

DIN EN 1991-1-2

DIN

ICS 13.220.50; 91.010.30

Ersatz für
DIN EN 1991-1-2:2003-09 und
DIN EN 1991-1-2
Berichtigung 1:2009-09

**Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke –
Teil 1-2: Allgemeine Einwirkungen –
Brandeinwirkungen auf Tragwerke;
Deutsche Fassung EN 1991-1-2:2002 + AC:2009**

Eurocode 1: Actions on structures –
Part 1-2: General actions –
Actions on structures exposed to fire;
German version EN 1991-1-2:2002 + AC:2009

Eurocode 1: Actions sur les structures –
Partie 1-2: Actions general –
Actions sur les structures exposées au feu;
Version allemande EN 1991-1-2:2002 + AC:2009

Gesamtumfang 65 Seiten

DIN EN 1991-1-2:2010-12

Nationales Vorwort

Diese Europäische Norm (EN 1991-1-2:2002 + AC:2009) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 250/SC 1 „Eurocode 1: Einwirkungen“ unter deutscher Mitwirkung erarbeitet.

Im DIN Deutsches Institut für Normung e.V. war 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 die Richtlinie der Kommission der Europäischen Gemeinschaft für die Anwendung der Eurocodes Rechnung getragen, in dem dort Übergangsfristen für die verbindliche Umsetzung der Eurocodes in den Mitgliedstaaten vorgesehen sind. Die Übergangsfristen müssen im Einzelfall von CEN und der Kommission präzisiert werden.

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.

Der Beginn und das Ende des hinzugefügten oder geänderten Textes wird im Text durch die Textmarkierungen **[AC]** **[AC]** angezeigt.

Änderungen

Gegenüber DIN V ENV 1991-2-2:1997-05 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- Vornorm-Charakter wurde aufgehoben;
- die Stellungnahmen der nationalen Normungsinstitute wurden eingearbeitet und der Text vollständig überarbeitet.

Gegenüber DIN EN 1991-1-2:2003-09 und DIN EN 1991-1-2 Berichtigung 1:2009-09 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

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

Frühere Ausgaben

DIN V ENV 1991-2-2: 1997-05
DIN EN 1991-1-2: 2003-09
DIN EN 1991-1-2 Berichtigung 1: 2009-09

EUROPÄISCHE NORM
EUROPEAN STANDARD
NORME EUROPÉENNE

EN 1991-1-2
November 2002
+AC
März 2009

ICS 13.220.50; 91.010.30

Ersatz für ENV 1991-2-2:1995

Deutsche Fassung

**Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke —
Teil 1-2: Allgemeine Einwirkungen —
Brandeinwirkungen auf Tragwerke**

Eurocode 1: Action on structures —
Part 1-2: General actions —
Actions on structures exposed to fire

Eurocode 1: Actions sur les structures —
Partie 1-2: Actions general —
Actions sur les structures exposées au feu

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 1. September 2002 angenommen.

Die Berichtigung tritt am 4. März 2009 in Kraft und wurde in EN 1991-1-2:2002 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 1991-1-2:2010-12
EN 1991-1-2:2002 + AC:2009 (D)**

Inhalt

	Seite
Vorwort	4
Abschnitt 1 Allgemeines	9
1.1 Anwendungsbereich.....	9
1.2 Normative Verweisungen.....	10
1.3 Annahmen.....	10
1.4 Unterscheidung von verbindlichen und nicht verbindlichen Regeln.....	10
1.5 Definitionen	11
1.5.1 Übliche Ausdrücke aus den Eurocode-Brandschutzteilen.....	11
1.5.2 Die allgemeine Bemessung betreffende Fachbegriffe	12
1.5.3 Die thermischen Einwirkungen betreffende Begriffe	13
1.5.4 Die Wärmeübertragungsberechnung betreffende Begriffe	15
1.6 Symbole	15
Abschnitt 2 Verfahren zur Tragwerksbemessung im Brandfall	20
2.1 Allgemeines.....	21
2.2 Brandszenarien für die Bemessung	21
2.3 Bemessungsbrand	21
2.4 Temperaturberechnung	22
2.5 Berechnung der Tragfähigkeit.....	22
Abschnitt 3 Thermische Einwirkungen für die Temperaturberechnung	23
3.1 Allgemeine Regeln	23
3.2 Nominelle Temperaturzeitkurven	24
3.2.1 Einheits-Temperaturzeitkurve.....	24
3.2.2 Außenbrandkurve	24
3.2.3 Hydrokarbon-Brandkurve.....	25
3.3 Naturbrandmodelle.....	25
3.3.1 Vereinfachte Brandmodelle	25
3.3.2 Allgemeine Brandmodelle.....	26
Abschnitt 4 Mechanische Einwirkungen für die Tragfähigkeitsberechnung	27
4.1 Allgemeines.....	27
4.2 Gleichzeitigkeit von Einwirkungen.....	27
4.2.1 Einwirkungen aus der Bemessung unter normaler Temperatur.....	27
4.2.2 Zusätzliche Einwirkungen	28
4.3 Kombinationsregeln für Einwirkungen.....	28
4.3.1 Allgemeine Regel.....	28
4.3.2 Vereinfachte Regeln	28
4.3.3 Lastniveau	29
Anhang A (informativ) Parametrische Temperaturzeitkurven.....	30

Anhang B (informativ) Thermische Einwirkungen auf außenliegende Bauteile – vereinfachtes Berechnungsverfahren	33
B.1 Anwendungsbereich	33
B.2 Anwendungsbedingungen	33
B.3 Auswirkungen des Windes	34
B.3.1 Art der Belüftung.....	34
B.3.2 Ablenkung der Flammen durch Wind.....	34
B.4 Brand- und Flammeneigenschaften.....	35
B.4.1 Ohne Zwangsbelüftung	35
B.4.2 Zwangsbelüftung	38
B.5 Gesamtkonfigurationsfaktor.....	40
Anhang C (informativ) Lokale Brände	42
Anhang D (informativ) Erweiterte Brandmodelle	45
D.1 Ein-Zonen-Modelle.....	45
D.2 Zwei-Zonen-Modelle	46
D.3 Rechnergestütztes Fluid-Dynamik-Modell (CFD)	47
Anhang E (informativ) Brandlastdichten	48
E.1 Allgemeines	48
E.2 Ermittlung von Brandlastdichten	50
E.2.1 Allgemeines	50
E.2.2 Definitionen.....	50
E.2.3 Geschützte Brandlasten	51
E.2.4 Netto-Verbrennungswärme	51
E.2.5 Klassifizierung der Brandlast nach Nutzungseinheiten	53
E.2.6 Bestimmung der Brandlast im Einzelfall.....	53
E.3 Abbrandverhalten.....	53
E.4 Energiefreisetzungsraten Q	54
Anhang F (informativ) Äquivalente Branddauer	56
Anhang G (informativ) Konfigurationsfaktor.....	58
G.1 Allgemeines	58
G.2 Abschattungseffekte	59
G.3 Außenliegende Bauteile	59
Literaturhinweise	63

**DIN EN 1991-1-2:2010-12
EN 1991-1-2:2002 + AC:2009 (D)**

Vorwort

Dieses Dokument (EN 1991-1-2:2002 + AC:2009) wurde vom Technischen Komitee CEN /TC 250 „Eurocodes für den konstruktiven Ingenieurbau“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom BSI gehalten wird.

CEN/TC 250/SC 1 ist verantwortlich für Eurocode 1.

Diese Europäische Norm muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis Mai 2003, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis Dezember 2009 zurückgezogen werden.

Dieses Dokument ersetzt ENV 1991-2-2:1995.

Die Anhänge A, B, C, D, E, F und G sind informativ.

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

Hintergrund des Eurocode-Programms

Im Jahre 1975 beschloss die Kommission der Europäischen Gemeinschaften, für das Bauwesen ein Programm 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 Programms 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 Steuerkomitees mit Repräsentanten der Mitgliedsländer die Entwicklung des Eurocode-Programms, das zu der ersten Eurocode-Generation in den 80er Jahren 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 Bauprodukten-Richtlinie, 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).

1) Vereinbarung zwischen der Kommission der Europäischen Gemeinschaft und dem Europäischen Komitee für Normung (CEN) zur Bearbeitung der Eurocodes für die Tragwerksplanung von Hochbauten und Ingenieurbauwerken.

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: Einwirkung auf Tragwerke.

prEN 1992, Eurocode 2: Entwurf, Berechnung und Bemessung von Stahlbetonbauten.

prEN 1993, Eurocode 3: Entwurf, Berechnung und Bemessung von Stahlbauten.

prEN 1994, Eurocode 4: Entwurf, Berechnung und Bemessung von Stahl-Beton-Verbundbauten.

prEN 1995, Eurocode 5: Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauten.

prEN 1996, Eurocode 6: Entwurf, Berechnung und Bemessung von Mauerwerksbauten.

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

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

prEN 1999, Eurocode 9: Entwurf, Berechnung und Bemessung von Aluminiumkonstruktionen.

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 der Hoch- und Ingenieurbauten mit den wesentlichen Anforderungen der Richtlinie 89/106/EWG, besonders mit der wesentlichen Anforderung Nr. 1: Mechanischer Widerstand und Stabilität und der wesentlichen Anforderung Nr. 2: Brandschutz;
- als Grundlage für die Spezifizierung von Verträgen für die Ausführung von Bauwerken und dazu erforderlichen Ingenieurleistungen;
- als Rahmenbedingung für die Herstellung 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 Bauprodukten-Richtlinie 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 Angaben 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 wesentliche Anforderung zu konkretisieren, indem die Begriffe und, soweit erforderlich, die technische Grundlage für Klassen und Anforderungshöhen vereinheitlicht werden,
 - b) Methoden zur Verbindung dieser Klasse oder Anforderungshöhen mit technischen Spezifikationen anzugeben, z. B. rechnerische oder Prüfverfahren, Entwurfsregeln,
 - 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 1991-1-2:2010-12 EN 1991-1-2:2002 + AC:2009 (D)

Die Eurocodes liefern Regelungen für den Entwurf, die Berechnung und 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, mit möglicherweise 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.

Sie dürfen auch Folgendes enthalten:

- 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 den CE-Zeichen an den Bauprodukten verbunden sind, die die Eurocodes in Bezug nehmen, klar erkennen lassen, welche national festzulegenden Parameter (NDP) zugrunde liegen.

Besondere Hinweise zu EN 1991-1-2

EN 1991-1-2 beschreibt die thermischen und mechanischen Einwirkungen für die konstruktive Bemessung von Tragwerken unter Brandbeanspruchung einschließlich der folgenden Aspekte:

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.

Sicherheitstechnische Anforderungen

EN 1991-1-2 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 die Gesellschaft, benachbarte Bauwerke und, falls erforderlich, die Umgebung oder direkt betroffene Bauwerke im Brandfall.

Die Bauprodukten-Richtlinie 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 bleibt,
- die Bewohner das Gebäude unverletzt verlassen oder durch andere Maßnahmen gerettet werden können,
- die Sicherheit der Rettungsmannschaften berücksichtigt ist.“

Gemäß dem Grundlagendokument Nr. 2 „Brandschutz“⁵⁾ 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, wenn dies nach den nationalen Brandschutzregularien zulässig ist, als Aufgabe des Brandschutzingenieurs unter Berücksichtigung vorbeugender und abwehrender Brandschutzmaßnahmen erreicht werden.

Zusätzliche Anforderungen, die zum Beispiel

- den möglichen Einbau und die Instandhaltung von Sprinkleranlagen,
- die Bedingungen für die Bewohnbarkeit 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 Teilstufen und andere Elemente zuverlässigkeitssabhängiger 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.

5) Siehe 2.2, 3.2(4) und 4.2.3.3 des Grundlagendokuments Nr 2.

DIN EN 1991-1-2:2010-12

EN 1991-1-2:2002 + AC:2009 (D)

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 dieses Teils 1-2 ist im Folgenden 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.

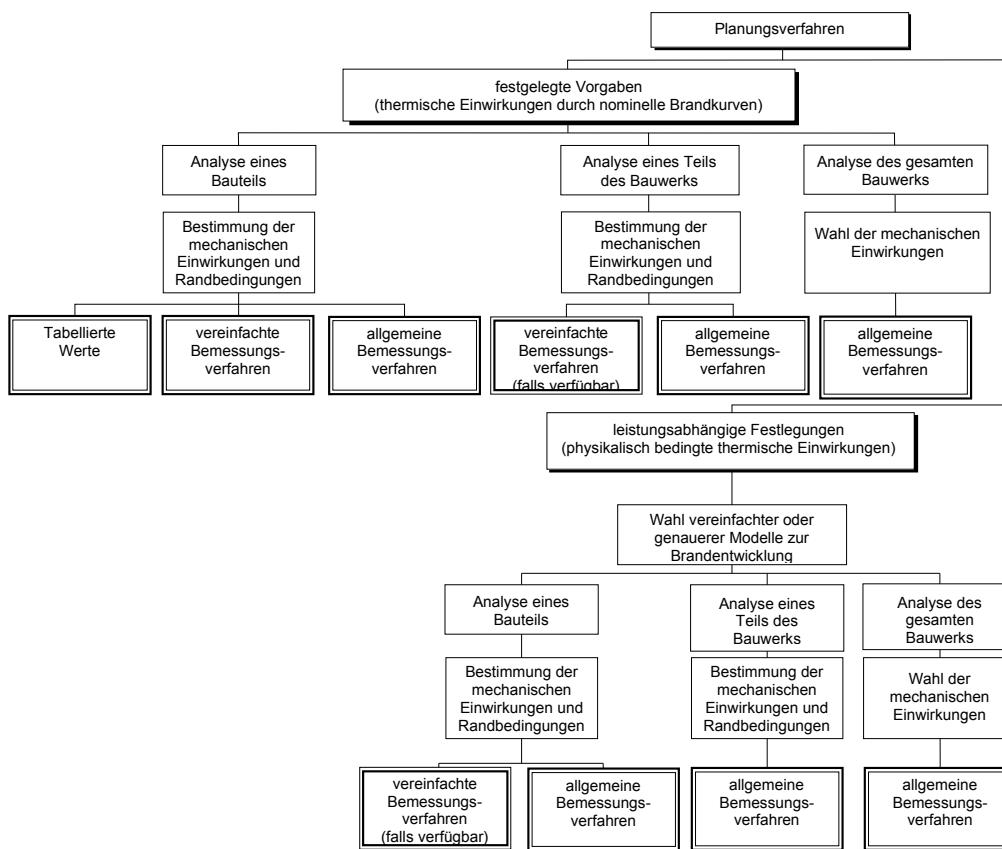


Bild 1 — Alternative Bemessungsverfahren

Planungshilfen

Es wird erwartet, dass auf den Berechnungsmodellen nach EN 1991-1-2 beruhende Planungshilfen von den interessierten externen Organisationen erarbeitet werden.

Der Haupttext der EN 1991-1-2 beinhaltet die meisten der prinzipiellen Konzepte und Regeln, die für die Beschreibung der thermischen und mechanischen Einwirkungen auf das Bauwerk erforderlich sind.

Nationaler Anhang zu prEN 1991-1-2

Diese Norm enthält alternative Verfahren und Werte sowie Empfehlungen für Klassen mit Hinweisen, an welchen Stellen nationale Festlegungen getroffen werden. Dazu sollte die jeweilige nationale Ausgabe von EN 1991-1-2 einen Nationalen Anhang mit den national festzulegenden Parametern enthalten, mit dem die Tragwerksplanung von Hochbauten und Ingenieurbauten, die in dem Ausgabeland gebaut werden sollen, möglich ist.

Nationale Festlegungen sind nach EN 1991-1-2 in den folgenden Abschnitten vorgesehen:

- 2.4(4)
- 3.1(10)
- 3.3.1.1(1)
- 3.3.1.2(1)
- 3.3.1.2(2)
- 3.3.1.3(1)
- 3.3.2(1)
- 3.3.2(2)
- 4.2.2(2)
- 4.3.1(2)

Abschnitt 1 Allgemeines

1.1 Anwendungsbereich

- (1) Die in diesem Teil 1-2 von EN 1991 angegebenen Verfahren sind auf Gebäude mit Brandlasten entsprechend der Gebäudeart und Gebäudenutzung anwendbar.
- (2) Dieser Teil 1-2 von EN 1991 behandelt die thermischen und mechanischen Einwirkungen auf Tragwerke unter Brandbeanspruchung. Er ist vorgesehen in Verbindung mit den Brandschutzteilen der prEN 1992 bis prEN 1996 und prEN 1999, die die Regeln für die Bemessung von Tragwerken auf ihre Tragfähigkeit im Brandfall enthalten, angewendet zu werden.
- (3) Dieser Teil 1-2 von EN 1991 enthält nominelle und aus der Physik abgeleitete thermische Einwirkungen. Die Anhänge enthalten zusätzliche Angaben zu Daten und physikalischen Modellen für thermische Einwirkungen.
- (4) Dieser Teil 1-2 von EN 1991 gibt verbindliche und nicht verbindliche Regeln für thermische und mechanische Einwirkungen, die zusammen mit EN 1990, EN 1991-1-1, EN 1991-1-3 und EN 1991-1-4 anzuwenden sind.
- (5) Die Bestimmung des Schadens an einem Gebäude nach einem Brand wird in diesem Dokument nicht behandelt.

**DIN EN 1991-1-2:2010-12
EN 1991-1-2:2002 + AC:2009 (D)**

1.2 Normative Verweisungen

(1)P 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).

ANMERKUNG Auf die folgenden Europäischen Normen, die veröffentlicht wurden oder in Vorbereitung sind, wird in normativen Abschnitten Bezug genommen:

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

EN 1990:2002 *Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung.*

EN 1991-1-1, *Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke — Teil 1-1: Allgemeine Einwirkungen - Wichten, Eigenlasten, Nutzlasten für Gebäude.*

prEN 1991-1-3, *Eurocode 1: Teil 1-3: Einwirkungen auf Tragwerke — Schneelasten.*

prEN 1991-1-4, *Eurocode 1: Teil 1-4: Einwirkungen auf Tragwerke — Windlasten.*

prEN 1992, *Eurocode 2: Planung von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken.*

prEN 1993, *Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten.*

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

prEN 1995, *Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten.*

prEN 1996, *Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten.*

prEN 1999, *Eurocode 9: Bemessung und Konstruktion von Tragwerken aus Aluminium.*

1.3 Annahmen

(1)P Zusätzlich zu den allgemeinen Annahmen in EN 1990 gelten die folgenden Annahmen:

- jede berücksichtigte aktive oder passive Brandschutzmaßnahme wird ausreichend gewartet,
- die Wahl des maßgebenden Brandszenarios wird durch entsprechend qualifiziertes Personal getroffen oder wird durch die zuständigen nationalen Regeln festgelegt.

1.4 Unterscheidung von verbindlichen und nicht verbindlichen Regeln

(1) Die in EN 1990, 1.4, angegebenen Regeln sind anzuwenden.

1.5 Definitionen

(1)P Für die Anwendung dieser Europäischen Norm gelten die in EN 1990:2002, 1.5, angegebenen und die folgenden Begriffe.

