenden Beanspruchung im Brandfall nach EN 1991-1-2;

$R_{fi,d,t}$ der entsprechende Bemessungswert der Beanspruchbarkeit des Stahlbauteils im Brandfall zum Zeitpunkt t

(2) Der Bemessungswert der Beanspruchbarkeit $R_{fi,d,t}$ zum Zeitpunkt t ist, üblicherweise mit der Annahme einer gleichmäßigen Temperaturverteilung im Querschnitt, in der Regel durch Veränderung der für Normaltemperatur nach EN 1993-1-1 berechneten Beanspruchbarkeit zu ermitteln, um die mechanischen Eigenschaften von Stahl bei erhöhter Temperatur zu berücksichtigen, siehe 4.2.3.

ANMERKUNG In 4.2.3 wird $R_{fi,d,t}$ zu $M_{fi,t,Rd}$, $N_{fi,t,Rd}$ etc. (einzeln oder kombiniert), und die entsprechenden Werte $M_{fi,Ed}$, $N_{fi,Ed}$ usw. stehen für $E_{fi,d}$.

(3) Wenn eine nicht gleichmäßige Temperaturverteilung verwendet wird, wird der Bemessungswert der Beanspruchbarkeit für Normaltemperatur nach EN1993-1-1 auf der Grundlage dieser Temperaturverteilung modifiziert.

(4) Alternativ zu (1) darf die Bemessung mit der Annahme einer gleichmäßigen Temperaturverteilung auf Temperaturebene durchgeführt werden, siehe 4.2.4.

(5) Das Nettoquerschnittsversagen an den Löchern für Befestigungsmittel braucht nicht berücksichtigt zu werden, wenn jedes Loch mit Befestigungsmitteln ausgefüllt ist, weil die Temperatur im Bereich von Verbindungen wegen der größeren Materialmenge geringer ist.

(6) Die Feuerwiderstandsfähigkeit einer geschraubten oder geschweißten Verbindung darf als ausreichend angesehen werden, wenn die folgenden Bedingungen erfüllt sind:

- 1) Der Feuerwiderstand $(d_f / \lambda_f)_c$ des Brandschutzes der Verbindung sollte gleich oder größer sein als der kleinste Wert des Feuerwiderstandes $(d_f / \lambda_f)_m$ des Brandschutzes der angeschlossenen Bauteile.

Dabei ist

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

λ_f die effektive Wärmeleitfähigkeit des Brandschutzmaterials.

- 2) Die Ausnutzung der Verbindung sollte gleich oder kleiner sein als die maximale Ausnutzung der angeschlossenen Bauteile.
- 3) Die Tragfähigkeit der Verbindung unter Raumtemperatur sollte den Regeln in EN 1993-1-8 folgen.

(7) Als Alternative zu dem in 4.2.1 (6) angegebenen Verfahren darf die Tragfähigkeit mit den in Anhang D angegebenen Verfahren bestimmt werden.

ANMERKUNG Als Vereinfachung darf der Vergleich der Ausnutzung der Verbindung mit der Ausnutzung der angeschlossenen Bauteile unter Raumtemperatur erfolgen.

4.2.2 Querschnittsklassifizierung

(1) Im Rahmen der Anwendung dieser vereinfachten Regeln darf die Querschnittsklassifizierung wie unter Normaltemperatur jedoch mit einem nach Gleichung (4.2) abgeminderten Wert für ε durchgeführt werden.

$$\varepsilon = 0,85 \sqrt{235 / f_y} \quad (4.2)$$

Dabei ist

f_y die Streckgrenze bei 20 °C.

ANMERKUNG 1 Siehe EN 1993-1-1.

ANMERKUNG 2 Der Abminderungsfaktor 0,85 berücksichtigt die Einflüsse aus erhöhter Temperatur.

4.2.3 Tragfähigkeit

4.2.3.1 Zuglieder

(1) Der Bemessungswert der Tragfähigkeit $N_{f_i, \theta, Rd}$ eines auf Zug beanspruchten Bauteils mit gleichmäßiger Temperatur θ_a sollte wie folgt berechnet werden:

$$N_{f_i, \theta, Rd} = k_{y, \theta} N_{Rd} [\gamma_{M, 0} / \gamma_{M, f_i}] \quad (4.3)$$

Dabei ist

$k_{y, \theta}$ der Abminderungsfaktor der Streckgrenze von Stahl bei der Temperatur θ_a zum Zeitpunkt t , siehe Abschnitt 3;

N_{Rd} der Bemessungswert der Tragfähigkeit des $N_{pl, Rd}$ Bruttoquerschnitts bei Berechnung mit Normaltemperatur nach EN 1993-1-1.

(2) Der Bemessungswert der Tragfähigkeit $N_{f_i, t, Rd}$ zum Zeitpunkt t eines auf Zug beanspruchten Bauteils mit einer ungleichmäßigen Temperaturverteilung über den Querschnitt darf wie folgt berechnet werden:

$$N_{f_i, t, Rd} = \sum_{i=1}^n A_i k_{y, \theta, i} f_y / \gamma_{M, f_i} \quad (4.4)$$

DIN EN 1993-1-2:2010-12
EN 1993-1-2:2005 + AC:2009 (D)

Dabei ist

- A_i Teilfläche des Querschnitts mit der Temperatur θ_i ;
 $k_{y,\theta,i}$ der Abminderungsfaktor der Streckgrenze von Stahl bei der Temperatur θ_i , siehe Abschnitt 3;
 θ_i die Temperatur der Teilfläche A_i .

(3) Der Bemessungswert der Tragfähigkeit $N_{fi,t,Rd}$ zum Zeitpunkt t eines auf Zug beanspruchten Bauteils mit einer ungleichmäßigen Temperaturverteilung über den Querschnitt darf konservativ als die Tragfähigkeit $N_{fi,\theta,Rd}$ eines Bauteils mit konstanter Temperatur θ_a über den Querschnitt bestimmt werden, wobei θ_a die maximal im Querschnitt auftretende Temperatur $\theta_{a,max}$ zum Zeitpunkt t ist.

4.2.3.2 Druckbeanspruchte Bauteile mit Querschnitten der Klassen 1, 2 oder 3

(1) Die Knickfestigkeit druckbeanspruchter Bauteile $N_{b,fi,t,Rd}$ zum Zeitpunkt t mit Querschnitten der Klassen 1, 2 oder 3 mit einer gleichmäßigen Temperatur θ_a sollte ermittelt werden mit:

$$N_{b,fi,t,Rd} = \chi_{fi} A k_{y,\theta} f_y / \gamma_{M,fi} \quad (4.5)$$

Dabei ist

- χ_{fi} der Abminderungsfaktor für das Biegeknicken unter Brandbeanspruchung;
 $k_{y,\theta}$ der Abminderungsfaktor nach Abschnitt 3 für die Streckgrenze von Stahl bei der Stahltemperatur θ_a zum Zeitpunkt t .

(2) Für den Wert χ_{fi} sollte der kleinste der beiden Werte $\chi_{y,fi}$ and $\chi_{z,fi}$ genommen werden, berechnet nach:

$$\chi_{fi} = \frac{1}{\varphi_{\theta} + \sqrt{\varphi_{\theta}^2 - \bar{\lambda}_{\theta}^2}} \quad (4.6)$$

mit

$$\varphi_{\theta} = \frac{1}{2} [1 + \alpha \bar{\lambda}_{\theta} + \bar{\lambda}_{\theta}^2]$$

und

$$\alpha = 0,65 \sqrt{235 / f_y}$$

Die dimensionslose bezogene Schlankheit $\bar{\lambda}_{\theta}$ für die Temperatur θ_a wird berechnet nach:

$$\bar{\lambda}_{\theta} = \bar{\lambda} [k_{y,\theta} / k_{E,\theta}]^{0,5} \quad (4.7)$$

Dabei ist

- $k_{y,\theta}$ der Abminderungsfaktor nach Abschnitt 3 für die Streckgrenze von Stahl bei der Temperatur θ_a zum Zeitpunkt t ;
 $k_{E,\theta}$ der Abminderungsfaktor nach Abschnitt 3 für die Steigung im linear elastischen Bereich bei der Stahltemperatur θ_a zum Zeitpunkt t .

(3) Die Knicklänge l_{fi} einer Stütze sollte im Allgemeinen bei einer Bemessung im Brandfall so bestimmt werden wie bei einer Bemessung unter Normaltemperatur. Jedoch darf bei gegen Seitenverschiebung aussteiften Rahmen die Knicklänge l_{fi} unter Berücksichtigung seitlicher Festhaltungen berechnet werden, wenn die Anschlüsse steif oder verformbar ausgebildet sind und die Bauteile, die die oberen und unteren Brandabschnitte abtrennen, mindestens den gleichen Feuerwiderstand aufweisen wie die Stützen.

(4) Falls bei einem Stahlrahmen jedes Stockwerk einen eigenen Brandabschnitt mit ausreichendem Feuerwiderstand bildet, darf bei innen liegenden Stockwerken die Knicklänge l_{fi} einer durchgehenden Stütze mit $l_{fi} = 0,5L$ und bei dem obersten Stockwerk mit $l_{fi} = 0,7L$ berechnet werden. Dabei ist L die Systemhöhe des relevanten Stockwerkes, siehe Bild 4.1.

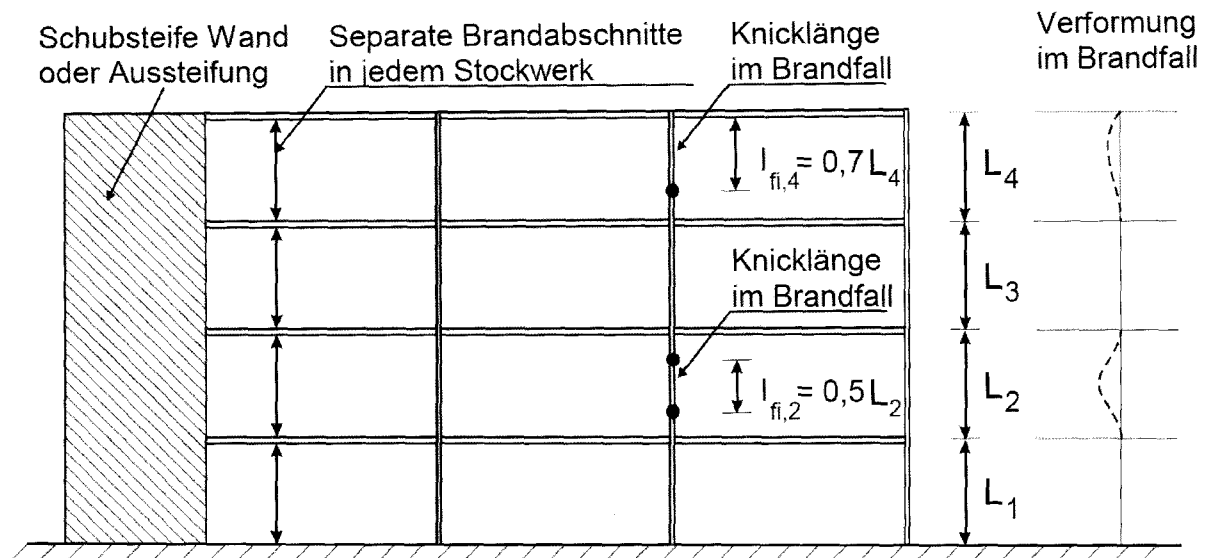


Bild 4.1 — Knicklängen l_{fi} von Stützen in seitlich ausgesteiften Rahmen

(5) Bei einer Bemessung unter nominaler Brandeinwirkung darf der Bemessungswert der Tragfähigkeit $N_{b,fi,t,Rd}$ zum Zeitpunkt t eines druckbeanspruchten Bauteils mit einer ungleichmäßigen Temperaturverteilung über den Querschnitt als die Tragfähigkeit $N_{b,fi,\theta,Rd}$ eines druckbeanspruchten Bauteils mit konstanter Temperatur θ_a über den Querschnitt bestimmt werden, wobei θ_a die maximal im Querschnitt auftretende Temperatur $\theta_{a,max}$ zum Zeitpunkt t ist.

4.2.3.3 Träger mit Querschnitten der Klassen 1 und 2

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

$$M_{fi,\theta,Rd} = k_{y,\theta} [\gamma_{M,0} / \gamma_{M,fi}] M_{Rd} \quad (4.8)$$

Dabei ist

M_{Rd} die plastische Momententragfähigkeit $M_{pl,Rd}$ des Bruttoquerschnitts bei Normaltemperatur nach EN 1993-1-1 oder die abgeminderte Momententragfähigkeit bei Normaltemperatur unter Berücksichtigung von Schubbeanspruchungen nach EN 1993-1-1;

$k_{y,\theta}$ der Abminderungsfaktor für die Streckgrenze von Stahl unter der Temperatur θ_a , siehe Abschnitt 3

(2) Der Bemessungswert der Momententragfähigkeit $M_{fi,t,Rd}$ zum Zeitpunkt t von Querschnitten der Klassen 1 oder 2 mit ungleichmäßiger Temperaturverteilung im Querschnitt darf berechnet werden nach:

$$M_{fi,t,Rd} = \sum_{i=1}^n A_i z_i k_{y,\theta,i} f_{y,i} / \gamma_{M,fi} \quad (4.9)$$

DIN EN 1993-1-2:2010-12
EN 1993-1-2:2005 + AC:2009 (D)

Dabei ist

- z_i der Abstand des Zentrums der Teilfläche A_i von der plastische Nulllinie;
- $f_{y,i}$ die nominale Streckgrenze f_y der Teilfläche A_i auf der Druckseite positiv und auf der Zugseite negativ;

A_i und $k_{y,0,i}$ wie in 4.2.3.1 (2) beschrieben.

(3) Alternativ darf der Bemessungswert der Momententragfähigkeit $M_{fi,t,Rd}$ eines Bauteils der Querschnitts-klasse 1 oder 2 zum Zeitpunkt t und mit einer ungleichmäßigen Temperaturverteilung über den Querschnitt berechnet werden nach:

AC

$$M_{fi,t,Rd} = M_{fi,\theta,Rd} / (\kappa_1 \kappa_2) \text{ mit } M_{fi,\theta,Rd} \leq M_{Rd} \quad \text{AC (4.10)}$$

Dabei ist

- $M_{fi,\theta,Rd}$ der Bemessungswert der Momententragfähigkeit bei konstanter Temperatur θ_a , die der Temperatur θ_a zum Zeitpunkt t ohne thermische Einflüsse an den Auflagern entspricht;
- κ_1 der Anpassungsfaktor für ungleichmäßige Temperatur über den Querschnitt, siehe (7);
- κ_2 der Anpassungsfaktor für ungleichmäßige Temperatur entlang des Trägers, siehe (8).

(4) Der Bemessungswert der Biegedrillknickbeanspruchbarkeit $M_{b,fi,t,Rd}$ zum Zeitpunkt t eines seitlich nicht gehaltenen Trägers mit einem Querschnitt der Klasse 1 oder 2 sollte berechnet werden mit:

$$M_{b,fi,t,Rd} = \chi_{LT,fi} W_{pl,y} k_{y,\theta,com} f_y / \gamma_{M,fi} \quad (4.11)$$

Dabei ist

- $\chi_{LT,fi}$ der Abminderungsfaktor für das Biegedrillknicken bei der Tragwerksbemessung im Brandfall;
- $k_{y,\theta,com}$ der Abminderungsfaktor nach Abschnitt 3 für die Streckgrenze bei maximaler Temperatur im Druckflansch $\theta_{a,com}$ zum Zeitpunkt t .

ANMERKUNG Auf der sicheren Seite liegend kann für $\theta_{a,com}$ die gleichmäßige Temperatur θ_a verwendet werden.

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

$$\chi_{LT,fi} = \frac{1}{\phi_{LT,\theta,com} + \sqrt{[\phi_{LT,\theta,com}]^2 - [\bar{\lambda}_{LT,\theta,com}]^2}} \quad (4.12)$$

mit

$$\phi_{LT,\theta,com} = \frac{1}{2} [1 + \alpha \bar{\lambda}_{LT,\theta,com} + (\bar{\lambda}_{LT,\theta,com})^2] \quad (4.13)$$

und

$$\alpha = 0,65 \sqrt{235 / f_y} \quad (4.14)$$

$$\bar{\lambda}_{LT,\theta,com} = \bar{\lambda}_{LT} [k_{y,\theta,com} / k_{E,\theta,com}]^{0,5} \quad (4.15)$$

Dabei ist

$k_{E,\theta,\text{com}}$ der Abminderungsfaktor nach Abschnitt 3 für die Steigung im linear elastischen Bereich bei maximaler Temperatur im Druckflansch $\theta_{a,\text{com}}$ zum Zeitpunkt t .

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

$$V_{fi,t,Rd} = k_{y,\theta,\text{web}} V_{Rd} [\gamma_{M,0} / \gamma_{M,fi}] \quad (4.16)$$

Dabei ist

V_{Rd} der Bemessungswert der Querkraftbeanspruchbarkeit des Bruttoquerschnitts bei Normaltemperatur nach EN 1993-1-1;

θ_{web} die mittlere Temperatur im Steg;

$k_{y,0,\text{web}}$ der Abminderungsfaktor für die Streckgrenze von Stahl bei der Stahltemperatur θ_{web} , siehe Abschnitt 3.

(7) Die Größe des Anpassungsfaktors κ_1 für eine ungleichmäßige Temperaturverteilung über den Querschnitt sollte wie folgt angenommen werden:

— für einen Träger, der von allen vier Seiten brandbeansprucht wird:

$$\kappa_1 = 1,0$$

— für einen ungeschützten Träger mit einer Stahlbeton- oder Stahlbetonverbundplatte auf der einen Seite und Brandbeanspruchung auf den drei anderen Seiten:

$$\kappa_1 = 0,70$$

— für einen brandgeschützten Träger mit einer Stahlbeton- oder Stahlbetonverbundplatte auf der einen Seite und Brandbeanspruchung auf den drei anderen Seiten:

$$\kappa_1 = 0,85$$

(8) Bei ungleichmäßiger Temperaturverteilung entlang des Trägers sollte die Größe des Anpassungsfaktors κ_2 wie folgt angesetzt werden:

— an den Auflagern statisch unbestimmt gelagerter Träger:

$$\kappa_2 = 0,85$$

— in allen anderen Fällen:

$$\kappa_2 = 1,0.$$

4.2.3.4 Träger mit Querschnitten der Klasse 3

(1) Der Bemessungswert der Momentenbeanspruchbarkeit $M_{fi,t,Rd}$ zum Zeitpunkt t von Querschnitten der Klasse 3 mit gleichmäßiger Temperaturverteilung sollte berechnet werden nach:

$$M_{fi,t,Rd} = k_{y,0} M_{Rd} [\gamma_{M,0} / \gamma_{M,fi}] \quad (4.17)$$

DIN EN 1993-1-2:2010-12
EN 1993-1-2:2005 + AC:2009 (D)

Dabei ist

M_{Rd} der Bemessungswert der elastischen Momentenbeanspruchbarkeit $M_{el,Rd}$ des Bruttoquerschnitts bei Normaltemperatur oder wenn nötig die abgeminderte Momentenbeanspruchbarkeit unter Berücksichtigung der Schubbeanspruchungen, bei Normaltemperatur nach EN 1993-1-1;

$k_{y,\theta}$ der Abminderungsfaktor für die Streckgrenze von Stahl bei der Stahltemperatur θ_a , siehe Abschnitt 3.

