

DIN EN 1992-1-2



ICS 13.220.50; 91.010.30; 91.080.40

Ersatz für
DIN EN 1992-1-2:2006-10 und
DIN EN 1992-1-2
Berichtigung 1:2009-01

**Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und
Spannbetontragwerken –
Teil 1-2: Allgemeine Regeln –
Tragwerksbemessung für den Brandfall;
Deutsche Fassung EN 1992-1-2:2004 + AC:2008**

Eurocode 2: Design of concrete structures –
Part 1-2: General rules –
Structural fire design;
German version EN 1992-1-2:2004 + AC:2008

Eurocode 2: Calcul des structures en béton –
Partie 1-2: Règles générales –
Calcul du comportement au feu;
Version allemande EN 1992-1-2:2004 + AC:2008

Gesamtumfang 106 Seiten

Normenausschuss Bauwesen (NABau) im DIN

Nationales Vorwort

Diese Europäische Norm (EN 1992-1-2:2004 + AC:2008) 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 wird im Text durch die Textmarkierungen **AC** **AC** angezeigt.

Änderungen

Gegenüber DIN V ENV 1992-1-2:1997-05 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Vornorm-Charakter wurde aufgehoben;
- b) die Stellungnahmen der nationalen Normungsinstitute von CEN zu ENV 1992-1-2:1997-05 wurden berücksichtigt und der Inhalt wurde vollständig überarbeitet.

Gegenüber DIN EN 1992-1-2:2006-10 und DIN EN 1992-1-2 Berichtigung 1:2009-01 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

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

Frühere Ausgaben

DIN V ENV 1992-1-2: 1997-05
DIN EN 1992-1-2: 2006-10
DIN EN 1992-1-2 Berichtigung 1: 2009-01

Deutsche Fassung

**Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion
von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken —
Teil 1-2: Allgemeine Regeln —
Tragwerksbemessung für den Brandfall**

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

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

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 8. Juli 2004 angenommen.

Die Berichtigung tritt am 30. Juli 2008 in Kraft und wurde in EN 1992-1-2:2004 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: rue de Stassart, 36 B-1050 Brüssel

Inhalt

Seite

Vorwort	5
Hintergrund des Eurocode-Programms	5
Status und Gültigkeitsbereich der Eurocodes	6
Nationale Fassungen der Eurocodes	7
Verhältnis zwischen den Eurocodes und den harmonisierten Technischen Spezifikationen für Bauprodukte (ENs und ETAs)	7
Besondere Hinweise zu EN 1992-1-2	7
Nationaler Anhang zu EN 1992-1-2	9
1 ALLGEMEINES	12
1.1 Anwendungsbereich	12
1.1.1 Anwendungsbereich des Eurocodes 2	12
1.1.2 Anwendungsbereich von Teil 1-2 des Eurocode 2	12
1.2 Normative Verweisungen	13
1.3 Grundlagen	13
1.4 Unterscheidung zwischen Prinzipien und Anwendungsregeln	13
1.5 Definitionen	13
1.6 Formelzeichen	14
1.6.1 Zusätzliche Formelzeichen zu EN 1992-1-1	14
2 Grundlagen der Bemessung	16
2.1 Anforderungen	16
2.1.1 Allgemeines	16
2.1.2 Nominelle Brandbeanspruchung	16
2.1.3 Parameterabhängige Brandbeanspruchung	17
2.2 Einwirkungen	17
2.3 Bemessungswerte der Materialeigenschaften	17
2.4 Nachweismethoden	18
2.4.1 Allgemeines	18
2.4.2 Bauteilberechnung	19
2.4.3 Berechnung von Teiltragwerken	20
2.4.4 Gesamttragwerksberechnung	20
3 Materialeigenschaften	21
3.1 Allgemeines	21
3.2 Festigkeits- und Verformungseigenschaften bei erhöhten Temperaturen	21
3.2.1 Allgemeines	21
3.2.2 Beton	21
3.2.3 Betonstahl	24
3.2.4 Spannstahl	27
3.3 Thermische und physikalische Eigenschaften von Beton mit quarz- und kalksteinhaltigen Zuschlägen	28
3.3.1 Thermische Verlängerung	28
3.3.2 Spezifische Wärme	29
3.3.3 Thermische Leitfähigkeit	30
3.4 Thermische Verlängerung von Betonstahl und Spannstahl	31
4 BEMESSUNGSVERFAHREN	32
4.1 Allgemeines	32
4.2 Vereinfachte Rechenverfahren	33
4.2.1 Allgemeines	33
4.2.2 Temperaturprofile	33

4.2.3	Verkleinerter Querschnitt	33
4.2.4	Verminderung der Festigkeit.....	34
4.3	Allgemeine Rechenverfahren	37
4.3.1	Allgemeines	37
4.3.3	Mechanische Analyse	38
4.3.4	Gültigkeit allgemeiner Rechenverfahren	39
4.4	Schub, Torsion und Verankerung der Bewehrung	39
4.5	Betonabplatzungen	39
4.5.1	Explosive Betonabplatzungen	39
4.5.2	Abfallen von Betonschichten	40
4.6	Fugen	40
4.7	Schutzschichten	40
5	Tabellarische Daten.....	41
5.1	Anwendungsbereich	41
5.2	Allgemeine Bemessungsregeln	41
5.3	Stützen.....	45
5.3.1	Allgemeines	45
5.3.2	Methode A	45
5.3.3	Methode B	47
5.4	Wände.....	49
5.4.1	AC Nichttragende, raumabschließende Trennwände AC	49
5.4.2	Tragende Betonwände	50
5.4.3	Brandwände	51
5.5	Zugglieder	51
5.6	Balken.....	52
5.6.1	Allgemeines	52
5.6.2	Statisch bestimmt gelagerte Balken.....	53
5.6.3	Statisch unbestimmt gelagerte Balken (Durchlaufbalken)	53
5.6.4	Vierseitig brandbeanspruchte Balken.....	57
5.7	Platten.....	57
5.7.1	Allgemeines	57
5.7.3	Statisch unbestimmt gelagerte Platten (Durchlaufplatten).....	59
5.7.4	Flachdecken	60
5.7.5	Rippendecken	61
6	Hochfester Beton.....	64
6.1	Allgemeines	64
6.2	Betonabplatzungen	65
6.3	Thermische Eigenschaften.....	65
6.4	Brandschutztechnische Bemessung	65
6.4.1	Berechnung der Tragfähigkeit	65
6.4.2	Vereinfachte Berechnungsmethoden.....	65
6.4.3	Tabellarische Daten.....	67
Anhang A (informativ) Temperaturprofile.....		68
Anhang B (informativ) Vereinfachte Berechnungsmethoden		77
B.1	500 °C-Isothermen-Methode	77
B.1.1	Prinzip und Anwendungsgebiet.....	77
B.1.2	Berechnungsverfahren eines durch Biegemoment und Längskraft beanspruchten Stahlbetonquerschnitts	78
B.2	Zonenmethode.....	82
B.3	Methode zur Beurteilung eines durch Biegemoment und Längskraft beanspruchten Stahlbetonquerschnitts durch Abschätzung der Krümmung.....	86
B.3.1	AC Tragverhalten von Stützen unter Brandbeanspruchung AC	86
B.3.2	Verfahren zur Bestimmung des Feuerwiderstands von Stützenquerschnitten.....	86
Anhang C (informativ) Knicken von Stützen unter Brandbedingungen.....		88

Anhang D (informativ) Berechnungsmethoden für Schub, Torsion und Verankerung der	
Bewehrung	98
D.1 Allgemeine Regeln	98
D.2 Schub und Torsionsbewehrung	98
D.3 Berechnungsverfahren zur Bestimmung des Schubwiderstands eines Stahlbetonquerschnitts	99
D.4 Berechnungsverfahren für die Bemessung des Torsionswiderstandes eines Stahlbetonquerschnitts	100
Anhang E (informativ) Vereinfachte Rechenverfahren für Balken und Platten	102
E.1 Allgemeines	102
E.2 Statisch bestimmt gelagerte Balken und Platten	102
E.3 Durchlaufende Balken und Platten	103

Vorwort

Diese Europäische Norm (EN 1992-1-2:2004 + AC:2008) „Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-2: Allgemeine Regeln – Tragwerksbemessung für den Brandfall“ 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 für den konstruktiven Ingenieurbau zuständig.

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

Diese Europäische Norm ersetzt ENV 1992-1-2:1995.

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.

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 1991, Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke.

EN 1992, Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken.

EN 1993, Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten.

EN 1994, Eurocode 4: Bemessung und Konstruktion von Verbundtragwerken aus Stahl und Beton.

EN 1995, Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten.

EN 1996, Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten.

EN 1997, Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik.

EN 1998, Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben.

EN 1999, Eurocode 9: Bemessung und Konstruktion von Aluminiumtragwerken.

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

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.

EOTA, die an Produktnormen arbeiten, zu beachten, damit diese Produktnormen mit den Eurocodes vollständig kompatibel sind.

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,
- Vorschriften zur Verwendung der informativen Anhänge,
- Verweise zur Anwendung des Eurocodes, soweit sie diese ergänzen und nicht widersprechen.

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 1992-1-2

EN 1992-1-2 beschreibt die Grundlagen, Anforderungen und Regeln für die konstruktive Bemessung von Tragwerken unter Brandbeanspruchung einschließlich der folgenden Aspekte:

Sicherheitstechnische Anforderungen

EN 1992-1-2 ist für Bauherren (z. B. für die Aufstellung ihrer speziellen Anforderungen), Planer, Bauunternehmer und relevante Behörden bestimmt.