1.5.1 Übliche Ausdrücke aus den Eurocode-Brandschutzteilen

1.5.1.1

äquivalente Branddauer [equivalent time of fire exposure]

Zeitdauer unter Beanspruchung nach der Einheits-Temperaturzeitkurve, in der die gleiche Wärmeeinwirkung unterstellt wird wie bei einem echten Brand im Brandabschnitt

1.5.1.2

außenliegendes Bauteil [external member]

Bauteile außerhalb von Gebäuden, die einem Brand durch Öffnungen in den Fassaden oder Dächern ausgesetzt sein können

1.5.1.3

Brandabschnitt [fire compartment]

Gebäudebereich über ein oder mehrere Geschosse, der von raumabschließenden Bauteilen derart umschlossen ist, dass eine Brandweiterleitung in andere Gebäudeteile während der maßgebenden Brandbeanspruchung verhindert wird

1.5.1.4

Feuerwiderstandsfähigkeit [fire resistance]

Fähigkeit eines Tragwerks, eines Tragwerksteiles oder eines Bauteils, die geforderten Funktionen (Tragfähigkeit und/oder Raumabschluss) für eine bestimmte Brandbeanspruchung und für eine bestimmte Dauer zu erfüllen

1.5.1.5

voll entwickelter Brand [fully developed fire]

Brandstadium, in dem alle vorhandenen brennbaren Stoffe in einem Brandabschnitt erfasst sind

1.5.1.6

globale Tragwerksberechnung (für den Brandfall) [global structural analysis (for fire)]

statische Berechnung eines Gesamttragwerkes, wenn entweder das gesamte Tragwerk oder nur ein Teil davon einem Brand ausgesetzt ist. Indirekte Brandeinwirkungen werden dabei im gesamten Tragwerk berücksichtigt

1.5.1.7

indirekte Brandeinwirkungen [indirect fire actions]

Kräfte und Momente, die durch thermisch bedingte Verformungen und Dehnungen oder durch Temperaturgradienten entstehen

1.5.1.8

Raumabschluss (E) [integrity (E)]

Fähigkeit eines trennenden Bauteils, bei Brandbeanspruchung auf der einen Seite zu verhindern, dass Flammen oder heiße Gase durch es hindurch gelangen und Flammen auf der anderen (brandabgewandten) Seite auftreten

1.5.1.9

Wärmedämmung (I) [insulation (I)]

Fähigkeit eines trennenden Bauteils, bei Brandbeanspruchung auf der einen Seite die Temperaturentwicklung auf der anderen (brandabgewandten) Oberfläche auf bestimmte Größen zu begrenzen

DIN EN 1991-1-2:2010-12 EN 1991-1-2:2002 + AC:2009 (D)

1.5.1.10

lasttragende Funktion (R) [load bearing function (R)]

Fähigkeit eines Tragwerks oder eines Bauteils, bestimmten Einwirkungen entsprechend vorgegebenen Kriterien während des Brandes standzuhalten

1.5.1.11

Bauteil [member]

Grundelement eines Tragwerks (so wie Träger, Stütze, aber auch Zusammenbauten wie Ständerwände, Fachwerkträger, ...), das unter Berücksichtigung von Rand- und Auflagerbedingungen einzeln betrachtet wird

1.5.1.12

Bauteilberechnung (im Brandfall) [member analysis (for fire)]

thermische und mechanische Berechnung eines Bauteils unter Brandbeanspruchung, in der das Bauteil einzeln mit entsprechenden Auflager- und Randbedingungen betrachtet wird. Indirekte Brändeinwirkungen werden nicht betrachtet, außer sie haben ihre Ursache in Temperaturgradienten

1.5.1.13

Bemessung bei normaler Temperatur [normal temperature design]

Tragfähigkeitsbemessung für Umgebungstemperaturen nach Teil 1-1 von prEN 1992 bis prEN 1996 oder prEN 1999

1.5.1.14

raumabschließende Funktion [separating function]

Fähigkeit eines trennenden Bauteils, die Brandausbreitung (z. B. durch Durchgang von Flammen und heißen Gasen – siehe Raumabschluss (E)) oder die Entflammung auf der brandabgewandten Seite (siehe Wärmedämmung (I)) während des maßgebenden Brandes zu verhindern

1.5.1.15

raumabschließendes Bauteil [separating element]

tragendes oder nicht tragendes Bauteil (z. B. eine Wand), die einen Teil der Hülle eines Brandabschnittes bildet

1.5.1.16

Feuerwiderstandsfähigkeit unter Einheits-Temperaturzeitkurve [standard fire resistance]

Fähigkeit eines Tragwerkes oder eines Tragwerkteiles (im Allgemeinen nur Bauteile), die geforderten Funktionen (Tragfähigkeit und/oder Raumabschluss) unter einer Brandbeanspruchung gemäß der Einheits-Temperaturzeitkurve für eine festgelegte Dauer zu erfüllen

1.5.1.17

tragende Bauteile [structural members]

lastabtragende Bauteile eines Tragwerkes einschließlich der Aussteifungen

1.5.1.18

Temperaturberechnung [temperature analysis]

Berechnung der Temperaturentwicklung in Bauteilen auf der Grundlage der thermischen Einwirkungen (Netto-Wärmestrom), der thermischen Werkstoffeigenschaften der Bauteile und gegebenenfalls der schützenden Oberflächen

1.5.1.19

thermische Einwirkungen [thermal actions]

Einwirkungen auf das Tragwerk, die durch den Netto-Wärmestrom zu den Bauteilen beschrieben werden

1.5.2 Die allgemeine Bemessung betreffende Fachbegriffe

1.5.2.1

allgemeines Brandmodell [advanced fire model]

Bemessungsbrand auf Grundlage von Massen- und Energieerhaltungsgrundsätzen

1.5.2.2**rechnergestütztes Fluid-Dynamik-Modell [computational fluid dynamic model]**

Brandmodell, das in der Lage ist, die Differentialgleichungen, die an allen Orten des Brandabschnitts die thermodynamischen und aerodynamischen Größen liefern, zu lösen

1.5.2.3**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

1.5.2.4**Ein-Zonen-Modell [one-zone model]**

ein Brandmodell, das von einer gleichmäßigen Gastemperatur im Brandabschnitt ausgeht

1.5.2.5**einfaches Brandmodell [simple fire model]**

ein Bemessungsbrand auf Grundlage eines begrenzten Anwendungsfeldes bestimmter physikalischer Größen

1.5.2.6**Zwei-Zonen-Modell [two-zone model]**

Brandmodell, in dem unterschiedliche Zonen in einem Brandabschnitt definiert werden: Die obere Schicht, die untere Schicht, das Feuer und seine Plume, das äußere Gas und die Wände. In der oberen Schicht wird von einer einheitlichen Gastemperatur ausgegangen

1.5.3 Die thermischen Einwirkungen betreffende Begriffe**1.5.3.1****Abbrandfaktor [combustion factor]**

er gibt die Vollständigkeit der Verbrennung an und liegt zwischen 1 für die vollständige Verbrennung und 0 für nichtbrennbar

1.5.3.2**Bemessungsbrand [design fire]**

definierter Brandverlauf, der bei der Brandschutzbemessung zugrunde gelegt wird

1.5.3.3**Bemessungswert der Brandlastdichte [design fire load density]**

Brandlastdichte, die für die thermische Einwirkung bei der Brandschutzbemessung angenommen wird; der Zahlenwert berücksichtigt Unsicherheiten

1.5.3.4**Bemessungsbrandfall [design fire scenario]**

bestimmter Brandfall (Brandszenario), für den die Berechnung durchgeführt wird

1.5.3.5**Außenbrandkurve [external fire curve]**

nominelle Temperaturzeitkurve zur Anwendung auf die Außenfläche raumabschließender Außenwände, die von verschiedenen Teilen der Fassade aus einem Brand ausgesetzt sein können, d. h. unmittelbar aus dem Inneren des jeweiligen Brandabschnittes oder aus einem Brandabschnitt, der sich unter der jeweiligen Außenwand befindet oder an diese angrenzt

**DIN EN 1991-1-2:2010-12
EN 1991-1-2:2002 + AC:2009 (D)**

1.5.3.6

Brandentstehungsrisiko [fire activation risk]

Parameter, der die Gefahr der Brandentstehung als Funktion der Brandabschnittsfläche und der Nutzung berücksichtigt

1.5.3.7

Brandlastdichte [fire load density]

Brandlast je Flächeneinheit bezogen auf die Geschoßfläche q_f , oder bezogen auf die Oberfläche der gesamten Umhüllung q_t einschließlich Öffnungen

1.5.3.8

Brandlast [fire load]

Summe der Wärmeenergien, die bei der Verbrennung aller brennbaren Stoffe (Innenausstattung und Einrichtungsgegenstände sowie Bauteile) in einem Gebäudebereich frei werden

1.5.3.9

Brandfall (Brandszenario) [fire scenario]

qualitative Beschreibung des Brandverlaufs mit Zeitangaben für Schlüsselereignisse, die den Brand charakterisieren und von anderen möglichen Bränden unterscheidet. Es beschreibt üblicherweise den Entstehungs- und Wachstumsprozess eines Brandes sowie seine voll entwickelte Phase und seine Abnahme in Zusammenhang mit der Gebäudeausstattung und Teilen, die im Laufe des Brandes versagen

1.5.3.10

Feuerüberschlag [flash-over]

gleichzeitige Entzündung aller Brandlasten in einem Brandabschnitt

1.5.3.11

Hydrokarbon-Brandkurve [hydrocarbon fire curve]

nominelle Temperaturzeitkurve zur Darstellung von Hydrokarbon-Brandlasten

1.5.3.12

lokaler Brand [localised fire]

Brand, der nur eine begrenzte Fläche der Brandlast in einem Brandabschnitt entfacht

1.5.3.13

Öffnungsfaktor [opening factor]

Faktor, der die Ventilationsbedingungen in einem Brandabschnitt widerspiegelt. Er ist abhängig von der Fläche der Öffnungen in den Brandabschnittswänden, der Höhe dieser Öffnungen und der gesamten Umfassungsfläche des Brandabschnittes

1.5.3.14

Wärmefreisetzungsr率e [rate of heat release]

Wärme, die von einem brennbaren Erzeugnis zeitabhängig abgegeben wird

1.5.3.15

Einheits-Temperaturzeitkurve [standard temperature-time curve]

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

1.5.3.16

Temperaturzeitkurven [temperature-time curves]

Brandgastemperaturen in der Umgebung der Bauteilloberflächen in Abhängigkeit von der Zeit. Das können sein

- **nominelle Temperaturzeitkurven:** Kurven, die üblicherweise für die Klassifizierung oder den Nachweis der Feuerwiderstandsfähigkeit anerkannt sind, z. B. die Einheits-Temperaturzeitkurve;
- **parametrische Temperaturzeitkurven:** Auf der Grundlage von Brandmodellen und den spezifischen physikalischen Parametern, die die Bedingungen im Brandabschnitt beschreiben, ermittelte Kurven.

1.5.4 Die Wärmeübertragungsberechnung betreffende Begriffe

1.5.4.1

Konfigurationsfaktor [configuration factor]

der Konfigurationsfaktor für die Wärmeübertragung durch Strahlung von der Oberfläche A zu Oberfläche B ist definiert als der Anteil der von Oberfläche A diffus abgestrahlten Energie, die auf Oberfläche B einfällt

1.5.4.2

Konvektiver Wärmeübergangskoeffizient [convective heat transfer coefficient]

Menge der konvektiv mit einem Bauteil ausgetauschten Wärme, bezogen auf die Differenz zwischen Umgebungstemperatur und Oberflächentemperatur

1.5.4.3

Emissivität [emissivity]

entspricht der Absorption eines Oberfläche, d. h. dem Verhältnis zwischen der Strahlungswärme, die von der gegebenen Oberfläche im Verhältnis zu der Oberfläche eines schwarzen Körpers absorbiert wird

1.5.4.4

Netto-Wärmestrom [net heat flux]

von Bauteilen absorbierte Energie pro Zeiteinheit und Oberfläche

1.6 Symbole

(1)P Bei der Anwendung dieses Teils 1-2 gelten die folgenden Symbole.

Lateinische Großbuchstaben

A	Fläche des Brandabschnittes
$A_{\text{ind},d}$	Bemessungswert für indirekte Einwirkung durch den Brand
A_f	Bodenfläche eines Brandabschnittes
A_{fi}	Brandfläche
A_h	Fläche der horizontalen Öffnungen im Dach eines Brandabschnittes
$A_{h,v}$	gesamte Fläche der Öffnungen in der Hülle ($A_{h,v} = A_h + A_v$)
A_j	Fläche der Oberfläche j, Öffnungen nicht eingeschlossen
A_t	gesamte Fläche der Hülle (Wände, Decken und Boden, einschließlich der Öffnungen)
A_v	gesamte Fläche der vertikalen Öffnungen in allen Wänden ($A_v = \sum_i A_{v,i}$)

**DIN EN 1991-1-2:2010-12
EN 1991-1-2:2002 + AC:2009 (D)**

$A_{v,i}$	Fläche des Fensters "i"
C_i	Schutzkoeffizient der Bauteiloberfläche i
D	Tiefe des Brandabschnittes, Durchmesser des Brandes
E_d	Bemessungswert der maßgebenden Beanspruchung aus der Grundkombination nach EN 1990
$E_{fi,d}$	zeitlich unabhängiger Bemessungswert maßgebender Beanspruchung im Brandfall
$E_{fi,d,t}$	Bemessungswert der maßgebenden Beanspruchung im Brandfall zum Zeitpunkt t
E_g	innere Energie von Gas
H	Abstand zwischen Brandherd und Decke
H_u	Netto-Heizwert unter Berücksichtigung der Feuchtigkeit
H_{u0}	Netto-Heizwert des trockenen Materials
H_{ui}	Netto-Heizwert von Material i
L_c	Länge des Brandherdes
L_f	Länge der Flammendecke
L_H	Horizontale Projektion der Flamme (von der Fassade)
L_h	Horizontale Flammenlänge
L_L	Flammenhöhe (über der Öffnung)
L_x	Länge der Achse vom Fenster zu dem Punkt, für den die Berechnung durchgeführt wird
$M_{k,i}$	Menge des brennbaren Materials i
O	Öffnungsfaktor des Brandabschnitts ($O = A_v \sqrt{h_{eq}} / A_t$)
O_{lim}	abgeminderter Öffnungsfaktor im Falle brandlastgesteuerter Brände
P_{int}	innerer Druck
Q	Wärmefreisetzungsr率e des Brandes
Q_c	konvektiver Anteil der Wärmefreisetzungsr率e Q
$Q_{fi,k}$	charakteristische Brandlast
$Q_{fi,k,i}$	charakteristische Brandlast des Materials i
Q_D^*	Wärmefreisetzungskoeffizient bezogen auf den Durchmesser D eines lokalen Brandes
Q_H^*	Wärmefreisetzungskoeffizient bezogen auf die Höhe H eines Brandabschnittes
$Q_{k,1}$	charakteristischer Wert der führenden Einwirkung

Q_{\max}	maximale Wärmefreisetzungsrat
Q_{in}	Energie, die durch Gasströmung durch die Öffnungen eintritt
Q_{out}	Energie, die durch Gasströmung durch die Öffnungen austritt
Q_{rad}	Energie, die durch Strahlung durch die Öffnungen verloren geht
Q_{wall}	Energie, die durch Strahlung und Konvektion an die Oberfläche des Brandabschnittes abgegeben wird
R	ideale Gaskonstante ($= 287 \text{ [J/kgK]}$)
R_d	Bemessungswert der Tragfähigkeit eines Bauteils unter normalen Temperaturen
$R_{\text{fi},d,t}$	Bemessungswert der Tragfähigkeit eines Bauteils im Brandfall zum Zeitpunkt t
RHR_f	maximale Wärmefreisetzungsrat bezogen auf 1 m^2
T	die Temperatur [K]
T_{amb}	die Umgebungstemperatur [K]
T_0	die Anfangstemperatur ($= 293 \text{ [K]}$)
T_f	die Temperatur im Brandabschnitt [K]
T_g	Gastemperatur [K]
T_w	Temperatur der Flamme am Fenster [K]
T_z	Temperatur der Flamme entlang der Flammenachse [K]
W	Breite einer Wand mit einem oder mehreren Fenstern ($W_1 \text{ } \langle \text{AC} \rangle \text{ gestrichener Text } \langle \text{AC} \rangle$)
W_1	Breite der Wand 1, die die größte Fensterfläche besitzt
W_a	horizontale Projektion eines Sonnenschutzes
W_c	Breite des Brandherdes

Lateinische Kleinbuchstaben

b	Wärmespeichervermögen der gesamten Hülle ($b = \sqrt{(\rho c \lambda)}$)
b_i	Wärmespeichervermögen der Schicht i einer Umfassungsfläche
b_j	Wärmespeichervermögen einer Umfassungsfläche j
c	spezifische Wärmekapazität
d_{eq}	geometrische Eigenschaft eines außenliegenden Bauteils (Durchmesser oder Kantenlänge)
d_f	Flammendicke
d_i	Querschnittsabmessung der Bauteilloberfläche i

**DIN EN 1991-1-2:2010-12
EN 1991-1-2:2002 + AC:2009 (D)**

g	die Erdbeschleunigung
h_{eq}	gewichtetes Mittel der Fensterhöhen in allen Wänden $h_{\text{eq}} = \left(\sum_i (A_{V,i} h_i) \right) / A_V$
h_i	Höhe von Fenster i
\dot{h}	Wärmestrom in 1 m ² Oberfläche
\dot{h}_{net}	Netto-Wärmestrom in 1 m ² Oberfläche
$\dot{h}_{\text{net,c}}$	Netto-Wärmestrom durch Konvektion in 1 m ² Oberfläche
$\dot{h}_{\text{net,r}}$	Netto-Wärmestrom durch Strahlung in 1 m ² Oberfläche
\dot{h}_{tot}	gesamter Wärmestrom in 1 m ² Oberfläche
\dot{h}_i	Wärmestrom in 1 m ² Oberfläche infolge Brand i
k	Korrekturfaktor
k_b	Umrechnungsfaktor
k_c	Korrekturfaktor
m	Massen, Abbrandfaktor
\dot{m}	Massenstrom
\dot{m}_{in}	Massenstrom von Gasen, der durch die Öffnungen eintritt
\dot{m}_{out}	Massenstrom von Gasen, der durch die Öffnungen austritt
\dot{m}_{fi}	Menge entstehender Verbrennungsprodukte
q_f	Brandlastdichte bezogen auf die Größe der Oberfläche A_f
$q_{f,d}$	Bemessungsbrandlastdichte bezogen auf die Bodenfläche A_f
$q_{f,k}$	charakteristische Brandlastdichte bezogen auf die Bodenfläche A_f
q_t	Brandlastdichte bezogen auf die Größe der Oberfläche A_t
$q_{t,d}$	Bemessungsbrandlastdichte bezogen auf die Größe der Oberfläche A_t
$q_{t,k}$	charakteristische Brandlastdichte bezogen auf die Größe der Oberfläche A_t
r	horizontaler Abstand zwischen der vertikalen Feuerachse und dem Ort an der Decke, an dem der Wärmestrom berechnet wird
s_i	Dicke der Schicht i
s_{lim}	Schichtdickengrenze
t	Zeit

$t_{e,d}$	äquivalente Branddauer
$t_{fi,d}$	Feuerwiderstandsdauer (Eigenschaft eines Bauteils oder Tragwerks)
$t_{fi,req}$	erforderliche Feuerwiderstandsdauer
t_{lim}	Zeitpunkt der maximalen Gastemperatur im Falle eines gesteuerten Brandes
t_{max}	Zeitpunkt der maximalen Gastemperatur
t_α	Koeffizient für Feuerwachstumsrate
u	Windgeschwindigkeit, Feuchtegehalt
w_i	Breite von Fenster "i"
w_t	Summe der Fensterbreiten der Fenster in allen Wänden ($w_t = \sum w_i$); Ventilationsfaktor in Bezug auf A_t
w_f	Breite der Flamme; Ventilationsfaktor
y	Koeffizientenparameter
z	Höhe
z_0	gedachter Ursprung der Höhe z
z'	vertikale Position des gedachten Brandherdes

Griechische Großbuchstaben

Φ	Konfigurationsfaktor
Φ_f	Gesamtkonfigurationsfaktor eines Bauteils für den Wärmestrahlungsaustausch mit einer Öffnung
$\Phi_{f,i}$	Konfigurationsfaktor einer Bauteiloberfläche i für eine vorgegebene Öffnung
Φ_z	Gesamtkonfigurationsfaktor einer Bauteiloberfläche für den Wärmestrahlungsaustausch mit einer Flamme
$\Phi_{z,i}$	Konfigurationsfaktor einer Bauteiloberfläche i für eine vorgegebene Flamme
Γ	Zeitfaktor, abhängig vom Öffnungsfaktor O und dem Wärmespeichervermögen b
Γ_{lim}	Zeitfaktor, abhängig vom Öffnungsfaktor O_{lim} und dem Wärmespeichervermögen b
Θ	Temperatur [°C]; $\Theta [°C] = T [K] - 273$
$\Theta_{cr,d}$	Bemessungswert der kritischen Temperatur [°C]
Θ_d	Bemessungswert der Materialtemperatur [°C]
Θ_g	Gastemperatur im Brandabschnitt oder in der Nähe des Bauteils [°C]
Θ_m	Temperatur der Bauteiloberfläche [°C]

**DIN EN 1991-1-2:2010-12
EN 1991-1-2:2002 + AC:2009 (D)**

θ_{\max}	maximale Temperatur [°C]
θ_t	effektive Strahlungstemperatur des Brandes [°C]
Ω	$(A_f \cdot q_{f,d}) / (A_v \cdot A_t)^{1/2}$
Ψ_i	geschützter Brandlastfaktor

Griechische Kleinbuchstaben

α_c	Wärmeübergangskoeffizient für Konvektion
α_h	Verhältnis der Fläche der horizontalen Öffnungen zur Bodenfläche
α_v	Verhältnis der Fläche der vertikalen Öffnungen zur Bodenfläche
δ_{ni}	Faktor zur Berücksichtigung einer bestimmten Brandbekämpfungsmaßnahme i
δ_{q1}	Faktor zur Berücksichtigung der Brandentstehungsgefahr durch die Größe des Brandabschnittes
δ_{q2}	Faktor zur Berücksichtigung der Brandentstehungsgefahr durch die Art der Nutzung
ε_m	Emissivität der Oberfläche eines Bauteils
ε_f	Emissivität der Flamme
η_{fi}	Abminderungsfaktor
$\eta_{fi,t}$	Lastniveau für die Brandschutzbemessung
λ	Wärmeleitfähigkeit
ρ	Dichte
ρ_g	innere Gasdichte
σ	Stephan-Boltzmann-Konstante ($= 5,67 \cdot 10^{-8} [\text{W}/\text{m}^2\text{K}^4]$)
τ_F	Dauer des ungeregelten Brandes (mit 1 200 [s] angenommen)
ψ_0	Kombinationsfaktor für den charakteristischen Wert einer veränderlichen Einwirkung
ψ_1	Kombinationsfaktor für den häufigen Wert einer veränderlichen Einwirkung
ψ_2	Kombinationsfaktor für den quasi-ständigen Wert einer veränderlichen Einwirkung

Abschnitt 2 Verfahren zur Tragwerksbemessung im Brandfall

2.1 Allgemeines

(1) Eine Tragwerksbemessung im Brandfall sollte soweit erforderlich die folgenden Schritte beinhalten:

- Auswahl von maßgebenden Brandszenarien für die Bemessung,
- Bestimmung der entsprechenden Bemessungsbrände,
- Berechnung der Temperaturentwicklung in den Bauteilen,
- Berechnung des Tragverhaltens des Tragwerks unter Brandbeanspruchung.