(2) Der Bemessungswert der Momentenbeanspruchbarkeit $M_{fi,t,Rd}$ zum Zeitpunkt t von Querschnitten der Klasse 3 mit einer ungleichmäßigen Temperaturverteilung darf berechnet werden nach:

AC

$$M_{fi,t,Rd} = k_{y,0,max} M_{Rd} [\gamma_{M,0} / \gamma_{M,fi}] / (\kappa_1 \kappa_2) \text{ mit } M_{fi,0,Rd} \leq M_{Rd} \quad \text{AC} \quad (4.18)$$

Dabei ist

M_{Rd} der Bemessungswert der elastischen Momentenbeanspruchbarkeit $M_{el,Rd}$ des Bruttoquerschnitts bei Normaltemperatur oder wenn erforderlich die abgeminderte Momentenbeanspruchbarkeit unter Berücksichtigung der Schubbeanspruchungen, bei Normaltemperatur nach EN 1993-1-1;

$k_{y,0,max}$ der Abminderungsfaktor für die Streckgrenze von Stahl unter der maximal auftretenden Stahltemperatur $\theta_{a,max}$ zum Zeitpunkt t , **AC** gestrichener Text **AC**;

κ_1 ein Anpassungsfaktor für ungleichmäßige Temperatur über den Querschnitt, siehe 4.2.3.3 (7);

κ_2 ein Anpassungsfaktor für ungleichmäßige Temperatur entlang des Trägers, siehe 4.2.3.3 (8).

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

$$M_{b,fi,t,Rd} = \chi_{LT,fi} W_{el,y} k_{y,0,com} f_y / \gamma_{M,fi} \quad (4.19)$$

Dabei ist

$\chi_{LT,fi}$ wie in 4.2.3.3 (5) angegeben.

ANMERKUNG Auf der sicheren Seite liegend kann für $\theta_{a,com}$ die maximal im Querschnitt auftretende Temperatur $\theta_{a,max}$ verwendet werden.

(4) Der Bemessungswert der Querkraftbeanspruchbarkeit $V_{fi,t,Rd}$ zum Zeitpunkt t eines Querschnitts der Klasse 3 wird berechnet nach:

$$V_{fi,t,Rd} = k_{y,0,web} V_{Rd} [\gamma_{M,0} / \gamma_{M,fi}] \quad (4.20)$$

Dabei ist

V_{Rd} die Querkraftbeanspruchbarkeit des Bruttoquerschnitts bei Normaltemperatur nach EN 1993-1-1.

4.2.3.5 Auf Biegung und axialen Druck beanspruchte Bauteile der Querschnittsklassen 1, 2 oder 3

(1) Der Bemessungswert der Beanspruchbarkeit $R_{fi,t,d}$ stabilitätsgefährdeter Bauteile zum Zeitpunkt t bei gleichzeitiger Beanspruchung durch Biegung und axialen Druck sollte unter Verwendung der Gleichungen (4.21a) und (4.21b) für Querschnitte der Klassen 1 und 2 oder der Gleichungen (4.21c) und (4.21d) für Querschnitte der Klasse 3 ermittelt werden.

$$\frac{N_{fi,Ed}}{\chi_{\min,fi} A k_{y,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} + \frac{k_y M_{y,fi,Ed}}{W_{pl,y} k_{y,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} + \frac{k_z M_{z,fi,Ed}}{W_{pl,z} k_{y,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} \leq 1 \quad (4.21a)$$

$$\frac{N_{fi,Ed}}{\chi_{z,fi} A k_{y,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} + \frac{k_{LT} M_{y,fi,Ed}}{\chi_{LT,fi} W_{pl,y} k_{y,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} + \frac{k_z M_{z,fi,Ed}}{W_{pl,z} k_{y,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} \leq 1 \quad (4.21b)$$

$$\frac{N_{fi,Ed}}{\chi_{\min,fi} A k_{y,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} + \frac{k_y M_{y,fi,Ed}}{W_{el,y} k_{y,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} + \frac{k_z M_{z,fi,Ed}}{W_{el,z} k_{y,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} \leq 1 \quad (4.21c)$$

$$\frac{N_{fi,Ed}}{\chi_{z,fi} A k_{y,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} + \frac{k_{LT} M_{y,fi,Ed}}{\chi_{LT,fi} W_{el,y} k_{y,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} + \frac{k_z M_{z,fi,Ed}}{W_{el,z} k_{y,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} \leq 1 \quad (4.21d)$$

Dabei ist

$\chi_{\min,fi}$ wie in 4.2.3.2 angegeben;

$\chi_{z,fi}$ wie in 4.2.3.2 angegeben;

$\chi_{LT,fi}$ wie in 4.2.3.2 (5) angegeben;

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

mit: $\mu_{LT} = 0,15 \bar{\lambda}_{z,\theta} \beta_{M,LT} - 0,15 \leq 0,9$

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

mit: $\overline{\text{AC}}$ Für die starke Achse: $\mu_y = (2\beta_{M,y} - 5) \bar{\lambda}_{y,\theta} + 0,44\beta_{M,y} + 0,29 \leq 0,8$ mit $\bar{\lambda}_{y,20^\circ\text{C}} \leq 1,1$. $\overline{\text{AC}}$

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

mit: $\overline{\text{AC}}$ Für die schwache Achse: $\mu_z = (1,2\beta_{M,z} - 3) \bar{\lambda}_{z,\theta} + 0,71\beta_{M,z} - 0,29 \leq 0,8$ $\overline{\text{AC}}$

ANMERKUNG Die Anpassungsfaktoren β_M zur Berücksichtigung des Momentenverlaufs können Bild 4.2 entnommen werden.

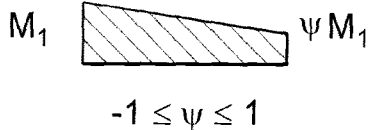
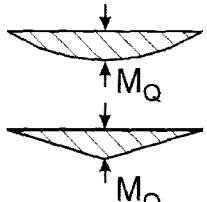
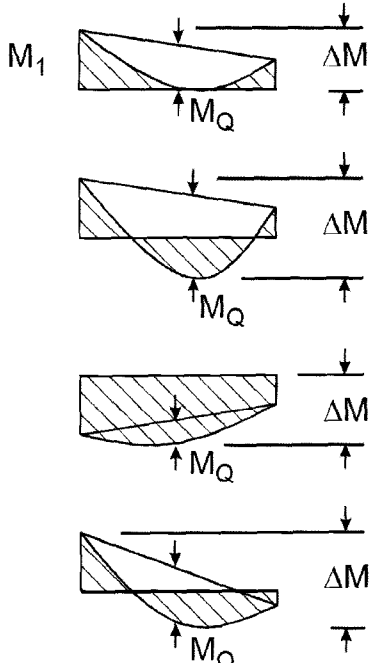
| Momentenverlauf | Anpassungsfaktor β_M |
|---|--|
| <p>Endmomente</p>  <p>$-1 \leq \psi \leq 1$</p> | $\beta_{M,\psi} = 1,8 - 0,7 \psi$ |
| <p>Momente aus Querlasten in Tragwerksebene</p>  | $\beta_{M,Q} = 1,3$ $\beta_{M,Q} = 1,4$ |
| <p>Momente aus Querlasten in der Tragwerksebene mit zusätzlichen Endmomenten</p>  | $\beta_M = \beta_{M,\psi} + \frac{M_Q}{\Delta M} (\beta_{M,Q} - \beta_{M,\psi})$ <p>$M_Q = \max M$ nur aus Querlast</p> <p>ΔM {</p> <ul style="list-style-type: none"> $\max M$ bei Momentenverläufen ohne Vorzeichenwechsel $\max M + \min M$ bei Momentenverläufen mit Vorzeichenwechsel |

Bild 4.2 — Anpassungsfaktoren für den Momentenverlauf

4.2.3.6 Bauteile mit Querschnitten der Klasse 4

(1) Bei Bauteilen der Querschnittsklasse 4, die keine Zugglieder sind, darf angenommen werden, dass 4.2.1 (1) erfüllt ist, wenn die Stahltemperatur θ_a zum Zeitpunkt t an keiner Stelle des Querschnitts den Wert θ_{crit} erreicht.

ANMERKUNG 1 Weitere Informationen enthält Anhang E.

ANMERKUNG 2 Die Grenztemperatur θ_{crit} darf im Nationalen Anhang festgelegt werden. Die Verwendung des Wertes $\theta_{crit} = 350 \text{ °C}$ wird empfohlen.

4.2.4 Kritische Temperatur

(1) Alternativ zu 4.2.3 darf die Bemessung auf Temperaturebene durchgeführt werden.

(2) **[AC]** Außer wenn Verformungskriterien oder Einflüsse aus Stabilitätsproblemen zu beachten sind, **[AC]** darf die kritische Temperatur des Kohlenstoffstahls $\theta_{a,cr}$ nach 1.1.2 (6) zum Zeitpunkt t für eine gleichmäßige Temperaturverteilung im Bauteil für den Ausnutzungsgrad μ_0 zum Zeitpunkt $t = 0$ berechnet werden nach:

$$\theta_{a,cr} = 39,19 \ln \left[\frac{I}{0,9674 \mu_0^{3,833}} - I \right] + 482 \quad (4.22)$$

Dabei dürfen für μ_0 keine kleineren Werte als $\mu_0 = 0,013$ angesetzt werden.

ANMERKUNG In Tabelle 4.1 werden für Ausnutzungsgrade μ_0 von 0,22 bis 0,80 Beispiele für die kritischen Temperaturen angegeben.

(3) Der Ausnutzungsgrad μ_0 zum Zeitpunkt $t = 0$ von Bauteilen mit Querschnitten der Klassen 1, 2 oder 3 und bei auf Zug beanspruchten Bauteilen darf berechnet werden nach:

$$\mu_0 = E_{fi,d} / R_{fi,d,0} \quad (4.23)$$

Dabei ist

$R_{fi,d,0}$ der Wert von $R_{fi,d,t}$ zum Zeitpunkt $t = 0$ nach 4.2.3;

$E_{fi,d}$ und $R_{fi,d,t}$ nach 4.2.1(1).

(4) Alternativ darf der Ausnutzungsgrad μ_0 bei zugbeanspruchten Bauteilen und Trägern, bei denen das Biegedrillknicken als maßgebende Versagensform ausgeschlossen werden kann, auf der sicheren Seite liegend berechnet werden nach:

$$\mu_0 = \eta_{fi} [\gamma_{M,fi} / \gamma_{M0}] \quad (4.24)$$

Dabei ist

η_{fi} der Abminderungsfaktor nach **[AC]** 2.4.2 (3) **[AC]**.

DIN EN 1993-1-2:2010-12
EN 1993-1-2:2005 + AC:2009 (D)

Tabelle 4.1 — Kritische Temperaturen $\theta_{a,cr}$ in Abhängigkeit des Ausnutzungsgrades μ_0

| μ_0 | $\theta_{a,cr}$ | μ_0 | $\theta_{a,cr}$ | μ_0 | $\theta_{a,cr}$ |
|---------|-----------------|---------|-----------------|---------|-----------------|
| 0,22 | 711 | 0,42 | 612 | 0,62 | 549 |
| 0,24 | 698 | 0,44 | 605 | 0,64 | 543 |
| 0,26 | 685 | 0,46 | 598 | 0,66 | 537 |
| 0,28 | 674 | 0,48 | 591 | 0,68 | 531 |
| 0,30 | 664 | 0,50 | 585 | 0,70 | 526 |
| 0,32 | 654 | 0,52 | 578 | 0,72 | 520 |
| 0,34 | 645 | 0,54 | 572 | 0,74 | 514 |
| 0,36 | 636 | 0,56 | 566 | 0,76 | 508 |
| 0,38 | 628 | 0,58 | 560 | 0,78 | 502 |
| 0,40 | 620 | 0,60 | 554 | 0,80 | 496 |

ANMERKUNG Der Nationale Anhang kann Werte für die kritischen Temperaturen enthalten.

4.2.5 Entwicklung der Stahltemperatur

4.2.5.1 Ungeschützte innen liegende Stahlkonstruktionen

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

AC

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

Dabei ist

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

A_m / V der Profillfaktor des ungeschützten Stahlbauteils [1/m];

A_m die dem Brand ausgesetzte Oberfläche des Bauteils pro Längeneinheit [m²/m];

V das Volumen des Bauteils pro Längeneinheit [m³/m];

c_a die spezifische Wärmekapazität von Stahl nach Abschnitt 3 [J/kgK];

AC $\dot{h}_{net,d}$ AC der flächenbezogene Bemessungswert des Nettowärmestroms [W/m²];

Δt das Zeitintervall [Sekunden];

ρ_a die Rohdichte von Stahl nach Abschnitt 3 [kg/m³].

(2) Bei I-Querschnitten unter nominaler Brandeinwirkung darf der Abschattungseffekt bestimmt werden mit:

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

Dabei ist

$[A_m/V]_b$ der Profilmfaktor für den das Profil umschließenden Kasten.

In allen anderen Fällen sollte für k_{sh} der folgende Wert verwendet werden:

$$k_{sh} = [A_m/V]_b / [A_m/V] \quad (4.26b)$$

ANMERKUNG 1 Bei allen Querschnitten konvexer Form (z. B. rechteckige oder runde Hohlquerschnitte), die von allen Seiten dem Brand ausgesetzt sind, ist der Abschattungseffekt ohne Bedeutung, so dass er mit 1,0 angesetzt werden kann.

ANMERKUNG 2 Konservative Ergebnisse werden erzielt, wenn der Abschattungseffekt nicht berücksichtigt wird (d. h. $k_{sh} = 1,0$).

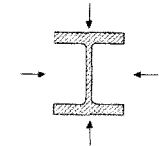
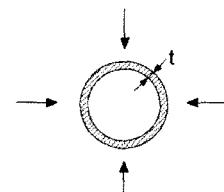
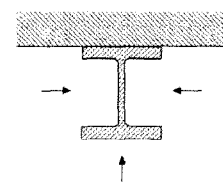
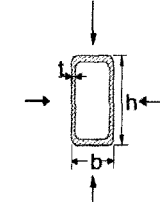
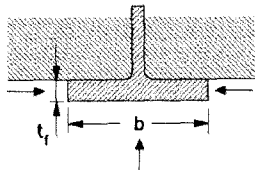
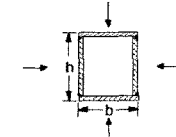
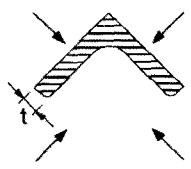
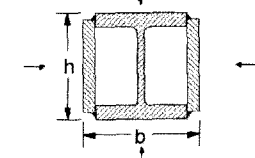
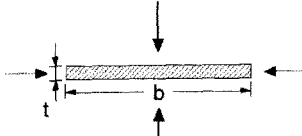
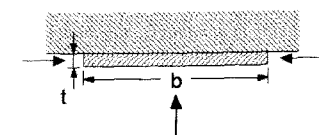
(3) Die Größe von $\dot{h}_{net,d}$ sollte nach EN 1991-1-2 unter Verwendung von $\varepsilon_f = 1,0$ und ε_m nach 2.2 (2) ermittelt werden. Die Größen ε_f und ε_m sind in EN 1991-1-2 definiert.

(4) Die Schrittweite Δt sollte nicht größer als 5 Sekunden sein.

(5) Die Größe des Profilmfaktors A_m / V in Gleichung (4.26) sollte nicht kleiner als 10 m^{-1} sein.

ANMERKUNG In Tabelle 4.2 werden einige Gleichungen zur Berechnung des Profilmfaktors A_m / V von ungeschützten Stahlbauteilen angegeben.

Tabelle 4.2 — Profilmfaktor A_m/V für ungeschützte Stahlbauteile

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

4.2.5.2 Innen liegende Stahlkonstruktionen, geschützt durch Brandschutzmaterialien

(1) Bei gleichmäßiger Temperaturverteilung über den Querschnitt sollte der Temperaturanstieg $\Delta\theta_{a,t}$ eines wärme gedämmten Stahlbauteils während des Zeitintervalls Δt berechnet werden nach:

$$\Delta\theta_{a,t} = \frac{\lambda_p A_p / V (\theta_{g,t} - \theta_{a,t})}{d_p c_a \rho_a (1 + \phi/3)} \Delta t - (e^{\phi/10} - 1) \Delta\theta_{g,t} \quad (\text{aber } \Delta\theta_{a,t} \geq 0 \text{ wenn } \Delta\theta_{g,t} > 0) \quad (4.27)$$

mit:

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

Dabei ist

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

(2) Die Werte c_p , λ_p and ρ_p sollten nach Abschnitt 3 berechnet werden.

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

(4) Für die Fläche A_p des Brandschutzmaterials sollte im Allgemeinen die innere Fläche angesetzt werden. Wenn es einen Zwischenraum zwischen Bauteil und Brandschutzverkleidung gibt, dann kann A_p wie bei einer Verkleidung, die ohne Zwischenraum angebracht ist, bestimmt werden.