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

Die 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 während eines bestimmten Zeitraums erhalten bleibt,
- die Entstehung und Ausbreitung von Feuer und Rauch innerhalb des Bauwerks begrenzt bleiben,
- die Ausbreitung von Feuer auf benachbarte Bauwerke begrenzt wird,
- die Bewohner des Gebäude unverletzt verlassen oder durch andere Maßnahmen gerettet werden können,
- die Sicherheit der Rettungsmannschaften berücksichtigt ist.“

Gemäß dem Grundlagendokument Nr. 2 „Brandschutz“ darf die wesentliche Anforderung durch Befolgen verschiedener in den Mitgliedstaaten geltenden 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 vorbeugenden 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. bei Einheits-Temperaturzeitkurve, die im Allgemeinen in nationalen Brandschutzregularien angegeben wird, festgelegt werden oder als Aufgabe des Brandschutzingenieurs unter Berücksichtigung vorbeugender und abwehrender Brandschutzmaßnahmen erreicht werden, siehe EN 1991-1-2.

Zusätzliche Anforderungen, die zum Beispiel

- den möglichen Einbau und die Instandhaltung von Sprinkleranlagen,
- die Bedingungen für die Wohnbarkeit von Gebäude- 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 Teilfaktoren und andere Elemente zuverlässigkeitsabhängiger Größen werden als empfohlene Werte angegeben, die ein annehmbares Niveau der Zuverlässigkeit ergeben. Sie wurden unter der Annahme ausgewählt, dass eine qualifizierte Ausführung vorliegt zusammen mit einem annehmbaren Qualitätsmanagement.

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 Ungewissheiten und die Bedeutung des Bauwerks (Konsequenzen bei Versagen) berücksichtigen.

Gegenwärtig ist es möglich, ein Verfahren zur Bestimmung einer adäquaten Leistungsfähigkeit durchzuführen, das, wenn auch nicht alle, so doch einige dieser Parameter beinhaltet, und nachzuweisen, dass das Bauwerk oder seine Bauteile bei einem tatsächlichen Brand eine adäquate Leistungsfähigkeit aufweisen werden. Wenn

das Verfahren jedoch auf einer nominellen Brandkurve beruht, berücksichtigt das Klassifizierungssystem, das auf spezifischen Feuerwiderstandsdauern beruht, die oben angegebenen Merkmale und Ungewissheiten (wenn auch nicht explizit).

Die Anwendung der Bemessungsverfahren ist in Bild 0.1 dargestellt. Die Ansätze durch festgelegte Vorgaben und durch leistungsabhängige Festlegungen werden bestimmt. Der Ansatz durch festgelegte Vorgaben beruht auf nominellen Bränden, aus denen sich die thermischen Einwirkungen ergeben. Der auf leistungsabhängigen Festlegungen beruhende Ansatz, bei dem der Brandschutzingenieur die Brandschutzbemessung durchführt, bezieht sich auf thermische Einwirkungen, die auf physikalischen und chemischen Parametern beruhen. Tabelle 0.1 enthält zusätzliche Informationen zu den in dieser Norm angegebenen Verfahren.

Für die Bemessung nach diesem Teil der Norm ist EN 1991-1-2 bei der Bestimmung der thermischen und mechanischen Einwirkungen auf das Bauwerk zu beachten.

Planungshilfen

Stehen keine vereinfachten Bemessungsmodelle zur Verfügung, enthalten die Teile der Eurocodes, die sich mit dem Brandschutz befassen, Tabellenwerte (die auf Prüfungen oder allgemeinen Bemessungsmodellen beruhen), die unter Berücksichtigung der angegebenen Gültigkeitsgrenzen für den Entwurf angewendet werden können.

Es wird erwartet, dass auf den Berechnungsmodellen nach EN 1992-1-2 beruhende Planungshilfen von den interessierten externen Organisationen erarbeitet werden.

Der Haupttext der EN 1992-1-2, zusammen mit den informativen Anhängen A, B, C, D und E, beinhaltet die meisten der wichtigsten Konzepte und Regeln, die für die Beschreibung der thermischen und mechanischen Einwirkungen auf das Bauwerk erforderlich sind.

Nationaler Anhang zu EN 1992-1-2

Diese Norm enthält alternative Verfahren und Werte sowie Empfehlungen für Klassen mit Hinweisen, an welchen Stellen möglicherweise nationale Festlegungen getroffen werden müssen. Dazu sollte die jeweilige nationale Ausgabe von EN 1992-1-2 einen Nationalen Anhang mit den national festzulegenden Parametern enthalten, mit dem die Tragwerksplanung von Hochbauten und Ingenieurbauten, die in dem Ausgabeland gebaut werden, möglich ist.

Nationale Festlegungen sind nach EN 1992-1-2 in den folgenden Abschnitten vorgesehen:

- | | |
|--------------|---------------|
| – 2.1.3 (2) | – 5.3.2 (2) |
| – 2.3 (2)P | – 5.6.1 (1) |
| – 3.2.3 (5) | – 5.7.3 (2) |
| – 3.2.4 (2) | – 6.1 (5) |
| – 3.3.3 (1)P | – 6.2 (2) |
| – 4.1 (1)P | – 6.3 (1)P |
| – 4.5.1 (2) | – 6.4.2.1 (3) |
| – 5.2 (3) | – 6.4.2.2 (2) |

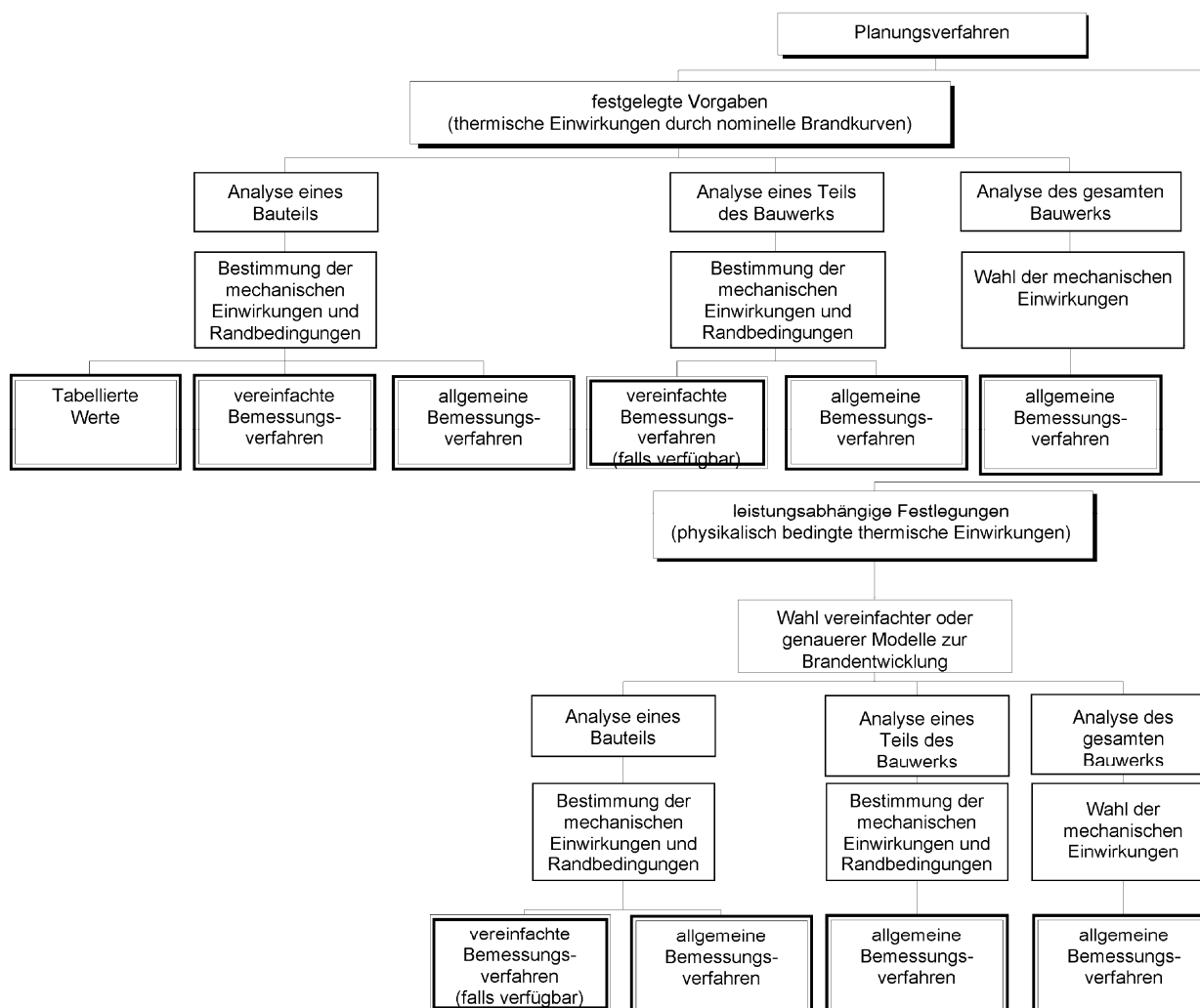


Bild 0.1 — Bemessungsverfahren

Tabelle 0.1 — Zusammenfassung der Verfahren zum Nachweis des Feuerwiderstandes

	Tabellierte Werte	Vereinfachte Berechnungsverfahren	Allgemeine Berechnungsverfahren
Analyse eines Bauteils Das Bauteil wird unabhängig von anderen Bauteilen betrachtet. Indirekte Brandeinwirkungen werden nur berücksichtigt, wenn sie durch Temperaturgradienten entstehen.	JA – Angaben sind nur für den Normbrand enthalten, 5.1 (1) – Im Prinzip könnten Daten für andere Brandkurven ermittelt werden.	JA – Normbrand und parametrische Brände, 4.2.1 (1) – Temperaturprofile sind nur für den Normbrand angegeben, 4.2.2 (1) – Materialmodelle gelten nur für Erwärmungsgeschwindigkeiten, die dem Normbrand in etwa entsprechen, 4.2.4.1(2)	JA 4.3.1 (1)P Nur die Prinzipien sind angegeben.
Analyse von Teilen des Bauwerkes Es werden indirekte Brandeinwirkungen innerhalb eines Teiles des Bauwerkes, jedoch keine zeitabhängigen Wechselwirkungen mit anderen Teilen des Bauwerkes, berücksichtigt.	NEIN	JA – Normbrand und parametrische Brände, 4.2.1 (1) – Temperaturprofile sind nur für den Normbrand angegeben, 4.2.2 (1) – Materialmodelle gelten nur für Erwärmungsgeschwindigkeiten, die dem Normbrand in etwa entsprechen, 4.2.4.1 (2)	JA 4.3.1 (1)P Nur die Prinzipien sind angegeben.
Analyse des gesamten Bauwerkes Es werden indirekte Brandeinwirkungen im gesamten Bauwerk berücksichtigt.	NEIN	NEIN	JA 4.3.1 (1)P Nur die Prinzipien sind angegeben.