ANMERKUNG Das Tragverhalten des Tragwerkes ist sowohl von den thermischen Einwirkungen und dem damit verbundenen Einfluss auf die Baustoffeigenschaften und die indirekten Brändeinwirkungen als auch von der direkten mechanischen Einwirkung abhängig.

(2) Die Tragwerksbemessung im Brandfall beinhaltet den Ansatz thermischer Einwirkungen für die Berechnung der Temperaturen und den Ansatz von Einwirkungen für die Berechnung des Tragverhaltens nach diesem und anderen Teilen von EN 1991.

(3)P Brandbedingte Einwirkungen werden als außergewöhnliche Einwirkungen betrachtet, siehe EN 1990:2002, 6.4.3.3(4).

2.2 Brandszenarien für die Bemessung

(1) Zur Ermittlung des außergewöhnlichen Bemessungsfalls sollten die maßgebenden Brandszenarien und die damit verbundenen Bemessungsbrände auf der Grundlage einer Brandrisikobetrachtung erfolgen.

(2) Wenn bei Tragwerken bestimmte Brandrisiken als Folge anderer außergewöhnlicher Einwirkungen auftreten, dann sollten diese Risiken bei der Erstellung des globalen Sicherheitskonzeptes berücksichtigt werden.

(3) Das zeit- und lastabhängige Tragverhalten vor der außergewöhnlichen Einwirkung ist zu berücksichtigen, wenn (2) nicht gilt.

2.3 Bemessungsbrand

(1) Für jedes bemessungsrelevante Brandszenario sollte ein Bemessungsbrand in einem Brandabschnitt nach Abschnitt 3 dieses Teils von EN 1991 bestimmt werden.

(2) Der Bemessungsbrand sollte nur auf einen Brandabschnitt gleichzeitig angesetzt werden, wenn nicht im Brandszenario anders beschrieben.

(3) Wenn nationale Behörden die Tragfähigkeit von Bauteilen im Brandfall vorgeben, darf davon ausgegangen werden, dass es sich bei dem maßgebenden Bemessungsbrand um den Normbrand nach der Einheits-Temperaturzeitkurve handelt, es sei denn, es ist anders angegeben.

**DIN EN 1991-1-2:2010-12
EN 1991-1-2:2002 + AC:2009 (D)**

2.4 Temperaturberechnung

(1)P Bei der Berechnung der Temperaturen eines Bauteils muss die Lage des Bemessungsbrandes zum Bauteil berücksichtigt werden.

(2) Bei außenliegenden Bauteilen sollte die Brandbeanspruchung durch Öffnungen in Fassaden und Dächern berücksichtigt werden.

(3) Bei Außenwänden mit trennender Funktion sollte die Brandbeanspruchung von innen (aus Sicht des Brandabschnitts) und alternativ von außen (von anderen Brandabschnitten) berücksichtigt werden, wenn es verlangt wird.

(4) Abhängig von dem in Abschnitt 3 gewählten Bemessungsbrand werden die folgenden Verfahren verwendet:

- bei Verwendung einer nominellen Temperaturzeitkurve wird die Temperaturberechnung des Bauteils für die vorgegebene Zeitspanne ohne Berücksichtigung der Abkühlphase durchgeführt;

ANMERKUNG 1 Die vorgegebene Zeitspanne darf durch nationale Regeln festgelegt oder nach den Regeln des Anhang F unter Beachtung des nationalen Anhangs bestimmt werden.

- bei Verwendung eines Brandmodells wird die Temperaturberechnung des Bauteils für die gesamte Dauer des Brandes einschließlich der Abkühlphase durchgeführt.

ANMERKUNG 2 Begrenzte Zeiträume des Feuerwiderstandes dürfen im Nationalen Anhang festgelegt werden.

2.5 Berechnung der Tragfähigkeit

(1)P Die Berechnung der Tragfähigkeit ist über den gleichen Zeitraum durchzuführen, wie die Berechnung der Temperaturen.

(2) Der Nachweis sollte im Zeitbereich:

$$t_{fi,d} \geq t_{fi,req} \quad (2.1)$$

oder im Festigungsbereich:

$$R_{fi,d,t} \geq E_{fi,d,t} \quad (2.2)$$

oder im Temperaturbereich:

$$\theta_d \leq \theta_{cr,d} \quad (2.3)$$

erfolgen.

Dabei ist

$t_{fi,d}$ der Bemessungswert der Feuerwiderstandsdauer;

$t_{fi,req}$ die erforderliche Feuerwiderstandsdauer;

$R_{fi,d,t}$ der Bemessungswert der Beanspruchbarkeit im Brandfall zum Zeitpunkt t ;

$E_{fi,d,t}$ der Bemessungswert der maßgebenden Beanspruchungen im Brandfall zum Zeitpunkt t ;

- θ_d der Bemessungswert der Baustofftemperatur;
 $\theta_{cr,d}$ der Bemessungswert der kritischen Baustofftemperatur.

Abschnitt 3 Thermische Einwirkungen für die Temperaturberechnung

3.1 Allgemeine Regeln

(1)P Die thermischen Einwirkungen werden durch den Netto-Wärmestrom \dot{h}_{net} [W/m²] in die Oberfläche des Bauteils gegeben.

(2) Bei brandbeanspruchten Oberflächen sollte der Netto-Wärmestrom \dot{h}_{net} unter Berücksichtigung der Wärmeübertragung durch Konvektion und Strahlung ermittelt werden:

$$\dot{h}_{net} = \dot{h}_{net,c} + \dot{h}_{net,r} \quad [\text{W/m}^2] \quad (3.1)$$

Dabei ist

$\dot{h}_{net,c}$ gegeben durch Gleichung (3.2);

$\dot{h}_{net,r}$ gegeben durch Gleichung (3.3).

(3) Der konvektive Anteil des Netto-Wärmestroms sollte berechnet werden mit:

$$\dot{h}_{net,c} = \alpha_c \cdot (\theta_g - \theta_m) \quad [\text{W/m}^2] \quad (3.2)$$

Dabei ist

α_c der Wärmeübergangskoeffizient für Konvektion [W/m²K];

θ_g die Gastemperatur in der Umgebung des beanspruchten Bauteils [°C];

θ_m die Oberflächentemperatur des Bauteils [°C].

(4) Angaben zum Wärmeübergangskoeffizienten für Konvektion bei Verwendung nomineller Temperaturzeitkurven enthält 3.2.

(5) Für die brandabgewandte Seite von trennenden Bauteilen sollte der Netto-Wärmestrom \dot{h}_{net} unter Verwendung von Gleichung (3.1) mit $\alpha_c = 4$ [W/m²K] bestimmt werden. Für den Wärmeübertragungskoeffizient für Konvektion sollten $\alpha_c = 9$ [W/m²K] angesetzt werden, wenn angenommen wird, dass er die Wärmeübertragung durch Strahlung mit abdeckt.

(6) Der Netto-Wärmestrom durch Strahlung wird bestimmt durch:

$$\dot{h}_{net,r} = \Phi \cdot \varepsilon_m \cdot \varepsilon_f \cdot \sigma \cdot [(\theta_f + 273)^4 - (\theta_m + 273)^4] \quad [\text{W/m}^2] \quad (3.3)$$

Dabei ist

Φ der Konfigurationsfaktor;

ε_m die Emissivität der Bauteiloberfläche;

ε_f die Emissivität des Feuers;

DIN EN 1991-1-2:2010-12 EN 1991-1-2:2002 + AC:2009 (D)

σ die Stephan-Boltzmann-Konstante ($= 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$);

θ_r die wirksame Strahlungstemperatur des Brandes [$^\circ\text{C}$];

θ_m die Bauteiloberfläche [$^\circ\text{C}$].

ANMERKUNG 1 Falls nicht in den baustoffbezogenen Brandschutzteilen der prEN 1992 bis prEN 1996 und prEN 1999 angegeben, darf $\varepsilon_m = 0,8$ verwendet werden.

ANMERKUNG 2 Die Emissivität der Flamme wird im Allgemeinen mit $\varepsilon_f = 1,0$ angenommen.

(7) Wenn in diesem Teil der EN 1991 oder in den Brandschutzteilen der prEN 1992 bis prEN 1996 und prEN 1999 keine anderen Werte gegeben sind, sollte der Konfigurationsfaktor $\phi = 1,0$ verwendet werden. Dieser Faktor darf kleiner als 1,0 gesetzt werden, um Positions- und Abschattungseffekte zu berücksichtigen.

ANMERKUNG Ein Verfahren zur Berechnung des Konfigurationsfaktors ϕ wird in Anhang G gegeben.

(8) Wenn das Bauteil vollständig von Flammen eingeschlossen ist, darf die Strahlungstemperatur θ_r durch die Gastemperatur der Bauteilumgebung θ_g ausgedrückt werden.

(9) Die Oberflächentemperatur θ_m ist ein Ergebnis der Temperaturberechnung des Bauteils nach den entsprechenden Brandschutzteilen der prEN 1992 bis prEN 1996 und prEN 1999.

(10) Als Gastemperatur θ_g dürfen die nominellen Temperaturzeitkurven nach 3.2 oder die mit Brandmodellen nach 3.3 ermittelten Temperaturen verwendet werden.

ANMERKUNG Die Verwendung nomineller Temperaturzeitkurven nach 3.2 oder die alternative Verwendung von Naturbrandmodellen nach 3.3 wird im nationalen Anhang geregelt.

3.2 Nominelle Temperaturzeitkurven

3.2.1 Einheits-Temperaturzeitkurve

(1) Die Einheits-Temperaturzeitkurve ist gegeben durch:

$$\theta_g = 20 + 345 \log_{10} (8 t + 1) \quad [\text{°C}] \quad (3.4)$$

Dabei ist

θ_g die Gastemperatur im Brandabschnitt [$^\circ\text{C}$];

t die Zeit [min].

(2) Der konvektive Wärmeübergangskoeffizient ist:

$$\alpha_c = 25 \text{ W/m}^2\text{K}.$$

3.2.2 Außenbrandkurve

(1) Die Außenbrandkurve ist gegeben durch:

$$\theta_g = 660 (1 - 0,687 e^{-0,32 t} - 0,313 e^{-3,8 t}) + 20 \quad [\text{°C}] \quad (3.5)$$

Dabei ist

θ_g die Gastemperatur in Bauteilnähe [°C];

t die Zeit [min].

(2) Der konvektive Wärmeübergangskoeffizient ist:

$$\alpha_c = 25 \text{ W/m}^2\text{K}.$$

3.2.3 Hydrokarbon-Brandkurve

(1) Die Hydrokarbon-Brandkurve ist gegeben durch:

$$\theta_g = 1080 (1 - 0,325 e^{-0,167 t} - 0,675 e^{-2,5 t}) + 20 \quad [\text{°C}] \quad (3.6)$$

Dabei ist

θ_g die Gastemperatur im Brandabschnitt [°C]

t die Zeit [min]

(2) Der konvektive Wärmeübergangskoeffizient ist:

$$\alpha_c = 50 \text{ W/m}^2\text{K} \quad (3.7)$$

3.3 Naturbrandmodelle

3.3.1 Vereinfachte Brandmodelle

3.3.1.1 Allgemeines

(1) Vereinfachte Brandmodelle basieren auf bestimmten physikalischen Größen, die nur in bestimmten Grenzen anwendbar sind.

ANMERKUNG Zur Berechnung der Bemessungsbrandlast $q_{f,d}$ wird die Anwendung der Verfahren in Anhang E empfohlen.

(2) Für Vollbrände wird eine gleichmäßige zeitabhängige Temperaturverteilung angenommen. Für lokale Brände wird eine ungleichmäßige zeitabhängige Temperaturverteilung angenommen.

(3) Bei der Verwendung von einfachen Brandmodellen sollte der konvektive Wärmeübergangskoeffizient $\alpha_c = 35 \text{ [W/m}^2\text{K]}$ verwendet werden.

3.3.1.2 Vollbrände

(1) Die Gastemperaturen sollten auf der Grundlage physikalischer Parameter berechnet werden, die mindestens die Brandlastdichte und die Ventilationsbedingungen berücksichtigen.

ANMERKUNG 1 Der Nationale Anhang darf das Verfahren zur Berechnung der Erwärmungsbedingungen vorgeben.

ANMERKUNG 2 Für innenliegende Bauteile eines Brandabschnittes wird das in Anhang A angegebene Verfahren zur Bestimmung der Gastemperatur im Brandabschnitt empfohlen.

(2) Bei außenliegenden Bauteilen sollte der Strahlungsanteil des Wärmestromes als die Summe der Anteile aus dem Brandabschnitt und der aus den Öffnungen herausschlagenden Flammen bestimmt werden.

**DIN EN 1991-1-2:2010-12
EN 1991-1-2:2002 + AC:2009 (D)**

ANMERKUNG Bei außenliegenden Bauteilen, die durch Öffnungen in der Fassade dem Brand ausgesetzt sind, wird das in Anhang B gegebene Verfahren zur Berechnung der Erwärmungsbedingungen empfohlen.

3.3.1.3 Lokale Brände

(1) Wenn es unwahrscheinlich ist, dass ein Feuerüberschlag stattfindet, dann sollten die thermischen Einwirkungen aus einem örtlichen Brand berücksichtigt werden.

ANMERKUNG Der Nationale Anhang darf Verfahren zur Berechnung der Erwärmungsbedingungen geben. Das in Anhang C gegebene Verfahren zur Berechnung der thermischen Einwirkungen durch lokale Brände wird empfohlen.

3.3.2 Allgemeine Brandmodelle

(1) In allgemeinen Brandmodellen sollte folgendes berücksichtigt werden:

- Gaseigenschaften,
- Massenaustausch,
- Energieaustausch.

ANMERKUNG 1 Die verfügbaren Berechnungsverfahren enthalten üblicherweise iterative Vorgänge.

ANMERKUNG 2 Anhang E enthält ein Verfahren für die Berechnung des Bemessungswertes der Brandlastdichte $q_{f,d}$.

ANMERKUNG 3 Anhang E enthält ein Verfahren für die Berechnung der Wärmefreisetzungsraten.

(2) Eines der nachstehenden Modelle sollte verwendet werden:

- Ein-Zonen-Modelle, die von einer gleichmäßigen zeitabhängigen Temperaturverteilung im Brandabschnitt ausgehen.
- Zwei-Zonen-Modelle, die von einer oberen Schicht mit zeitabhängiger Schichtdicke und gleichmäßiger zeitabhängiger Temperatur und einer unteren Schicht mit gleichmäßigen zeitabhängigen geringeren Temperaturen ausgehen.
- Feldmodelle mit den Verfahren der Fluid-Dynamik berechnen die Temperaturrentwicklung in einem Brandabschnitt in Abhängigkeit der Zeit und des Ortes.

ANMERKUNG Der Nationale Anhang darf Verfahren zur Berechnung der Erwärmungsbedingungen festlegen. Die Verwendung der Verfahren zur Berechnung thermischer Einwirkungen bei Verwendung von Ein-Zonen-, Zwei-Zonen- oder Feldmodellen in Anhang D wird empfohlen.

(3) Wenn nicht genauere Informationen zur Verfügung stehen, sollte der Wärmeübergangskoeffizient für den konvektiven Wärmeübergang $\alpha_c = 35 \text{ [W/m}^2\text{K]}$ verwendet werden.

(4) Um die Temperaturverteilung längs eines Bauteils genauer zu bestimmen, darf im Falle eines lokalen Brandes eine Kombination der Ergebnisse mit dem Zwei-Zonen-Modell und der Näherung für lokale Brände verwendet werden.

ANMERKUNG Das Temperaturfeld in einem Bauteil darf dadurch bestimmt werden, dass der größte Einfluss an jedem Ort aus den beiden Brandmodellen berücksichtigt wird.

Abschnitt 4 Mechanische Einwirkungen für die Tragfähigkeitsberechnung

4.1 Allgemeines

(1)P Aufgebrachte und behinderte Ausdehnungen und Verformungen, die ihre Ursache in der durch die Brandeinwirkung bedingte Temperaturänderung haben, verursachen Beanspruchungen, z. B. Kräfte und Momente, die berücksichtigt werden müssen, außer wenn sie:

- entweder als vernachlässigbar oder günstig wirkend betrachtet werden können;
- durch eine sichere Auflagerung und Randbedingung berücksichtigt sind und/oder durch sichere spezifizierte Brandsicherheitsanforderungen mit abgedeckt werden.

(2) Bei der Bestimmung indirekter Einwirkungen sollte Folgendes berücksichtigt werden:

- behinderte thermische Ausdehnung der Bauteile selbst, z. B. bei Stützen in mehrgeschossigen Rahmen, die steife Wände besitzen;
- unterschiedliche thermische Ausdehnung in statisch unbestimmten Bauteilen, z. B. durchlaufende Decken;
- Temperaturgradienten in Querschnitten, die innere Spannungen verursachen;
- thermische Ausdehnung von angeschlossenen Bauteilen, z. B. die Verformung eines Stützenkopfes infolge der Ausdehnung der Decke oder die Ausdehnung angeschlossener Seile;
- thermische Ausdehnung von Bauteilen, die Auswirkungen auf Bauteile außerhalb des Brandabschnittes haben.

(3) Die Bemessungswerte indirekter Einwirkungen infolge eines Brandes $A_{ind,d}$ sollten auf Grundlage der Werte für thermische und mechanische Materialeigenschaften, die in den Brandschutzteilen der prEN 1992 bis prEN 1996 und prEN 1999 gegeben sind, und der maßgebenden Brandbeanspruchung bestimmt werden.

(4) Indirekte Einwirkungen durch angeschlossene Bauteile brauchen nicht berücksichtigt zu werden, wenn die Brandschutzanforderungen auf Bauteile unter Einheits-Temperaturbedingungen verweisen.

4.2 Gleichzeitigkeit von Einwirkungen

4.2.1 Einwirkungen aus der Bemessung unter normaler Temperatur

(1)P Einwirkungen sind so zu berücksichtigen wie bei der Bemessung unter normalen Temperaturen, wenn es wahrscheinlich ist, dass diese auch im Brandfall auftreten.

(2) Die maßgebenden Werte für veränderliche Einwirkungen sollten EN 1990 entnommen werden. Dabei sollte beachtet werden, dass es sich im Brandfall um eine außergewöhnliche Bemessungssituation handelt.

(3) Die Abnahme von Lasten durch ihre Verbrennung sollte nicht berücksichtigt werden.

(4) Ob Schneelasten wegen des Schmelzens des Schnees nicht berücksichtigt werden müssen, sollte für den Einzelfall festgelegt werden.

(5) Einwirkungen aus industriellem Betrieb, wie z. B. Bremskräfte von Kränen, brauchen nicht berücksichtigt zu werden.

DIN EN 1991-1-2:2010-12 EN 1991-1-2:2002 + AC:2009 (D)

4.2.2 Zusätzliche Einwirkungen

(1) Gleichzeitiges Auftreten mit anderen außergewöhnlichen Einwirkungen braucht nicht berücksichtigt zu werden.