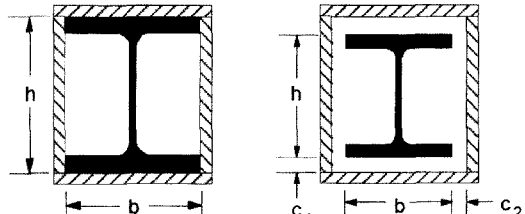
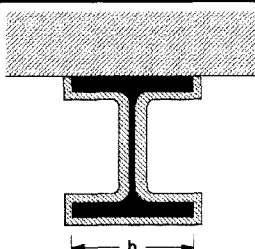
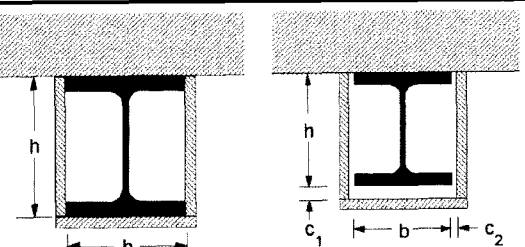
ANMERKUNG In Tabelle 4.3 werden einige Bemessungswerte für den Profilmfaktor A_p / V für wärme gedämmte Stahlbauteile angegeben.

(5) Bei feuchten Brandschutzmaterialien darf der Temperaturanstieg im Stahl $\Delta\theta_a$ zur Berücksichtigung der zeitlichen Verzögerung bis zum Erreichen einer Stahltemperatur von 100 °C modifiziert werden. Die zeitliche Verzögerung sollte nach einem Verfahren in Übereinstimmung ENV 13381-4 bestimmt werden.

DIN EN 1993-1-2:2010-12
EN 1993-1-2:2005 + AC:2005 (D)

(6) Als Alternative zu 4.2.5.2 (1) kann die gleichmäßige Temperatur eines wärmedämmten Stahlbauteils unter Beanspruchung durch die Einheits-Temperaturzeitkurve zu einem bestimmten Zeitpunkt aus Tabellen, die nach ENV 13381-4 bestimmt wurden, entnommen werden.

Tabelle 4.3 — Profilkfaktor A_p / V von Stahlbauteilen, die durch Brandschutzmaterialien geschützt sind

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

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

4.2.5.3 Innen liegende Stahlkonstruktionen in Hohlräumen, geschützt durch Wärmeschilde

(1) Die unten angegebenen Regeln gelten für die folgenden Fälle:

- Stahlbauteile in Hohlräumen, die oben durch eine Decke und unten durch ein Wärmeschild begrenzt sind, und
- Stahlbauteile in Hohlräumen, die durch vertikale Wärmeschilde auf beiden Seiten begrenzt sind,

In beiden Fällen wird vorausgesetzt, dass zwischen den Wärmeschildern und den Stahlbauteilen ein Spalt besteht. Sie gelten nicht bei unmittelbarer Berührung von Wärmeschild und Bauteil.

(2) Die Berechnung des Temperaturanstiegs $\Delta\theta_a$ bei innen liegenden durch Wärmeschilde geschützten Stahlkonstruktionen sollte auf der Grundlage der in 4.2.5.1 oder 4.2.5.2 angegebenen Verfahren erfolgen. Dabei wird als Umgebungstemperatur $\theta_{g,t}$ die Temperatur im Hohlraum verwendet.

(3) Die Eigenschaften und das Verhalten der Wärmeschilde sollten durch Versuche nach CEN/TS 13381-1 bzw. ENV 13381-2 ermittelt werden.

(4) Die Temperaturentwicklung in dem Hohlraum, in dem sich das Bauteil befindet, sollte durch Versuche nach CEN/TS 13381-1 bzw. ENV 13381-2 bestimmt werden.

4.2.5.4 Außen liegende Stahlkonstruktionen

(1) Bei der Bestimmung der Temperatur außen liegender Stahlkonstruktionen sind in der Regel zu berücksichtigen:

- der Wärmestrom durch Strahlung aus dem Brandabschnitt;
- der Wärmestrom durch Strahlung und Konvektion von aus Öffnungen herausschlagenden Flammen;
- der Wärmestrom durch Strahlung und Konvektion der Stahlkonstruktion an die Umgebung;
- die Größe und Lage der Bauteile.

(2) Es dürfen auf einer, zwei oder drei Seiten außen liegender Bauteile Wärmeschilde angebracht werden, um sie vor Wärmestrahlung zu schützen.

(3) Wärmeschilde sollten entweder:

- auf der Seite des Stahlbauteils, die geschützt werden soll, unmittelbar befestigt werden oder
- groß genug sein, um die ganze Seite vor der erwarteten Wärmestrahlung zu schützen.

(4) Wärmeschilde sollten nicht brennbar sein und mindestens einen Feuerwiderstand von EI 30 nach EN 13501-2 besitzen.

(5) Die Temperatur der durch Wärmeschilde geschützten außen liegenden Stahlkonstruktionen sollte wie in 4.2.5.4 (1) beschrieben ermittelt werden, wobei kein Wärmeübergang durch Strahlung an den abgeschirmten Seiten berücksichtigt zu werden braucht.

(6) Berechnungen dürfen auf der Grundlage stationärer Randbedingungen mit den in Anhang B angegebenen Verfahren durchgeführt werden.

(7) Berechnungen nach Anhang B dieses Teils 1-2 der EN 1993 sollten auf der Grundlage des in Anhang B der EN 1991-1-2 beschriebenen Modells erfolgen. Dieses Modell dient im Brandfall der Beschreibung der Randbedingungen im Brandabschnitt und der aus Öffnungen schlagenden Flammen, die der Berechnung des Wärmeübergangs durch Strahlung und Konvektion zugrunde gelegt werden sollten.

4.3 Erweiterte Berechnungsmodelle

4.3.1 Allgemeines

(1) Die Untersuchung von Tragwerken unter Brandbeanspruchung mit erweiterten Berechnungsmodellen sollte realistisch sein. Sie sollte auf der Grundlage der physikalischen Gesetzmäßigkeiten eine verlässliche Annäherung an das erwartete Tragverhalten der maßgebenden Bauteile im Brandfall darstellen.

DIN EN 1993-1-2:2010-12
EN 1993-1-2:2005 + AC:2009 (D)

(2) Alle möglichen Versagensarten, die durch das erweiterte Berechnungsverfahren nicht erfasst werden (einschließlich lokalem Beulen und Schubversagen), sollten durch entsprechende Maßnahmen ausgeschlossen werden.

(3) Die erweiterten Berechnungsmodelle sollten Einzelberechnungen für

- die Temperaturentwicklung und -verteilung in den Bauteilen (thermisches Verhaltensmodell) und
- das Tragverhalten der Konstruktion oder Teilen davon (mechanisches Verhaltensmodell)

enthalten.

(4) Unter der Voraussetzung, dass die Materialeigenschaften im maßgebenden Temperaturbereich bekannt sind, dürfen erweiterte Berechnungsmodelle in Verbindung mit allen Brandkurven verwendet werden.

(5) Erweiterte Berechnungsmodelle dürfen auf jeden Querschnittstyp angewendet werden.

4.3.2 Thermisches Verhalten

(1) Erweiterte thermische Berechnungsverfahren zur Untersuchung des thermischen Verhaltens sollten auf anerkannten Grundlagen und Annahmen nach der Theorie der Wärmeübertragung beruhen.

(2) Das Berechnungsverfahren sollte berücksichtigen

- die maßgebenden thermischen Einwirkungen nach EN 1991-1-2;
- die Abhängigkeit der Materialeigenschaften von der Temperatur, siehe Abschnitt 3.

(3) Die Einflüsse ungleichmäßiger Temperatureinwirkung und der Wärmetransport in angrenzende Bauteile dürfen ggf. berücksichtigt werden.

(4) Jeder Feuchtegehalt sowie jede Feuchtigkeitsveränderung in Brandschutzmaterialien dürfen auf der sicheren Seite liegend vernachlässigt werden.

4.3.3 Tragverhalten

(1) Erweiterte mechanische Berechnungen sollten auf anerkannten Grundlagen und Annahmen der technischen Mechanik unter Berücksichtigung der Temperaturabhängigkeit der Materialeigenschaften beruhen.

(2) Der Einfluss von Zwängungen und Spannungen infolge von Erwärmung und Temperaturgradienten sollte berücksichtigt werden.

(3) Das mechanische Berechnungsmodell sollte zusätzlich erfassen:

- den kombinierten Einfluss von mechanischen und thermischen Einwirkungen sowie geometrischen Imperfektionen;
- die Temperaturabhängigkeit der Materialeigenschaften nach Abschnitt 3;
- Einflüsse aus geometrischen Nichtlinearitäten;
- Einflüsse aus der Nichtlinearität des Werkstoffverhaltens, einschließlich ungünstiger Auswirkung von Be- und Entlastung auf die Tragwerkssteifigkeit.

(4) Unter der Voraussetzung, dass die Spannungs-Dehnungsbeziehungen nach Abschnitt 3 verwendet werden, kann das thermische Kriechen vernachlässigt werden.

(5) Die im Grenzzustand der Tragfähigkeit entstehenden Verformungen sollten begrenzt werden, um das Zusammenwirken aller Teile des Tragwerks sicherzustellen.

(6) Als Grenzzustand sollte auch Versagen durch Verlust der Auflagerung einzelner Bauteile infolge zu großer rechnerischer Verformungen berücksichtigt werden.

(7) Falls in entsprechenden Produktnormen nicht anders geregelt, sollte bei freistehenden vertikalen Bauteilen eine sinusförmige Anfangsimperfektion mit einer maximalen Größe von $h/1\ 000$ in Bauteilmitte angesetzt werden.

4.3.4 Überprüfung erweiterter Berechnungsmodelle

(1) Erweiterte Berechnungsmodelle sollten anhand entsprechender Versuchsergebnisse auf ihre Genauigkeit untersucht werden.

(2) Berechnungsergebnisse können sich auf Temperaturen, Verformungen und Feuerwiderstandsdauern beziehen.

(3) Um sicherzustellen, dass das Modell die grundsätzlichen Anforderungen erfüllt, sind die Werte der kritischen Parameter durch in der Regel Sensitivitätsanalysen zu überprüfen.

(4) Kritische Parameter können z. B. Knicklängen, Abmessungen und Lastniveaus sein.

Anhang A (normativ)

Verfestigung von Kohlenstoffstahl unter erhöhter Temperatur

(1) Die Verfestigung darf bei Temperaturen unter 400 °C wie folgt berücksichtigt werden (siehe 3.2):

— für $0,02 < \varepsilon < 0,04$:

$$\sigma_a = 50 (f_{u,\theta} - f_{y,\theta}) \varepsilon + 2 f_{y,\theta} - f_{u,\theta} \quad (\text{A.1a})$$

— für $0,04 \leq \varepsilon \leq 0,15$:

$$\sigma_a = f_{u,\theta} \quad (\text{A.1b})$$

— für $0,15 < \varepsilon < 0,20$:

$$\overline{\text{AC}} \sigma_a = f_{u,\theta} [1 - 20 (\varepsilon - 0,15)] \quad \overline{\text{AC}} (\text{A.1c})$$

— für $\varepsilon \geq 0,20$:

$$\sigma_a = 0,00 \quad (\text{A.1d})$$

Dabei ist

$f_{u,\theta}$ die Bruchfestigkeit unter erhöhter Temperatur unter Berücksichtigung der Verfestigung.

ANMERKUNG Die alternative Spannungs-Dehnungsbeziehung mit Berücksichtigung der Verfestigung ist in Bild A.1 dargestellt.

(2) Die Bruchfestigkeit unter Berücksichtigung der Verfestigung sollte für erhöhte Temperaturen wie folgt bestimmt werden:

— für $\theta_a < 300$ °C:

$$f_{u,\theta} = 1,25 f_{y,\theta} \quad (\text{A.2a})$$

— für 300 °C $\leq \theta_a < 400$ °C:

$$f_{u,\theta} = f_{y,\theta} (2 - 0,0025 \theta_a) \quad (\text{A.2b})$$

— für $\theta_a \geq 400$ °C:

$$f_{u,\theta} = f_{y,\theta} \quad (\text{A.2c})$$

ANMERKUNG Die Abhängigkeit der Spannungs-Dehnungsbeziehung von der Temperatur ist in Bild A.2 dargestellt.

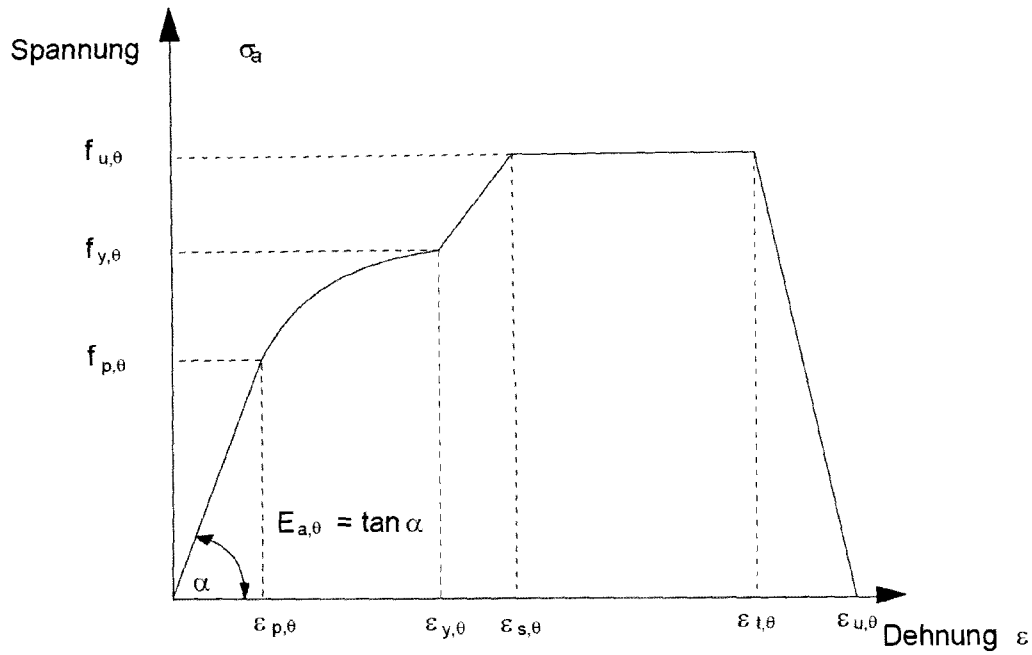


Bild A.1 — Alternative Spannungs-Dehnungsbeziehung von Stahl mit Berücksichtigung der Verfestigung

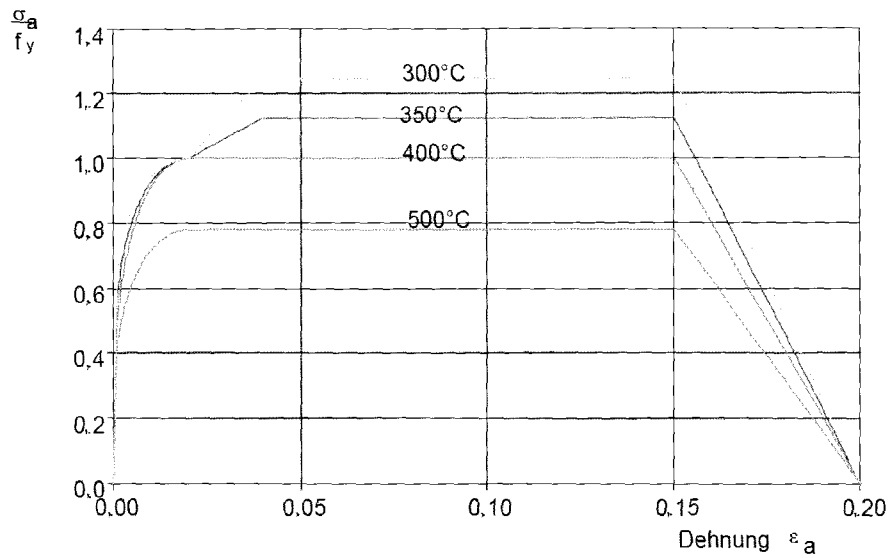


Bild A.2 — Alternative Spannungs-Dehnungsbeziehung von Stahl unter erhöhter Temperatur mit Berücksichtigung der Verfestigung

Anhang B (normativ)

Wärmeübertragung auf außen liegende Stahlbauteile

B.1 Allgemeines

B.1.1 Grundlagen

(1) Dieser Anhang B gilt unter der Annahme, dass sich der Brandabschnitt nur über ein Stockwerk erstreckt und alle Fenster und vergleichbare Öffnungen rechteckig sind.

(2) Die Temperaturen im Brandabschnitt, die Abmessungen und Temperaturen der aus den Öffnungen Herausschlagenden Flammen sowie die Größen für die Wärmestrahlung und Konvektion sollten nach Anhang B von EN 1991-1-2 ermittelt werden.

(3) Abhängig von der Lage eines Bauteils vor einer Öffnung sollte eine Unterscheidung zwischen direkt den Flammen ausgesetzten Bauteilen und nicht direkt den Flammen ausgesetzten Bauteilen gemacht werden.

(4) Es sollte angenommen werden, dass ein Bauteil, das nicht direkt den Flammen ausgesetzt ist, von allen umliegenden Öffnungen und den daraus schlagenden Flammen Wärmestrahlen empfängt.

(5) Ist ein Bauteil direkt den Flammen ausgesetzt, dann sollte davon ausgegangen werden, dass es von der Flamme durch Konvektion und Strahlung und aus der Öffnung, vor der es sich befindet, durch Wärmestrahlung Wärme aufnimmt. Die Wärmestrahlung von Flammen, die aus benachbarten Öffnungen schlagen, darf vernachlässigt werden.

B.1.2 Vereinbarungen bei den Bauteilabmessungen

(1) Die Vereinbarungen bei den Bauteilabmessungen können Bild B.1 dargestellt entnommen werden.