1 ALLGEMEINES

1.1 Anwendungsbereich

1.1.1 Anwendungsbereich des Eurocodes 2

(1)P Eurocode 2 gilt für die Bemessung und Konstruktion von Tragwerken des Hoch- und Ingenieurbaus aus Stahlbeton und Spannbeton. Eurocode 2 legt die Prinzipien und Anforderungen hinsichtlich Sicherheit und Gebrauchstauglichkeit der Tragwerke fest unter Einhaltung der Grundlagen und Nachweise für ihre Bemessung nach EN 1990 – Grundlagen der Tragwerksbemessung.

(2)P Im Eurocode 2 werden ausschließlich Anforderungen an die Tragfähigkeit, die Gebrauchstauglichkeit, die Dauerhaftigkeit und den Feuerwiderstand der Tragwerke aus Beton behandelt. Andere Anforderungen, z. B. hinsichtlich Wärme- oder Schallisolierung, werden nicht behandelt.

(3)P Eurocode 2 sollte in Verbindung mit den folgenden Normen angewendet werden:

- EN 1990 „Grundlagen der Tragwerksbemessung“;
- EN 1991 „Einwirkungen auf Tragwerke“;
- alle EN's für Bauprodukte, die für Tragwerke aus Beton von Bedeutung sind;
- ENV 13670-1 „Ausführung von Tragwerken aus Beton. Teil 1: Allgemeine Regeln“;
- EN 1998 „Planung von Tragwerken für Erdbebenwiderstand“, sofern Tragwerke aus Beton in Erdbebengebieten gebaut werden.

(4)P Eurocode 2 ist in verschiedene Teile gegliedert:

- Teil 1-1: Grundlagen und Anwendungsregeln für den Hochbau;
- Teil 1-2: Allgemeine Regeln – Tragwerksbemessung für den Brandfall;
- Teil 2: Betonbrücken;
- Teil 3: Behälterbauwerke.

1.1.2 Anwendungsbereich von Teil 1-2 des Eurocode 2

(1)P EN 1992-1-2 behandelt die Bemessung von Betontragwerken für den Sonderlastfall Brandeinwirkung und ist in Verbindung mit EN 1992-1-1 und EN 1991-1-2 anzuwenden. EN 1992-1-2 enthält abweichende und zusätzliche Regelungen zu den Bemessungsregeln für Tragwerke bei Normaltemperatur.

(2)P EN 1992-1-2 enthält nur Methoden des passiven konstruktiven (baulichen) Brandschutzes. Methoden des aktiven Brandschutzes werden nicht erfasst.

(3)P EN 1992-1-2 gilt für Betontragwerke, die bei Brandeinwirkung bestimmte Kriterien erfüllen müssen:

- Vermeiden eines vorzeitigen Tragwerkeinsturzes (Tragfähigkeit);
- Begrenzung der Brandausbreitung (Flammen, heiße Gase, extreme Hitze) über festgelegte Flächen hinaus (raumabschließende Wirkung).

(4)P EN 1992-1-2 enthält Prinzipien und Anwendungsregeln (siehe EN 1991-1-2) im Hinblick auf die Tragwerksbemessung zur Erfüllung der vorher genannten Funktionen und Leistungskriterien.

(5)P EN 1992-1-2 gilt für Tragwerke oder Teilen von Tragwerken die zum Anwendungsbereich von EN 1992-1-1 gehören und entsprechend bemessen sind. Nicht behandelt werden dagegen:

- Tragwerke mit externer Vorspannung;
- Schalentragwerke.

(6)P Die Bemessungsverfahren nach EN 1992-1-2 gelten für Beton bis zur Festigkeitsklasse C90/105 und für Leichtbeton bis zur Festigkeitsklasse LC55/60. Im Abschnitt 6 werden zusätzliche und alternative Regeln für die Festigkeitsklasse größer C50/60 gegeben.

1.2 Normative Verweisungen

Dieser Eurocode enthält durch Verweisungen in seinem Text Festlegungen aus den folgenden normativen Dokumenten. Bei datierten Verweisungen haben spätere Änderungen oder Überarbeitungen der in Bezug genommenen Publikationen keine Geltung. Dennoch werden die verschiedenen Parteien, die an den auf dieser Europäischen Norm basierenden Vereinbarungen beteiligt sind, angehalten, die Möglichkeit in Betracht zu ziehen, die neuesten Ausgaben der untenstehenden normativen Dokumente zu verwenden. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe der in Bezug genommenen normativen Dokumente.

EN 1363-2, *Brandversuche — Teil 2: Alternative und ergänzende Verfahren*

EN 1990, *Eurocode: Grundlagen der Tragwerksbemessung*

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

EN 1992-1-1, *Eurocode 2 — Planung von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken — Teil 1-1: Grundlagen und Anwendungsregeln für den Hochbau*

EN 10080-1, *Betonbewehrungsstahl — Schweißgeeigneter Betonstahl — Teil 1: Allgemeine Anforderungen*

EN 10138-2, *Spannstähle — Teil 2: Draht*

EN 10138-3, *Spannstähle — Teil 3: Litze*

EN 10138-4, *Spannstähle — Teil 4: Stäbe*

1.3 Grundlagen

[AC] Es gelten die allgemeinen Grundlagen von EN 1990 und EN 1992-1-1. **[AC]**

1.4 Unterscheidung zwischen Prinzipien und Anwendungsregeln

(1) Es gelten die Regeln von EN 1990.

1.5 Definitionen

Hinsichtlich der Zielsetzung von EN 1992-1-2 gelten die Definitionen von EN 1990, von EN 1991-1-2 und die folgenden:

1.5.1

kritische Temperatur der Bewehrung [critical temperature of reinforcement]

Temperatur in der Bewehrung, bei der ein Versagen des Bauteils bei einem bestimmten Beanspruchungsniveau erwartet wird

1.5.2

Brandwand [fire wall]

Trennwand zwischen zwei Brandabschnitten (im Allgemeinen zwei Gebäude), die neben der Feuerwiderstandsfähigkeit und der Standsicherheit unter Umständen auch eine ausreichende mechanische Widerstandsfähigkeit gegen horizontale Stoßbeanspruchung aufweist, so dass auch im Fall eines Brandes und ggf. bei Tragwerksversagen in einem Abschnitt die Brandweiterleitung in den anderen Abschnitt verhindert wird.

1.5.3

maximales Spannungsniveau [maximum stress level]

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

1.5.4

Teiltragwerk [part of structure]

Teil eines Gesamttragwerks mit entsprechenden Lagerungs- und Randbedingungen

1.5.5

Schutzschichten [protective layers]

jeder Baustoff oder jede Baustoffkombination, die auf ein Tragwerk aufgebracht wird, um dessen Feuerwiderstandsdauer zu erhöhen

1.5.6

reduzierter Querschnitt [reduced cross section]

Bauteilquerschnitt, der bei der Tragwerksbemessung im Brandfall bei Anwendung der Bemessungsmethode mit reduziertem Querschnitt angesetzt wird. Er entsteht AC gestrichener Text AC durch Weglassen jener Querschnittsbereiche, deren Festigkeit und Steifigkeit zu Null angenommen werden.

1.6 Formelzeichen

1.6.1 Zusätzliche Formelzeichen zu EN 1992-1-1

(1)P Die folgenden zusätzlichen Formelzeichen werden benutzt:

Große lateinische Buchstaben

$E_{d,fi}$ Bemessungswert einer Beanspruchung im Brandfall

E_d Bemessungswert einer Beanspruchung bei Normaltemperatur

$R_{d,fi}$ Bemessungswiderstand im Brandfall; $R_{d,fi}(t)$ zur Zeit t

R 30 oder R 60,... Feuerwiderstandsklasse, wenn das Tragfähigkeitskriterium für 30, 60, ... min unter Normbrandbedingungen erfüllt wird

E 30 oder E 60,... Feuerwiderstandsklasse, wenn das Raumabschlusskriterium für 30, 60, ... min unter Normbrandbedingungen erfüllt wird

I 30 oder I 60,... Feuerwiderstandsklasse, wenn das Wärmedämmkriterium für 30, 60, ... min unter Normbrandbedingungen erfüllt wird

T Temperatur [K] (vgl. θ Temperatur [°C]);

X_k charakteristischer Wert einer Festigkeit oder Verformungseigenschaft für die Bemessung bei Normaltemperatur

$X_{d,fi}$ Bemessungswert einer Festigkeit oder Verformungseigenschaft im Brandfall

Kleine lateinische Buchstaben

a	Achsabstand, kleinster Abstand des Betonstahls oder Spannstahls von der brandbeanspruchten Bauteiloberfläche
c_c	spezifische Wärme von Beton [J/kgK]
$f_{ck}(\theta)$	charakteristischer Wert der Betondruckfestigkeit bei der Temperatur θ bei einer bestimmten Dehnung
$f_{ct,t}(\theta)$	charakteristischer Wert der Betonzugfestigkeit bei der Temperatur θ bei einer bestimmten Dehnung
$f_{pk}(\theta)$	charakteristischer Wert der Spannstahlfestigkeit bei der Temperatur θ bei einer bestimmten Dehnung
$f_{sk}(\theta)$	charakteristischer Wert der Betonstahlfestigkeit bei der Temperatur θ bei einer bestimmten Dehnung
$k(\theta)$	$= X_k(\theta)/X_k$ Reduktionsfaktor für die Festigkeit oder Verformungseigenschaft, abhängig von der Baustofftemperatur θ
n	$= N_{0Ed,fi} / (0,7(A_c f_{cd} + A_s f_{yd}))$ Lastniveau einer Stütze bei Normaltemperatur
t	Dauer der Brandbeanspruchung (min)