(2) Abhängig von der zu berücksichtigenden außergewöhnlichen Bemessungssituation kann es auch erforderlich sein, während der Brandbeanspruchung durch den Brand verursachte zusätzliche Einwirkungen, wie z. B. der Aufschlag von versagten Bauteilen oder schweren Maschinen, zu berücksichtigen.

ANMERKUNG Eine Auswahl verschiedener zusätzlicher Einwirkungen kann der Nationale Anhang geben.

(3) Für Brandwände können Anforderungen an eine horizontale Anpralllast nach EN 1363-2 gegeben sein.

4.3 Kombinationsregeln für Einwirkungen

4.3.1 Allgemeine Regel

(1) Um die maßgebenden Beanspruchungen $E_{fi,d,t}$ während der Brandeinwirkung zu erhalten, sind die mechanischen Einwirkungen nach EN 1990 "Grundlagen der Bemessung" für außergewöhnliche Bemessungssituationen zu kombinieren.

(2) Für die maßgebende Größe der veränderlichen Einwirkung Q_1 darf die quasi ständige Größe $\gamma_{2,1} Q_1$ oder alternativ die häufige Größe $\gamma_{1,1} Q_1$ verwendet werden.

ANMERKUNG Ob die quasi ständige Größe $\gamma_{2,1} Q_1$ oder die häufige Größe $\gamma_{1,1} Q_1$ zu verwenden ist, darf in dem Nationalen Anhang festgelegt werden. Die Verwendung von $\gamma_{2,1} Q_1$ wird empfohlen.

4.3.2 Vereinfachte Regeln

(1) Wenn indirekte Brandeinwirkungen nicht ausdrücklich zu berücksichtigen sind, dann dürfen die Beanspruchungen durch eine Berechnung des Tragwerks für $t = 0$ mit den Kombinationsregeln nach 4.3.1 bestimmt werden. Diese Beanspruchungen $E_{fi,d}$ dürfen dann als konstant über die Zeitdauer der Brandbeanspruchung angenommen werden.

ANMERKUNG Dieser Absatz gilt zum Beispiel für Beanspruchungen an Rändern und Auflagerungen, wenn die Berechnung eines Teiltragwerks entsprechend den Brandschutzteilen der prEN 1992 bis prEN 1996 und prEN 1999 durchgeführt wird.

(2) Als weitere Vereinfachung zu (1) dürfen Auswirkungen von Beanspruchungen von denen aus der Bemessung unter normaler Temperatur abgeleitet werden:

$$E_{fi,d,t} = E_{fi,d} = \eta_{fi} \cdot E_d \quad (4.1)$$

Dabei ist

E_d die Bemessungsgröße der maßgebenden Beanspruchungen aus der grundlegenden Kombination nach EN 1990;

$E_{fi,d}$ die entsprechende konstante Bemessungsgröße für den Brandfall;

η_{fi} ein Abminderungsfaktor, der in den Brandschutzteilen der prEN 1992 bis prEN 1996 und prEN 1999 definiert ist.

4.3.3 Lastniveau

(1) Wenn Tabellenwerte für ein Referenzlastniveau angegeben werden, dann entspricht dieses Lastniveau:

$$E_{fi,d,t} = \eta_{fi,t} \cdot R_d \quad (4.2)$$

Dabei ist

R_d der Bemessungswert des Widerstands eines Bauteils unter normaler Temperatur nach prEN 1992 bis prEN 1996 und prEN 1999;

$\eta_{fi,t}$ das Lastniveau für die Brandbemessung.

**DIN EN 1991-1-2:2010-12
EN 1991-1-2:2002 + AC:2009 (D)**

Anhang A
(informativ)

Parametrische Temperaturzeitkurven

(1) Die folgenden Temperaturzeitkurven gelten für Brandabschnitte ohne Öffnungen im Dach mit einer Grundfläche von bis zu 500 m^2 und einer maximalen Höhe von 4 m. Es wird davon ausgegangen, dass der Brandabschnitt vollständig ausbrennt.

(2) Wenn die Brandlastdichte ohne besondere Berücksichtigung des Abbrandverhaltens (siehe Anhang E) festgelegt wurde, dann sollte dieses Verfahren auf Brandabschnitte mit überwiegend zellulosen Brandlasten beschränkt werden.

(3) Die Erwärmungsphase der Temperaturzeitkurven wird gegeben durch:

$$\theta_g = 20 + 1325 (1 - 0,324 e^{-0,2t^*} - 0,204 e^{-1,7t^*} - 0,472 e^{-19t^*}) \quad (\text{A.1})$$

Dabei ist

$$\theta_g \quad \text{die Temperatur im Brandabschnitt} \quad [\text{°C}]$$

$$t^* = t \cdot \Gamma \quad [\text{h}] \quad (\text{A.2a})$$

mit

$$t \quad \text{Zeit} \quad [\text{h}]$$

$$\Gamma = [O/b]^2 / (0,04/1 160)^2 \quad [-]$$

$$b = \sqrt{(\rho c \lambda)}$$

$$\text{in den folgenden Grenzen: } 100 \leq b \leq 2 200 \quad [\text{J/m}^2 \text{s}^{1/2} \text{K}]$$

$$\rho \quad \text{Dichte der Raumhülle} \quad [\text{kg/m}^3]$$

$$c \quad \text{spezifische Wärmekapazität der Raumhülle} \quad [\text{J/kgK}]$$

$$\lambda \quad \text{Wärmeleitfähigkeit der Raumhülle} \quad [\text{W/mK}]$$

$$O \quad \text{Öffnungsfaktor: } A_v \sqrt{h_{\text{eq}}} / A_t \quad [\text{m}^{1/2}]$$

$$\text{in den folgenden Grenzen: } 0,02 \leq O \leq 0,20$$

$$A_v \quad \text{Gesamtfläche der vertikalen Öffnungen in allen Wänden} \quad [\text{m}^2]$$

$$h_{\text{eq}} \quad \text{gewichtetes Mittel der Fensterhöhen in allen Wänden} \quad [\text{m}]$$

$$A_t \quad \text{Gesamtfläche der Raumhülle (Wände, Decke und Boden, einschließlich der Öffnungen)} \quad [\text{m}^2]$$

ANMERKUNG Wenn $\Gamma = 1$ ist, dann ist Gleichung (A.1) eine Näherung der Einheits-Temperaturzeitkurve.

(4) Zur Berechnung des b-Faktors dürfen die Dichte ρ , die spezifische Wärmekapazität c und die Wärmeleitfähigkeit λ der Raumhülle wie unter Raumtemperatur angenommen werden.

(5) Um einem mehrschichtigen Aufbau eines Teiles der Raumhülle Rechnung zu tragen, sollte $b = \sqrt{(\rho c \lambda)}$ eingeführt werden als:

- Falls $b_1 < b_2$ gilt $b = b_1$ (A.3)
- Falls $b_1 > b_2$ wird eine Grenzschichtdicke des brandbeanspruchten Baustoffs s_{lim} berechnet mit:

$$s_{lim} = \sqrt{\frac{3600 t_{max} \lambda_1}{c_1 \rho_1}} \quad \text{dabei wird } t_{max} \text{ durch Gl. (A.7) gegeben.} \quad [m] \quad (\text{A.4})$$

- Falls $s_1 > s_{lim}$ dann gilt $b = b_1$ (A.4a)

$$\text{dann gilt } b = \frac{s_1}{s_{lim}} b_1 + \left(1 - \frac{s_1}{s_{lim}}\right) b_2 \quad (\text{A.4b})$$

Dabei ist

der Index 1 der Index der Schicht, die direkt dem Brand ausgesetzt ist, der Index 2 steht für die nächste Schicht, ...

s_i die Dicke der Schicht i

$$b_i = \sqrt{(\rho_i c_i \lambda_i)}$$

ρ_i die Dichte der Schicht i

c_i die spezifische Wärmekapazität der Schicht i

λ_i die Wärmeleitfähigkeit der Schicht i

(6) Zur Berücksichtigung verschiedener b-Faktoren für Wände, Decke und Boden sollte $b = \sqrt{(\rho c \lambda)}$ eingeführt werden als:

$$b = (\sum(b_j A_j)) / (A_t - A_v) \quad (\text{A.5})$$

Dabei ist

A_j die Fläche der Hüllenoberfläche j ohne Berücksichtigung von Öffnungen;

b_j die thermische Eigenschaft der Hüllenoberfläche j nach den Gleichungen (A.3) und (A.4).

(7) Die maximale Temperatur θ_{max} der Erwärmungsphase wird erreicht bei $t^* = t_{max}^*$

$$t_{max}^* = t_{max} \cdot \Gamma \quad [h] \quad (\text{A.6})$$

$$\text{mit } t_{max} = \max [(0,2 \cdot 10^{-3} \cdot q_{t,d} / O) ; t_{lim}] \quad [h] \quad (\text{A.7})$$

**DIN EN 1991-1-2:2010-12
EN 1991-1-2:2002 + AC:2009 (D)**

Dabei ist

$q_{t,d}$ der Bemessungswert für die Brandlastdichte bezogen auf die Gesamtfläche der Gebäudehülle A_t , mit $q_{t,d} = q_{f,d} \cdot A_f / A_t$ [MJ/m²]. Die folgenden Grenzen sollten beachtet werden: $50 \leq q_{t,d} \leq 1\,000$ [MJ/m²];

$q_{f,d}$ der Bemessungswert für die Brandlastdichte bezogen auf die Grundfläche A_f [MJ/m²] nach Anhang E;

t_{lim} gegeben in (10) in [h].

ANMERKUNG Der Zeitpunkt t_{max} , an dem die maximale Temperatur auftritt, wird bei brandlastgesteuerten Bränden durch t_{lim} gegeben. Falls t_{lim} durch $(0,2 \cdot 10^{-3} \cdot q_{t,d} / O)$ bestimmt wird, ist der Brand ventilationsgesteuert.

(8) Falls $t_{max} = t_{lim}$ gilt, dann wird t^* in Gleichung (A.1) ersetzt durch:

$$t^* = t \cdot \Gamma_{lim} \quad [h] \quad (A.2b)$$

$$\text{mit } \Gamma_{lim} = [O_{lim}/b]^2 / (0,04/1\,160)^2 \quad (A.8)$$

$$\text{Dabei ist } O_{lim} = 0,1 \cdot 10^{-3} \cdot q_{t,d} / t_{lim} \quad (A.9)$$

(9) Falls ($O > 0,04$ und $q_{t,d} < 75$ und $b < 1\,160$) gilt, muss Γ_{lim} in (A.8) mit k multipliziert werden. Dabei gilt für k :

$$k = 1 + \left(\frac{O - 0,04}{0,04} \right) \left(\frac{q_{t,d} - 75}{75} \right) \left(\frac{1\,160 - b}{1\,160} \right) \quad (A.10)$$

(10) Im Falle langsamer Brandentwicklung beträgt $t_{lim} = 25$ Minuten; im Falle mittelschneller Brandentwicklung beträgt $t_{lim} = 20$ Minuten, und im Falle schneller Brandentwicklung beträgt $t_{lim} = 15$ Minuten.

ANMERKUNG Empfehlungen zur Geschwindigkeit der Brandentwicklung enthält Tab. E.5 in Anhang E.

(11) Die Abkühlphase der Temperaturzeitkurven wird gegeben durch:

$$\Theta_g = \Theta_{max} - 625 (t^* - t_{max}^* \cdot x) \quad \text{für } t_{max}^* \leq 0,5 \quad (A.11a)$$

$$\Theta_g = \Theta_{max} - 250 (3 - t_{max}^*) (t^* - t_{max}^* \cdot x) \quad \text{für } 0,5 < t_{max}^* < 2 \quad (A.11b)$$

$$\Theta_g = \Theta_{max} - 250 (t^* - t_{max}^* \cdot x) \quad \text{für } t_{max}^* \geq 2 \quad (A.11c)$$

Dabei ist t^* gegeben durch (A.2a).

$$t_{max}^* = (0,2 \cdot 10^{-3} \cdot q_{t,d} / O) \cdot \Gamma \quad (A.12)$$

$$x = 1,0 \text{ wenn } t_{max} > t_{lim}, \text{ oder } x = t_{lim} \cdot \Gamma / t_{max}^* \text{ wenn } t_{max} = t_{lim}$$

Anhang B (informativ)

Thermische Einwirkungen auf außenliegende Bauteile – vereinfachtes Berechnungsverfahren

B.1 Anwendungsbereich

(1) Mit diesem Verfahren kann Folgendes bestimmt werden:

- die maximale Temperatur in einem Brandabschnitt;
- Umfang und Temperatur der durch Öffnungen austretenden Flammen;
- die Parameter für Wärmestrahlung und Konvektion.

(2) Dieses Verfahren basiert auf der Annahme, dass die Größe der einzelnen Parameter konstant ist. Das Verfahren ist nur für Brandlasten $q_{f,d}$ von mehr als 200 MJ/m² gültig.

B.2 Anwendungsbedingungen

(1) Wenn der betrachtete Brandabschnitt mehr als ein Fenster besitzt, werden das gewichtete Mittel der Fensterhöhen h_{eq} , die gesamte vertikale Öffnungsfläche A_v und die Summe aller Fensterbreiten ($w_t = \sum w_i$) verwendet.

(2) Wenn nur eine Wand Fenster besitzt, ist das Verhältnis D/W gegeben durch:

AC

$$D/W = \frac{W_2}{w_1} \quad \text{AC (B.1)}$$

(3) Gibt es mehrere Wände mit Fenstern, ist das Verhältnis D/W wie folgt zu ermitteln:

$$D/W = \frac{W_2}{W_1} \frac{A_{v1}}{A_v} \quad \text{(B.2)}$$

Dabei ist

W_1 die Breite der Wand 1, d. h. die Wand mit der größten Fensterfläche;

A_{v1} die Summe der Fensterflächen der Wand 1;

W_2 die Breite der im rechten Winkel zur Wand 1 stehenden Wand des Brandabschnittes.

**DIN EN 1991-1-2:2010-12
EN 1991-1-2:2002 + AC:2009 (D)**

(4) Besitzt der Brandabschnitt einen Kern, ist das Verhältnis D/W wie folgt zu ermitteln:

- die in (7) angegebenen Grenzen sind zu beachten;
- L_c und W_c sind die Länge und die Breite des Kerns;
- W_1 und W_2 sind die Länge und die Breite des Brandabschnittes.

$$D/W = \frac{(W_2 - L_c) A_{v1}}{(W_1 - W_c) A_v} \quad (\text{B.3})$$

(5) Alle Teile einer Außenwand, die nicht den für die Standsicherheit erforderlichen Feuerwiderstand (REI) erfüllen, sollten als Fensterflächen betrachtet werden.

(6) Die Gesamtfläche eines Fensters in einer Außenwand beträgt:

- die Gesamtfläche nach (5), sofern diese weniger als 50 % der Fläche der jeweiligen Außenwand des Brandabschnittes entspricht;
- erstens die Gesamtfläche und zweitens 50 % der Fläche der jeweiligen Außenwand des Brandabschnittes, wenn die Fläche nach (5) 50 % übersteigt. Diese beiden Fälle sind bei der Berechnung zu berücksichtigen. Wenn die Berechnung auf 50 % der Fläche der Außenwand beruht, sind Lage und Geometrie der offenen Flächen für den ungünstigsten Fall zu wählen.

(7) Die Abmessungen des Brandabschnittes sollten 70 m in der Länge, 18 m in der Breite und 5 m in der Höhe nicht übersteigen.

(8) Die Flammentemperatur sollte über die Breite und Dicke der Flamme ist als konstant angenommen werden.

B.3 Auswirkungen des Windes

B.3.1 Art der Belüftung

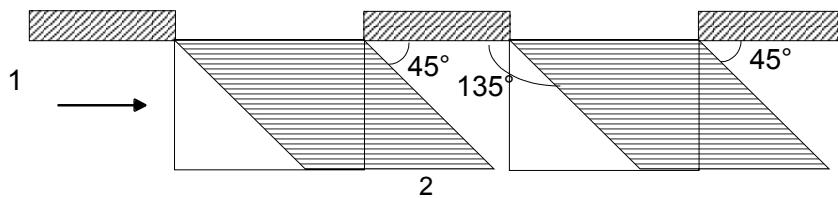
(1) P Besitzt der Brandabschnitt Fenster an gegenüberliegenden Seiten oder falls Luft zusätzlich von einer anderen Quelle (als durch die Fenster) dem Brand zugeführt wird, ist eine Zwangsbelüftung in die Berechnung mit einzubeziehen. In allen anderen Fällen wird bei der Berechnung keine Zwangsbelüftung berücksichtigt.

B.3.2 Ablenkung der Flammen durch Wind

(1) Es sollte angenommen werden, dass Flammen

- rechtwinklig zur Fassade;
- infolge der Windeinwirkung mit einer Ablenkung von 45° zur Fassade,

aus Öffnungen im Brandabschnitt austreten (siehe Bild B.1).

**Legende**

- 1 Wind
2 Grundriss

Bild B.1 — Ablenkung der Flammen durch Wind**B.4 Brand- und Flammeneigenschaften****B.4.1 Ohne Zwangsbelüftung**

(1) Die Wärmefreisetzungsrates ist gegeben durch:

$$Q = \min \left((A_f \cdot q_{f,d}) / \tau_F ; 3,15 (1 - e^{-0,036\%}) A_v \left(\frac{h_{eq}}{D/W} \right)^{1/2} \right) \quad [\text{MW}] \quad (\text{B.4})$$

(2) Die Temperatur des Brandabschnitts ist gegeben durch:

$$T_f = 6\,000 (1 - e^{-0,1\%}) O^{1/2} (1 - e^{-0,00286 \Omega}) + T_0 \quad (\text{B.5})$$

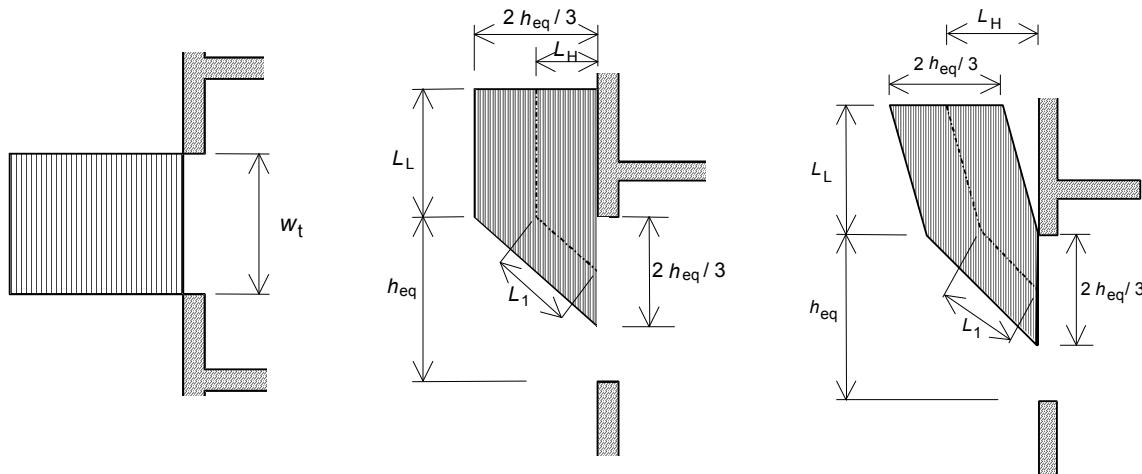
(3) Die Höhe der Flamme (siehe Bild B.2) ist gegeben durch:

$$L_L = \max \left(0; h_{eq} \left(2,37 \left(\frac{Q}{A_v \rho_g (h_{eq} g)^{1/2}} \right)^{2/3} - 1 \right) \right) \quad (\text{B.6})$$

ANMERKUNG Mit $\rho_g = 0,45 \text{ kg/m}^3$ und $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ kann diese Gleichung vereinfacht werden zu:

$$L_L = 1,9 \left(\frac{Q}{w_t} \right)^{2/3} - h_{eq} \quad (\text{B.7})$$

DIN EN 1991-1-2:2010-12
EN 1991-1-2:2002 + AC:2009 (D)

**Horizontalschnitt****Vertikalschnitt****Vertikalschnitt**

$L_L = \frac{h_{eq}}{3} \Rightarrow$	$L_1 = \sqrt{L_H^2 + \frac{h_{eq}^2}{9}} \cong \frac{h_{eq}}{2}$	$L_1 \cong \frac{h_{eq}}{2}$
	$L_f = L_L + L_1$	$L_f = \sqrt{L_L^2 + \left(L_H - \frac{h_{eq}}{3}\right)^2} + L_1$
$h_{eq} < 1,25 w_t$	Wand oberhalb	keine Wand oberhalb oder $h_{eq} > 1,25 w_t$

Bild B.2 — Flammenabmessungen ohne Zwangsbelüftung

- (4) Die Flammenbreite entspricht der Fensterbreite (siehe Bild B.2).
(5) Die Flamentiefe entspricht zwei Dritteln der Fensterhöhe: $2/3 h_{eq}$ (siehe Bild B.2).
(6) Die Austrittsweite von Flammen beträgt:

– bei einer Wand oberhalb des Fensters:

$$L_H = h_{eq}/3 \quad \text{falls } h_{eq} \leq 1,25 w_t \quad (\text{B.8})$$

$$L_H = 0,3 h_{eq} (h_{eq} / w_t)^{0,54} \quad \text{falls } h_{eq} > 1,25 w_t \text{ und der Abstand zu jedem anderen Fenster} > 4 w_t \quad (\text{B.9})$$

$$L_H = 0,454 h_{eq} (h_{eq} / 2w_t)^{0,54} \quad \text{in anderen Fällen} \quad (\text{B.10})$$

– keine Wand oberhalb des Fensters:

$$L_H = 0,6 h_{eq} (L_L / h_{eq})^{1/3} \quad (\text{B.11})$$

- (7) Die Länge der Flammen entlang der Achse ist:

falls $L_L > 0$:

$$L_f = L_L + h_{eq} / 2 \quad \text{bei einer Wand oberhalb des Fensters oder wenn } h_{eq} \leq 1,25 w_t \quad (\text{B.12})$$

$$L_f = (L_L^2 + (L_H - h_{eq} / 3)^2)^{1/2} + h_{eq} / 2 \quad \text{keine Wand oberhalb des Fensters oder wenn } h_{eq} > 1,25 w_t \quad (\text{B.13})$$

falls $L_L = 0$, dann ist $L_f = 0$.