B.1.3 Wärmebilanz

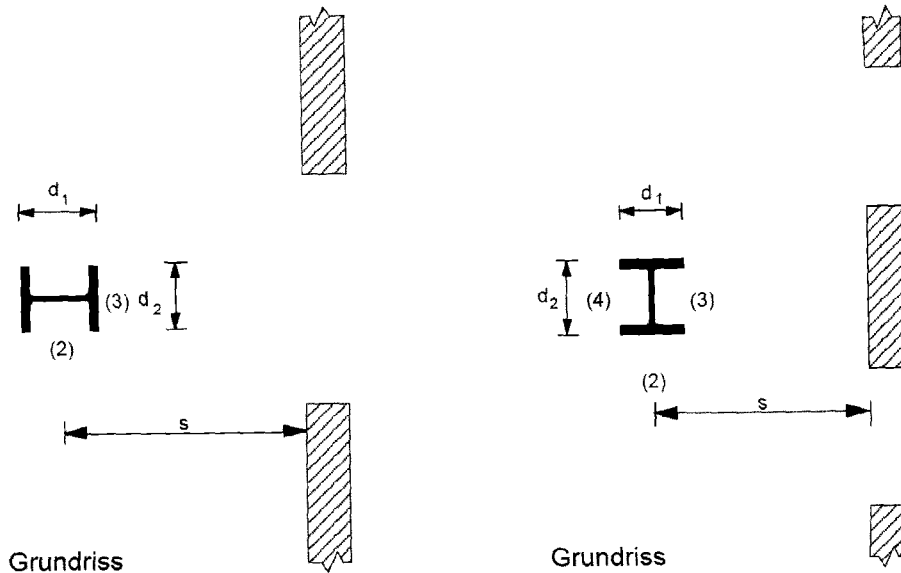
(1) Die mittlere Temperatur T_m [K] eines nicht direkt den Flammen ausgesetzten Bauteils sollte durch Lösen der folgenden Wärmebilanz bestimmt werden:

$$\sigma T_m^4 + \alpha T_m = \Sigma I_z + \Sigma I_f + 293\alpha \quad (\text{B.1})$$

Dabei ist

- σ die Stefan-Boltzmann-Konstante [$56,7 \times 10^{-12} \text{ kW/m}^2\text{K}^4$];
- α der konvektive Wärmeübergangskoeffizient [$\text{kW/m}^2\text{K}$];
- I_z der Wärmestrom durch Strahlung einer Flamme [kW/m^2];
- I_f der Wärmestrom durch Strahlung aus der Öffnung [kW/m^2].

(2) Der konvektive Wärmeübergangskoeffizient α sollte Anhang B der EN 1991-1-2 für Feuer „mit Zwangsbe- und Entlüftung“ bzw. „ohne Zwangsbe- und Entlüftung“ unter Verwendung einer effektiven Querschnitts-abmessung $d = (d_1 + d_2) / 2$ entnommen werden.



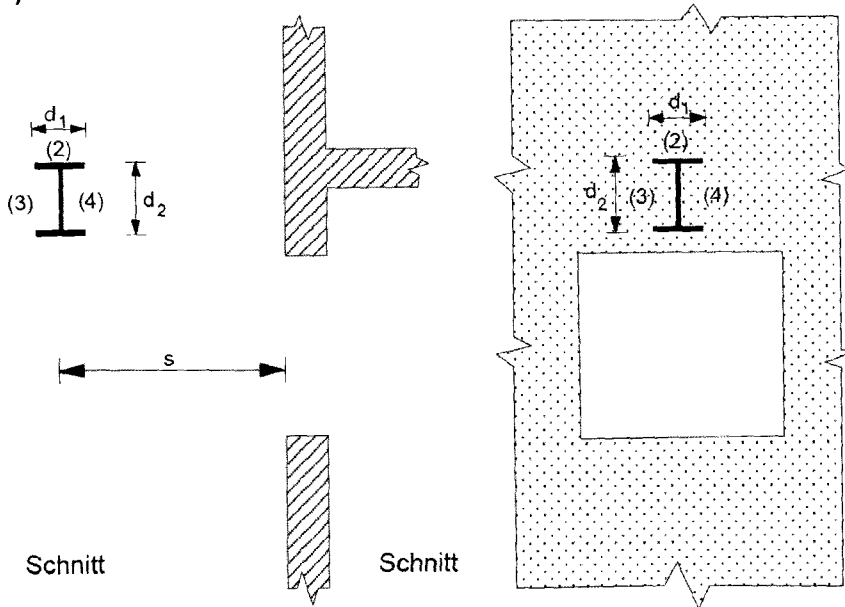
1) Stützen vor einer Öffnung

2) Stützen zwischen Öffnungen

1) Stützen vor einer Öffnung

2) Stützen zwischen Öffnungen

a) Stützen



1) Träger parallel zur Wand

2) Träger senkrecht zur Wand

1) Träger parallel zur Wand

2) Träger senkrecht zur Wand

b) Träger

Bild B.1 — Bauteilabmessungen und Seiten

(3) Die mittlere Temperatur T_m [K] eines direkt den Flammen ausgesetzten Bauteils sollte durch Lösen der folgenden Wärmebilanz bestimmt werden:

DIN EN 1993-1-2:2010-12
EN 1993-1-2:2005 + AC:2009 (D)

$$\sigma T_m^4 + \alpha T_m = I_z + I_f + \alpha T_z \quad (\text{B.2})$$

Dabei ist

- T_z die Temperatur der Flamme [K];
- I_z der Wärmestrom durch Strahlung einer Flamme [kW/m²];
- I_f der Wärmestrom durch Strahlung aus der davor liegenden Öffnung [kW/m²].

(4) Der Wärmestrom durch Strahlung I_z von Flammen sollte entsprechend der Art und Lage des Bauteils wie folgt bestimmt werden:

- Stützen, die nicht direkt den Flammen ausgesetzt sind: siehe B.2;
- Träger, die nicht direkt den Flammen ausgesetzt sind: siehe B.3;
- Stützen, die direkt den Flammen ausgesetzt sind: siehe B.4;
- Träger, die direkt den Flammen ausgesetzt sind: siehe B.5.

Andere Fälle dürfen analog durch geeignete Anpassung der in B.2 bis B.5 gegebenen Verfahren behandelt werden.

(5) Der Wärmestrom I_f durch Strahlung aus einer Öffnung sollte ermittelt werden mit:

$$I_f = \phi_f \varepsilon_f (1 - a_z) \sigma T_f^4 \quad (\text{B.3})$$

Dabei ist

- ϕ_f der Gesamtkonfigurationsfaktor des Bauteils für die Wärmestrahlung aus der Öffnung;
- ε_f der Emissionswert;
- a_z der Absorptionswert der Flammen;
- T_f die Temperatur des Brandes [K] nach Anhang B der EN 1991-1-2.

(6) Der Emissionswert ε_f einer Öffnung sollte als Einheitswert angenommen werden, siehe Anhang B der EN 1991-1-2.

(7) Der Absorptionswert a_z der Flammen sollte nach B.2 bis B.5 ermittelt werden.

B.1.4 Gesamtkonfigurationsfaktoren

(1) Der Gesamtkonfigurationsfaktor ϕ_f eines Bauteils zur Berechnung der Wärmeübertragung durch Strahlung aus einer Öffnung sollte wie folgt berechnet werden:

$$\phi_f = \frac{(C_1 \phi_{f,1} + C_2 \phi_{f,2}) d_1 + (C_3 \phi_{f,3} + C_4 \phi_{f,4}) d_2}{(C_1 + C_2) d_1 + (C_3 + C_4) d_2} \quad (\text{B.4})$$

Dabei ist

- $\phi_{f,i}$ der Konfigurationsfaktor einer Bauteilseite i zu dieser Öffnung, siehe Anhang G der EN 1991-1-2;
- d_i die Abmessung der Bauteilseite i ;

C_i der Schutzbeiwert der Bauteilseite i , definiert wie folgt:

- für eine geschützte Seite: $C_i = 0$
- für eine ungeschützte Seite: $C_i = 1$

(2) Der Konfigurationsfaktor $\phi_{t,i}$ einer von der Öffnung nicht sichtbaren Bauteilseite sollte zu null gesetzt werden.

(3) Der Gesamtkonfigurationsfaktor ϕ_z für die Berechnung der Wärmestrahlung einer Flamme sollte wie folgt berechnet werden:

$$\phi_z = \frac{(C_1 \phi_{z,1} + C_2 \phi_{z,2}) d_1 + (C_3 \phi_{z,3} + C_4 \phi_{z,4}) d_2}{(C_1 + C_2) d_1 + (C_3 + C_4) d_2} \quad (\text{B.5})$$

Dabei ist

$\phi_{z,i}$ der Konfigurationsfaktor der Bauteilseite i für diese Flamme, siehe Anhang G der EN 1991-1-2.

(4) Die Konfigurationsfaktoren $\phi_{z,i}$ für die Wärmestrahlung der Flammen der einzelnen Bauteilseiten i dürfen mit Hilfe von äquivalenten rechteckigen Flammenabmessungen berechnet werden. Die Abmessungen und Lagen der Rechtecke, die die Vorderfläche und Seitenflächen der Flammen darstellen, sollten für Stützen nach B.2 und für Träger nach B.3 berechnet werden. Für alle anderen Zwecke sollten die Flammenabmessungen nach Anhang B von EN 1991-1-2 verwendet werden.

(5) Der Konfigurationsfaktor $\phi_{z,i}$ einer Bauteilfläche i , von der aus die Flamme nicht sichtbar ist, sollte zu null angenommen werden.

(6) Eine Bauteilseite darf nach 4.2.5.4 durch einen Wärmeschild geschützt sein. Eine Bauteilseite, die direkt an der Wand des Brandabschnitts befestigt ist, darf als geschützt betrachtet werden, wenn sich in diesem Teil der Wand keine Öffnungen befinden. Alle anderen Bauteilseiten sollten als ungeschützt betrachtet werden.

B.2 Nicht direkt beflamnte Stützen

B.2.1 Wärmeübertragung durch Strahlung

(1) Es sollte zwischen Stützen, die vor einer Öffnung stehen, und Stützen, die zwischen Öffnungen stehen, unterschieden werden.

ANMERKUNG Siehe Bild B.2

(2) Wenn eine Stütze vor einer Öffnung steht, dann sollte der Wärmestrom I_z durch die Strahlung berechnet werden nach:

$$I_z = \phi_z \varepsilon_z \sigma T_z^4 \quad (\text{B.6})$$

Dabei ist

- ϕ_z der Gesamtkonfigurationsfaktor für Wärmestrahlung der Flamme, siehe B.1.4;
- ε_z der Emissionswert der Flamme, siehe B.2.2;
- T_z die Temperatur der Flamme [K] nach B.2.3.

ANMERKUNG Siehe Bild B.3.

DIN EN 1993-1-2:2010-12
EN 1993-1-2:2005 + AC:2009 (D)

(3) Für Stützen zwischen Öffnungen sollte der Wärmestrom durch Strahlung I_z der Flamme von jeder Seite berechnet werden nach:

$$I_z = (\phi_{z,m} \varepsilon_{z,m} + \phi_{z,n} \varepsilon_{z,n}) \sigma T_z^4 \quad (\text{B.7})$$

Dabei ist

$\phi_{z,m}$ der Gesamtkonfigurationsfaktor der Stütze für die Wärmestrahlung der Flammen auf der Seite m , siehe B.1.4;

$\phi_{z,n}$ der Gesamtkonfigurationsfaktor der Stütze für die Wärmestrahlung der Flammen auf der Seite n , siehe B.1.4;

$\varepsilon_{z,m}$ der Gesamtemissionswert der Flammen auf der Seite m , siehe B.2.2;

$\varepsilon_{z,n}$ der Gesamtemissionswert der Flammen auf der Seite n , siehe B.2.2.

ANMERKUNG Siehe Bild B.4.

B.2.2 Emissionswert der Flamme

(1) Wenn die Stütze vor einer Öffnung steht, sollte der Emissionswert ε_z der Flamme mit der in Anhang B der EN 1991-1-2 angegebenen Gleichung für ε mit der Flammendicke λ an der Oberkante der Öffnung ermittelt werden. Wenn keine oben liegenden Balkone oder Markisen vorhanden sind, darf λ wie folgt berechnet werden:

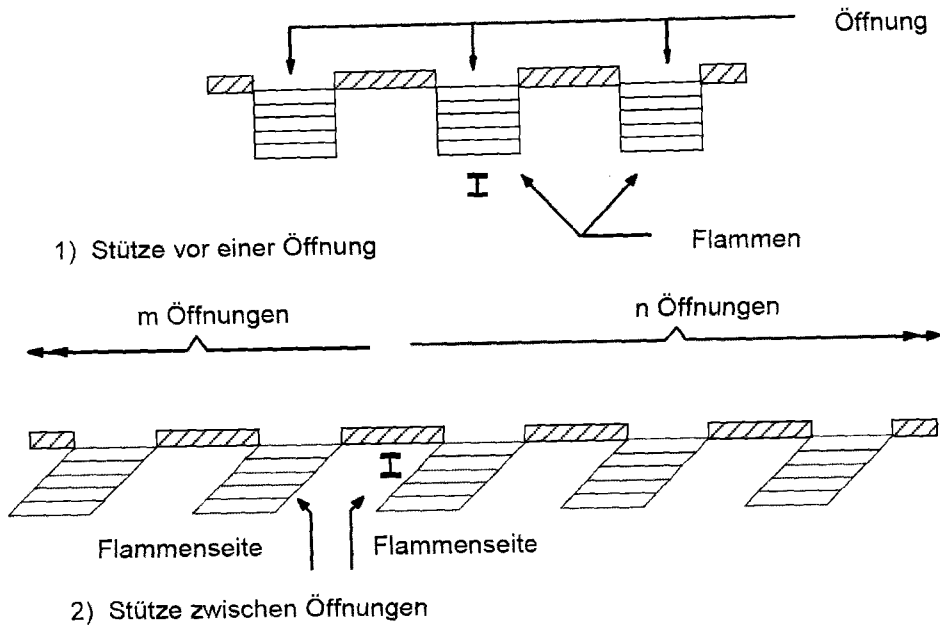
— „ohne Zwangsbe- und Zwangsentlüftung“:

$$\lambda = 2h / 3 \quad (\text{B.8a})$$

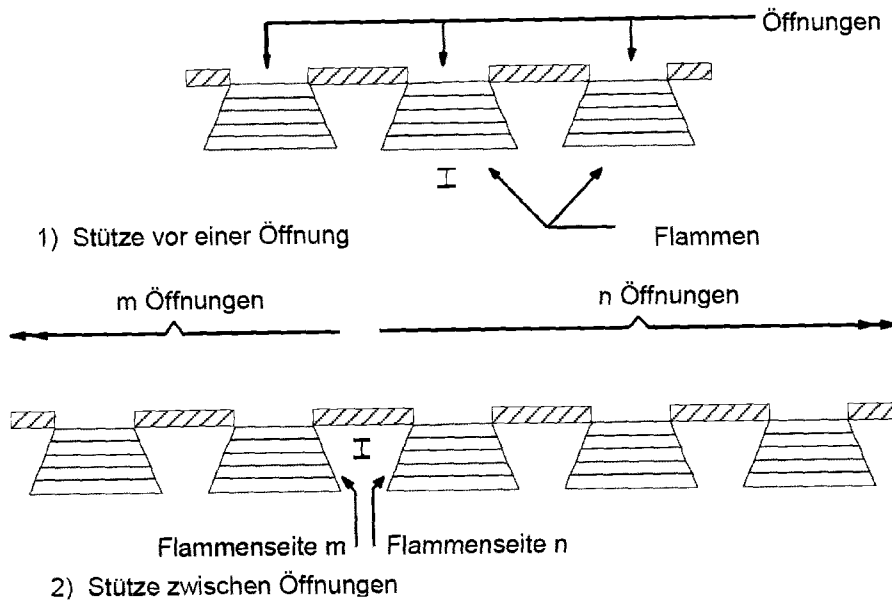
— „mit Zwangsbe- und Zwangsentlüftung“:

$$\lambda = x \text{ aber } \lambda \leq hx / z \quad (\text{B.8b})$$

Dabei sind h , x and z wie in EN 1991-1-2, Anhang B, angegeben.



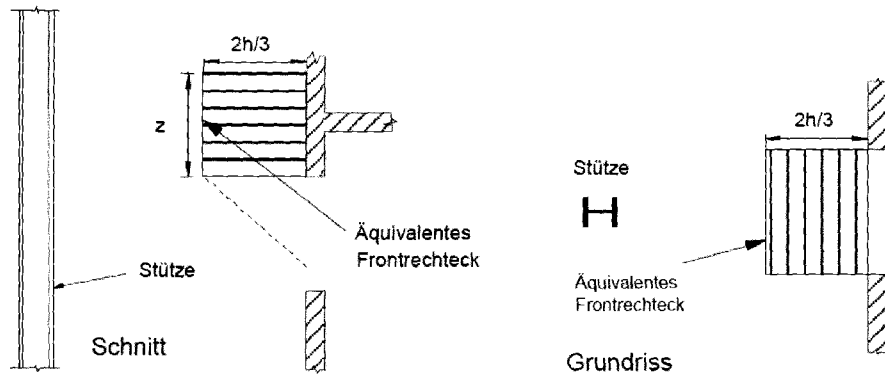
a) Fall „ohne Zwangsbe- und Zwangsentlüftung“



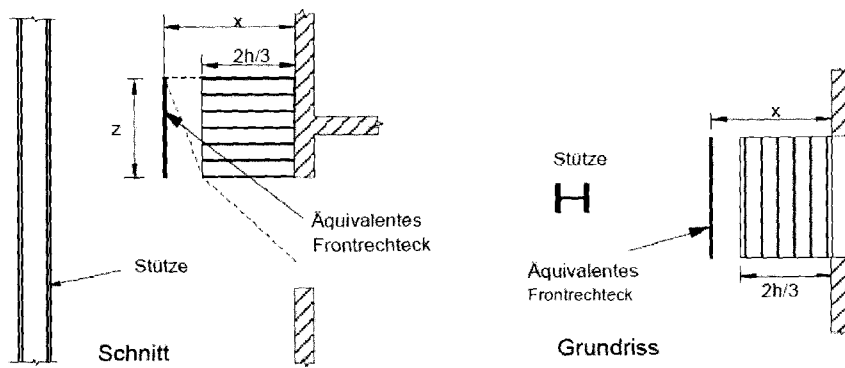
b) Fall „mit Zwangsbe- und Zwangsentlüftung“

Bild B.2 — Stützenpositionen

DIN EN 1993-1-2:2010-12
EN 1993-1-2:2005 + AC:2009 (D)