Kleine griechische Buchstaben

$\gamma_{M,fi}$	Teilsicherheitsbeiwert für einen Baustoff bei der Brandbemessung
η_{fi}	$= E_{d,fi}/E_d$ Reduktionsfaktor für den Bemessungswert der Einwirkungen im Brandfall
μ_{fi}	$= N_{Ed,fi}/N_{Rd}$ Ausnutzungsgrad im Brandfall
$\varepsilon_c(\theta)$	thermische Dehnung des Betons
$\varepsilon_p(\theta)$	thermische Dehnung des Spannstahls
$\varepsilon_s(\theta)$	thermische Dehnung des Betonstahls
$\varepsilon_{s,fi}$	Dehnung des Betonstahls oder Spannstahls bei der Temperatur θ
λ_c	thermische Leitfähigkeit des Betons [W/mK]
$\lambda_{0,fi}$	Schlankheit der Stütze im Brandfall
$\sigma_{c,fi}$	Druckspannung des Betons im Brandfall
$\sigma_{s,fi}$	Stahlspannung im Brandfall
θ	Temperatur [°C]
θ_{cr}	kritische Temperatur [°C]

1.6.2 Ergänzungen zu EN 1992-1-1

Die folgenden Indizes werden benutzt:

fi	Werte im Brandfall
------	--------------------

- t in Abhängigkeit von der Zeit
- θ in Abhängigkeit von der Temperatur

2 Grundlagen der Bemessung

2.1 Anforderungen

2.1.1 Allgemeines

(1)P Sofern mechanische Widerstandsfähigkeit im Brandfall verlangt wird, müssen Betontragwerke derart bemessen werden, dass sie $\boxed{\text{AC}}$ während der erforderlichen Dauer der Brandbeanspruchung $\boxed{\text{AC}}$ ihre Tragfähigkeit behalten.

(2)P Sofern eine Brandabschnittsbildung verlangt wird, müssen die Bauteile, die den Brandabschnitt umschließen, einschließlich der Fugen derart bemessen und konstruiert werden, dass sie $\boxed{\text{AC}}$ während der erforderlichen Dauer der Brandbeanspruchung $\boxed{\text{AC}}$ ihre raumabschließende Funktion behalten. Dadurch muss sichergestellt werden, dass:

- kein Versagen des Raumabschlusses auftritt, siehe EN 1991-1-2;
- kein Versagen der Wärmedämmung auftritt, siehe EN 1991-1-2;
- die thermische Strahlung auf der nicht brandbeanspruchten Seite begrenzt wird.

ANMERKUNG 1 Definitionen: Siehe EN 1991-1-2.

ANMERKUNG 2 Für Betonbauwerke, die in diesem Teil 1-2 behandelt werden, ist das Kriterium der thermischen Strahlung nicht maßgebend.

(3)P Das Verformungskriterium muss angewendet werden, wenn die Schutzmaßnahmen oder die Bemessungskriterien für raumabschließende Bauteile erfordern, dass die Verformung des Tragwerks beachtet wird.

(4) Die Tragwerksverformung braucht in den folgenden Fällen nicht berücksichtigt zu werden:

- die Wirksamkeit der Schutzschicht nach 4.7 nachgewiesen wird;
- die raumabschließenden Bauteile Anforderungen gemäß der nominellen Brandbeanspruchung erfüllen.

2.1.2 Nominelle Brandbeanspruchung

(1)P Bauteile müssen bei der Norm-Brandbeanspruchung die Kriterien R, E und I erfüllen:

- Raumabschluss alleine: Raumabschluss (Kriterium E) und wenn erforderlich Wärmedämmung (Kriterium I);
- Tragfähigkeit alleine: mechanischer Widerstand (Kriterium R);
- Raumabschluss und Tragfähigkeit: Kriterien R, E und wenn erforderlich I.

(2) Kriterium „R“ wird als erfüllt angesehen, wenn die Tragfähigkeit während der erforderlichen Feuerwiderstandsdauer erhalten bleibt.

(3) Kriterium „I“ wird als erfüllt angesehen, wenn die mittlere Temperaturerhöhung auf der dem Feuer abgekehrten Bauteiloberfläche 140 K nicht übersteigt und die maximale Temperaturerhöhung in keinem Punkt 180 K übersteigt.

(4) AC Mit der Außenbrandkurve (siehe EN 1991-1-2) müssen die gleichen Kriterien (R, E, I) erfüllt werden. Um den Bezug zu dieser Brandkurve kenntlich zu machen, müssen jedoch die Buchstaben „ef“ verwendet werden. AC

(5) AC Mit der Hydrokarbon-Brandkurve (siehe EN 1991-1-2) müssen die gleichen Kriterien (R, E, I) erfüllt werden. Um den Bezug zu dieser Brandkurve kenntlich zu machen, müssen jedoch die Buchstaben „HC“ verwendet werden. AC

(6) Wenn ein vertikales raumabschließendes Bauteil mit oder ohne Anforderungen an die Tragfähigkeit Bedingungen gegen Stoßbeanspruchung (Kriterium M) erfüllen muss, dann muss das Bauteil einer horizontalen, punktförmigen Belastung nach EN 1363-2 widerstehen.

2.1.3 Parameterabhängige Brandbeanspruchung

AC (1)P AC Die Tragfähigkeit muss während der gesamten Branddauer, einschließlich der Abkühlphase, oder für eine bestimmte Zeitdauer erhalten bleiben.

(2) Zum Nachweis des Raumabschlusses gilt Folgendes (Normaltemperatur 20 °C):

- in der Erwärmungsphase bis zum Erreichen der maximalen Heißgastemperatur im Brandabschnitt darf die mittlere Temperaturerhöhung auf der dem Feuer abgekehrten Bauteiloberfläche nicht größer werden als 140 K und die maximale Temperaturerhöhung darf 180 K nicht übersteigen;
- während der Abkühlphase darf die mittlere Temperaturerhöhung auf der dem Feuer abgekehrten Bauteiloberfläche nicht größer werden als $\Delta\theta_1$ und die maximale Temperaturerhöhung darf $\Delta\theta_2$ nicht übersteigen.

ANMERKUNG Die Werte für $\Delta\theta_1$ und $\Delta\theta_2$, die in einem Land verwendet werden, können in dessen Nationalen Anhang gefunden werden. Empfohlen werden die Werte $\Delta\theta_1 = 200$ K und $\Delta\theta_2 = 240$ K.

2.2 Einwirkungen

(1)P Thermische und mechanische Einwirkungen müssen von EN 1991-1-2 übernommen werden.

(2) In Ergänzung zu EN 1991-1-2 sollte der Emissionswert für die Betonoberfläche mit 0,7 angenommen werden.

2.3 Bemessungswerte der Materialeigenschaften

(1)P Bemessungswerte der mechanischen (Festigkeit und Verformung) Materialeigenschaften 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 Festigkeit oder Verformungseigenschaft (i. Allg. f_k oder E_k) für die Bemessung bei Normaltemperatur nach EN 1992-1-1; |
| k_{θ} | der Reduktionsfaktor für eine Festigkeit oder Verformungseigenschaft ($X_{k,\theta} / X_k$), abhängig von der Materialtemperatur, siehe 3.2; |
| $\gamma_{M,fi}$ | der Teilsicherheitsbeiwert für eine Materialeigenschaft im Brandfall. |

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

— wenn eine Zunahme der Eigenschaft für die Sicherheit günstig ist:

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

— wenn eine Zunahme der Eigenschaft für die Sicherheit ungünstig ist:

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

Dabei ist

$X_{k,\theta}$ der Wert der Materialeigenschaft bei der Bemessung für den Brandfall, allgemein abhängig von der Materialtemperatur, siehe Abschnitt 3;

$\gamma_{M,fi}$ der Teilsicherheitsbeiwert für die entsprechende Materialeigenschaft im Brandfall.

ANMERKUNG 1 Der Wert für $\gamma_{M,fi}$, der in einem Land verwendet wird, kann in dessen Nationalem Anhang gefunden werden.

Der empfohlene Wert ist:

- für thermische Materialeigenschaften von Beton, Betonstahl und Spannstahl: $\gamma_{M,fi} = 1,0$;
- für mechanische Eigenschaften von Beton, Betonstahl und Spannstahl: $\gamma_{M,fi} = 1,0$.

ANMERKUNG 2 Wenn die empfohlenen Werte verändert werden, erfordern die tabellarischen Daten Veränderungen.

2.4 Nachweismethoden

2.4.1 Allgemeines

(1)P Das für die Bemessung mit diesem Teil 1-2 der Normenreihe EN 1992 angewendete Tragwerksmodell muss das im Brandfall zu erwartenden Tragwerksverhalten widerspiegeln.

(2)P  Es muss für die festgelegte Feuerwiderstandsdauer t nachgewiesen werden: 

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

Dabei ist

$E_{d,fi}$ der Bemessungswert der Schnittgrößen im Brandfall, bestimmt nach EN 1991-1-2 unter Berücksichtigung der thermischen Ausdehnungen und Verformungen;

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

(3) Die Tragwerksanalyse im Brandfall muss nach EN 1990, Abschnitt 5, ausgeführt werden.

ANMERKUNG Für den Nachweis der Feuerwiderstandsfähigkeit bei Normbrandbedingungen ist eine Bauteilberechnung ausreichend.

(4) Wenn Anwendungsregeln in dieser Europäischen Norm nur in Verbindung mit der Einheits-Temperaturzeitkurve gültig sind, wird das in den entsprechenden Abschnitten gekennzeichnet.

(5) Die tabellarischen Daten in Abschnitt 5 basieren auf der Einheits-Temperaturzeitkurve.