(8) Die Flammentemperatur am Fenster ist:

$$T_w = 520 / (1 - 0,4725 (L_f \cdot w_t / Q)) + T_0 \quad [\text{K}] \quad (\text{B.14})$$

mit $L_f \cdot w_t / Q < 1$.

(9) Die Emissivität der Flamme darf am Fenster zu $\varepsilon_f = 1,0$ angenommen werden.

(10) Die Temperatur der Flamme entlang der Achse ist:

$$T_z = (T_w - T_0) (1 - 0,4725 (L_x \cdot w_t / Q)) + T_0 \quad [\text{K}] \quad (\text{B.15})$$

mit

$$L_x \cdot w_t / Q < 1$$

L_x ist die Länge der Flammenachse vom Fenster zu dem Ort, für den die Berechnung durchgeführt wird.

(11) Die Emissivität von Flammen darf bestimmt werden mit:

$$\varepsilon_f = 1 - e^{-0,3d_f} \quad (\text{B.16})$$

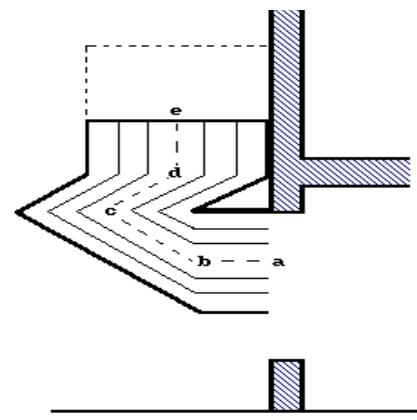
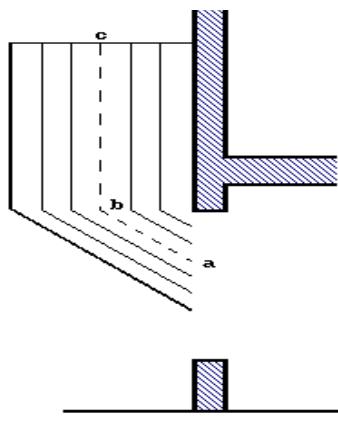
Dabei ist d_f die Dicke der Flamme [m].

(12) Der Wärmeübergangskoeffizient für Konvektion beträgt:

$$\alpha_c = 4,67 (1/d_{eq})^{0,4} (Q/A_v)^{0,6} \quad (\text{B.17})$$

(13) Befindet sich eine Markise oder ein Balkon (mit einem horizontalen Vorsprung W_a) an der oberen Kante des Fensters sowie über dessen volle Breite (siehe Bild B.3), sollten bei einer Wand oberhalb des Fensters und, wenn $h_{eq} \leq 1,25 w_t$ zutrifft, die Höhe und der horizontale Vorsprung der Flamme wie folgt abgeändert werden:

- die in (3) angegebene Flammenhöhe L_L wird um $W_a (1 + \sqrt{2})$ verringert;
- der in (6) angegebene horizontale Vorsprung der Flamme L_H wird um W_a erhöht.



Vertikalschnitt

Bild B.3 — Ablenkung der Flammen durch Markisen

Vertikalschnitt

**DIN EN 1991-1-2:2010-12
EN 1991-1-2:2002 + AC:2009 (D)**

(14) Gelten die gleichen Bedingungen für eine Markise oder einen Balkon, wie in (13) beschrieben, sollten, wenn sich keine Wand oberhalb des Fensters befindet oder $h_{eq} > 1,25 w_t$ gilt, die Höhe und der horizontale Vorsprung der Flamme wie folgt abgeändert werden:

- die in (3) angegebene Flammenhöhe L_L wird um W_a verringert;
- der in (6) angegebene horizontale Vorsprung der Flamme L_H mit dem oben angegebenen Wert L_L wird um W_a erhöht.

B.4.2 Zwangsbelüftung

(1) Die Wärmefreisetzungsr率 ist gegeben durch:

$$Q = (A_f \cdot q_{f,d}) / \tau_F \quad [\text{MW}] \quad (\text{B.18})$$

(2) Die Temperatur des Brandabschnitts ist gegeben durch:

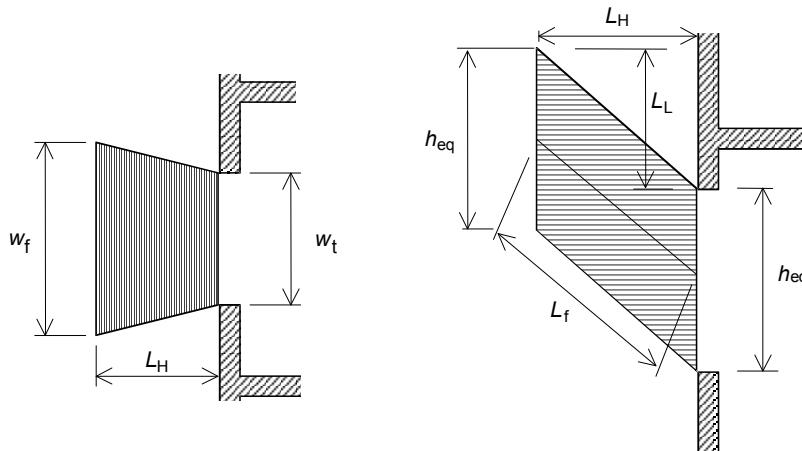
AC

$$T_f = 1200 (1 - e^{-0,00228 \cdot \Omega}) + T_0 \quad \langle \text{AC} \rangle \quad (\text{B.19})$$

(3) Die Höhe der Flamme (siehe Bild B.2) ist gegeben durch:

$$L_L = \left(1,366 \left(\frac{1}{u} \right)^{0,43} \frac{Q}{A_v^{1/2}} \right) - h_{eq} \quad (\text{B.20})$$

ANMERKUNG Mit $u = 6 \text{ m/s}$ ist $L_L \approx 0,628 Q / A_v^{1/2} - h_{eq}$.



Horizontalschnitt

$$w_f = w_t + 0,4 L_H$$

Vertikalschnitt

$$L_f = (L_L^2 + L_H^2)^{1/2}$$

Bild B.4 — Flammenabmessungen bei Durch- oder Zwangsbelüftung

(4) Die Austrittsweite von Flammen beträgt:

$$L_H = 0,605 \left(u^2 / h_{eq} \right)^{0,22} (L_L + h_{eq}) \quad (B.21)$$

ANMERKUNG Mit $u = 6 \text{ m/s}$ ist $L_H = 1,33 (L_L + h_{eq}) / h_{eq}^{0,22}$

(5) Die Flammenbreite beträgt:

$$w_f = w_t + 0,4 L_H \quad (B.22)$$

(6) Die Länge der Flammen entlang der Achse ist:

$$L_f = (L_L^2 + L_H^2)^{1/2} \quad (B.23)$$

(7) Die Flammentemperatur am Fenster ist:

$$T_w = 520 / (1 - 0,3325 L_f (A_v)^{1/2} / Q) + T_0 \quad [\text{K}] \quad (B.24)$$

Mit $L_f (A_v)^{1/2} / Q < 1$

(8) Die Emissivität der Flamme darf am Fenster zu $\varepsilon_f = 1,0$ angenommen werden.

(9) Die Temperatur der Flamme entlang der Achse ist:

$$T_z = \left(1 - 0,3325 \frac{L_x (A_v)^{1/2}}{Q} \right) (T_w - T_0) + T_0 \quad [\text{K}] \quad (B.25)$$

Dabei ist

L_x die Länge der Flammenachse vom Fenster zu dem Ort, für den die Berechnung durchgeführt wird.

(10) Die Emissivität von Flammen darf bestimmt werden mit:

$$\varepsilon_f = 1 - e^{-0,3d_f} \quad (B.26)$$

Dabei ist d_f die Dicke der Flamme [m].

(11) Der Wärmeübergangskoeffizient für Konvektion beträgt:

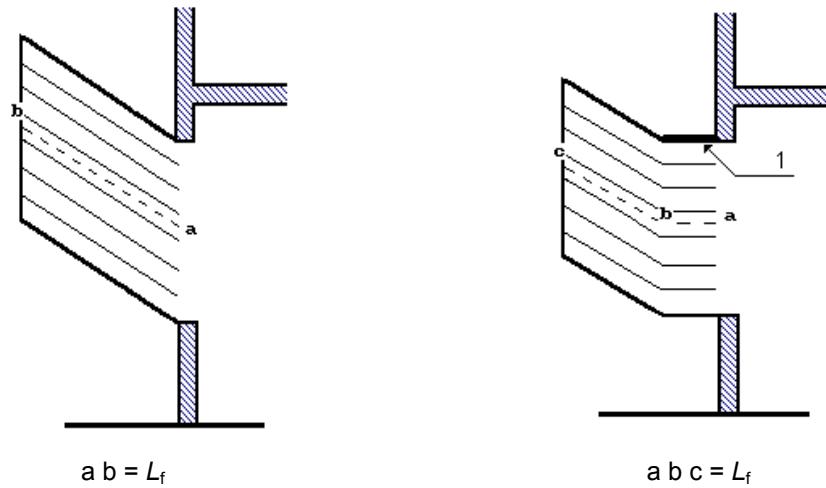
$$\alpha_c = 9,8 (1 / d_{eq})^{0,4} (Q/(17,5 A_v) + u/1,6)^{0,6} \quad (B.27)$$

ANMERKUNG Mit $u = 6 \text{ m/s}$ ergibt sich der Wärmeübergangskoeffizient für Konvektion zu:

$$\alpha_c = 9,8 (1/d_{eq})^{0,4} (Q/(17,5 A_v) + 3,75)^{0,6}$$

(12) Unter dem Einfluss von Balkonen oder Markisen wie in Bild B.5 bleibt der Flammenaustritt nach der horizontalen Ablenkung der gleiche wie oben beschrieben. Die Flamme wird also um die Balkon- oder Markisentiefe nach außen verschoben, wobei die Flammenlänge L_f unverändert bleibt.

DIN EN 1991-1-2:2010-12
EN 1991-1-2:2002 + AC:2009 (D)

**Vertikalschnitt****Vertikalschnitt****Legende**

1 Markise

Bild B.5 — Ablenkung der Flammen durch Markisen**B.5 Gesamtkonfigurationsfaktor**

(1) Der Gesamtkonfigurationsfaktor ϕ_f für den Strahlungsaustausch eines Bauteiles mit einer Öffnung sollte berechnet werden mit:

$$\phi_f = \frac{(C_1 \phi_{f,1} + C_2 \phi_{f,2}) d_1 + (C_3 \phi_{f,3} + C_4 \phi_{f,4}) d_2}{(C_1 + C_2) d_1 + (C_3 + C_4) d_2} \quad (\text{B.28})$$

Dabei ist

$\phi_{f,i}$ der Konfigurationsfaktor der Bauteilseite i zu der Öffnung, siehe Anhang G;

d_i die Querschnittsabmessungen der Bauteilseite i ;

C_i der Abschirmungskoeffizient der Bauteilseite i folgender Größe:

- für eine geschützte Bauteilseite: $C_i = 0$;
- für eine ungeschützte Bauteilseite: $C_i = 1$.

(2) Der Konfigurationsfaktor $\phi_{f,i}$ einer Bauteilseite, die von der Öffnung aus nicht sichtbar ist, beträgt Null.

(3) Der Gesamtkonfigurationsfaktor ϕ_z eines Bauteils für den Strahlungsaustausch mit einer Flamme sollte berechnet werden mit:

$$\phi_z = \frac{(C_1 \phi_{z,1} + C_2 \phi_{z,2}) d_1 + (C_3 \phi_{z,3} + C_4 \phi_{z,4}) d_2}{(C_1 + C_2) d_1 + (C_3 + C_4) d_2} \quad (\text{B.29})$$

Dabei ist

$\phi_{z,i}$ der Konfigurationsfaktor der Bauteilseite i zu der Flamme, siehe Anhang G.

(4) Der Konfigurationsfaktor $\phi_{z,i}$ einzelner Bauteilseiten für den Strahlungsaustausch mit Flammen darf auf Grundlage äquivalenter rechteckiger Flammenabmessungen bestimmt werden. Die Abmessungen und die Lage der äquivalenten Rechtecke, die zu diesem Zwecke die Vorder- und Seitenansicht abbilden, sollten nach Anhang G bestimmt werden. Für andere Zwecke sollten die Flammenabmessungen aus Abschnitt B.4 dieses Anhangs verwendet werden.

**DIN EN 1991-1-2:2010-12
EN 1991-1-2:2002 + AC:2009 (D)**

Anhang C
(informativ)

Lokale Brände

(1) Mit der Gleichung in diesem Anhang kann die thermische Einwirkung durch lokale Brände bestimmt werden. Dabei ist nach dem Verhältnis von Flammenhöhe zur Deckenhöhe zu unterscheiden.

(2) Der Netto-Wärmestrom von einem lokalen Brand in ein Bauteil sollte mit Gleichung (3.1) bestimmt werden, wobei der Konfigurationsfaktor nach Anhang G zu bestimmen ist.

(3) Die Flammenlänge L_f eines lokalen Brandes beträgt (siehe Bild C.1):

$$L_f = -1,02 D + 0,0148 Q^{2/5} \quad [m] \quad (C.1)$$

(4) Bei einem Brand, in dem die Flamme nicht die Decke erreicht ($L_f < H$; siehe Bild C.1), oder bei einem Brand im Freien wird die Temperatur $\Theta_{(z)}$ entlang der vertikalen Symmetrieachse der Flamme berechnet mit:

$$\Theta_{(z)} = 20 + 0,25 Q_c^{2/3} (z - z_0)^{-5/3} \leq 900 \quad [^\circ C] \quad (C.2)$$

Dabei ist

D der Durchmesser des Feuers [m], siehe Bild C.1;

Q die Wärmefreisetzungsr率te [W] des Brandes nach E.4 in Anhang E;

Q_c der konvektive Anteil der Wärmefreisetzungsr率te [W], mit $Q_c = 0,8 Q$ als Vorgabe;

z die Höhe [m] entlang der Flammenachse, siehe Bild C.1;

H der Abstand [m] zwischen dem Brandherd und der Decke, siehe Bild C.1.

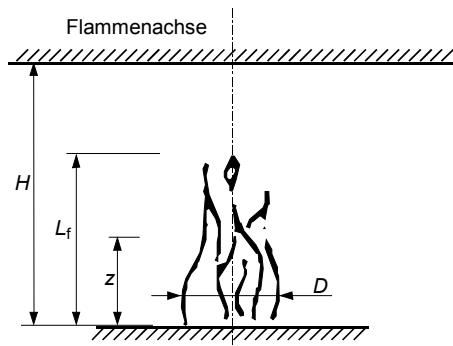


Bild C.1

(5) Der gedachte Ursprung z_0 der Achse wird bestimmt mit:

$$z_0 = -1,02 D + 0,00524 Q^{2/5} \quad [m] \quad (C.3)$$

(6) Wenn die Flamme die Decke erreicht ($L_f \parallel H$; siehe Bild C.2), dann beträgt die Wärmestromdichte \dot{h} [W/m^2] in Oberflächen in Deckenhöhe:

$$\dot{h} = 100\,000 \quad \text{wenn } y \leq 0,30$$

$$\dot{h} = 136\,300 - 121\,000 y \quad \text{wenn } 0,30 < y < 1,0 \quad (\text{C.4})$$

$$\dot{h} = 15\,000 y^{3,7} \quad \text{wenn } y \geq 1,0$$

Dabei ist

$$y \quad \text{ein Parameter [-], für den gilt: } y = \frac{r+H+z'}{L_h+H+z'};$$

r der horizontale Abstand [m] zwischen der vertikalen Flammenachse und dem Ort an der Decke, für den der Wärmestrom berechnet wird, siehe Bild C.2;

H der Abstand [m] zwischen dem Brandherd und der Decke, siehe Bild C.2.

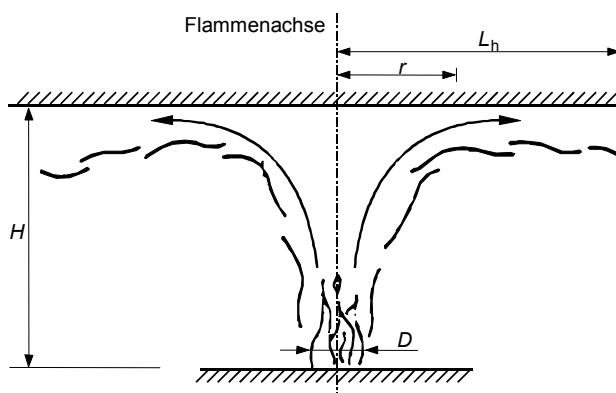


Bild C.2

(7) Die horizontale Flammenausbreitung L_h (siehe Bild C.2) beträgt:

$$L_h = \left(2,9 H (Q_H^*)^{0,33} \right) - H \quad [\text{m}] \quad (\text{C.5})$$

(8) Q_H^* ist eine dimensionslose Wärmefreisetzungsrates und beträgt:

$$Q_H^* = Q / (1,11 \cdot 10^6 \cdot H^{2,5}) \quad [-] \quad (\text{C.6})$$

(9) z' ist die vertikale Lage des gedachten Brandherdes [m] und beträgt:

$$z' = 2,4 D (Q_D^*)^{2/5} - (Q_D^*)^{2/3} \quad \text{wenn } Q_D^* < 1,0 \quad (\text{C.7})$$

$$z' = 2,4 D (1,0 - (Q_D^*)^{2/5}) \quad \text{wenn } Q_D^* \geq 1,0$$

Dabei ist

$$Q_D^* = Q / (1,11 \cdot 10^6 \cdot D^{2,5}) \quad [-] \quad (\text{C.8})$$

**DIN EN 1991-1-2:2010-12
EN 1991-1-2:2002 + AC:2009 (D)**

(10) Die Netto-Wärmestromdichte \dot{h}_{net} in der brandbeanspruchten Fläche in Höhe der Decke beträgt:

$$\dot{h}_{\text{net}} = \dot{h} - \alpha_c \cdot (\theta_m - 20) - \Phi \cdot \varepsilon_m \cdot \varepsilon_f \cdot \sigma \cdot [(\theta_m + 273)^4 - (293)^4] \quad (\text{C.9})$$

Dabei ergeben sich die verschiedenen Größen aus den Gleichungen (3.2), (3.3) und (C.4).

(11) Die in den Absätzen (3) bis (10) angegebenen Regeln gelten unter den folgenden Voraussetzungen:

- der Durchmesser des Brandes ist begrenzt auf $D \leq 10$ m,
- die Wärmefreisetzungsraten des Brandes ist begrenzt auf $Q \leq 50$ MW.