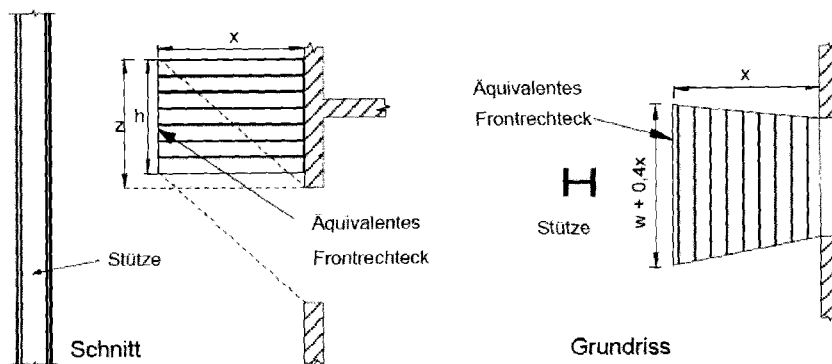


1) mit Wand darüber und $h < 1,25w$



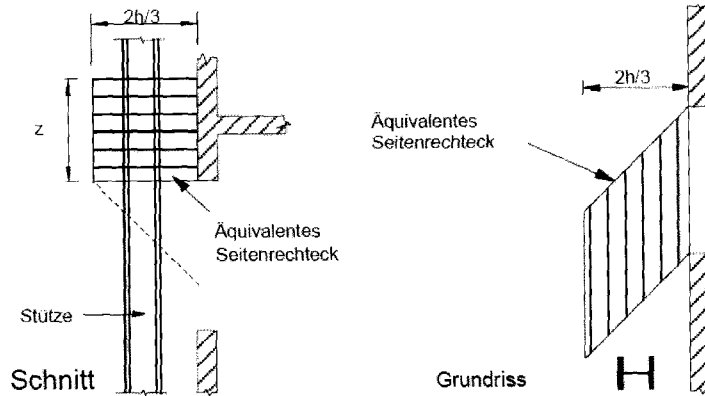
2) mit Wand darüber und $h > 1,25w$ oder ohne Wand darüber

a) Fall „ohne Zwangsbe- und Zwangsentlüftung“

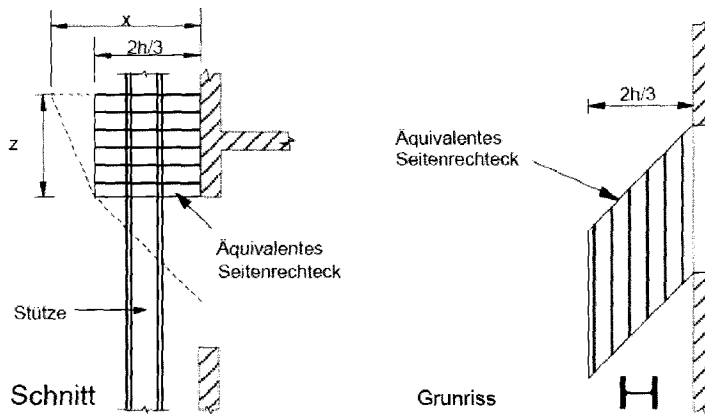


b) Fall „mit Zwangsbe- und Zwangsentlüftung“

Bild B.3 — Stütze vor Öffnung

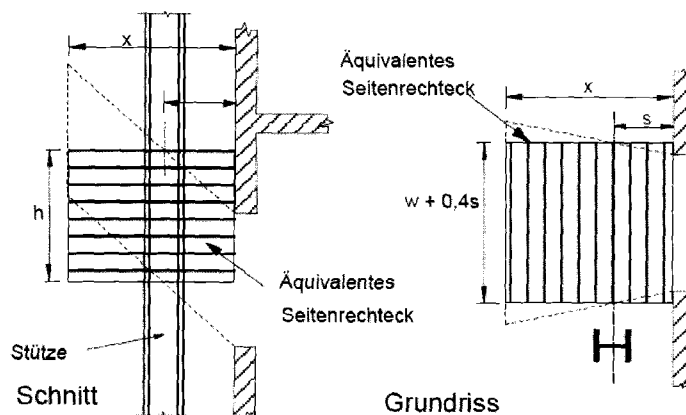


1) Mit Wand darüber und $h < 1,25w$



2) Mit Wand darüber und $h > 1,25w$ oder ohne Wand darüber

a) Fall „ohne Zwangsbe- und Zwangsentlüftung“



b) Fall „mit Zwangsbe- und Zwangsentlüftung“

Bild B.4 — Stütze zwischen Öffnungen

(2) Wenn die Stütze zwischen zwei Öffnungen steht, sollten die Emissionswerte $\varepsilon_{z,m}$ und $\varepsilon_{z,n}$ der Flammen auf den Seiten m und n mit der Gleichung für ε nach Anhang B der EN 1991-1-2 bestimmt werden. Die dabei zu verwendende Flammendicke λ ergibt sich zu:

DIN EN 1993-1-2:2010-12
EN 1993-1-2:2005 + AC:2009 (D)

— für Seite m :

$$\lambda = \sum_{i=1}^m \lambda_i \quad (\text{B.9a})$$

— für Seite n :

$$\lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i \quad (\text{B.9b})$$

Dabei ist

m die Zahl der Öffnungen auf der Seite m ;

n die Zahl der Öffnungen auf der Seite n ;

λ_i die Flammendicke für die Öffnung i .

(3) Die Flammendicke λ_i sollte wie folgt angenommen werden:

— für den Fall „ohne Zwangsbe- und Zwangsentlüftung“:

$$\lambda_i = w_i \quad (\text{B.10a})$$

— für den Fall „mit Zwangsbe- und Zwangsentlüftung“:

$$\lambda_i = w_i + 0,4 s \quad (\text{B.10b})$$

Dabei ist

w_i die Breite der Öffnung;

s die horizontale Entfernung der Stützenachse von der Wand des Brandabschnitts, siehe Bild B.1.

B.2.3 Flammentemperatur

(1) Die Flammentemperatur T_z sollte mit der in Anhang B der EN 1991-1-2 angegebenen Gleichung für T_z im Abstand l von der Öffnung ermittelt werden. Die Länge wird entlang der Flammenachse gemessen und ergibt sich wie folgt:

— für den Fall „ohne Zwangsbe- und Zwangsentlüftung“:

$$l = h / 2 \quad (\text{B.11a})$$

— für den Fall „mit Zwangsbe- und Zwangsentlüftung“:

— für eine Stütze vor einer Öffnung:

$$l = 0 \quad (\text{B.11b})$$

— bei einer Stütze zwischen Öffnungen ist die Länge l entlang der Flammenachse bis zu einem Punkt, der im horizontalen Abstand s von der Wand des Brandabschnitts liegt, zu bestimmen. Wenn sich keine Markisen oder Balkone über der Öffnung befinden, ergibt sich l zu:

$$l = s X / x \quad (\text{B.11c})$$

Dabei sind X und x nach EN 1991-1-2, Anhang B, festgelegt.

B.2.4 Absorptionswert der Flamme

- (1) Im Falle „ohne Zwangsbe- und Zwangsentlüftung“ sollte der Absorptionswert der Flamme a_z zu null angenommen werden.
- (2) Im Falle „mit Zwangsbe- und Zwangsentlüftung“ sollte der Absorptionswert der Flamme a_z die gleiche Größe haben wie der Emissionswert ε_z der maßgebenden Flamme, siehe B.2.2.

B.3 Nicht direkt beflammteter Träger

B.3.1 Wärmeübertragung durch Strahlung

- (1) B.3 gilt unter der Annahme, dass die Unterseite des Trägers über der Oberkante der Öffnung des Brandabschnitts liegt.
- (2) Es sollte eine Unterscheidung zwischen Trägern, die parallel zu der äußeren Wand des Brandabschnitts liegen, und Trägern, die senkrecht dazu angebracht sind, gemacht werden, siehe Bild B.5.
- (3) Wenn der Träger parallel zu der Außenwand des Brandabschnitts liegt, sollte die Temperatur des Stahlbauteils T_m an einem Punkt in dem Trägerbereich direkt über der Öffnung ermittelt werden. In diesem Fall wird der Wärmestrom durch Strahlung berechnet nach:

$$I_z = \phi_z \varepsilon_z \sigma T_z^4 \quad (\text{B.12})$$

Dabei ist

- ϕ_z der Gesamtkonfigurationsfaktor der direkt vor dem Träger befindlichen Flamme, siehe B.1.4;
- ε_z der Emissionswert der Flamme, siehe B.3.2;
- T_z die Temperatur der Flamme nach B.3.3 [K].

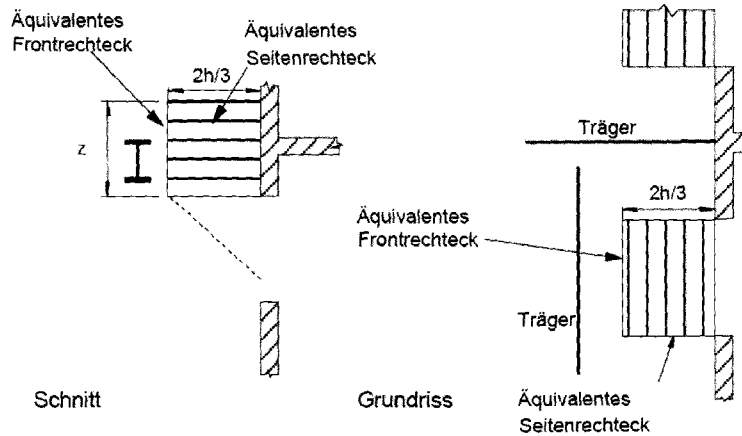
- (4) Befindet sich der Träger senkrecht auf der Außenwand des Brandabschnittes, dann sollten die Temperaturen an einer Reihe von 100 mm weit auseinander liegenden Punkten entlang des Trägers bestimmt werden. Als Bauteiltemperatur T_m sollte die größte der ermittelten Temperaturen angenommen werden. In diesem Fall wird der Wärmestrom durch Strahlung I_z wie folgt ermittelt:

$$I_z = (\phi_{z,m} \varepsilon_{z,m} + \phi_{z,n} \varepsilon_{z,n}) \sigma T_z^4 \quad (\text{B.13})$$

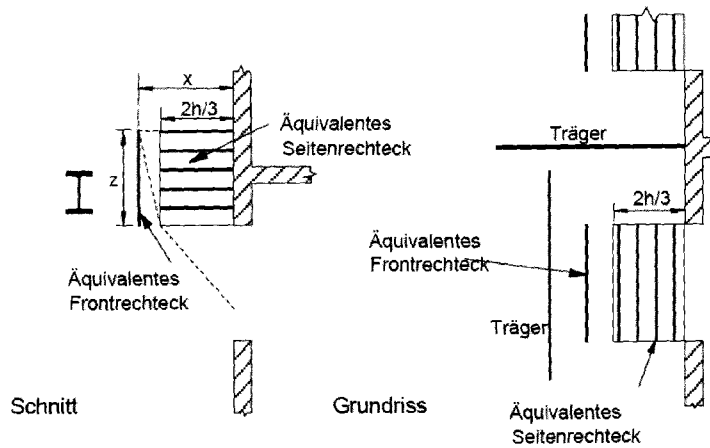
Dabei ist

- $\phi_{z,m}$ der Gesamtkonfigurationsfaktor für Flammen auf der Seite m , siehe B.3.2;
- $\phi_{z,n}$ der Gesamtkonfigurationsfaktor für Flammen auf der Seite n , siehe B.3.2;
- $\varepsilon_{z,m}$ der Gesamtemissionswert der Flammen auf der Seite m , siehe B.3.3;
- $\varepsilon_{z,n}$ der Gesamtemissionswert der Flammen auf der Seite n , siehe B.3.3;
- T_z die Flammentemperatur [K], siehe B.3.4.

DIN EN 1993-1-2:2010-12
EN 1993-1-2:2005 + AC:2009 (D)

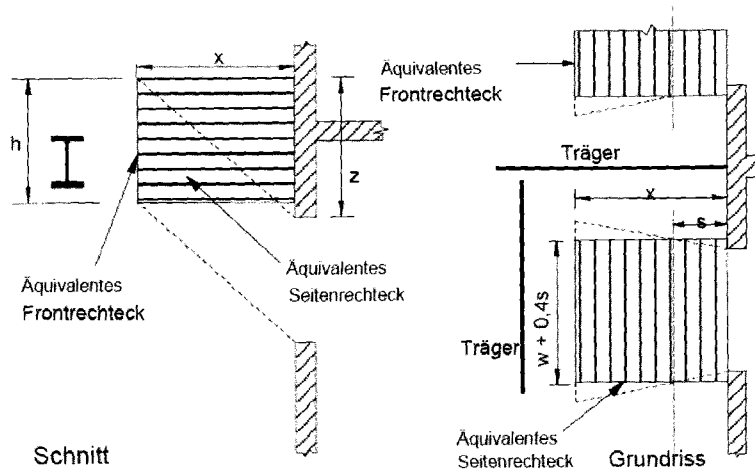


1) Mit Wand darüber und $h < 1,25w$



2) Mit Wand darüber und $h > 1,25w$ oder ohne Wand darüber

a) Fall „ohne Zwangsbe- und Zwangsentlüftung“



b) Fall „mit Zwangsbe- und Zwangsentlüftung“

Bild B.5 — Nicht direkt beflamelter Träger

B.3.2 Emissionswert der Flamme

(1) Wenn der Träger parallel zu der Außenwand des Brandabschnitts liegt und sich oberhalb einer Öffnung befindet, sollte der Emissionswert ε_z der Flamme mit der in Anhang B der EN 1991-1-2 angegebenen Gleichung für ε mit der Flammendicke λ an der Oberkante der Öffnung ermittelt werden. Wenn keine oben liegenden Balkone oder Markisen vorhanden sind, darf λ wie folgt berechnet werden:

— für den Fall „ohne Zwangsbe- und Zwangsentlüftung“:

$$\lambda = 2h / 3 \quad (\text{B.14a})$$

— für den Fall „mit Zwangsbe- und Zwangsentlüftung“:

$$\lambda = x \text{ aber } \lambda \leq hx / z \quad (\text{B.14b})$$

Dabei sind h , x und z wie in EN 1991-1-2, Anhang B, angegeben.

(2) Wenn der Träger senkrecht auf der Außenwand des Brandabschnittes liegt und sich zwischen zwei Öffnungen befindet, dann sollten die Gesamtemissionswerte $\varepsilon_{z,m}$ und $\varepsilon_{z,n}$ der Flammen auf den Seiten m und n mit der Gleichung für ε nach Anhang B der EN 1991-1-2 bestimmt werden. Die dabei zu verwendende Flammendicke λ ergibt sich zu:

— für Seite m :

$$\lambda = \sum_{i=1}^m \lambda_i \quad (\text{B.15a})$$

— für Seite n :

$$\lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i \quad (\text{B.15b})$$

Dabei ist

m die Zahl der Öffnungen auf der Seite m ;

n die Zahl der Öffnungen auf der Seite n ;

λ_i die Flammendicke für die Öffnung i .

(3) Die Flammendicke λ_i sollte wie folgt angenommen werden:

— für den Fall „ohne Zwangsbe- und Zwangsentlüftung“:

$$\lambda_i = w_i \quad (\text{B.16a})$$

— für den Fall „mit Zwangsbe- und Zwangsentlüftung“:

$$\lambda_i = w_i + 0,4 s \quad (\text{B.16b})$$

Dabei ist

w_i die Breite der Öffnung;

DIN EN 1993-1-2:2010-12
EN 1993-1-2:2005 + AC:2009 (D)

- s der horizontale Abstand zwischen der Wand des Brandabschnittes und der betrachteten Stelle des Balkens, siehe Bild B.5.

B.3.3 Flammentemperatur

(1) Die Flammentemperatur T_z in der Flammenachse sollte mit der in Anhang B der EN 1991-1-2 angegebenen Gleichung für T_z im Abstand l von der Öffnung ermittelt werden. Die Länge wird entlang der Flammenachse gemessen und ergibt sich wie folgt:

- für den Fall „ohne Zwangsbe- und Zwangsventilierung“:

$$l = h / 2 \quad (\text{B.17a})$$

- für den Fall „mit Zwangsbe- und Zwangsventilierung“:

- für Träger parallel zur Außenwand des Brandabschnitts und oberhalb einer Öffnung:

$$l = 0 \quad (\text{B.17b})$$

- für Träger senkrecht zur Außenwand des Brandabschnitts und zwischen Öffnungen ist l die Länge entlang der Flammenachse bis zu einem Punkt, der im horizontalen Abstand s von der Wand des Brandabschnitts entfernt liegt. Wenn sich keine Markisen oder Balkone über der Öffnung befinden, ergibt sich l zu:

$$l = s X / x \quad (\text{B.17c})$$

Dabei sind X und x wie in Anhang B von EN 1991-1-2 angegeben.

B.3.4 Absorptionswert der Flamme

(1) Im Falle „ohne Zwangsbe- und Zwangsventilierung“ sollte der Absorptionswert der Flamme a_z zu null angenommen werden.

(2) Im Falle „mit Zwangsbe- und Zwangsventilierung“ sollte der Absorptionswert der Flamme a_z die gleiche Größe haben wie der Emissionswert ε_z der maßgebenden Flamme, siehe B.3.2.