(6)P Als Alternative zur Bemessung mit Rechenverfahren kann die Bemessung für den Brandfall auf der Grundlage von Versuchsergebnissen oder der Kombination von Versuchen und Berechnungen durchgeführt werden, siehe EN 1990, Abschnitt 5.

2.4.2 Bauteilberechnung

(1) Beanspruchungen dürfen für die Zeit $t = 0$ unter Berücksichtigung der Kombinationsfaktoren $\psi_{1,1}$ oder $\psi_{1,2}$ nach EN 1991-1-2, Abschnitt 4, ermittelt werden.

(2) Als Vereinfachung von (1) dürfen Beanspruchungen aus der Bemessung für Normaltemperatur übernommen werden:

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

Dabei ist

E_d der Bemessungswert der zugehörigen Schnittgrößen (Kraft oder Moment) aus der Bemessung für Normaltemperatur aus der Grundkombination (siehe EN 1990);

η_{fi} der Reduktionsfaktor für den Bemessungswert der Einwirkungen im Brandfall.

(3) Der Reduktionsfaktor η_{fi} für Lastkombinationen nach EN 1990 (6.10) sollte wie folgt berechnet werden:

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

oder als kleinerer Wert der Gleichungen (2.5a) und (2.5b) für Lastkombinationen nach EN 1990 (6.10a) oder (6.10b):

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

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

Dabei ist

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

G_k der charakteristische Wert der ständigen Einwirkung;

γ_G der Teilsicherheitsbeiwert für die ständige Einwirkung;

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

ψ_{fi} der Kombinationsbeiwert für häufige oder quasi-permanente Werte, entweder $\psi_{1,1}$ oder $\psi_{2,1}$, siehe EN1991-1-2;

ξ der Reduktionsfaktor für ungünstig wirkende ständige Einwirkungen G .

ANMERKUNG 1 Bild 2.1 zeigt den Reduktionsfaktor η_{fi} nach Gleichung 2.5 in Abhängigkeit vom Verhältnis der Einwirkungen $Q_{k,1}/G_k$ mit unterschiedlichen Werten von $\psi_{1,1}$ wobei für $\gamma_{GA} = 1,0$, $\gamma_G = 1,35$ und $\gamma_Q = 1,5$ angenommen wurden. Die Gleichungen (2.5a) und (2.5b) ergeben geringfügig größere Werte. Empfohlene Werte für die Teilsicherheitsbeiwerte werden in den zuständigen Nationalen Anhängen von EN 1990 gegeben.

ANMERKUNG 2 Als Vereinfachung kann der empfohlene Wert $\eta_{fi} = 0,7$ verwendet werden.

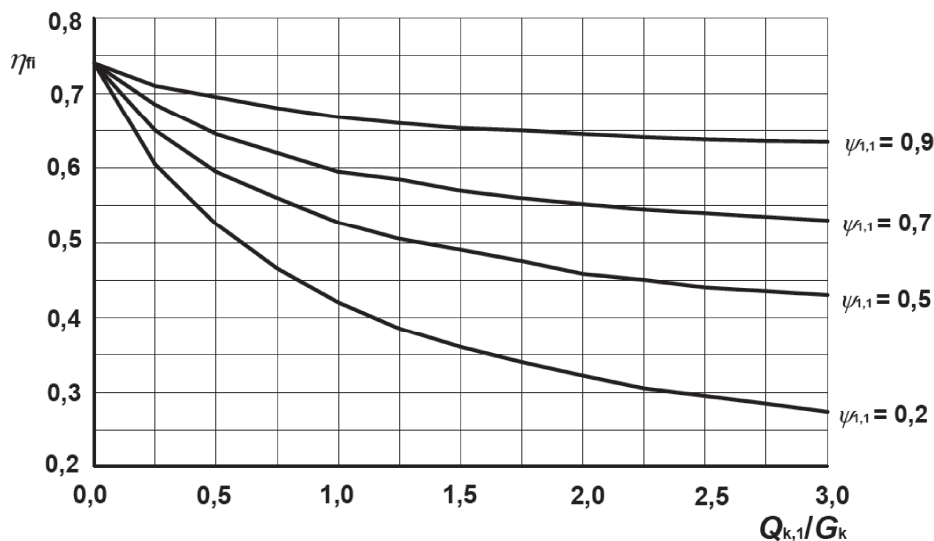


Bild 2.1 — Veränderung des Reduktionsfaktors η_{fi} als Funktion der Einwirkungen $Q_{k,1} / G_k$

(4) Die Wirkungen der thermischen Verformungen infolge eines Temperaturgradienten im Querschnitt müssen berücksichtigt werden. Die Wirkungen von gleichförmiger thermischer Ausdehnung können vernachlässigt werden.

(5) Die Randbedingungen an den Auflagern und Rändern des Bauteils zur Zeit $t = 0$ können unverändert für den Brandfall übernommen werden.

(6) Tabellarische Werte, vereinfachte oder allgemeine Rechenverfahren nach 4.2 und 4.3 sowie Abschnitt 5 sind für den Nachweis der Bauteile im Brandfall geeignet.

2.4.3 Berechnung von Teiltragwerken

(1) 2.4.2 (1) gilt.

(2) Als Alternative zur umfassenden Berechnung des Gesamttragwerks im Brandfall können die Auflagerreaktionen und inneren Kräfte und Momente an den Rändern des Teiltragwerks aus der Bemessung für Normaltemperatur übernommen werden (siehe 2.4.2).

(3) Teiltragwerke müssen auf der Grundlage der möglichen thermischen Dehnungen und Verformungen festgelegt werden, und zwar so, dass ihr Zusammenwirken mit anderen Teilen des Tragwerks durch zeitunabhängige Auflager- und Randbedingungen während der Brandbeanspruchung abgeschätzt werden kann.

(4)P Die Bemessung des Teiltragwerks muss die bei Brandbeanspruchung maßgebende Versagensart, die temperaturabhängigen Materialeigenschaften einschließlich der Steifigkeit sowie Wirkungen der thermischen Dehnung und Verformung (indirekte Brandeinwirkung) erfassen.

(5) Die Randbedingungen an den Auflagern und die Kräfte und Momente an den Rändern des Teiltragwerks zur Zeit $t = 0$ können unverändert für den Brandfall übernommen werden.

2.4.4 Gesamttragwerksberechnung

(1)P Die Gesamttragwerksberechnung für den Brandfall muss die bei Brandbeanspruchung maßgebende Versagensart, die temperaturabhängigen Materialeigenschaften einschließlich der Steifigkeit sowie Wirkungen der thermischen Dehnung und Verformung (indirekte Brandeinwirkung) erfassen.

3 Materialeigenschaften

3.1 Allgemeines

(1)P Die in diesem Abschnitt für die Materialeigenschaften angegebenen Werte sind charakteristische Werte (siehe 2.3 (1)P).

(2) Die Werte können in Verbindung mit dem vereinfachten (siehe 4.2) und dem allgemeinen Rechenverfahren (siehe 4.3) benutzt werden.

Andere Formulierungen für die Materialgesetze können verwendet werden, sofern die Lösungen im Bereich entsprechender Prüferfahrung liegen.

ANMERKUNG Materialeigenschaften für Leichtbeton werden in diesem Eurocode nicht angegeben.

(3)P Für die mechanischen Eigenschaften von Beton, Betonstahl und Spannstahl bei Normaltemperatur (20 °C) sind jene Werte anzunehmen, die in EN 1992-1-1 für die Bemessung bei Normaltemperatur angegeben sind.

3.2 Festigkeits- und Verformungseigenschaften bei erhöhten Temperaturen

3.2.1 Allgemeines

(1)P In diesem Abschnitt stammen die Zahlenwerte für die Festigkeits- und Verformungseigenschaften aus stationären und instationären Versuchen, zum Teil auch aus einer Kombination beider Versuche. Weil der Kriecheinfluss nicht gesondert berücksichtigt wird, sind die Materialmodelle in diesem Eurocode für Erwärmungsgeschwindigkeiten zwischen 2 K/min und 50 K/min anwendbar. Für Erwärmungsgeschwindigkeiten außerhalb des genannten Bereichs muss die Gültigkeit der Festigkeits- und Verformungseigenschaften nachgewiesen werden.

3.2.2 Beton

3.2.2.1 Druckbeanspruchter Beton

(1)P Die Festigkeits- und Verformungseigenschaften von einachsig gedrücktem Beton bei erhöhten Temperaturen werden aus Spannungs-Dehnungsbeziehungen entsprechend Bild 3.1 entnommen.

(2) Die Spannungs-Dehnungsbeziehungen im Bild 3.1 werden durch zwei Parameter definiert:

- die Druckfestigkeit $f_{c,0}$;
- die Stauchung $\varepsilon_{c1,0}$ entsprechend $f_{c,0}$.

(3) Für jeden der Parameter sind in Tabelle 3.1 Werte in Abhängigkeit von der Betontemperatur angegeben. Für Zwischenwerte der Temperatur ist eine lineare Interpolation zulässig.

(4) Die in Tabelle 3.1 angegebenen Werte können für Normalbeton mit quarz- oder kalksteinhaltigen (mindestens 80 Gew.-% kalksteinhaltiger Zuschlag) Zuschlägen angewendet werden.