(12) Bei mehreren örtlichen Bränden darf Gleichung (C.4) dazu verwendet werden, die einzelnen Wärmestromdichten $\dot{h}_1, \dot{h}_2 \dots$ in den Oberflächen in Deckenhöhe zu ermitteln. Für die gesamte Wärmestromdichte gilt:

$$\dot{h}_{\text{tot}} = \dot{h}_1 + \dot{h}_2 \dots \leq 100\,000 \quad [\text{W/m}^2] \quad (\text{C.10})$$

Anhang D (informativ)

Erweiterte Brandmodelle

D.1 Ein-Zonen-Modelle

(1) Ein Ein-Zonen-Modell sollte für die Randbedingungen nach dem Feuerüberschlag verwendet werden. Dabei wird eine gleichmäßige Verteilung der Temperatur, der Dichte, der inneren Energie und des Gasdruckes im Brandabschnitt unterstellt.

(2) Bei der Temperaturberechnung sollten berücksichtigt werden:

- die Lösungen der Gleichungen zur Massenerhaltung und Energieerhaltung;
- der Massenaustausch zwischen dem inneren Gas, dem äußeren Gas (durch Öffnungen) und dem Brand (Pyrolyseate);
- der Energieaustausch zwischen dem Brand, den inneren Gasen, Wänden und Öffnungen.

(3) Das berücksichtigte ideale Gasgesetz lautet:

$$P_{\text{int}} = \rho_g R T_g \quad [\text{N/m}^2] \quad (\text{D.1})$$

(4) Die Massenbilanz des Brandabschnittes lautet:

$$\frac{dm}{dt} = \dot{m}_{\text{in}} - \dot{m}_{\text{out}} + \dot{m}_{\text{fi}} \quad [\text{kg/s}] \quad (\text{D.2})$$

Dabei ist

$\frac{dm}{dt}$ die Geschwindigkeit des Massenaustauschs im Brandabschnitt;

\dot{m}_{out} der aus den Öffnungen austretende Massestrom;

\dot{m}_{in} der durch die Öffnungen eintretende Massestrom;

\dot{m}_{fi} die Geschwindigkeit, mit der Verbrennungsprodukte entstehen.

(5) Die Geschwindigkeit des Massenaustauschs und die Geschwindigkeit der Entstehung von Verbrennungsprodukten dürfen vernachlässigt werden. Daher gilt:

$$\dot{m}_{\text{in}} = \dot{m}_{\text{out}} \quad (\text{D.3})$$

Diese Massenströme dürfen auf Grundlage konstanten Druckes infolge des Dichteunterschiedes, der zwischen der Umgebungstemperatur und Bereichen mit hohen Temperaturen entsteht, ermittelt werden.

**DIN EN 1991-1-2:2010-12
EN 1991-1-2:2002 + AC:2009 (D)**

(6) Die Energiebilanz von Gasen im Brandabschnitt darf aufgestellt werden mit:

$$\frac{dE_g}{dt} = Q - Q_{\text{out}} + Q_{\text{in}} - Q_{\text{wall}} - Q_{\text{rad}} \quad [W] \quad (\text{D.4})$$

Dabei ist

E_g die innere Gasenergie [J];

Q die Wärmefreisetzungsr率e des Brandes [W];

$Q_{\text{out}} = \dot{m}_{\text{out}} c T_f$;

$Q_{\text{in}} = \dot{m}_{\text{in}} c T_{\text{amb}}$;

$Q_{\text{wall}} = (A_t - A_{h,v}) \dot{h}_{\text{net}}$, die Energieabgabe an die Umfassungsbauteile;

$Q_{\text{rad}} = A_{h,v} \sigma T_f^4$, die Energieabgabe durch Strahlung durch Öffnungen;

mit:

c spezifische Wärmekapazität [J/kgK];

\dot{h}_{net} nach Gleichung (3.1);

\dot{m} der Massestrom [kg/s];

T Temperatur [K].

D.2 Zwei-Zonen-Modelle

(1) Die Grundannahme für ein Zwei-Zonen-Modell ist eine Schicht unter der Decke, die Verbrennungsprodukte aufnimmt und eine horizontale Grenzfläche besitzt. Es werden verschiedene Zonen definiert, und zwar eine obere Schicht, eine untere Schicht, das Feuer und seine Plume, äu eres Gas und Wände.

(2) Für die obere Schicht dürfen einheitliche Gaseigenschaften angenommen werden.

(3) Der Austausch von Masse, Energie und chemischen Substanzen zwischen diesen Zonen darf berechnet werden.

(4) Bei einem Brandabschnitt mit gleichm ig verteilter Brandlast kann sich ein Zwei-Zonen-Modell zu einem Ein-Zonen-Modell entwickeln, wenn einer der beiden nachstehenden F llen eintritt:

- die Gastemperatur in der oberen Schicht wird gr er als 500 °C,
- die Dicke der oberen Schicht w sst zu einer Dicke von mehr als 80 % der Brandabschnittsh e.

D.3 Rechnergestütztes Fluid-Dynamik-Modell (CFD)

(1) Ein CFD darf zur numerischen Lösung der partiellen Differenzialgleichungen, die an allen Orten des Brandabschnittes die thermodynamischen und aerodynamischen Unbekannten liefern, verwendet werden.

ANMERKUNG CFD berechnen Systeme unter Berücksichtigung der Flüssigkeitsströmung, der Wärmeübertragung und damit verbundenen Phänomenen des Flüssigkeitsstroms. Diese Gleichungen sind die mathematische Formulierung der Erhaltungssätze der Physik:

- Massenerhaltung,
- Kraft gleich Masse mal Beschleunigung (Zweites Newtonsches Gesetz),
- Energieerhaltung (erster Satz der Thermodynamik).

**DIN EN 1991-1-2:2010-12
EN 1991-1-2:2002 + AC:2009 (D)**

Anhang E
(informativ)

Brandlastdichten

E.1 Allgemeines

(1) Die in Berechnungen verwendeten Brandlastdichten sollten Bemessungswerte sein, die entweder durch Messungen oder in Einzelfällen auf Grundlage nationaler Brandschutzanforderungen ermittelt werden.

(2) Der Bemessungswert darf

- über eine nationale Brandlastklassifizierung entsprechend der Nutzung und/oder
- individuell für ein bestimmtes Projekt durch eine Erhebung der Brandlasten ermittelt werden.

(3) Der Bemessungswert der Brandlastdichte $q_{f,d}$ ist definiert durch:

$$q_{f,d} = q_{f,k} \cdot m \cdot \delta_{q1} \cdot \delta_{q2} \cdot \delta_n \quad [\text{MJ/m}^2] \quad (\text{E.1})$$

Dabei ist

m der Abbrandfaktor (siehe E.3);

δ_{q1} ein Faktor, der die Brandentstehungsgefahr in Abhängigkeit der Brandabschnittsgröße berücksichtigt (siehe Tabelle E.1);

δ_{q2} ein Faktor, der die Brandentstehungsgefahr in Abhängigkeit der Art der Nutzung berücksichtigt (siehe Tabelle E.1);

$\delta_n = \prod_{i=1}^{10} \delta_{ni}$ ein Faktor zur Berücksichtigung verschiedener aktiver Brandbekämpfungsmaßnahmen (z. B. Sprinkler, Branderkennung, automatische Alarmübermittlung, Feuerwehren ...). Diese aktiven Maßnahmen werden im Allgemeinen für den Personenschutz eingerichtet (siehe Tabelle E.2 und Abschnitte (4) und (5));

$q_{f,k}$ die charakteristische Brandlastdichte bezogen auf die Grundfläche $[\text{MJ/m}^2]$ (siehe z. B. Tabelle E.4).

Tabelle E.1 — Faktoren δ_{q1} , δ_{q2}

Grundfläche des Brandabschnittes A_f [m ²]	Brandentstehungs-gefahr		Beispiele für verschiedene Nutzungen
	δ_{q1}	δ_{q2}	
25	1,10	0,78	Kunstgalerie, Museum, Schwimmbad
250	1,50	1,00	Büro, Wohngebäude, Hotel, Papierindustrie
2 500	1,90	1,22	Fertigung von Maschinen und Motoren
5 000	2,00	1,44	Chemische Labore, Malerwerkstätten
10 000	2,13	1,66	Herstellung von Feuerwerken oder Farben

Tabelle E.2 — Faktoren δ_{ni}

δ_n - Abhängigkeit für die Brandbekämpfung									
Automatische Brandbekämpfung			Automatische Branderkennung		Manuelle Brandbekämpfung				
Automatisches Wasser Lösch-system	Unabhängige Wasser-versorgung		Automatische Branderkennung und Alarm	Automatische Alarmüber-mitlung zur Feuerwehr	Werks-feuer-wehr	Externe Feuerwehr	Sichere Zugangs-wege	Geräte zur Brand-bekämpfung	Rauch-abzug
δ_{n1}	0	1	2	durch Wärme durch Rauch	δ_{n3}	δ_{n4}	δ_{n5}	δ_{n6}	δ_{n7}
0,61	1,0	0,87	0,7	0,87 oder 0,73	0,87	0,61 oder 0,78	0,9 oder 1 oder 1,5	1,0 oder 1,5	1,0 oder 1,5

(4) Bei normaler Brandschutzmaßnahme, die üblicherweise vorhanden sein sollte, wie Rettungswege, Brandbekämpfungsgeräte und Rauchabzüge in Treppenräumen, sollten die Werte δ_{ni} aus Tabelle E.2 mit 1,0 angenommen werden. Wurde diese normale Brandschutzmaßnahme nicht vorgesehen, dann sollte der entsprechende Wert für δ_{ni} mit 1,5 berücksichtigt werden.

(5) Falls Treppenräume im Alarmfall unter Überdruck gesetzt werden, dann darf der Faktor δ_{n8} der Tabelle E.2 zu 0,9 gesetzt werden.

(6) Die oben getroffenen Annahmen gelten unter der Voraussetzung, dass die Europäischen Normen für Sprinkler, Brandmelder, Alarmsysteme und Rauchabzüge eingehalten werden. Siehe hierzu auch 1.3. Es wird auf den Hintergrundbericht CEN/TC 250/SC 1 N 300A verwiesen.

**DIN EN 1991-1-2:2010-12
EN 1991-1-2:2002 + AC:2009 (D)**

E.2 Ermittlung von Brandlastdichten

E.2.1 Allgemeines

(1) Die Brandlast sollte den gesamten brennbaren Inhalt eines Gebäudes und die relevanten brennbaren Teile des Tragwerks einschließlich Bekleidungen und Ausrüstung umfassen. Brennbare Teile des Tragwerks, die während des Brandes unverkohlt bleiben, sich also am Brand nicht beteiligen, müssen nicht berücksichtigt werden.

(2) Die nachstehenden Sätze gelten für Ermittlung von Brandlastdichten

- durch eine Brandlastklassifizierung nach der Nutzung (siehe E.2.5) und/oder
- speziell für das Projekt (siehe E.2.6).

(3) Wenn Brandlastdichten durch eine Brandlastklassifizierung nach der Nutzung bestimmt werden, dann sollte bei den Brandlasten unterschieden werden zwischen

- Brandlasten aus der Art der Nutzung durch die Klassifizierung;
- Brandlasten durch das Gebäude (Tragelemente, Bekleidungen und Ausrüstung), die grundsätzlich nicht in der Klassifizierung enthalten sind und, falls erforderlich, mit den nachstehenden Abschnitten zu bestimmen sind.

E.2.2 Definitionen

(1) Die charakteristischen Brandlast ist definiert durch:

$$Q_{fi,k} = \sum M_{ki} \cdot H_{ui} \cdot \psi_i = \sum Q_{fi,ki} \quad [\text{MJ}] \quad (\text{E.2})$$

Dabei ist

M_{ki} die Menge der brennbaren Stoffe [kg], nach (3) und (4);

H_{ui} die Netto-Verbrennungswärme [MJ/kg], siehe (E.2.4);

$[\psi]$ ein möglicher Beiwert zur Berücksichtigung geschützter Brandlasten, siehe (E.2.3).

(2) Die charakteristische Brandlastdichte $q_{fi,k}$ bezogen auf einen m^2 Grundfläche wird definiert durch:

$$q_{fi,k} = Q_{fi,k} / A \quad [\text{MJ}/\text{m}^2] \quad (\text{E.3})$$

Dabei ist

A die Grundfläche (A_f) des Brandabschnittes, eines Bezugsraumes oder der inneren Oberfläche (A_t) eines Brandabschnittes für $q_{fi,k}$ oder $q_{ti,k}$.

(3) Ständige Brandlasten, von denen angenommen wird, dass sie sich während der Lebensdauer des Tragwerkes nicht ändern, sollten durch eine Erhebung mit den erwarteten Größen bestimmt werden.

(4) Veränderliche Brandlasten, von denen angenommen wird, dass sie sich während der Lebensdauer des Tragwerkes ändern, sollten durch Größen berücksichtigt werden, die während 80 % der Nutzungszeit nicht überschritten werden.

E.2.3 Geschützte Brandlasten

(1) Brandlasten in Einhausungen, die so bemessen wurden, dass sie einen Brand überstehen, brauchen nicht berücksichtigt zu werden.

(2) Brandlasten in nicht brennbaren Einhausungen, die bei einem Brand ohne besondere Brandbemessung erhalten bleiben, dürfen wie folgt berücksichtigt werden:

Die größte Brandlast jedoch mindestens 10 % der geschützten Brandlast, werden mit $\gamma_i = 1,0$ berücksichtigt.

Wenn diese Brandlast zuzüglich der ungeschützten Brandlast nicht ausreicht, um die restliche geschützte Brandlast über die Zündtemperatur zu erwärmen, dann darf die restliche geschützte Brandlast mit $\gamma_i = 0,0$ berücksichtigt werden.

In allen anderen Fällen ist der Wert von γ_i einzeln zu ermitteln.

E.2.4 Netto-Verbrennungswärme

(1) Die Netto-Verbrennungswärme sollte nach EN ISO 1716:2002 ermittelt werden.

(2) Der Feuchtegehalt von Materialien darf wie folgt berücksichtigt werden.

$$H_u = H_{u0} (1 - 0,01 u) - 0,025 u \quad [\text{MJ/kg}] \quad (\text{E.4})$$

Dabei ist

u der Feuchtegehalt in Gewichtsprozent bezogen auf das Trockengewicht;

H_{u0} die Netto-Verbrennungswärme der trockenen Materialien.

(3) Die Netto-Verbrennungswärme einiger Feststoffe, Flüssigkeiten und Gase wird in Tabelle E.3 gegeben.

DIN EN 1991-1-2:2010-12
EN 1991-1-2:2002 + AC:2009 (D)

**Tabelle E.3 — Netto-Verbrennungswärme H_u [MJ/kg]
brennbarer Stoffe für die Berechnung von Brandlasten**

Feststoffe	
Holz	17,5
Andere Zellstoffe <ul style="list-style-type: none"> • Kleidung • Kork • Baumwolle • Papier, Pappe • Seide • Stroh • Wolle 	20
Kohlenstoffe <ul style="list-style-type: none"> • Hartkohle, Anthrazit • Holzkohle • Kohle 	30
Chemische Stoffe	
Paraffine <ul style="list-style-type: none"> • Methan • Ethan • Propan • Butan 	50
Olefine <ul style="list-style-type: none"> • Ethylen • Propylen • Buten 	45
Aromen <ul style="list-style-type: none"> • Benzol • Toluol 	40
Alkohole <ul style="list-style-type: none"> • Methanol • Ethanol • Ethylalkohol 	30
Treibstoffe <ul style="list-style-type: none"> • Benzin, Kerosin • Diesel 	45
Reine Kohlenwasserstoff-Kunststoffe <ul style="list-style-type: none"> • Polyethylen • Polystyren • Polypropylen 	40
Andere Produkte	
ABS (Kunststoff)	35
Polyester (Kunststoff)	30
Polyisocyanat und Polyurethan (Kunststoff)	25
Polyvinylchlorid, PVC (Kunststoff)	20
Bitumen, Asphalt	40
Leder	20
Linoleum	20
Gummireifen	30
ANMERKUNG Die Werte in dieser Tabelle sind für die Bestimmung des Energiegehalts von Brennstoffen nicht geeignet.	

E.2.5 Klassifizierung der Brandlast nach Nutzungseinheiten

(1) Die Brandlastdichte sollte nach der Nutzung klassifiziert und auf die Bodenfläche bezogen werden. Die charakteristischen Werte der Brandlastdichte $q_{f,k}$ [MJ/m²] aus Tabelle E.4 sollten verwendet werden.

Tabelle E.4 — Brandlastdichten $q_{f,k}$ [MJ/m²] für verschiedene Nutzungen

Nutzung	Mittelwert	80 %-Fraktile
Wohnung	780	948
Krankenhaus (Zimmer)	230	280
Hotel (Zimmer)	310	377
Bücherei	1 500	1 824
Büro	420	511
Klassenzimmer einer Schule	285	347
Einkaufszentrum	600	730
Theater (Kino)	300	365
Verkehr (öffentlicher Bereich)	100	122
ANMERKUNG Für die 80 %-Fraktile wird eine Gumbelverteilung angenommen.		

(2) Die in Tabelle E.4 gegebenen Brandlastdichten $q_{f,k}$ gelten für den Fall, dass δ_{q2} gleich 1,0 ist (siehe Tabelle E.1).

(3) Die in Tabelle E.4 gegebenen Brandlastdichten gelten für gewöhnliche Brandabschnitte in Verbindung mit deren Nutzung. Besondere Räume sind nach E.2.2 zu berücksichtigen.

(4) Brandlasten durch das Bauwerk (Tragelemente, Bekleidungen und Beschichtungen) sollten nach E.2.2 ermittelt werden und, falls erforderlich, auf die Brandlasten nach (1) addiert werden.

E.2.6 Bestimmung der Brandlast im Einzelfall

(1) Falls keine Klassifizierung von Nutzungen möglich ist, dürfen Brandlasten speziell für den betrachteten Einzelfall durch eine Erhebung der Brandlasten unter der entsprechenden Nutzung erfolgen.

(2) Bei der Ermittlung der Brandlasten und deren lokaler Anordnung sollten die geplante Funktion, Möblierung und Installationen, Veränderungen im Laufe der Zeit, ungünstige Entwicklungen und mögliche Nutzungsänderungen berücksichtigt werden.

(3) Falls möglich, sollte die Brandlasterscheinung an einem vergleichbaren bestehenden Projekt so durchgeführt werden, dass lediglich die Unterschiede zu dem bestehenden Projekt durch den Auftraggeber anzugeben sind.

E.3 Abbrandverhalten

(1) Das Abbrandverhalten sollte in Abhängigkeit der Nutzung und der Art der Brandlast berücksichtigt werden.

(2) Bei überwiegend zellstoffhaltigen Materialien darf der Abbrandfaktor mit $m = 0,8$ berücksichtigt werden.

**DIN EN 1991-1-2:2010-12
EN 1991-1-2:2002 + AC:2009 (D)**

E.4 Wärmefreisetzungsrates Q

(1) Die Wachstumsphase darf durch die folgende Gleichung ausgedrückt werden:

$$Q = 10^6 \left(\frac{t}{t_\alpha} \right)^2 \quad (\text{E.5})$$

Dabei ist

Q die Wärmefreisetzungsrates [W];

t die Zeit in [s];

t_α die Zeit, die erforderlich ist, bis eine Wärmefreisetzungsrates von 1 MW erreicht wird.

(2) Der Parameter t_α und die maximale Wärmefreisetzungsrates RHR_f für verschiedene Nutzungen werden in Tabelle E.5 gegeben.

Tabelle E.5 — Wachstumsrate und RHR_f für verschiedene Nutzungen

Maximale Wärmefreisetzungsrates RHR_f			
Nutzung	Wachstumsrate	t_α [s]	RHR_f [kW/m ²]
Wohnung	Mittel	300	250
Krankenhaus (Zimmer)	Mittel	300	250
Hotel (Zimmer)	Mittel	300	250
Bibliothek	Schnell	150	500
Büro	Mittel	300	250
Klassenzimmer einer Schule	Mittel	300	250
Einkaufszentrum	Schnell	150	250
Theater (Kino)	Schnell	150	500
Verkehr (öffentlicher Bereich)	Langsam	600	250

(3) Die Größen für die Wachstumsrate und RHR_f in Tabelle E.5 gelten für den Fall, dass der Faktor δ_{q2} gleich 1,0 ist (siehe Tabelle E.1).

(4) Bei einer extrem schnellen Brandausbreitung entspricht t_α 75 Sekunden.