B.4 Direkt beflamnte Stützen

(1) Der Wärmestrom I_z infolge der Wärmestrahlung der Flammen sollte berechnet werden mit:

$$\boxed{\text{AC}} \quad I_z = \frac{(I_{z,1} + I_{z,2}) \cdot d_1 + (I_{z,3} + I_{z,4}) \cdot d_2}{(C_1 + C_2) \cdot d_1 + (C_3 + C_4) \cdot d_2} \quad \boxed{\text{AC}} (\text{B.18})$$

mit:

$$I_{z,1} = C_1 \varepsilon_{z,1} \sigma T_z^4$$

$$I_{z,2} = C_2 \varepsilon_{z,2} \sigma T_z^4$$

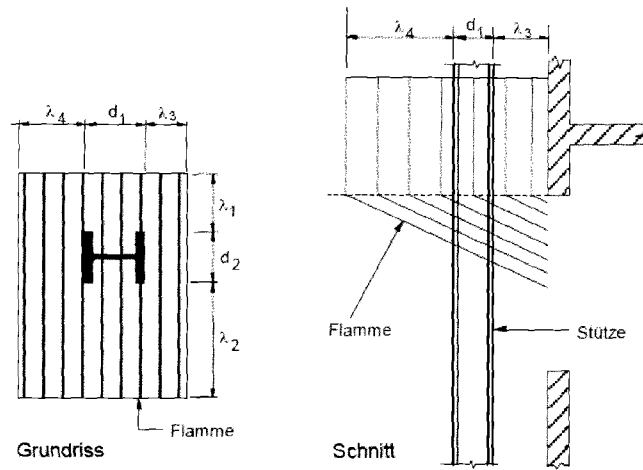
$$I_{z,3} = C_3 \varepsilon_{z,3} \sigma T_o^4$$

$$I_{z,4} = C_4 \varepsilon_{z,4} \sigma T_z^4$$

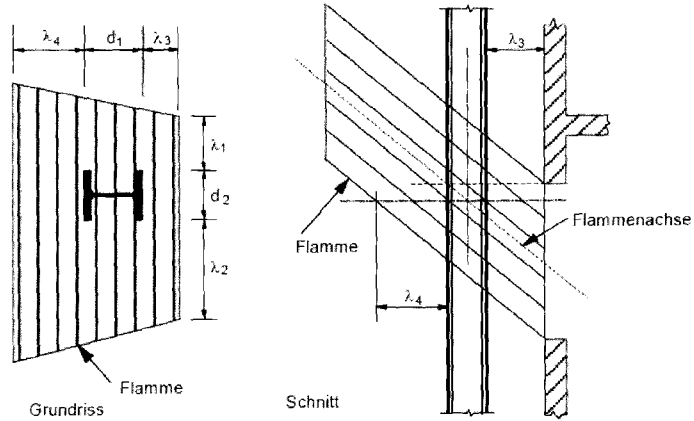
Dabei ist

- $I_{z,i}$ der Wärmestrom durch Strahlung von der Flamme zu der Stützensseite i ;
- $\varepsilon_{z,i}$ der Emissionswert von Flammen bezüglich der Stützensseite i ;
- i die Bezeichnung der Stützensseite (1), (2), (3) oder (4);
- C_i der Schutzbeiwert der Bauteilseite i , siehe B.1.4;
- T_z die Flammentemperatur [K];
- T_o die Flammentemperatur an der Öffnung [K] nach Anhang B der EN 1991-1-2.

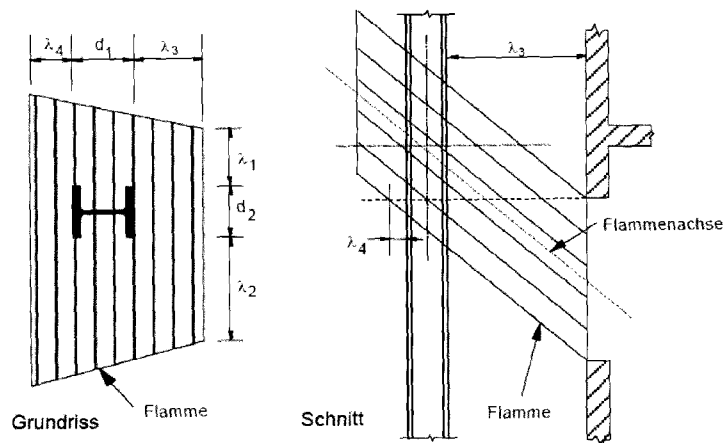
DIN EN 1993-1-2:2010-12
 EN 1993-1-2:2005 + AC:2009 (D)



a) Fall „ohne Zwangsbe- und Zwangsentlüftung“



1) Flammenachse schneidet Stützenachse unter Öffnungsoberkante



2) Flammenachse schneidet Stützenachse über Öffnungsoberkante

b) Fall „mit Zwangsbe- und Zwangsentlüftung“

Bild B.6 — Direkt beflamte Stütze

(2) Der Emissionswert der Flammen $\varepsilon_{z,i}$ für jede Stützenseite 1, 2, 3 und 4 sollte mit der Gleichung für ε , die in Anhang B der EN 1991-1-2 angegeben ist, bestimmt werden. Die Flammendicke λ sollte entsprechend der in Bild B.6 für die jeweilige Stützenseite i angegebene Flammendicke λ_i angenommen werden.

(3) Im Fall „ohne Zwangsbe- und Zwangsentlüftung“ sollten die Flammendicken λ_i an der Oberkante der Öffnung ermittelt werden, siehe Bild B.6 (a).

(4) Im Fall „mit Zwangsbe- und Zwangsentlüftung“ ist zu unterscheiden, ob der Schnittpunkt von Flammenachse und Schwerelinie der Stütze unter oder über der Oberkante der Öffnung liegt. Liegt er unterhalb der Öffnungsoberkante, dann wird die Flammendicke λ_i in Höhe der Öffnungsoberkante bestimmt, siehe Bild B.6 b) (1). Liegt der Schnittpunkt oberhalb der Öffnung, dann werden die Flammendicken λ_i in Höhe der Öffnungsoberkante bestimmt, siehe Bild B.6 b) (2). Ist in diesem Fall die Flammendicke $\lambda_4 < 0$, dann sind die Flammendicken in der Höhe zu ermitteln, in der $\lambda_4 = 0$ ist.

(5) Die Flammentemperatur T_z sollte mit der in Anhang B der EN 1991-1-2 angegebenen Gleichung für T_z im Abstand l von der Öffnung ermittelt werden. Die Länge wird entlang der Flammenachse gemessen und ergibt sich wie folgt:

— für den Fall „ohne Zwangsbe- und Zwangsentlüftung“:

$$l = h / 2 \quad (\text{B.19a})$$

— für den Fall „mit Zwangsbe- und Zwangsentlüftung“ ist l die Strecke auf der Flammenachse bis zu der Höhe, in der λ_i bestimmt wird. Unter der Voraussetzung, dass sich keine Balkone oder Markisen oberhalb der Öffnung befinden, gilt:

$$l = (\lambda_3 + 0,5 d_1) X / x \text{ aber } l \leq 0,5 hX / z \quad (\text{B.19b})$$

Dabei sind h , X , x und z die Werte wie in EN 1991-1-2, Anhang B, angegeben.

(6) Der Absorptionswert der Flammen a_z sollte wie folgt berechnet werden:

$$a_z = \frac{\varepsilon_{z,1} + \varepsilon_{z,2} + \varepsilon_{z,3}}{3} \quad (\text{B.20})$$

Dabei sind $\varepsilon_{z,1}$, $\varepsilon_{z,2}$ und $\varepsilon_{z,3}$ die Emissionswerte der Stützenseiten 1, 2 und 3.

B.5 Vollständig oder teilweise beflamnte Träger

B.5.1 Wärmeübertragung durch Strahlung

B.5.1.1 Allgemeines

(1) Für B.5 gilt die Annahme, dass die Unterkante des Trägers nicht unter der Oberkante der Öffnung liegt.

(2) Es sollte eine Unterscheidung zwischen Trägern, die parallel zu der Außenwand des Brandabschnitts liegen, und solchen, die senkrecht dazu liegen, gemacht werden, siehe Bild B.7.

(3) Wenn der Träger parallel zu der Außenwand des Brandabschnitts liegt, sollte die mittlere Temperatur des Stahlbauteils T_m an einem Punkt im Trägerbereich direkt über der Öffnung ermittelt werden.

(4) Befindet der Träger senkrecht auf der Außenwand des Brandabschnitts, dann sollten die Temperaturen an einer Reihe von 100 mm auseinander liegenden Punkten entlang des Trägers bestimmt werden. Als Bauteiltemperatur T_m sollte die größte der ermittelten Temperaturen angenommen werden.

(5) Der Wärmestrom I_z infolge der Wärmestrahlung der Flamme sollte berechnet werden mit:

DIN EN 1993-1-2:2010-12
EN 1993-1-2:2005 + AC:2009 (D)

$$\boxed{\text{AC}} \quad I_z = \frac{(I_{z,1} + I_{z,2}) \cdot d_1 + (I_{z,3} + I_{z,4}) \cdot d_2}{(C_1 + C_2) \cdot d_1 + (C_3 + C_4) \cdot d_2} \quad \boxed{\text{AC}} \text{(B.21)}$$

Dabei ist

$I_{z,i}$ der Wärmestrom durch Strahlung von der Flamme zu der Trägerseite i ;

i die Bezeichnung der Stützenseite (1), (2), (3) oder (4).

B.5.1.2 Fall „ohne Zwangsbe- und Zwangsentlüftung“

(1) Im Fall „ohne Zwangsbe- und Zwangsentlüftung“ sollte eine Unterscheidung zwischen den Fällen gemacht werden, in denen die Oberseite der Flamme über der Trägeroberkante liegt, und denen, in denen sie darunter liegt.

(2) Falls die Flammenoberseite über der Trägeroberkante liegt, gilt:

$$I_{z,1} = C_1 \varepsilon_{z,1} \sigma T_o^4 \quad \text{(B.22a)}$$

$$I_{z,2} = C_2 \varepsilon_{z,2} \sigma T_{z,2}^4 \quad \text{(B.22b)}$$

$$I_{z,3} = C_3 \varepsilon_{z,3} \sigma (T_{z,1}^4 + T_{z,2}^4) / 2 \quad \text{(B.22c)}$$

$$I_{z,4} = C_4 \varepsilon_{z,4} \sigma (T_{z,1}^4 + T_{z,2}^4) / 2 \quad \text{(B.22d)}$$

Dabei ist

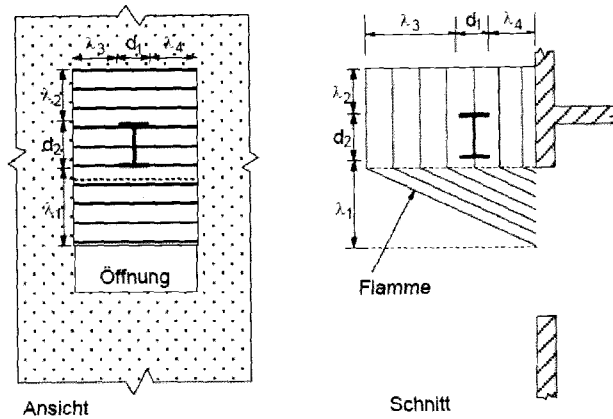
$\varepsilon_{z,i}$ der Emissionswert von Flammen bezüglich der Trägerseite i , siehe B.5.2;

T_o die Temperatur an der Öffnung [K] nach EN 1991-1-2, Anhang B;

$T_{z,1}$ die Flammentemperatur [K] nach EN 1991-1-2, Anhang B, in Höhe der Trägerunterkante;

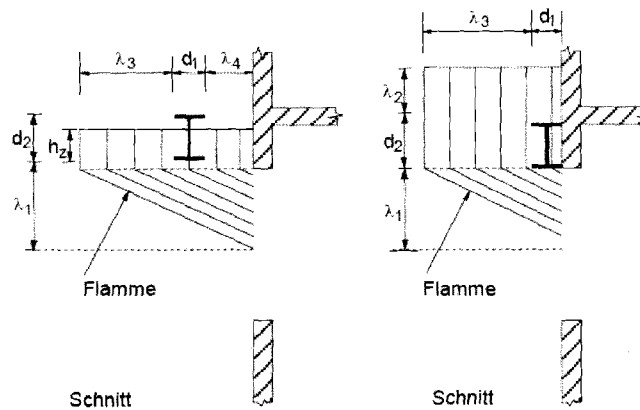
$T_{z,2}$ die Flammentemperatur [K] nach EN 1991-1-2, Anhang B, in Höhe der Trägeroberkante.

(3) Falls ein Träger parallel zu der Außenwand des Brandabschnitts verläuft und an dieser Wand anliegt, darf C_4 zu null angenommen werden, siehe Bild B.7.



1) Träger senkrecht zur Wand

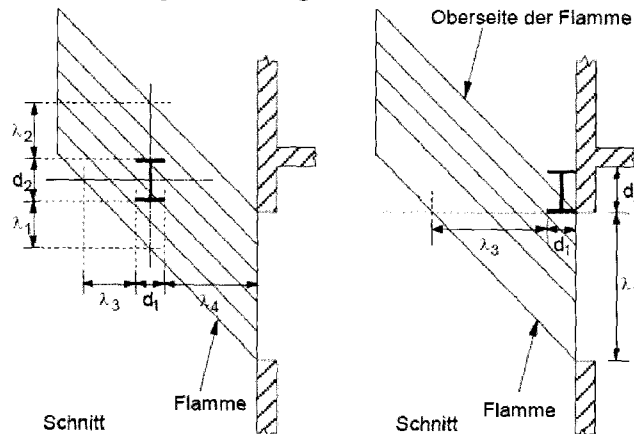
2) Träger parallel zur Wand



3) Oberseite der Flamme unter Trägeroberkante

4) An der Wand anliegender Träger

a) Fall „ohne Zwangsbe- und Zwangsentlüftung“



1) Träger ohne Wandkontakt

2) An der Wand anliegender Träger

b) Fall „mit Zwangsbe- und Zwangsentlüftung“

Bild B.7 — Beflammter Träger

(4) Falls die Oberseite der Flamme unter der Oberkante des Trägers liegt, gilt in der Regel:

DIN EN 1993-1-2:2010-12
EN 1993-1-2:2005 + AC:2009 (D)

$$I_{z,1} = C_1 \varepsilon_{z,1} \sigma T_o^4 \quad (\text{B.23a})$$

$$I_{z,2} = 0 \quad (\text{B.23b})$$

$$I_{z,3} = (h_z / d_2) C_3 \varepsilon_{z,3} \sigma (T_{z,1}^4 + T_x^4) / 2 \quad (\text{B.23c})$$

$$I_{z,4} = (h_z / d_2) C_4 \varepsilon_{z,4} \sigma (T_{z,1}^4 + T_x^4) / 2 \quad (\text{B.23d})$$

Dabei ist

T_x die Temperatur an der Flammenoberseite [813 K];

h_z der Höhe der Flammenoberseite über der Trägerunterkante.

B.5.1.3 Fall „mit Zwangsbe- und Zwangsentlüftung“

(1) Im Falle „mit Zwangsbe- und Zwangsentlüftung“ sollte bei parallel zur Außenwand des Brandabschnitts verlaufenden Trägern zwischen an der Wand anliegenden Trägern und nicht anliegenden Trägern unterschieden werden.

ANMERKUNG Siehe Bild B.7.

(2) Für nicht an der Wand anliegende oder senkrecht darauf stehende Träger gilt in der Regel:

$$I_{z,1} = C_1 \varepsilon_{z,1} \sigma T_o^4 \quad (\text{B.24a})$$

$$I_{z,2} = C_2 \varepsilon_{z,2} \sigma T_{z,2}^4 \quad (\text{B.24b})$$

$$I_{z,3} = C_3 \varepsilon_{z,3} \sigma (T_{z,1}^4 + T_{z,2}^4) / 2 \quad (\text{B.24c})$$

$$I_{z,4} = C_4 \varepsilon_{z,4} \sigma (T_{z,1}^4 + T_{z,2}^4) / 2 \quad (\text{B.24d})$$

(3) Wenn der Träger direkt an der Wand anliegt, sollte nur von der Trägerunterseite angenommen werden, dass sie direkt den Flammen ausgesetzt ist. Seitenfläche und Oberseite des Trägers werden dann lediglich durch die Wärmestrahlung der Flammenoberseite betroffen, siehe Bild B.7 b) (2). Deshalb gilt:

$$I_{z,1} = C_1 \varepsilon_{z,1} \sigma T_o^4 \quad (\text{B.25a})$$

$$I_{z,2} = \phi_{z,2} C_2 \varepsilon_{z,2} \sigma T_{z,2}^4 \quad (\text{B.25b})$$

$$I_{z,3} = \phi_{z,3} C_3 \varepsilon_{z,3} \sigma (T_{z,1}^4 + T_{z,2}^4) / 2 \quad (\text{B.25c})$$

$$I_{z,4} = 0 \quad (\text{B.25d})$$

Dabei ist $\phi_{z,i}$ der Konfigurationsfaktor der Flammenoberseite bezüglich der Seite i des Trägers nach Anhang G von EN 1991-1-2.

B.5.2 Emissionswert der Flamme

(1) Der Emissionswert der Flamme $\varepsilon_{z,i}$ für die Seiten 1, 2, 3 und 4 des Trägers sollte mit der in Anhang B der EN 1991-1-2 angegebenen Gleichung für ε ermittelt werden. Dabei sollte für die Flammendicke λ die jeweilige Abmessung λ_i nach Bild B.7 eingesetzt werden.

B.5.3 Absorptionswert der Flamme

(1) Der Absorptionswert der Flamme a_z sollte berechnet werden nach:

$$a_z = 1 - e^{-0,3h} \quad (\text{B.26})$$

AC Dabei ist

h die Höhe der Öffnung (siehe auch Bild B.7b), die Höhe wird jedoch dort als λ_1 bezeichnet). **AC**

Anhang C (informativ)

Nichtrostender Stahl

C.1 Allgemeines

(1) Die thermischen und mechanischen Materialeigenschaften der folgenden nichtrostenden Stahlsorten sind in diesem Anhang angegeben: 1.4301, 1.4401, 1.4571, 1.4003 und 1.4462.

ANMERKUNG Für andere nichtrostende Stahlsorten nach EN 1993-1-4 können die mechanischen Eigenschaften nach 3.2 verwendet werden. Die thermischen Eigenschaften können diesem Anhang entnommen werden.

(2) Die in diesem Anhang angegebenen Werte der mechanischen Materialeigenschaften sollten als charakteristische Werte betrachtet werden.

(3) Die mechanischen Werkstoffeigenschaften von Stahl bei 20 °C sollten EN 1993-1-1 entnommen werden.

C.2 Mechanische Eigenschaften von nichtrostendem Stahl

C.2.1 Festigkeits- und Verformungseigenschaften

(1) Bei Erwärmungsgeschwindigkeiten zwischen 2 K/min und 50 K/min sollte die Festigkeits- und Verformungseigenschaften von Stahl unter erhöhter Temperatur der Spannungs-Dehnungsbeziehung in Bild C.1 zu entnommen werden.

ANMERKUNG Die Regeln dieser Norm unterstellen, dass die Erwärmungsgeschwindigkeit innerhalb dieser Grenzen liegt.

(2) Die Spannungs-Dehnungsbeziehung nach Bild C.1 sollte für die Berechnung der Tragfähigkeiten bei Zug-, Druck-, Momenten- und Schubbeanspruchung verwendet werden.