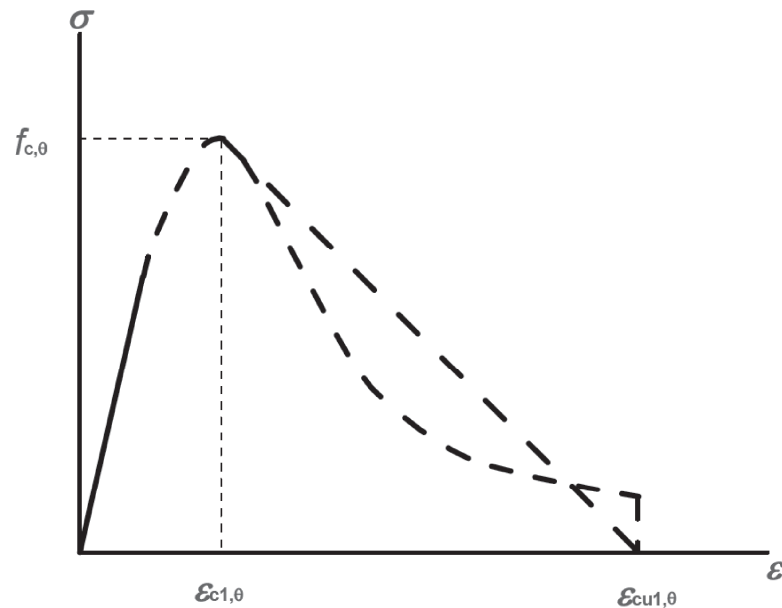
(5) Werte für $\varepsilon_{cu1,0}$, die den Bereich des abfallenden Kurventeils definieren, könne aus Tabelle 3.1 entnommen werden, Spalte 4 gilt für Normalbeton mit quarzhaltigen Zuschlägen, Spalte 7 für Normalbeton mit kalksteinhaltigen Zuschlägen.

Tabelle 3.1 — Werte für die Hauptparameter der Spannungs-Dehnungsbeziehung von Normalbeton mit quarz- oder kalksteinhaltigem Zuschlag bei erhöhten Temperaturen

Beton Temp. θ	Quarzh. Zuschläge			Kalksteinhaltige Zuschläge		
	$f_{c,\theta} / f_{ck}$	$\varepsilon_{c1,\theta}$	$\varepsilon_{cu1,\theta}$	$f_{c,\theta} / f_{ck}$	$\varepsilon_{c1,\theta}$	$\varepsilon_{cu1,\theta}$
[°C]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]
1	2	3	4	5	6	7
20	1,00	0,0025	0,0200	1,00	0,0025	0,0200
100	1,00	0,0040	0,0225	1,00	0,0040	0,0225
200	0,95	0,0055	0,0250	0,97	0,0055	0,0250
300	0,85	0,0070	0,0275	0,91	0,0070	0,0275
400	0,75	0,0100	0,0300	0,85	0,0100	0,0300
500	0,60	0,0150	0,0325	0,74	0,0150	0,0325
600	0,45	0,0250	0,0350	0,60	0,0250	0,0350
700	0,30	0,0250	0,0375	0,43	0,0250	0,0375
800	0,15	0,0250	0,0400	0,27	0,0250	0,0400
900	0,08	0,0250	0,0425	0,15	0,0250	0,0425
1 000	0,04	0,0250	0,0450	0,06	0,0250	0,0450
1 100	0,01	0,0250	0,0475	0,02	0,0250	0,0475
1 200	0,00	—	—	0,00	—	—

(6) Bei thermischen Einwirkungen nach EN 1991-1-2, Abschnitt 3 (Simulation eines natürlichen Feuers), ist das Modell für die Spannungs-Dehnungsbeziehungen von Beton nach Bild 3.1 zu modifizieren, insbesondere für den Bereich abfallender Temperaturen.

(7) Eine mögliche Festigkeitszunahme von Beton in der Abkühlphase sollte nicht berücksichtigt werden.



Bereich	Spannung $\sigma(\theta)$
$\varepsilon \leq \varepsilon_{c1,\theta}$	$\frac{3 \varepsilon f_{c,\theta}}{\varepsilon_{c1,\theta} \left(2 + \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_{c1,\theta}} \right)^3 \right)}$
$\varepsilon_{c1(\theta)} < \varepsilon \leq \varepsilon_{cu1,\theta}$	Für numerische Zwecke sollte ein abfallender Kurventeil angenommen werden. Lineare und nichtlineare Modelle sind zulässig.

Bild 3.1 — Modell der Spannungs-Dehnungsbeziehungen für druckbeanspruchten Beton bei erhöhten Temperaturen

3.2.2.2 Zugfestigkeit

(1) In der Regel sollte die Zugfestigkeit des Betons – auf der sicheren Seite liegend – nicht zum Ansatz gebracht werden. Wenn die Zugfestigkeit jedoch beim vereinfachten oder allgemeinen Rechenverfahren berücksichtigt werden soll, dann gilt dieser Abschnitt.

(2) Der Abfall des charakteristischen Werts der Betonzugfestigkeit wird durch den Beiwert $k_{c,t}(\theta)$ nach Gleichung (3.1) berücksichtigt.

$$f_{ck,t}(\theta) = k_{c,t}(\theta) f_{ck,t} \quad (3.1)$$

(3) Für $k_{c,t}(\theta)$ dürfen die folgenden Werte (siehe Bild 3.2) verwendet werden, wenn genauere Daten nicht zur Verfügung stehen:

$$k_{c,t}(\theta) = 1,0 \quad \text{für } 20 \text{ °C} \leq \theta \leq 100 \text{ °C}$$

$$k_{c,t}(\theta) = 1,0 - 1,0 (\theta - 100)/500 \quad \text{für } 100 \text{ °C} < \theta \leq 600 \text{ °C}$$

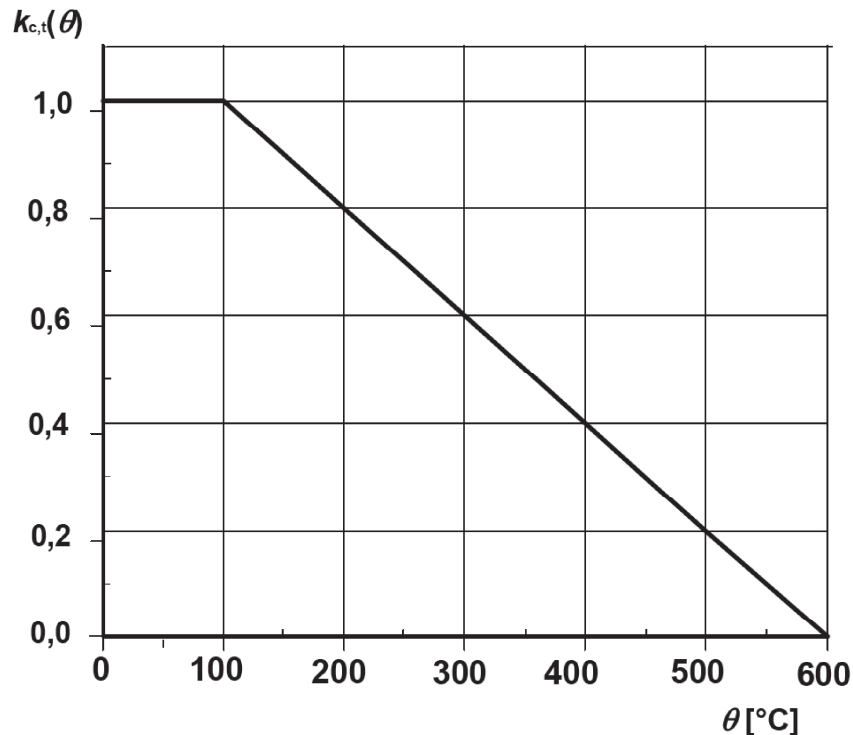


Bild 3.2 — Beiwert $k_{c,t}(\theta)$ zur Beschreibung des Abfalls der Betonzugfestigkeit ($f_{ck,t}$) bei erhöhten Temperaturen

3.2.3 Betonstahl

(1)P Die Festigkeits- und Verformungseigenschaften von Betonstahl bei erhöhten Temperaturen werden durch Spannungs-Dehnungsbeziehungen nach Bild 3.3 und Tabelle 3.2 (a oder b) festgelegt. Tabelle 3.2b sollte nur angewendet werden, wenn die Festigkeit bei erhöhter Temperatur durch Versuche nachgewiesen worden ist.

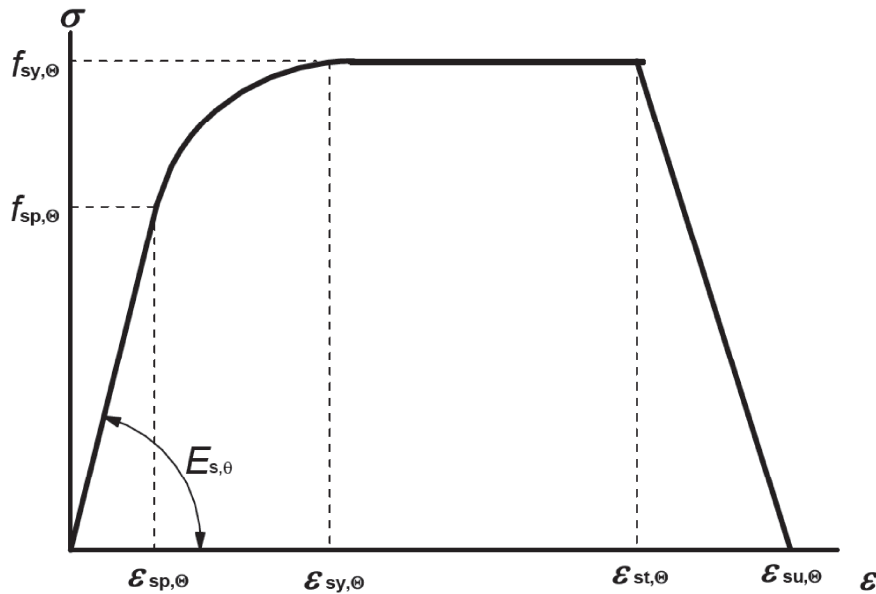
(2) Die Spannungs-Dehnungsbeziehungen nach Bild 3.3 werden durch drei Parameter definiert:

- Neigung im linear-elastischen Bereich $E_{s,\theta}$;
- Proportionalitätsgrenze $f_{sp,\theta}$;
- maximales Spannungsniveau $f_{sy,\theta}$.

(3) Für die Parameter in (2) sind in Tabelle 3.2 Werte für warmgewalzten und kaltverformten Betonstahl bei erhöhten Temperaturen angegeben. Für Zwischenwerte der Temperatur ist eine lineare Interpolation zulässig.