(5) Die Wachstumsphase wird durch ein horizontales Plateau begrenzt, das dem stationären Zustand bei einem Wert von $Q = (RHR_f \cdot A_{fi})$ entspricht.

Dabei ist

A_{fi} die maximale Fläche eines Brandes [m²], die bei gleichmäßig verteilter Brandlast der Brandabschnittsfläche entspricht, jedoch im Falle lokaler Brände auch kleiner sein kann;

RHR_f die maximale Wärmefreisetzungsrates, die auf 1 m² bei einem brandlastgesteuerten Brand erreicht wird [kW/m²] (siehe Tabelle E.5).

(6) Das horizontale Plateau wird durch die Abklingphase begrenzt, die beginnt, wenn 70 % der gesamten Brandlast aufgebraucht sind.

(7) Für die Abklingphase darf ein linearer Verlauf angenommen werden, der beginnt, wenn 70 % der Brandlast verbrannt sind, und endet, wenn alle Brandlasten verbraucht sind.

(8) Falls es sich um einen ventilationsgesteuerten Brand handelt, muss dieses Plateau entsprechend dem verfügbaren Sauerstoffgehalt reduziert werden. Dies kann bei Verwendung eines Computerprogramms mit Ein-Zonen-Modell automatisch oder durch die nachfolgende vereinfachte Gleichung erfolgen:

$$Q_{\max} = 0,10 \cdot m \cdot H_u \cdot A_v \cdot \sqrt{h_{\text{eq}}} \quad [\text{MW}] \quad (\text{E.6})$$

Dabei ist

A_v die Öffnungsfläche [m^2];

h_{eq} die mittlere Höhe der Öffnungen [m];

H_u der Netto-Heizwert von Holz mit $H_u = 17,5 \text{ MJ/kg}$;

m der Abbrandfaktor mit $m = 0,8$.

(9) Falls aufgrund eines ventilationsgesteuerten Brandes die maximale Größe der Wärmefreisetzungsraten reduziert wurde, muss die Kurve für die Wärmefreisetzungsraten entsprechend der durch die Brandlast verfügbaren Energie erweitert werden. Wenn die Kurve nicht erweitert wird, dann wird von einem Brand außerhalb des Brandabschnittes ausgegangen, der geringere Gastemperaturen im Brandabschnitt verursacht.

**DIN EN 1991-1-2:2010-12
EN 1991-1-2:2002 + AC:2009 (D)**

Anhang F
(informativ)

Äquivalente Branddauer

(1) Das nachstehende Verfahren darf für Bauteile verwendet werden, deren Bemessung auf tabellierten Daten oder anderen vereinfachten Verfahren beruht, die sich auf die Einheits-Temperaturzeitkurve beziehen.

ANMERKUNG Das Verfahren in diesem Anhang ist baustoffabhängig. Es kann nicht auf Verbundkonstruktionen aus Stahl und Beton sowie auf Holzbaukonstruktionen angewendet werden.

(2) Wenn die Brandlasten ohne besondere Berücksichtigung des Abbrandverhaltens (siehe Anhang E) angesetzt wurden, dann sollte die Anwendung dieses Verfahrens auf Brandabschnitte mit überwiegend zellulosen Brandlasten beschränkt werden.

(3) Die äquivalente Zeit der Beanspruchung durch die Einheits-Temperaturzeitkurve ist gegeben durch:

$$\begin{aligned} t_{e,d} &= (q_{f,d} \cdot k_b \cdot w_f) k_c \quad \text{oder} \\ t_{e,d} &= (q_{t,d} \cdot k_b \cdot w_t) k_c \quad [\text{min}] \end{aligned} \quad (\text{F.1})$$

Dabei ist

- $q_{f,d}$ die Bemessungsbrandlast nach Anhang E, wobei $q_{t,d} = q_{f,d} \cdot A_f / A_t$;
- k_b der Umrechnungsfaktor nach (4);
- w_f der Ventilationsfaktor nach (5), wobei $w_t = w_f \cdot A_t / A_f$;
- k_c der Korrekturfaktor für den Baustoff des tragenden Querschnitts, wie in Tabelle F.1 angegeben.

**Tabelle F.1 — Korrekturfaktor k_c zur Berücksichtigung verschiedener Baustoffe
(O ist der in Anhang A definierte Öffnungsfaktor)**

Baustoff des Querschnitts	Korrekturfaktor k_c
Stahlbeton	1,0
Geschützter Stahl	1,0
Ungeschützter Stahl	$13,7 \cdot O$

(4) Wenn keine detaillierte Berechnung der thermischen Eigenschaften der Umfassungsbauteile durchgeführt wird, darf der Umrechnungsfaktor k_b angesetzt werden mit:

$$k_b = 0,07 \quad [\text{min} \cdot \text{m}^2/\text{MJ}] \quad (\text{F.2})$$

ansonsten darf k_b auf die thermischen Eigenschaften der Umfassungsbauteile $b = \sqrt{(\rho c \lambda)}$ nach Tabelle F.2 bezogen werden. Für die Berechnung von b bei mehrschichtigem Aufbau oder unterschiedlichen Baustoffen in Wänden, Boden, Decken siehe Anhang A (5) und (6).

Tabelle F.2 — Umrechnungsfaktor k_b in Abhängigkeit der thermischen Eigenschaften der Umfassungsbauteile

$b = \sqrt{\rho c \lambda}$ [J/m ² s ^{1/2} K]	k_b [min · m ² /MJ]
$b > 2\,500$	0,04
$720 \leq b \leq 2\,500$	0,055
$b < 720$	0,07

(5) Der Ventilationsfaktor w_f darf berechnet werden mit:

$$w_f = (6,0 / H)^{0,3} [0,62 + 90(0,4 - \alpha_v)^4 / (1 + b_v \alpha_h)] \geq 0,5 \quad [-] \quad (\text{F.3})$$

Dabei ist

$\alpha_v = A_v / A_f$ die Fläche der vertikalen Öffnungen in der Fassade (A_v) bezogen auf die Grundfläche (A_f) des Brandabschnittes, wobei die Grenzen $0,025 \leq \alpha_v \leq 0,25$ zu beachten sind;

$\alpha_h = A_h / A_f$ die Fläche der horizontalen Öffnungen im Dach (A_h) bezogen auf die Grundfläche (A_f) des Brandabschnittes;

$$b_v = 12,5 (1 + 10 \alpha_v - \alpha_v^2) \geq 10,0$$

H die Höhe des Brandabschnittes [m].

Bei kleinen Brandabschnitten [$A_f < 100 \text{ m}^2$] ohne Öffnungen im Dach darf der Faktor w_f auch berechnet werden mit:

$$w_f = O^{-1/2} \cdot A_f / A_t \quad (\text{F.4})$$

Dabei ist

O der Öffnungsfaktor nach Anhang A.

(6) Es muss nachgewiesen werden, dass

$$t_{e,d} < t_{fi,d} \quad (\text{F.5})$$

Dabei ist

$t_{fi,d}$ der Bemessungswert der Feuerwiderstandsfähigkeit unter Normbrand berechnet nach den Brandschutzteilen der Eurocodes prEN 1992 bis prEN 1996 und prEN 1999.

Anhang G (informativ)

Konfigurationsfaktor

G.1 Allgemeines

(1) Der Konfigurationsfaktor ϕ wird in 1.5.4.1 definiert. Seine mathematische Formulierung lautet:

$$dF_{d1-d2} = \frac{\cos \theta_1 \cos \theta_2}{\pi S_{1-2}^2} dA_2 \quad (\text{G.1})$$

Der Konfigurationsfaktor gibt den Anteil der gesamten Wärmestrahlung an, die von einer gegebenen Oberfläche ausgestrahlt wird und eine gegebene empfangende Oberfläche erreicht. Seine Größe ist abhängig von der Größe der strahlenden Oberfläche, dem Abstand zwischen der strahlenden und der empfangenden Oberfläche und der Orientierung der Oberflächen zueinander (siehe Bild G.1).

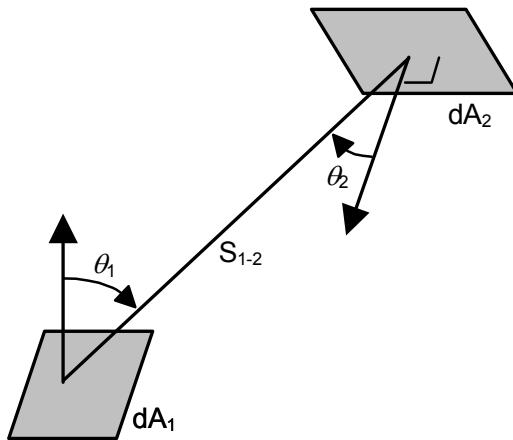


Bild G.1 — Strahlungsaustausch zwischen zwei infinitesimalen Oberflächen

(2) Wenn der Strahler eine einheitliche Temperatur und Emissivität besitzt, kann die Definition vereinfacht werden in: „Der Winkel, innerhalb dem der Strahler von einem bestimmten infinitesimalen Stück einer Oberfläche gesehen werden kann, geteilt durch 2π .“

(3) Die Wärmestrahlung zu einem infinitesimalen Flächenstück einer konvexen Bauteiloberfläche wird nur über die Lage und die Größe des Brandes bestimmt (Lageeinfluss).

(4) Die Wärmestrahlung zu einem infinitesimalen Flächenstück einer konkaven Bauteiloberfläche wird über die Lage und die Größe des Brandes (Lageeinfluss) und über die Strahlung von anderen Teilen des Bauteils (Abschattungseffekte) bestimmt.

(5) Die oberen Grenzen des Konfigurationsfaktors ϕ enthält Tabelle G.1.

Tabelle G.1 — Grenzen des Konfigurationsfaktors Φ

Ausrichtung	Lokal begrenzt	Voll entwickelt
Lageeinfluss	$\Phi \leq 1$	$\Phi = 1$
Abschattungseffekt	Konvex	$\Phi = 1$
	Konkav	$\Phi \leq 1$

G.2 Abschattungseffekte

(1) Gesonderte Regeln für die Ermittlung der Größe des Abschattungseffektes werden in den baustoffbezogenen Teilen der Eurocodes gegeben.

G.3 Außenliegende Bauteile

(1) Bei der Berechnung der Temperatur außenliegender Bauteile darf bei allen Oberflächen eine rechteckige Form angenommen werden. Diese beinhalten die Fenster und andere Öffnungen in den Brandabschnittswänden sowie die äquivalente rechteckige Fläche der Flammen nach Anhang B.

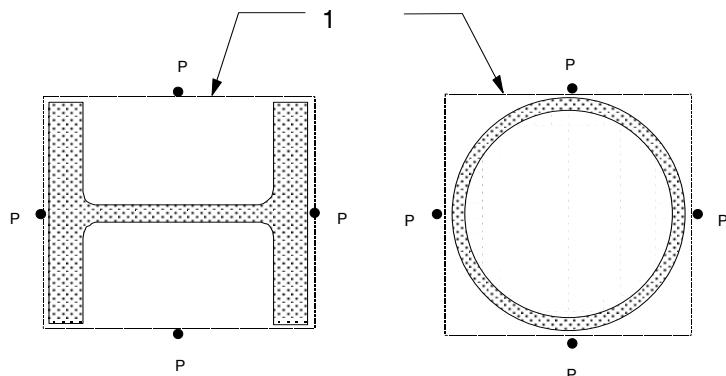
(2) Wenn der Konfigurationsfaktor für einen konkreten Fall berechnet wird, sollte zunächst, wie in Bild G.2 dargestellt, eine rechteckige Einhüllende um den Querschnitt des empfangenden Bauteils gelegt werden, die die Wärmestrahlung aufnimmt. (So wird der Abschattungseffekt in annähernder Weise berücksichtigt.) Die Größe von Φ sollte dann für die Mittelpunkte P jeder Oberfläche dieser Einhüllenden bestimmt werden.

(3) Der Konfigurationsfaktor jeder empfangenden Oberfläche sollte als die Summe der Anteile der von Punkt P aus sichtbaren Bereiche der strahlenden Teilflächen (üblicherweise vier), so wie in den Bildern G.3 und G.4 dargestellt, bestimmt werden. Diese Teilflächen sollten bezogen auf einen Punkt X definiert werden, der dort liegt, wo eine horizontale Linie, die senkrecht auf der empfangenden Oberfläche steht, die Ebene mit der strahlenden Oberfläche trifft. Der Anteil von Teilflächen, die von Punkt P aus nicht sichtbar sind, so wie die schattierten Teilflächen in Bild G.4, sollten nicht berücksichtigt werden.

(4) Falls der Punkt X außerhalb der strahlenden Fläche liegt, sollte der effektive Konfigurationsfaktor dadurch bestimmt werden, dass die Anteile der zwei Rechtecke, die von X zum entfernteren Rand der strahlenden Fläche reichen, aufaddiert und anschließend die Anteile der zwei Rechtecke, die von X zum näher gelegenen Rand der strahlenden Fläche reichen, subtrahiert werden.

(5) Der Anteil jeder Teilfläche wird wie folgt bestimmt:

DIN EN 1991-1-2:2010-12
EN 1991-1-2:2002 + AC:2009 (D)



Legende

1 Eihüllende

Bild G.2 — Eihüllende empfangender Oberflächen

a) empfangende Oberfläche ist parallel zur strahlenden Oberfläche:

$$\Phi = \frac{I}{2\pi} \left[\frac{a}{(1+a^2)^{0.5}} \tan^{-1} \left(\frac{b}{(1+a^2)^{0.5}} \right) + \frac{b}{(1+b^2)^{0.5}} \tan^{-1} \left(\frac{a}{(1+b^2)^{0.5}} \right) \right] \quad (\text{G.2})$$

Dabei ist

$a = h / s$;

$b = w / s$;

s der Abstand von Punkt P zu X;

h die Höhe der Teilfläche auf der strahlenden Oberfläche;

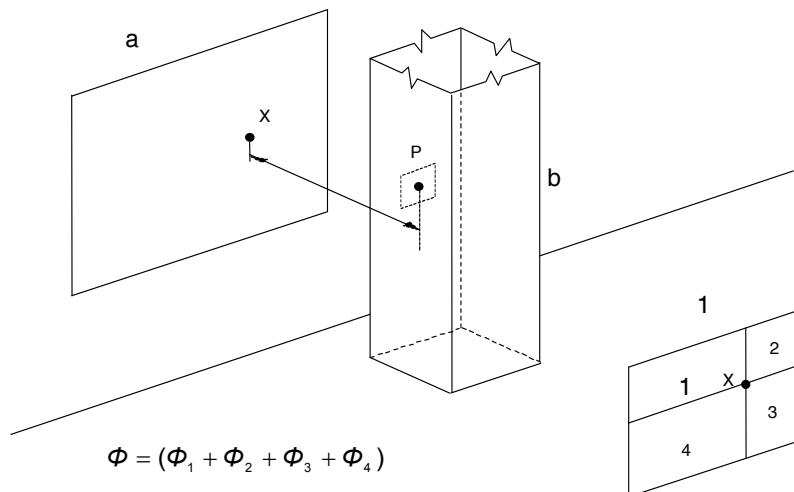
w die Breite dieser Teilfläche.

b) die empfangende Oberfläche steht rechtwinklig zur strahlenden Oberfläche:

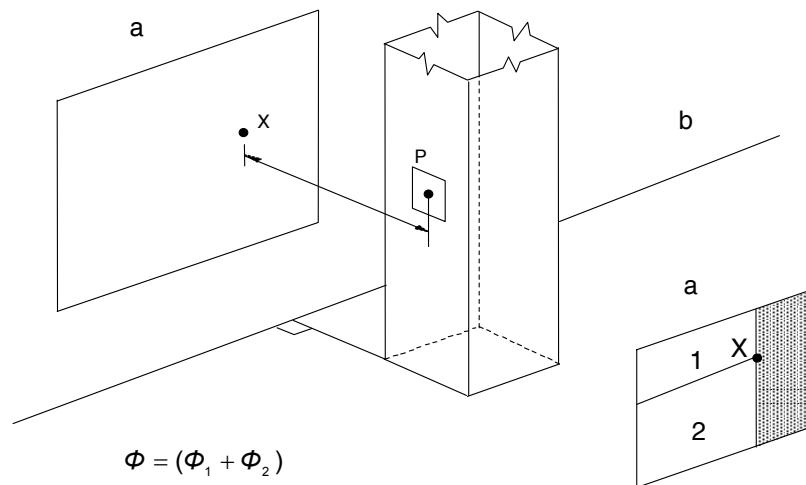
$$\Phi = \frac{I}{2\pi} \left[\tan^{-1}(a) - \frac{1}{(1+b^2)^{0.5}} \tan^{-1} \left(\frac{a}{(1+b^2)^{0.5}} \right) \right] \quad (\text{G.3})$$

c) empfangende Oberfläche steht in einem Winkel θ zur strahlenden Oberfläche:

$$\Phi = \frac{I}{2\pi} \left[\tan^{-1}(a) - \frac{(1-b \cos \theta)}{(1+b^2-2b \cos \theta)^{0.5}} \tan^{-1} \left(\frac{a}{(1+b^2-2b \cos \theta)^{0.5}} \right) + \frac{a \cos \theta}{(a^2+\sin^2 \theta)^{0.5}} \left[\tan^{-1} \left(\frac{(b-\cos \theta)}{(a^2+\sin^2 \theta)^{0.5}} \right) + \tan^{-1} \left(\frac{\cos \theta}{(a^2+\sin^2 \theta)^{0.5}} \right) \right] \right] \quad (\text{G.4})$$

**Legende**

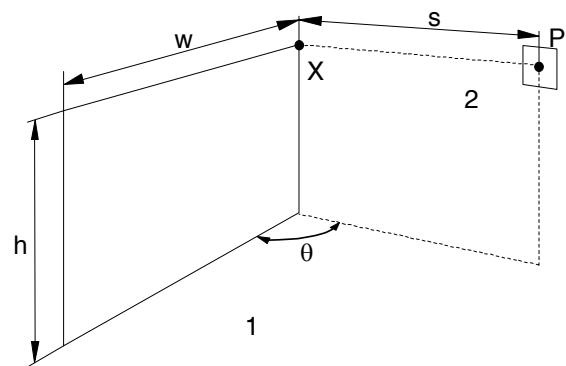
- a strahlende Oberfläche
- b empfangende Oberfläche

Bild G.3 — Empfangende Oberfläche parallel zur strahlenden Oberfläche**Legende**

- a strahlende Oberfläche
- b empfangende Oberfläche

Bild G.4 — Empfangende Oberfläche rechtwinklig zur strahlenden Oberfläche

**DIN EN 1991-1-2:2010-12
EN 1991-1-2:2002 + AC:2009 (D)**



Legende

- a strahlende Oberfläche
- b empfangende Oberfläche

Bild G.5 — Empfangende Oberfläche steht in einem Winkel θ zur strahlenden Oberfläche

Literaturhinweise

EN ISO 1716:2002, *Prüfungen zum Brandverhalten von Bauprodukte — Bestimmung des spezifischen Brennwertes (ISO 1716:2002).*

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

DIN EN 1991-1-2/NA

DIN

ICS 13.220.50; 91.010.30

**Nationaler Anhang –
National festgelegte Parameter –
Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke –
Teil 1-2: Allgemeine Einwirkungen – Brandeinwirkungen auf Tragwerke**

National Annex –
Nationally determined parameters –
Eurocode 1: Actions on structures –
Part 1-2: General actions – Actions on structures exposed to fire

Annexe Nationale –
Paramètres déterminés au plan national –
Eurocode 1: Actions sur les structures –
Partie 1-2: Actions general – Actions sur les structures exposées au feu

Gesamtumfang 48 Seiten

Normenausschuss Bauwesen (NABau) im DIN

Inhalt

	Seite
Vorwort	3
NA.1 Anwendungsbereich	4
NA.2 Nationale Festlegungen zur Anwendung von DIN EN 1991-1-2:2010-12	4
NA.2.1 Allgemeines.....	4
NA.2.2 Nationale Festlegungen	4
NCI Anhang AA (normativ) Vereinfachtes Naturbrandmodell für vollentwickelte Raumbrände	9
AA.1 Allgemeines	9
AA.2 Anwendungsgrenzen	9
AA.3 Bemessungsbrand.....	9
AA.4 Parametrische Temperaturzeitkurven	10
AA.5 Berechnung des Wärmespeichervermögens b	14
AA.6 Durchführung der Berechnung	15
NCI Anhang BB (normativ) Eingangsdaten für die Anwendung von Naturbrandmodellen	17
BB.1 Allgemeines	17
BB.2 Anwendungsgrenzen	17
BB.3 Brandlastdichte	17
BB.3.1 Allgemeines	17
BB.3.2 Ermittlung der Brandlastdichte durch Klassifizierung nach der Nutzung	18
BB.3.3 Ermittlung der Brandlastdichte im Einzelfall	19
BB.4 Wärmefreisetzungsraten	20
BB.5 Sicherheitskonzept	23
BB.5.1 Auftretenswahrscheinlichkeit eines Brandes	23
BB.5.2 Erforderliche Zuverlässigkeit im Brandfall	25
BB.5.3 Teilsicherheitsbeiwerte γ_f für die Einflussgrößen der Brandeinwirkung	26
NCI Anhang CC (informativ) Prüfung und Validierung von Rechenprogramm für Brandschutznachweise mittels allgemeiner Rechenverfahren	28
CC.1 Allgemeines	28
CC.2 Anwendungsgrenzen	28
CC.3 Anwendung und Dokumentation	28
CC.4 Validierungsbeispiele	29
CC.4.1 Beispiel 1	29
CC.4.2 Beispiel 2	30
CC.4.3 Beispiel 3	32
CC.4.4 Beispiel 4	33
CC.4.5 Beispiel 5	34
CC.4.6 Beispiel 6	37
CC.4.7 Beispiel 7	38
CC.4.8 Beispiel 8 — schwach bewehrter Stahlbeton-Biegebalken	40
CC.4.9 Beispiel 9 — stark bewehrter Stahlbeton-Biegebalken	41
CC.4.10 Beispiel 10 — Stahlbeton-Kragstütze	43
CC.4.11 Beispiel 11 — Verbundstütze mit Kammerbeton	45
NCI Literaturhinweise	47

Vorwort

Diese Norm DIN EN 1991-1-2/NA wurde vom Normenausschuss Bauwesen (NABau), Arbeitsausschuss NA 005-52-22 AA „Konstruktiver baulicher Brandschutz (Spiegelausschuss zu Teilbereichen von CEN/TC 250“ erarbeitet.