(3) Tabelle C.1 enthält die Abminderungsfaktoren für die Spannungs-Dehnungsbeziehung von nichtrostendem Stahl. Diese Abminderungsfaktoren sind wie folgt definiert:

— Steigung im linear-elastischen Bereich, relativ zur Steigung bei 20 °C: $k_{E,\theta} = E_{a,\theta} / E_a$

— Streckgrenze, relativ zur Streckgrenze bei 20 °C: $k_{0,2p,\theta} = f_{0,2p,\theta} / f_y$

— Zugfestigkeit, relativ zur Zugfestigkeit bei 20 °C: $k_{u,\theta} = f_{u,\theta} / f_u$

(4) Für die Anwendung von vereinfachten Berechnungsverfahren sind die Korrekturwerte $k_{2\%,\theta}$ für die Berechnung der Streckgrenze in Tabelle C.1 angegeben. Diese werden berechnet nach:

$$f_{y,\theta} = f_{0,2p,\theta} + k_{2\%,\theta} (f_{u,\theta} - f_{0,2p,\theta}) \quad (\text{C.1})$$

(5) Für die Anwendung von erweiterten Berechnungsverfahren sind in Tabelle C.2 weitere Werte der Spannungs-Dehnungsbeziehung von verschiedenen nichtrostenden Stahlsorten unter erhöhter Temperatur angegeben. Diese werden berechnet nach:

— Steigung an der Streckgrenze, relativ zur Steigung bei 20 °C: $k_{E_{ct},\theta} = E_{ct,\theta} / E_a$

— Bruchdehnung: $\varepsilon_{u,\theta}$

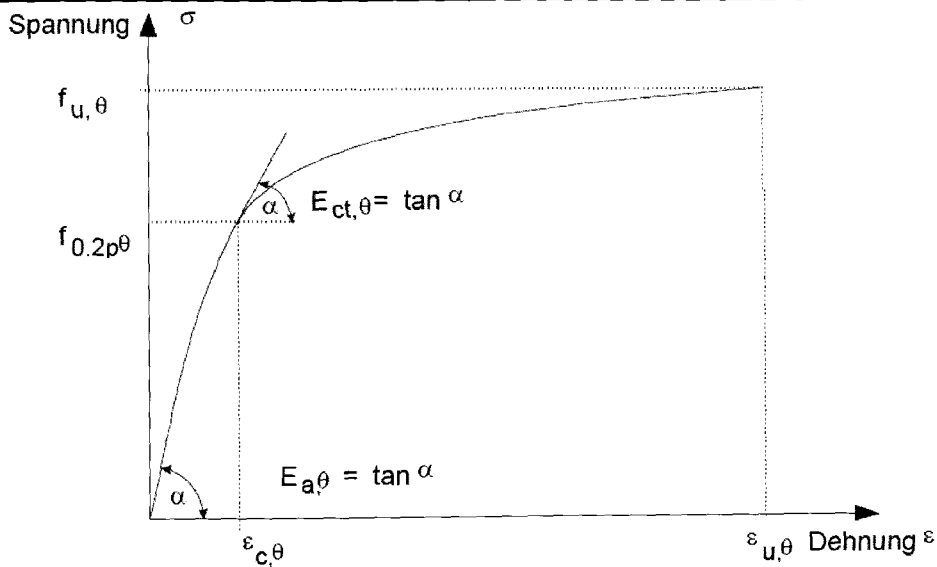
C.2.2 Rohdichte

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

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

DIN EN 1993-1-2:2010-12
EN 1993-1-2:2005 + AC:2009 (D)

| Dehnungsbereich | Spannung σ | Tangentenmodul E_t |
|--|---|---|
| $\varepsilon \leq \varepsilon_{c,\theta}$ | $\frac{E \cdot \varepsilon}{1 + a \cdot \varepsilon^b}$ | $\frac{E(1 + a \cdot \varepsilon^b - a \cdot b \cdot \varepsilon^b)}{(1 + a \cdot \varepsilon^b)^2}$ |
| $\varepsilon_{c,\theta} < \varepsilon \leq \varepsilon_{u,\theta}$ | $f_{0,2p,\theta} - e + (d/c) \sqrt{c^2 - (\varepsilon_{u,\theta} - \varepsilon)^2}$ | $\frac{d \cdot (\varepsilon_{u,\theta} - \varepsilon)}{c \sqrt{c^2 - (\varepsilon_{u,\theta} - \varepsilon)^2}}$ AC |
| Parameter | $\varepsilon_{c,\theta} = f_{0,2p,\theta} / E_{a,\theta} + 0,002$ | |
| Funktionen | $a = \frac{E_{a,\theta} \varepsilon_{c,\theta} - f_{0,2p,\theta}}{f_{0,2p,\theta} \varepsilon_{c,\theta}^b} \quad b = \frac{(1 - \varepsilon_{c,\theta} E_{ct,\theta} / f_{0,2p,\theta}) E_{a,\theta} \varepsilon_{c,\theta}}{(E_{a,\theta} \varepsilon_{c,\theta} / f_{0,2p,\theta} - 1) f_{0,2p,\theta}}$ $c^2 = (\varepsilon_{u,\theta} - \varepsilon_{c,\theta}) \left(\varepsilon_{u,\theta} - \varepsilon_{c,\theta} + \frac{e}{E_{ct,\theta}} \right) \quad d^2 = e (\varepsilon_{u,\theta} - \varepsilon_{c,\theta}) E_{ct,\theta} + e^2$ $e = \frac{(f_{u,\theta} - f_{0,2p,\theta})^2}{(\varepsilon_{u,\theta} - \varepsilon_{c,\theta}) E_{ct,\theta} - 2(f_{u,\theta} - f_{0,2p,\theta})}$ | |



Legende

- $f_{u,\theta}$ Zugfestigkeit;
- $f_{0,2p,\theta}$ Streckgrenze bei 0,2 % der plastischer Dehnung;
- $E_{a,\theta}$ Steigung im linear-elastischen Bereich;
- $E_{ct,\theta}$ Steigung an der Streckgrenze;
- $\varepsilon_{c,\theta}$ beim Erreichen der Streckgrenze vorliegende Gesamtdehnung;
- $\varepsilon_{u,\theta}$ Bruchdehnung.

Bild C.1 — Spannungs-Dehnungsbeziehung für nichtrostenden Stahl unter erhöhter Temperatur

Tabelle C.1 — Faktoren zur Bestimmung der Dehnung und Steifigkeit von nichtrostendem Stahl unter erhöhter Temperatur

| Stahltemperatur θ_a | Abminderungsfaktor (relativ zu E_a) für die Steigung im elastischen Bereich $k_{E,\theta} = E_{a,\theta} / E_a$ | Abminderungsfaktor (relativ zu f_y) für die Streckgrenze $k_{0,2p,\theta} = f_{0,2p,\theta} / f_y$ | Abminderungsfaktor (relativ zu f_u) für die Zugfestigkeit $k_{u,\theta} = f_{u,\theta} / f_u$ | Faktor zur Bestimmung der Streckgrenze $f_{y,\theta}$ $k_{2\%,\theta}$ |
|----------------------------------|--|--|---|---|
| Stahlgüte 1.4301 | | | | |
| 20 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 0,26 |
| 100 | 0,96 | 0,82 | 0,87 | 0,24 |
| 200 | 0,92 | 0,68 | 0,77 | 0,19 |
| 300 | 0,88 | 0,64 | 0,73 | 0,19 |
| 400 | 0,84 | 0,60 | 0,72 | 0,19 |
| 500 | 0,80 | 0,54 | 0,67 | 0,19 |
| 600 | 0,76 | 0,49 | 0,58 | 0,22 |
| 700 | 0,71 | 0,40 | 0,43 | 0,26 |
| 800 | 0,63 | 0,27 | 0,27 | 0,35 |
| 900 | 0,45 | 0,14 | 0,15 | 0,38 |
| 1 000 | 0,20 | 0,06 | 0,07 | 0,40 |
| 1 100 | 0,10 | 0,03 | 0,03 | 0,40 |
| 1 200 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,40 |
| Stahlgüte 1.4401 / 1.4404 | | | | |
| 20 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 0,24 |
| 100 | 0,96 | 0,88 | 0,93 | 0,24 |
| 200 | 0,92 | 0,76 | 0,87 | 0,24 |
| 300 | 0,88 | 0,71 | 0,84 | 0,24 |
| 400 | 0,84 | 0,66 | 0,83 | 0,21 |
| 500 | 0,80 | 0,63 | 0,79 | 0,20 |
| 600 | 0,76 | 0,61 | 0,72 | 0,19 |
| 700 | 0,71 | 0,51 | 0,55 | 0,24 |
| 800 | 0,63 | 0,40 | 0,34 | 0,35 |
| 900 | 0,45 | 0,19 | 0,18 | 0,38 |
| 1 000 | 0,20 | 0,10 | 0,09 | 0,40 |
| 1 100 | 0,10 | 0,05 | 0,04 | 0,40 |
| 1 200 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,40 |
| Stahlgüte 1.4571 | | | | |
| 20 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 0,25 |
| 100 | 0,96 | 0,89 | 0,88 | 0,25 |
| 200 | 0,92 | 0,83 | 0,81 | 0,25 |
| 300 | 0,88 | 0,77 | 0,80 | 0,24 |
| 400 | 0,84 | 0,72 | 0,80 | 0,22 |
| 500 | 0,80 | 0,69 | 0,77 | 0,21 |
| 600 | 0,76 | 0,66 | 0,71 | 0,21 |
| 700 | 0,71 | 0,59 | 0,57 | 0,25 |
| 800 | 0,63 | 0,50 | 0,38 | 0,35 |
| 900 | 0,45 | 0,28 | 0,22 | 0,38 |
| 1 000 | 0,20 | 0,15 | 0,11 | 0,40 |
| 1 100 | 0,10 | 0,075 | 0,055 | 0,40 |
| 1 200 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,40 |

DIN EN 1993-1-2:2010-12
EN 1993-1-2:2005 + AC:2009 (D)

Tabelle C.1 (fortgesetzt)

| Stahltemperatur θ_a | Abminderungsfaktor (relativ zu E_a) für die Steigung im elastischen Bereich $k_{E,\theta} = E_{a,\theta} / E_a$ | Abminderungsfaktor (relativ zu f_y) für die Streckgrenze $k_{0,2p,0} = f_{0,2p,0} / f_y$ | Abminderungsfaktor (relativ zu f_u) für die Zugfestigkeit $k_{u,\theta} = f_{u,\theta} / f_u$ | Faktor zur Bestimmung der Streckgrenze $f_{y,\theta}$ $k_{2\%,0}$ |
|-------------------------------|--|--|---|--|
| Stahlgüte 1.4003 | | | | |
| 20 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 0,37 |
| 100 | 0,96 | 1,00 | 0,94 | 0,37 |
| 200 | 0,92 | 1,00 | 0,88 | 0,37 |
| 300 | 0,88 | 0,98 | 0,86 | 0,37 |
| 400 | 0,84 | 0,91 | 0,83 | 0,42 |
| 500 | 0,80 | 0,80 | 0,81 | 0,40 |
| 600 | 0,76 | 0,45 | 0,42 | 0,45 |
| 700 | 0,71 | 0,19 | 0,21 | 0,46 |
| 800 | 0,63 | 0,13 | 0,12 | 0,47 |
| 900 | 0,45 | 0,10 | 0,11 | 0,47 |
| 1 000 | 0,20 | 0,07 | 0,09 | 0,47 |
| 1 100 | 0,10 | 0,035 | 0,045 | 0,47 |
| 1 200 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,47 |
| Stahlgüte 1.4462 | | | | |
| 20 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 0,35 |
| 100 | 0,96 | 0,91 | 0,93 | 0,35 |
| 200 | 0,92 | 0,80 | 0,85 | 0,32 |
| 300 | 0,88 | 0,75 | 0,83 | 0,30 |
| 400 | 0,84 | 0,72 | 0,82 | 0,28 |
| 500 | 0,80 | 0,65 | 0,71 | 0,30 |
| 600 | 0,76 | 0,56 | 0,57 | 0,33 |
| 700 | 0,71 | 0,37 | 0,38 | 0,40 |
| 800 | 0,63 | 0,26 | 0,29 | 0,41 |
| 900 | 0,45 | 0,10 | 0,12 | 0,45 |
| 1 000 | 0,20 | 0,03 | 0,04 | 0,47 |
| 1 100 | 0,10 | 0,015 | 0,02 | 0,47 |
| 1 200 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,47 |

Tabelle C.2 — Abminderungsfaktor und Bruchdehnung für die Anwendung von erweiterten Berechnungsverfahren

| Stahltemperatur θ_a | Abminderungsfaktor (relativ zu E_a) für die Steigung im linear-elastischen Bereich $k_{Ect,\theta} = E_{ct,\theta} / E_a$ | Bruchdehnung $\epsilon_{u,\theta}$ [-] |
|----------------------------------|---|--|
| Stahlgüte 1.4301 | | |
| 20 | 0,11 | 0,40 |
| 100 | 0,05 | 0,40 |
| 200 | 0,02 | 0,40 |
| 300 | 0,02 | 0,40 |
| 400 | 0,02 | 0,40 |
| 500 | 0,02 | 0,40 |
| 600 | 0,02 | 0,35 |
| 700 | 0,02 | 0,30 |
| 800 | 0,02 | 0,20 |
| 900 | 0,02 | 0,20 |
| 1 000 | 0,02 | 0,20 |
| 1 100 | 0,02 | 0,20 |
| 1 200 | 0,02 | 0,20 |
| Stahlgüte 1.4401 / 1.4404 | | |
| 20 | 0,050 | 0,40 |
| 100 | 0,049 | 0,40 |
| 200 | 0,047 | 0,40 |
| 300 | 0,045 | 0,40 |
| 400 | 0,030 | 0,40 |
| 500 | 0,025 | 0,40 |
| 600 | 0,020 | 0,40 |
| 700 | 0,020 | 0,30 |
| 800 | 0,020 | 0,20 |
| 900 | 0,020 | 0,20 |
| 1 000 | 0,020 | 0,20 |
| 1 100 | 0,020 | 0,20 |
| 1 200 | 0,020 | 0,20 |
| Stahlgüte 1.4571 | | |
| 20 | 0,060 | 0,40 |
| 100 | 0,060 | 0,40 |
| 200 | 0,050 | 0,40 |
| 300 | 0,040 | 0,40 |
| 400 | 0,030 | 0,40 |
| 500 | 0,025 | 0,40 |
| 600 | 0,020 | 0,35 |
| 700 | 0,020 | 0,30 |
| 800 | 0,020 | 0,20 |
| 900 | 0,020 | 0,20 |
| 1 000 | 0,020 | 0,20 |
| 1 100 | 0,020 | 0,20 |
| 1 200 | 0,020 | 0,20 |

DIN EN 1993-1-2:2010-12
EN 1993-1-2:2005 + AC:2009 (D)

Tabelle C.2 (fortgesetzt)

| Stahltemperatur θ_a | Abminderungsfaktor (relativ zu E_a) für die Steigung im linear elastischen Bereich $k_{Ect,\theta} = E_{ct,\theta} / E_a$ | Bruchdehnung $\varepsilon_{u,0}$ [-] |
|-------------------------------|---|--|
| Stahlgüte 1.4003 | | |
| 20 | 0,055 | 0,20 |
| 100 | 0,030 | 0,20 |
| 200 | 0,030 | 0,20 |
| 300 | 0,030 | 0,20 |
| 400 | 0,030 | 0,15 |
| 500 | 0,030 | 0,15 |
| 600 | 0,030 | 0,15 |
| 700 | 0,030 | 0,15 |
| 800 | 0,030 | 0,15 |
| 900 | 0,030 | 0,15 |
| 1 000 | 0,030 | 0,15 |
| 1 100 | 0,030 | 0,15 |
| 1 200 | 0,030 | 0,15 |
| Stahlgüte 1.4462 | | |
| 20 | 0,100 | 0,20 |
| 100 | 0,070 | 0,20 |
| 200 | 0,037 | 0,20 |
| 300 | 0,035 | 0,20 |
| 400 | 0,033 | 0,20 |
| 500 | 0,030 | 0,20 |
| 600 | 0,030 | 0,20 |
| 700 | 0,025 | 0,15 |
| 800 | 0,025 | 0,15 |
| 900 | 0,025 | 0,15 |
| 1 000 | 0,025 | 0,15 |
| 1 100 | 0,025 | 0,15 |
| 1 200 | 0,025 | 0,15 |

C.3 Thermische Materialeigenschaften

C.3.1 Thermische Dehnung

(1) Die thermische Dehnung von austenitischem nichtrostendem Stahl $\Delta/l/l$ darf wie folgt bestimmt werden:

$$\Delta/l/l = (16 + 4,79 \times 10^{-3} \theta_a - 1,243 \times 10^{-6} \theta_a^2) \times (\theta_a - 20) 10^{-6} \quad (C.1)$$

Dabei ist

- l die Länge bei 20 °C;
- Δ/l die Verlängerung infolge der Temperaturbeanspruchung;
- θ_a die Stahltemperatur [°C].

ANMERKUNG Die Abhängigkeit der Temperaturdehnung von der Temperatur ist in Bild C.2 dargestellt.

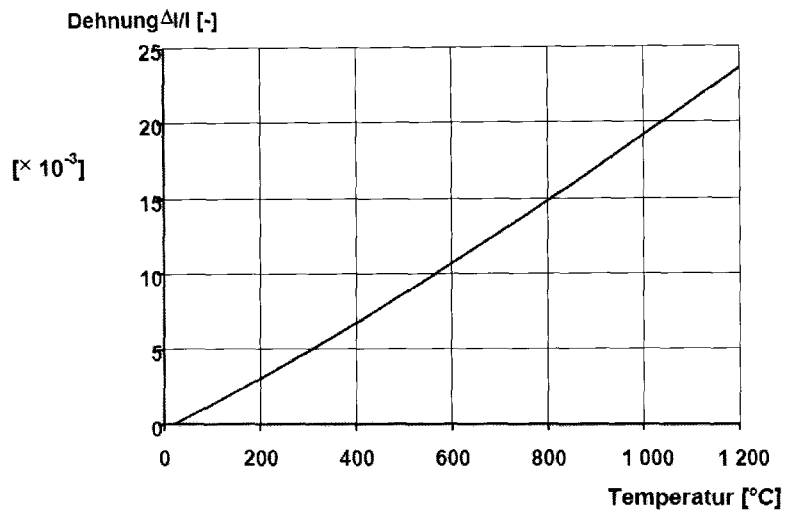


Bild C.2 — Thermische Dehnung von nichtrostendem Stahl in Abhängigkeit von der Temperatur

C.3.2 Spezifische Wärmekapazität

(1) Die spezifische Wärmekapazität von nichtrostendem Stahl c_a darf wie folgt ermittelt werden:

$$c_a = 450 + 0,280 \times \theta_a - 2,91 \times 10^{-4} \theta_a^2 + 1,34 \times 10^{-7} \theta_a^3 \text{ J/kgK} \quad (\text{C.2})$$

Dabei ist

θ_a die Stahitemperatur [°C].