(4) Die Spannungs-Dehnungsbeziehungen dürfen auch für druckbeanspruchten Betonstahl angewendet werden.

(5) Bei thermischen Einwirkungen nach EN 1991-1-2, Abschnitt 3 (Simulation eines natürlichen Feuers), können die Spannungs-Dehnungsbeziehungen von Betonstahl nach Tabelle 3.2 als zutreffende Näherung verwendet werden, insbesondere für den Bereich abfallender Temperaturen.



Bereich	Spannung $\sigma(\theta)$	Tangentenmodul
$\varepsilon_{sp,\theta}$	$\varepsilon E_{s,\theta}$	$E_{s,\theta}$
$\varepsilon_{sp,\theta} \leq \varepsilon \leq \varepsilon_{sy,\theta}$	$f_{sp,\theta} - c + (b/a)[a^2 - (\varepsilon_{sy,\theta} - \varepsilon)^2]^{0,5}$	$\frac{b(\varepsilon_{sy,\theta} - \varepsilon)}{a \left[a^2 - (\varepsilon - \varepsilon_{sy,\theta})^2 \right]^{0,5}}$
$\varepsilon_{sy,\theta} \leq \varepsilon \leq \varepsilon_{st,\theta}$	$f_{sy,\theta}$	0
$\varepsilon_{st,\theta} \leq \varepsilon \leq \varepsilon_{su,\theta}$	$f_{sy,\theta} [1 - (\varepsilon - \varepsilon_{st,\theta}) / (\varepsilon_{su,\theta} - \varepsilon_{st,\theta})]$	—
$\varepsilon = \varepsilon_{su,\theta}$	0,00	—
Parameter ^{*)}	$\varepsilon_{sp,\theta} = f_{sp,\theta} / E_{s,\theta} \quad \varepsilon_{sy,\theta} = 0,02 \quad \varepsilon_{st,\theta} = 0,15 \quad \varepsilon_{su,\theta} = 0,20$ Klasse A Bewehrung: $\varepsilon_{st,\theta} = 0,05 \quad \varepsilon_{su,\theta} = 0,10$	
Hilfswerte	$a^2 = (\varepsilon_{sy,\theta} - \varepsilon_{sp,\theta})(\varepsilon_{sy,\theta} - \varepsilon_{sp,\theta} + c/E_{s,\theta})$ $b^2 = c (\varepsilon_{sy,\theta} - \varepsilon_{sp,\theta}) E_{s,\theta} + c^2$ $c = \frac{(f_{sy,\theta} - f_{sp,\theta})^2}{(\varepsilon_{sy,\theta} - \varepsilon_{sp,\theta}) E_{s,\theta} - 2(f_{sy,\theta} - f_{sp,\theta})}$	
^{*)} Werte für die Parameter $\varepsilon_{pt,\theta}$ und $\varepsilon_{pu,\theta}$ von Spannstahl sind aus Tabelle 3.3 zu nehmen. Die Klasse A Bewehrung wird in EN 1992-1-1, Anhang C festgelegt.		

Bild 3.3 — Modell der Spannungs-Dehnungsbeziehungen für Betonstahl und Spannstahl bei erhöhten Temperaturen (bei Spannstählen ist der Fußzeiger „s“ durch „p“ zu ersetzen)

Tabelle 3.2a — Werte für die Parameter der Spannungs-Dehnungsbeziehung von warmgewalzten und kaltverformten Betonstahl (Klasse N) bei erhöhten Temperaturen

Stahltemperatur θ [°C]	$f_{sy,\theta} / f_{yk}$		$f_{sp,\theta} / f_{yk}$		$E_{s,\theta} / E_s$	
	w.-gewalzt	kaltverformt	w.-gewalzt	kaltverformt	w.-gewalzt	kaltverformt
1	2	3	4	5	6	7
20	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
100	1,00	1,00	1,00	0,96	1,00	1,00
200	1,00	1,00	0,81	0,92	0,90	0,87
300	1,00	1,00	0,61	0,81	0,80	0,72
400	1,00	0,94	0,42	0,63	0,70	0,56
500	0,78	0,67	0,36	0,44	0,60	0,40
600	0,47	0,40	0,18	0,26	0,31	0,24
700	0,23	0,12	0,07	0,08	0,13	0,08
800	0,11	0,11	0,05	0,06	0,09	0,06
900	0,06	0,08	0,04	0,05	0,07	0,05
1 000	0,04	0,05	0,02	0,03	0,04	0,03
1 100	0,02	0,03	0,01	0,02	0,02	0,02
1 200	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabelle 3.2b — Werte für die Parameter der Spannungs-Dehnungsbeziehung von warmgewalzten und kaltverformten Betonstahl (Klasse X) bei erhöhten Temperaturen

Stahl Temperatur θ [°C]	$f_{sy,\theta} / f_{yk}$ warmgewalzt und kaltverformt	$f_{sp,\theta} / f_{yk}$ warmgewalzt und kaltverformt	$E_{s,\theta} / E_s$ warmgewalzt und kaltverformt
20	1,00	1,00	1,00
100	1,00	1,00	1,00
200	1,00	0,87	0,95
300	1,00	0,74	0,90
400	0,90	0,70	0,75
500	0,70	0,51	0,60
600	0,47	0,18	0,31
700	0,23	0,07	0,13
800	0,11	0,05	0,09
900	0,06	0,04	0,07
1 000	0,04	0,02	0,04
1 100	0,02	0,01	0,02

ANMERKUNG  Die Entscheidung, ob Klasse N (Tabelle 3.2a) oder Klasse X (Tabelle 3.2b)  in einem Land verwendet wird, wird in seinem Nationalen Anhang geregelt. Grundsätzlich wird Klasse N empfohlen. Klasse X wird nur empfohlen, wenn die Werte durch experimentelle Ergebnisse abgesichert sind.

3.2.4 Spannstahl

(1) Die Festigkeits- und Verformungseigenschaften von Spannstahl bei erhöhten Temperaturen werden durch das gleiche Modell wie für Betonstahl in 3.2.3 beschrieben.

(2) Werte für die Parameter für kaltgezogenen Spannstahl (Drähte und Litzen) und vergüteten Spannstahl (Stäbe) bei erhöhten Temperaturen sind durch $f_{py,\theta} / (\beta f_{pk})$, $f_{pp,\theta} / (\beta f_{pk})$, $E_{p,\theta} / E_p$, $\varepsilon_{pt,\theta}$ [–], $\varepsilon_{pu,\theta}$ [–] gegeben. Der β -Wert kann nach Klasse A oder Klasse B gewählt werden.

Für die Klasse A ergibt sich β aus der Gleichung (3.2) (siehe Tabelle 3.3):

$$\beta = \left[\left(\frac{\varepsilon_{ud} - f_{p0,1k} / E_p}{\varepsilon_{uk} - f_{p0,1k} / E_p} \right) \times \left(\frac{f_{pk} - f_{p0,1k}}{f_{pk}} \right) + \frac{f_{p0,1k}}{f_{pk}} \right] \quad (3.2)$$

Dabei sind die Definitionen und Werte für ε_{ud} , ε_{uk} , $f_{p0,1k}$, f_{pk} und E_p bei Umgebungstemperatur in EN 1992-1-1, 3.3, angegeben.

Für die Klasse B ist $\beta = 0,9$ (siehe Tabelle 3.3).

ANMERKUNG Im Nationalen Anhang kann festgelegt sein, ob die Klasse A oder Klasse B in einem Land zu verwenden ist.

Tabelle 3.3 — Werte für die Parameter der Spannungs-Dehnungsbeziehung von kaltgezogenem Spannstahl (kgz) (Drähte und Litzen) und vergütetem Spannstahl (vgü) (Stäben) bei erhöhten Temperaturen

Stahltemperatur θ [°C]	$f_{py,\theta} / (\beta f_{pk})$			$f_{pp,\theta} / (\beta f_{pk})$		$E_{p,\theta} / E_p$		$\varepsilon_{pt,\theta}$ [—]	$\varepsilon_{pu,\theta}$ [—]
	kgz		vgü	kgz	vgü	kgz	vgü	kgz, vgü	kgz, vgü
	Klasse A	Klasse B							
1	2a	2b	3	4	5	6	7	8	9
20	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,050	0,100
100	1,00	0,99	0,98	0,68	0,77	0,98	0,76	0,050	0,100
200	0,87	0,87	0,92	0,51	0,62	0,95	0,61	0,050	0,100
300	0,70	0,72	0,86	0,32	0,58	0,88	0,52	0,055	0,105
400	0,50	0,46	0,69	0,13	0,52	0,81	0,41	0,060	0,110
500	0,30	0,22	0,26	0,07	0,14	0,54	0,20	0,065	0,115
600	0,14	0,10	0,21	0,05	0,11	0,41	0,15	0,070	0,120
700	0,06	0,08	0,15	0,03	0,09	0,10	0,10	0,075	0,125
800	0,04	0,05	0,09	0,02	0,06	0,07	0,06	0,080	0,130
900	0,02	0,03	0,04	0,01	0,03	0,03	0,03	0,085	0,135
1000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,090	0,140
1 100	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,095	0,145
1 200	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,100	0,150

ANMERKUNG Bei Zwischenwerten der Temperaturen darf linear interpoliert werden.

(3) Bei thermischen Einwirkungen nach EN 1991-1-2, Abschnitt 3 (Simulation eines natürlichen Feuers), können die Spannungs-Dehnungsbeziehungen von Betonstahl nach Tabelle 3.3 als zutreffende Näherung verwendet werden, insbesondere für den Bereich abfallender Temperaturen.

3.3 Thermische und physikalische Eigenschaften von Beton mit quarz- und kalksteinhaltigen Zuschlägen

3.3.1 Thermische Verlängerung

(1) Die thermischen Dehnungen $\varepsilon_c(\theta)$ von Beton darf, ausgehend von der Länge bei 20 °C, wie folgt bestimmt werden:

— Quarzhaltige Zuschläge:

$$\varepsilon_c(\theta) = -1,8 \times 10^{-4} + 9 \times 10^{-6} \theta + 2,3 \times 10^{-11} \theta^3 \quad \text{für } 20 \text{ °C} \leq \theta \leq 700 \text{ °C}$$

$$\varepsilon_c(\theta) = 14 \times 10^{-3} \quad \text{für } 700 \text{ °C} < \theta \leq 1\,200 \text{ °C}$$

— Kalksteinhaltige Zuschläge:

$$\varepsilon_c(\theta) = -1,2 \times 10^{-4} + 6 \times 10^{-6} \theta + 1,4 \times 10^{-11} \theta^3 \quad \text{für } 20 \text{ °C} \leq \theta \leq 805 \text{ °C}$$

$$\varepsilon_c(\theta) = 12 \times 10^{-3} \quad \text{für } 805 \text{ °C} < \theta \leq 1\,200 \text{ °C}$$

Dabei ist

θ die Betontemperatur (°C).

(2) Im Bild 3.5 ist die Beziehung zwischen der thermischen Verlängerung und der Temperatur dargestellt.

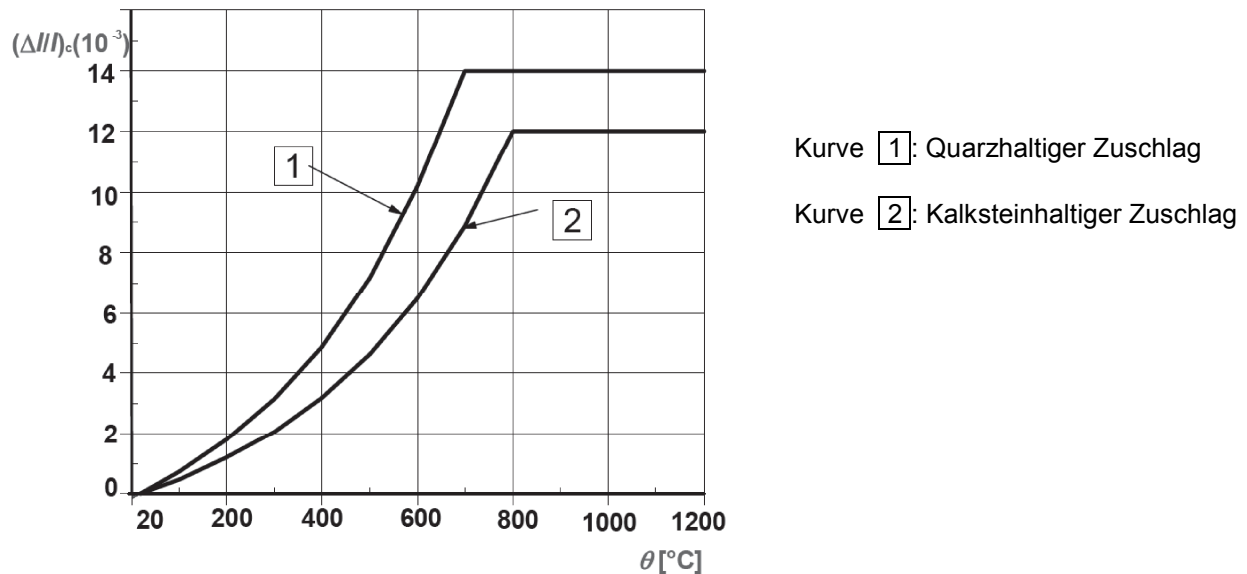


Bild 3.5 — Gesamte thermische Verlängerung von Beton

3.3.2 Spezifische Wärme

(1) Die spezifische Wärme $c_p(\theta)$ von trockenem Beton ($u = 0 \%$) darf wie folgt bestimmt werden:

— Quarz- und kalksteinhaltiger Zuschlag:

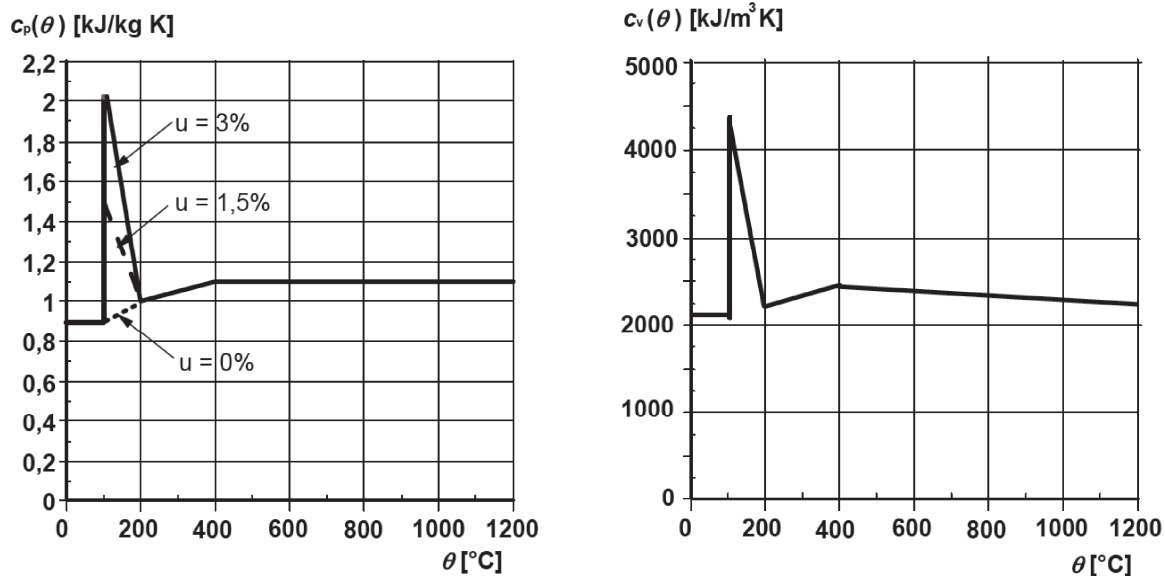
$c_p(\theta) = 900 \text{ (J/kg K)}$	für $20 \text{ °C} \leq \theta \leq 100 \text{ °C}$
$c_p(\theta) = 900 + (\theta - 100) \text{ (J/kg K)}$	für $100 \text{ °C} < \theta \leq 200 \text{ °C}$
$c_p(\theta) = 1\,000 + (\theta - 200)/2 \text{ (J/kg K)}$	für $200 \text{ °C} < \theta \leq 400 \text{ °C}$
$c_p(\theta) = 1\,100 \text{ (J/kg K)}$	für $400 \text{ °C} < \theta \leq 1\,200 \text{ °C}$

Dabei ist θ die Betontemperatur (°C). $c_p(\theta)$ (kJ/kg K) ist in Bild 3.6a dargestellt.

(2) Sofern der Feuchtegehalt nicht explizit in der Berechnung berücksichtigt wird, darf die für die spezifische Wärme von Beton mit quarz- oder kalksteinhaltigen Zuschlägen angegebene Funktion durch folgenden, zwischen 100 °C und 115 °C liegenden konstanten Wert

$c_{p,peak} = 900 \text{ J/kg K}$	für Feuchtegehalt von 0 % des Betongewichts,
$c_{p,peak} = 1\,470 \text{ J/kg K}$	für Feuchtegehalt von 1,5 % des Betongewichts,
$c_{p,peak} = 2\,020 \text{ J/kg K}$	für Feuchtegehalt von 3,0 % des Betongewichts

und einer linearen Beziehung zwischen (115 °C, $c_{p,peak}$) und (200 °C, 1 000 J/kg K) ergänzt werden. Für andere Feuchtegehalte darf linear interpoliert werden. Im Bild 3.6a sind die Spitzenwerte für die spezifische Wärme dargestellt.



a) Spezifische Wärme von Beton mit quarzhaltigem Zuschlag $c_p(\theta)$ in Abhängigkeit von der Temperatur (Feuchtegehalt $u = 0, 1,5$ und 3 Gew.-%)

b) Räumliche spezifische Wärme von Beton mit quarzhaltigem Zuschlag $c_v(\theta)$ in Abhängigkeit von der Temperatur (Feuchtegehalt $u = 3$ Gew.-%, Rohdichte $2\,300\text{ kg/m}^3$)

Bild 3.6 — Spezifische Wärme und räumliche spezifische Wärme

(3) Die Veränderung der Rohdichte in Abhängigkeit von der Temperatur wird durch den Wasserverlust beeinflusst und kann wie folgt definiert werden:

$$\begin{aligned} \rho(\theta) &= \rho(20\text{ °C}) && \text{für } 20\text{ °C} \leq \theta \leq 115\text{ °C} \\ \rho(\theta) &= \rho(20\text{ °C}) \cdot (1 - 0,02(\theta - 115)/85) && \text{für } 115\text{ °C} < \theta \leq 200\text{ °C} \\ \rho(\theta) &= \rho(20\text{ °C}) \cdot (0,98 - 0,03(\theta - 200)/200) && \text{für } 200\text{ °C} < \theta \leq 400\text{ °C} \\ \rho(\theta) &= \rho(20\text{ °C}) \cdot (0,95 - 0,07(\theta - 400)/800) && \text{für } 400\text{ °C} < \theta \leq 1\,200\text{ °C} \end{aligned}$$

(4) Im Bild 3.6b ist die Veränderung der räumlichen spezifischen Wärme $c_v(\theta)$ (Produkt von $\rho(\theta)$ und $c_p(\theta)$) von Beton mit quarzhaltigen Zuschlägen, einem Feuchtegehalt von 3 Gew.-% und einer Rohdichte von $2\,300\text{ kg/m}^3$ dargestellt.

3.3.3 Thermische Leitfähigkeit

(1) Die thermische Leitfähigkeit λ_c von Beton kann zwischen den in (2) (siehe unten) definierten unteren und oberen Grenzwerten festgelegt werden

ANMERKUNG 1 Der Wert für die thermische Leitfähigkeit im Bereich zwischen unterem und oberem Grenzwert wird im Nationalen Anhang geregelt.