ANMERKUNG Die Abhängigkeit der spezifischen Wärmekapazität von der Temperatur ist in Bild C.3 dargestellt.

DIN EN 1993-1-2:2010-12
EN 1993-1-2:2005 + AC:2009 (D)

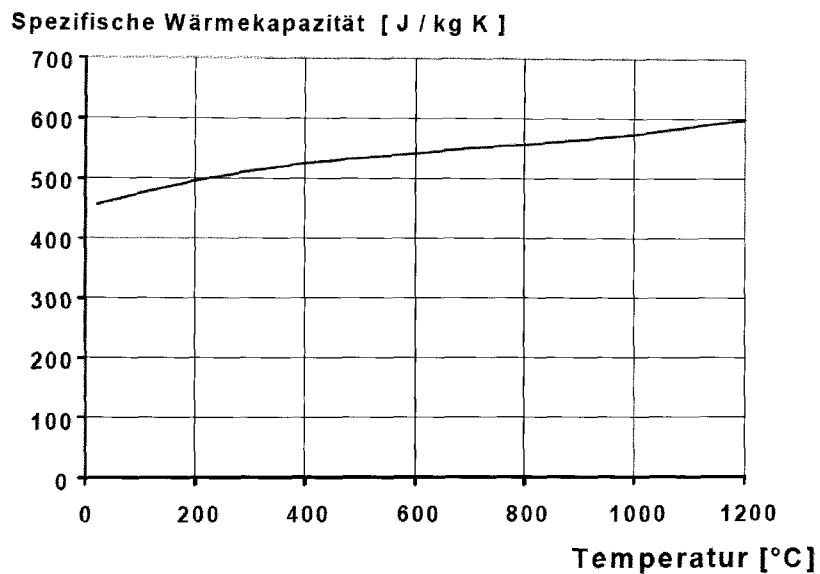


Bild C.3 — Spezifische Wärmekapazität von nichtrostendem Stahl in Abhängigkeit von der Temperatur

C.3.3 Wärmeleitfähigkeit

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

$$\lambda_a = 14,6 + 1,27 \times 10^{-2} \theta_a \text{ W/mK} \quad (\text{C.3})$$

Dabei ist

θ_a die Stahltemperatur [°C].

ANMERKUNG Die Abhängigkeit der Wärmeleitfähigkeit von der Temperatur ist in Bild C.4 dargestellt.

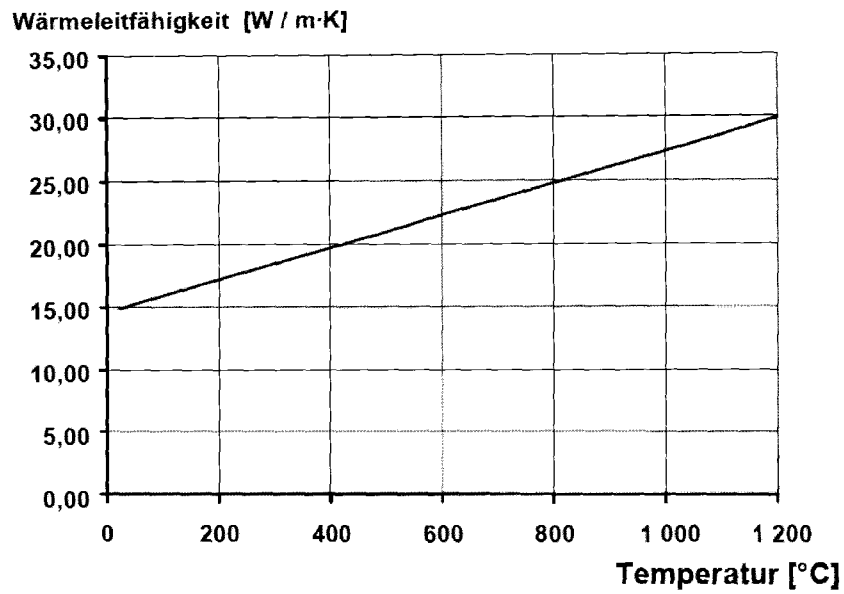


Bild C.4 — Wärmeleitfähigkeit von nichtrostendem Stahl in Abhängigkeit von der Temperatur

Anhang D (informativ)

Verbindungen

D.1 Geschraubte Verbindungen

(1) Nettoquerschnittsversagen an Schraubenlöchern braucht unter der Voraussetzung, dass sich in jedem Loch eine Schraube befindet, nicht berücksichtigt zu werden, weil die Stahltemperatur durch das zusätzliche Material an der Verbindung geringer ist.

D.1.1 Tragfähigkeit von Schrauben auf Schub

D.1.1.1 Kategorie A: Scher-/Lochleibungsverbindungen

(1) Der Bemessungswert der Tragfähigkeit von Schrauben unter Abscherbeanspruchung im Brandfall sollte bestimmt werden nach:

$$F_{v,t,Rd} = F_{v,Rd} k_{b,\theta} \frac{\gamma_{M2}}{\gamma_{M,fi}} \quad (D.1)$$

Dabei ist

- $k_{b,\theta}$ der Abminderungsfaktor nach Tabelle D.1 für die entsprechende Schraubentemperatur;
- $F_{v,Rd}$ der Bemessungswert für die Schertragfähigkeit der Schraube je Scherfuge unter der Annahme, dass die Scherfuge im Schaft liegt (siehe Tabelle 3.4 von EN 1993-1-8);
- γ_{M2} der Teilsicherheitsbeiwert bei Normaltemperatur;
- $\gamma_{M,fi}$ der Teilsicherheitsbeiwert unter Brandbedingungen.

(2) Der Bemessungswert der Tragfähigkeit von Schrauben unter Lochleibungsbeanspruchung im Brandfall sollte bestimmt werden nach:

$$F_{b,t,Rd} = F_{b,Rd} k_{b,\theta} \frac{\gamma_{M2}}{\gamma_{M,fi}} \quad (D.2)$$

Dabei ist

- $F_{b,Rd}$ nach EN 1993-1.8, Tabelle 3.4;
- $k_{b,\theta}$ der Abminderungsfaktor nach Tabelle D.1 für die entsprechende Schraubentemperatur.

D.1.1.2 Kategorie B: Gleitfeste Verbindungen im Gebrauchszustand und Kategorie C: Gleitfeste Verbindungen im Traglastzustand

(1) Bei gleitfesten Verbindungen sollte davon ausgegangen werden, dass das Gleiten im Brandfall stattgefunden hat. Die Tragfähigkeit einzelner Schrauben sollte wie bei Schrauben vom Typ A nach D.1.1.1 bestimmt werden.

D.1.2 Tragfähigkeit von Schrauben auf Zug

D.1.2.1 Kategorien D und E: Nicht vorgespannte und vorgespannte Schrauben

(1) Der Bemessungswert der Zugtragfähigkeit einer einzelnen Schraube sollte bestimmt werden nach:

$$F_{t,Rd} = F_{t,Rd} k_{b,\theta} \frac{\gamma_{M2}}{\gamma_{M,f}} \quad (D.3)$$

Dabei ist

$F_{t,Rd}$ die Tragfähigkeit nach EN 1993-1-8, Tabelle 3.4;

$k_{b,\theta}$ der Abminderungsfaktor nach Tabelle D.1 für die entsprechende Schraubentemperatur.

Tabelle D.1 — Abminderungsfaktor für Festigkeiten von Schrauben und Schweißnähten

| Temperatur θ_a | Abminderungsfaktor für Schrauben $k_{b,\theta}$ \overline{AC} (Zug und Schub) | Abminderungsfaktor für Schweißnähte $k_{w,\theta}$ \overline{AC} |
|--------------------------|---|---|
| 20 | 1,000 | 1,000 |
| 100 | 0,968 | 1,000 |
| 150 | 0,952 | 1,000 |
| 200 | 0,935 | 1,000 |
| 300 | 0,903 | 1,000 |
| 400 | 0,775 | 0,876 |
| 500 | 0,550 | 0,627 |
| 600 | 0,220 | 0,378 |
| 700 | 0,100 | 0,130 |
| 800 | 0,067 | 0,074 |
| 900 | 0,033 | 0,018 |
| 1 000 | 0,000 | 0,000 |

D.2 Tragfähigkeit von Schweißnähten

D.2.1 Stumpfnähte

(1) Die Tragfähigkeit von voll durchgeschweißten Stumpfnähten sollte bei Temperaturen unter 700 °C anhand der Tragfähigkeit des geschwächten angeschlossenen Teils mit den Abminderungsfaktoren des Grundmaterials bestimmt werden. Bei Temperaturen über > 700 °C gelten die für Kehlnähte angegebenen Abminderungsfaktoren auch für Stumpfnähte.

D.2.2 Kehlnähte

(1) Die längenbezogene Tragfähigkeit von Kehlnähten im Brandfall sollte bestimmt werden nach:

$$F_{w,t,Rd} = F_{w,Rd} k_{w,\theta} \frac{\gamma_{M2}}{\gamma_{M,f}} \quad (D.4)$$

DIN EN 1993-1-2:2010-12
EN 1993-1-2:2005 + AC:2009 (D)

Dabei ist

$k_{w,0}$ der Abminderungsfaktor nach Tabelle D.1 für die entsprechende Temperatur in der Schweißnaht;

$F_{w,Rd}$ die Tragfähigkeit nach EN 1993-1-8, 4.5.3.

D.3 Temperaturen von Verbindungen im Brandfall

D.3.1 Allgemeines

(1) Die Temperatur einer Verbindung darf unter Verwendung des lokalen A/V-Verhältnisses der Bestandteile der Verbindung bestimmt werden.

(2) Als Vereinfachung darf eine gleichmäßige Temperaturverteilung in der Verbindung bestimmt werden. Diese Temperatur darf unter der Voraussetzung des maximalen A/V-Verhältnisses der angeschlossenen Stahlbauteile ermittelt werden.

(3) Bei Träger-Stützen-Verbindungen und Träger-Träger-Verbindungen, bei denen der Träger eine Betonplatte trägt, darf die Temperatur der Verbindung anhand der Temperatur des Unterflansches in Feldmitte des Trägers bestimmt werden.

(4) Unter Verwendung des in 4.2.5 angegebenen Verfahrens darf die Temperatur der Verbindungsteile wie folgt bestimmt werden:

a) Falls die Trägerhöhe kleiner oder gleich 400 mm ist:

$$\theta_h = 0,88 \theta_0 [1 - 0,3(h/D)] \quad (D.5)$$

Dabei ist

θ_h die Temperatur an der Höhe h (mm) des Stahlträgers (Bild D.1);

θ_0 die Temperatur des Unterflansches des Stahlträgers an einer von der Verbindung entfernten Stelle;

h die Höhenlage des betrachteten Verbindungsteils über dem Unterflansch (mm);

D die Höhe des Trägers (mm).

b) Falls die Trägerhöhe größer ist als 400 mm:

1) Wenn h kleiner oder gleich $D/2$ ist:

$$\theta_h = 0,88 \theta_0 \quad (D.6)$$

2) Wenn h größer ist als $D/2$:

$$\theta_h = 0,88 \theta_0 [1 + 0,2 (1 - 2h/D)] \quad (D.7)$$

Dabei ist

θ_0 die Temperatur des Unterflansches des Stahlträgers an einer von der Verbindung entfernten Stelle;

h die Höhenlage des betrachteten Verbindungsteils über dem Unterflansch (mm);

D die Höhe des Trägers (mm).

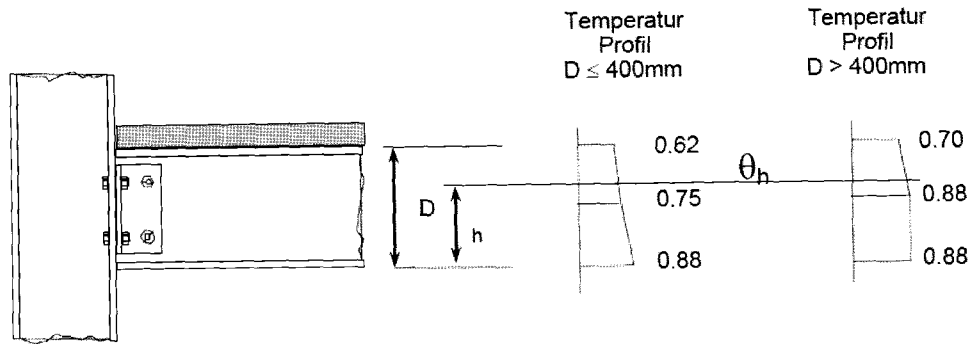


Bild D.1 — Temperaturgradient über die Höhe einer Verbindung mit einem Verbundträger

Anhang E (informativ)

Klasse 4 Querschnitte

E.1 Erweiterte Berechnungsmodelle

(1) Erweiterte Berechnungsmodelle dürfen für die Bemessung von Klasse 4-Querschnitten verwendet werden, wenn alle Stabilitätseffekte erfasst werden.

E.2 Einfache Berechnungsverfahren

(1) Die Tragfähigkeit von Bauteilen mit Querschnitten der Klasse 4 sollten mit den Gleichungen aus 4.2.3.2 für Druckglieder, aus 4.2.3.4 für Biegeträger und aus 4.2.3.5 für Bauteile unter Biegung und zentrischem Druck berechnet werden, wobei die Querschnittsfläche durch die effektive Querschnittsfläche und das Trägheitsmoment durch das effektive Trägheitsmoment ersetzt werden.

(2) Die effektive Querschnittsfläche und das effektive Trägheitsmoment sollten nach EN 1993-1-3 und EN 1993-1-5, d. h. mit den Materialeigenschaften bei 20 °C, bestimmt werden.

(3) Für die Bemessung im Brandfall sollte als Streckgrenze die 0,2 %-Dehngrenze (Streckgrenze) verwendet werden. Diese Streckgrenze darf für die Bemessung auf Zug, Druck, Biegung und Schub verwendet werden.

(4) Abminderungsfaktoren für die Streckgrenze für Kohlenstoffstahl (Baustahl), bezogen auf die Fließgrenze bei 20 °C, dürfen Tabelle E.1 entnommen werden:

— Streckgrenze bezogen auf die Streckgrenze bei 20 °C: $k_{p0,2,\theta} = f_{p0,2,\theta} / f_y$

— Steigung im linear-elastischen Bereich, bezogen auf die Steigung bei 20 °C: $k_{E,\theta} = E_{a,\theta} / E_a$

ANMERKUNG Diese Abminderungsfaktoren sind in Bild E.1 dargestellt.

(5) Abminderungsfaktoren für die Streckgrenze von nichtrostendem Stahl, bezogen auf die Streckgrenze bei 20 °C, dürfen Anhang C entnommen werden.

Tabelle E.1 — Abminderungsfaktoren für Kohlenstoffstahl für die Bemessung von Klasse 4 Querschnitten unter erhöhter Temperatur

| Stahltemperatur θ_a | Abminderungsfaktor (relativ zu f_y) für die Streckgrenze von warmgewalzten und geschweißten Klasse 4 Querschnitten $k_{0,2p,\theta} = f_{0,2p,\theta} / f_y$ | Abminderungsfaktor (relativ zu f_{yb}) für die Bemessung von kaltverformten Klasse 4 Querschnitten $k_{0,2p,\theta} = f_{0,2p,\theta} / f_{yb}$ |
|--|--|---|
| 20 °C | | 1,00 |
| 100 °C | | 1,00 |
| 200 °C | | 0,89 |
| 300 °C | | 0,78 |
| 400 °C | | 0,65 |
| 500 °C | | 0,53 |
| 600 °C | | 0,30 |
| 700 °C | | 0,13 |
| 800 °C | | 0,07 |
| 900 °C | | 0,05 |
| 1 000 °C | | 0,03 |
| 1 100 °C | | 0,02 |
| 1 200 °C | | 0,00 |
| ANMERKUNG 1 Zwischenwerte dürfen linear interpoliert werden. | | |
| ANMERKUNG 2 Die Definition von f_{yb} sollte EN 1993-1-3 entnommen werden. | | |

DIN EN 1993-1-2:2010-12
 EN 1993-1-2:2005 + AC:2009 (D)

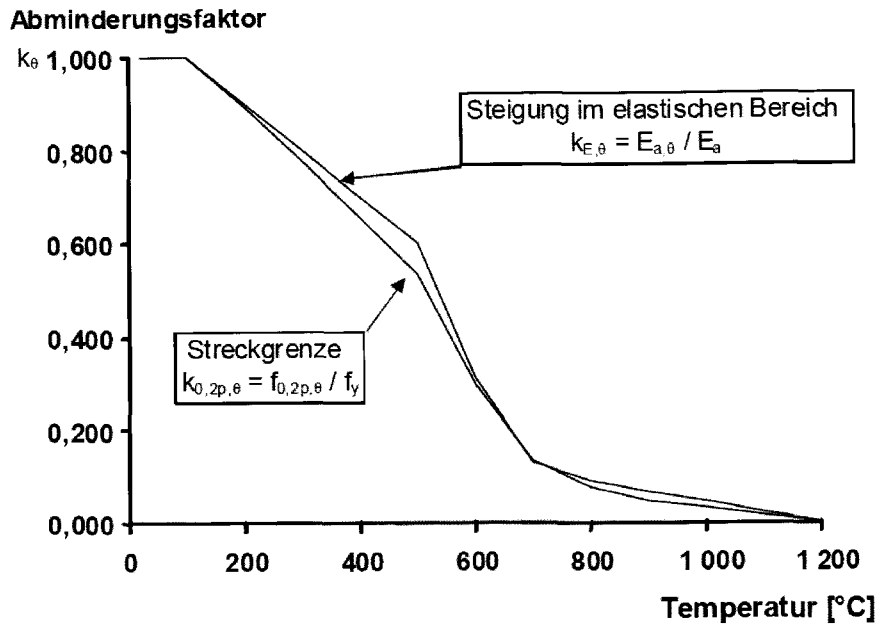


Bild E.1 — Abminderungsfaktoren für die Spannungs-Dehnungsbeziehung von kaltverformten und warmgewalzten Klasse 4 Querschnitten unter erhöhter Temperatur