Diese Norm bildet den Nationalen Anhang zu DIN EN 1991-1-2:2010-12, Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke — Teil 1-2: Allgemeine Einwirkungen — Brandeinwirkungen auf Tragwerke.

Die Europäische Norm EN 1991-1-2 räumt die Möglichkeit ein, eine Reihe von sicherheitsrelevanten Parametern national festzulegen. Diese national festzulegenden Parameter (en: National Determined Parameters, NDP) umfassen alternative Nachweisverfahren und Angaben einzelner Werte, sowie die Wahl von Klassen aus gegebenen Klassifizierungssystemen. Die entsprechenden Textstellen sind in der Europäischen Norm durch Hinweise auf die Möglichkeit nationaler Festlegungen gekennzeichnet.

Eine Liste dieser Textstellen befindet sich in NA.2.1.

Darüber hinaus enthält dieser Nationale Anhang ergänzende nicht widersprechende Angaben und Erläuterungen zur Anwendung von DIN EN 1991-1-2:2010-12 (en: Non-contradictory Complementary Information, NCI), die nach dem Leitpapier L „Anwendung der Eurocodes“ der Europäischen Kommission zulässig sind, sowie Festlegungen zur Anwendung der informativen Anhänge von DIN EN 1991-1-2.

Die in dieser Norm national getroffenen Festlegungen wurden auf der Grundlage von theoretischen Untersuchungen und Vergleichen mit brandschutztechnischen Nachweisen nach DIN 4102-4 ermittelt und im Hinblick auf die Aufrechterhaltung des erforderlichen nationalen Sicherheitsniveaus überprüft.

Dieser Nationale Anhang ist Bestandteil von DIN EN 1991-1-2:2010-12.

Die Anhänge AA und BB zu diesem Nationalen Anhang sind normativ, der Anhang CC ist informativ.

DIN EN 1991-1-2/NA:2010-12

NA.1 Anwendungsbereich

Dieser Nationale Anhang enthält nationale Festlegungen für die Einwirkungen auf Tragwerke zur Bemessung von Bauwerken für den außergewöhnlichen Fall der Brandeinwirkung, die bei der Anwendung von DIN EN 1991-1-2:2010-12 in Deutschland zu berücksichtigen sind.

Dieser Nationale Anhang gilt nur in Verbindung mit DIN EN 1991-1-2:2010-12.

NA.2 Nationale Festlegungen zur Anwendung von DIN EN 1991-1-2:2010-12

NA.2.1 Allgemeines

DIN EN 1991-1-2:2010-12 weist an den folgenden Textstellen die Möglichkeit nationaler Festlegungen (en: Nationally Determined Parameters, NPD) aus:

- 2.4 (4)
- 3.1 (10)
- 3.3.1.1 (1)
- 3.3.1.2 (1)
- 3.3.1.2 (2)
- 3.3.1.3 (1)
- 3.3.2 (1)
- 3.3.2 (2)
- 4.2.2 (2)
- 4.3.1 (2)

Darüber hinaus enthält NA.2.2 ergänzende nicht widersprechende Angaben zur Anwendung von DIN EN 1991-1-2:2010-12. Diese sind durch ein vorangestelltes „NCI“ (en: Non-contradictory Complementary Information) gekennzeichnet.

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach DIN EN 1991-1-2.

NA.2.2 Nationale Festlegungen

Die nachfolgende Nummerierung entspricht der Nummerierung von DIN EN 1991-1-2:2010-12.

NCI zu „1.2 Normative Verweisungen“

DIN 18230-1, *Baulicher Brandschutz im Industriebau — Teil 1: Rechnerisch erforderliche Feuerwiderstandsdauer*

DIN 18230-3, *Baulicher Brandschutz im Industriebau — Teil 3: Rechenwerte*

DIN EN 1991-1-2:2010-12, *Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke — Teil 1-2: Allgemeine Einwirkungen; Brandeinwirkungen auf Tragwerke; Deutsche Fassung EN 1991-1-2:2002 + AC:2009*

NDP zu „2.4 (4) Temperaturberechnung“

Zur „ANMERKUNG 1: Die vorgegebene Zeitspanne darf durch nationale Regeln festgelegt oder nach den Regeln des Anhang F unter Beachtung des nationalen Anhangs bestimmt werden.“

Die Zeitspanne in Verbindung mit der Einheits-Temperaturzeitkurve (ETK) nach 3.2.1 ist in der anzuwendenden Landesbauordnung und hierzu erlassenen Verordnungen oder Richtlinien vorgegeben. Der Anhang F darf nicht angewendet werden.

Zur „ANMERKUNG 2: Begrenzte Zeiträume des Feuerwiderstandes (bei Verwendung eines Brandmodells) dürfen im Nationalen Anhang festgelegt werden.“

Die Temperaturberechnung ist grundsätzlich für die gesamte Dauer des Brandes einschließlich der Abkühlphase durchzuführen.

NCI zu „2.4 Temperaturberechnung“ und „2.5 Berechnung der Tragfähigkeit“

Zur Berechnung der Bauteiltemperaturen und der Tragfähigkeit im Brandfall dürfen allgemeine Rechenverfahren angewendet werden.

Sofern zur brandschutztechnischen Bewertung von Tragwerken oder Teiltragwerken mittels allgemeiner Rechenverfahren Rechenprogramme verwendet werden, wird davon ausgegangen, dass diese validiert sind. Der Anhang CC enthält geeignete Beispiele für das Validierungsverfahren.

In den Nationalen Anhängen zu den Brandschutzteilen der Eurocodes 2 bis 4 wird jeweils auf den informativen Anhang CC dieses Nationalen Anhangs Bezug genommen.

ANMERKUNG Hintergrundinformationen zur Validierung von Rechenprogrammen für das Brandverhalten von Bauteilen und Tragwerken werden in [5] gegeben.

NDP zu „3.1 (10) Thermische Einwirkungen für die Temperaturberechnung“

Zur „ANMERKUNG: Die Verwendung nomineller Temperaturzeitkurven nach 3.2 oder die alternative Verwendung von Naturbrandmodellen nach 3.3 wird im nationalen Anhang geregelt.“

Für die zu erbringenden brandschutztechnischen Nachweise bei Tragwerken im Hochbau ist in der Regel die Einheits-Temperaturzeitkurve nach 3.2.1 anzuwenden.

Zum Nachweis des Raumabschlusses bei nichttragenden Außenwänden und aufgesetzten Brüstungen darf als Brandbeanspruchung von außen die Außenbrandkurve nach 3.2.2 und von innen die Einheits-Temperaturzeitkurve nach 3.2.1 angesetzt werden.

Für Tragwerksteile von Hochbauten, die vollständig vor der Fassade des Gebäudes liegen, darf ebenfalls die Außenbrandkurve nach 3.2.2 angesetzt werden, sofern nicht die thermischen Einwirkungen nach Anhang B ermittelt werden.

Die Hydrokarbon-Brandkurve nach 3.2.3 ist für Hochbauten mit üblichen Mischbrandlasten nicht anzuwenden.

Naturbrandmodelle nach 3.3.1 bzw. 3.3.2 sollten nur im Zusammenhang mit einem Brandschutzkonzept bzw. Brandschutznachweis (nach Landesrecht) angewendet werden.

Hinsichtlich der vereinfachten und allgemeinen Brandmodelle sind die Angaben in den nachfolgenden Abschnitten zu beachten.

DIN EN 1991-1-2/NA:2010-12

NDP zu „3.3.1.1 (1) Vereinfachte Brandmodelle — Allgemeines“

Zur „ANMERKUNG: Zur Berechnung der Bemessungsbrandlast $q_{f,d}$ wird die Anwendung der Verfahren in Anhang E empfohlen.“

Der informative Anhang E darf nicht angewendet werden. Die erforderlichen Angaben zur Berechnung der Bemessungsbrandlastdichte und der Bemessungswärmefreisetzungsraten enthält Anhang BB.

NDP zu „3.3.1.2 (1) Vollbrände“

Zur „ANMERKUNG 1: Der Nationale Anhang darf das Verfahren zur Berechnung der Erwärmungsbedingungen vorgeben.“

Zur „ANMERKUNG 2: Für innenliegende Bauteile eines Brandabschnittes wird das in Anhang A angegebene Verfahren zur Bestimmung der Gastemperatur im Brandabschnitt empfohlen.“

Der informative Anhang A darf nicht angewendet werden. Zur Ermittlung der Gastemperatur in einem Brandraum darf das Verfahren im Anhang AA unter Beachtung der dort festgelegten Anwendungsgrenzen verwendet werden.

NDP zu „3.3.1.2 (2) Außenliegende Bauteile“

Zur „ANMERKUNG: Bei außenliegenden Bauteilen, die durch Öffnungen in der Fassade dem Brand ausgesetzt sind, wird das in Anhang B gegebene Verfahren zur Berechnung der Erwärmungsbedingungen empfohlen.“

Die Erwärmungsbedingungen dürfen mit dem im Anhang B angegebenen Verfahren berechnet werden unter Beachtung der Angaben im NCI „zu Anhang B“.

NDP zu „3.3.1.3 Lokale Brände“

Zur „ANMERKUNG: Der Nationale Anhang darf Verfahren zur Berechnung der Erwärmungsbedingungen geben.“

Die Erwärmungsbedingungen von Bauteilen im Einflussbereich eines lokal begrenzten Brandes dürfen mit dem im Anhang C gegebenen Verfahren berechnet werden mit den im NCI „zu Anhang C“ festgelegten Abweichungen.

NDP zu „3.3.2 (2) Allgemeine Brandmodelle“

Zur „ANMERKUNG: Der Nationale Anhang darf Verfahren zur Berechnung der Erwärmungsbedingungen festlegen. Die Verwendung der Verfahren zur Berechnung thermischer Einwirkungen bei Verwendung von Ein-Zonen-, Zwei-Zonen- oder Feldmodellen in Anhang D wird empfohlen.“

Der Anhang D darf angewendet werden. Dabei sind die Bemessungsbrandlast und der Bemessungswert der Wärmefreisetzungsraten jedoch nicht nach Anhang E zu bestimmen, sondern nach Anhang BB zu diesem Nationalen Anhang unter Beachtung der Angaben im NCI „zu Anhang D“.

NDP zu „4.2.2 (2) Zusätzliche Einwirkungen“

Zur „ANMERKUNG: Eine Auswahl verschiedener zusätzlicher Einwirkungen kann der Nationale Anhang geben.“

Als zusätzliche Einwirkung ist die Stoßbeanspruchung nach DIN 4102-3 bei Bauteilen zur Trennung von Brandabschnitten (bzw. Brandbekämpfungsabschnitten in Industriebauten) zu berücksichtigen.

NDP zu „4.3.1 (2) Kombinationsregeln für Einwirkungen — Allgemeine Regel“

Zur „ANMERKUNG: Ob die quasi-ständige Größe $\psi_{2,1} Q_{k,1}$ oder die häufige Größe $\psi_{1,1} Q_{k,1}$ zu verwenden ist, darf in dem Nationalen Anhang festgelegt werden. Die Verwendung von $\psi_{2,1} Q_{k,1}$ wird empfohlen.“

In der Regel darf die quasi-ständige Größe $\psi_{2,1} Q_{k,1}$ verwendet werden. Dies gilt nicht für Bauteile, deren Leiteinwirkung der Wind ist. In diesem Fall ist für die Einwirkung aus Wind die häufige Größe $\psi_{1,1} Q_{k,1}$ zu verwenden.

Zu „Anhang A Parametrische Temperaturzeitkurven“

Der Anhang A darf in Deutschland nicht angewendet werden.

Parametrische Temperaturzeitkurven für vollentwickelte Raumbrände (Vollbrände) sind nach Anhang AA zu ermitteln.

ANMERKUNG Hintergrundinformationen zur Ermittlung und Anwendung der parametrischen Temperaturzeitkurven werden in [1] gegeben.

Zu „Anhang B Thermische Einwirkungen auf außenliegende Bauteile — vereinfachtes Berechnungsverfahren“

Der Anhang B darf angewendet werden mit folgenden Änderungen:

- Abschnitt B.4.2 (Zwangsbelüftung) darf nicht angewendet werden;
- Gleichung (B.6) darf nicht angewendet werden. Die Länge der Flamme darf mit Gleichung (B.7) bestimmt werden;
- Gleichung (B.16) darf nicht angewendet werden. Die Emmissivität der Flamme ist unabhängig von der Dicke der Flamme zu $\varepsilon_f = 1,0$ anzusetzen.

ANMERKUNG Zur vereinfachten Ermittlung der Erwärmungsbedingungen kann auf die Bemessungshilfen in [2] zurückgegriffen werden.

Zu „Anhang C Lokale Brände“

Der Anhang C darf angewendet werden mit folgenden Änderungen:

- das Verfahren nach Anhang C gilt nur für lokal konzentrierte Brandlasten mit RHR_f (Rate of Heat Release) $\geq 250 \text{ kW/m}^2$;
- ergänzend zu Gleichung (C.2) gilt: $\theta(z) = 900^\circ\text{C}$ für $z \leq 1,0 \text{ m}$.

ANMERKUNG Hintergrundinformationen zum Anwendungsbereich und den Anwendungsgrenzen dieses vereinfachten Verfahrens werden in [3] gegeben.

Zu „Anhang D Erweiterte Brandmodelle“

Die Berechnungsmethoden des Anhangs D dürfen angewendet werden.

Rechenprogramme für die Ermittlung von Brandwirkungen bei Naturbränden sollten nur angewendet werden, wenn sie für den jeweiligen Anwendungsbereich validiert sind.

ANMERKUNG Erläuterungen bezüglich der Anwendungsbereiche und -grenzen der Naturbrandmodelle und der wesentlichen Kriterien für die Validierung werden in [3] gegeben.

DIN EN 1991-1-2/NA:2010-12

Zu „Anhang E Brandlastdichten“

Der Anhang E darf nicht angewendet werden. Er wird durch Anhang BB zu diesem Nationalen Anhang ersetzt.

ANMERKUNG Hintergrundinformationen zum Sicherheitskonzept des Anhangs BB werden in [5] gegeben.

Zu „Anhang F Äquivalente Branddauer“

Der Anhang F darf nicht angewendet werden.

Für Anwendungen im Industriebau steht das Verfahren nach DIN 18230-1 zur Verfügung.

Zu „Anhang G Konfigurationsfaktor“

Der Anhang G darf angewendet werden.

NCI
Anhang AA
 (normativ)

Vereinfachtes Naturbrandmodell für vollentwickelte Raumbrände
AA.1 Allgemeines

Mit vereinfachten Naturbrandmodellen kann durch eine leistungsabhängige Festlegung der physikalisch bedingten Einwirkungen eine brandschutztechnische Bemessung von Bauteilen und Tragwerken für natürliche Brände mit Hilfe einer einfachen Handrechnung bzw. Tabellenkalkulation durchgeführt werden, ohne auf die Anwendung von Wärmebilanz- oder Feldmodellen angewiesen zu sein. Vereinfachte Naturbrandmodelle berücksichtigen im Gegensatz zu nominellen Temperaturzeitkurven die für den Verlauf eines natürlichen Brandes wesentlichen Einflussfaktoren wie Brandlastdichte, Ventilationsverhältnisse, Brandraumgeometrie und thermische Eigenschaften der umfassenden Bauteile. Grundlage für vereinfachte Naturbrandmodelle ist in der Regel ein Bemessungsbrand.

Bei dem vereinfachten Naturbrandmodell kann mit Hilfe von Gleichungen unter Berücksichtigung der Ventilationsverhältnisse, Brandlastdichte, Brandraumgeometrie und thermischen Eigenschaften der Umfassungsbau teile die Temperaturzeitkurve eines natürlichen Brandes ermittelt werden. Das auf einem durch die Wärmefreisetzungsraten definierten realistischen Bemessungsbrand basierende Verfahren ist in [1] näher erläutert.

AA.2 Anwendungsgrenzen

Das nachfolgend beschriebene vereinfachte Naturbrandmodell gilt für Brände in Räumen bis zu 400 m² Grundfläche und bis zu 5 m Höhe mit vertikalen Ventilationsöffnungen von 12,5 % bis 50 % der Raumgrundfläche und einer Brandlastdichte von 100 MJ/m² bis 1 300 MJ/m². Für größere und/oder höhere Räume liegen die ermittelten thermischen Einwirkungen zunehmend auf der sicheren Seite.

AA.3 Bemessungsbrand

Als Bemessungsbrand dient grundsätzlich der zeitliche Verlauf der Wärmefreisetzungsraten nach BB.4.

Für ventilationsgesteuerte Brände in Wohn-, Büro- und vergleichbaren Nutzungen darf der charakteristische Wert der maximalen Wärmefreisetzungsraten im Brandraum vereinfacht nach Gleichung (AA.1) bestimmt werden:

$$\dot{Q}_{\max,v,k} = 1,21 \cdot A_w \cdot \sqrt{h_w} \quad \text{in MW} \quad (\text{AA.1})$$

Dabei ist

A_w die Fläche der Ventilationsöffnungen in m²;

h_w die gemittelte Höhe der Ventilationsöffnungen in m.

Die Gleichung (AA.1) gilt nur für Wärmefreisetzungsraten, die im Innern eines Brandraumes wirksam werden. Bei Flammenwirkungen außerhalb des Brandraumes muss $\dot{Q}_{\max,v,k} = \dot{Q}_{\text{innen}} + \dot{Q}_{\text{außen}}$ eingesetzt werden, da sonst die Flammenwirkung unterschätzt wird.

DIN EN 1991-1-2/NA:2010-12

Für brandlastgesteuerte Brände in Wohn-, Büro- und vergleichbaren Nutzungen darf der charakteristische Wert der Wärmefreisetzungsr率 vereinfacht nach Gleichung (AA.2) bestimmt werden:

$$\dot{Q}_{\max,f,k} = 0,25 \cdot A_f \quad \text{in MW} \quad (\text{AA.2})$$

Dabei ist

A_f die maximale Brandfläche in m^2 , in der Regel die Grundfläche des Brandraumes.

Der charakteristische Wert der maximalen Wärmefreisetzungsr率 ist der kleinere der beiden maximalen Wärmefreisetzungsr率en für den ventilationsgesteuerten bzw. den brandlastgesteuerten Brand:

$$\dot{Q}_{\max,k} = \min \{\dot{Q}_{\max,v,k}; \dot{Q}_{\max,f,k}\}. \quad (\text{AA.3})$$

Mit Hilfe von Gleichung (AA.3) lässt sich feststellen, ob der Brand ventilations- oder brandlastgesteuert ist.

Die Bemessungswerte der höchsten Wärmefreisetzungsr率 $\dot{Q}_{\max,k}$ sind definiert durch

$$\dot{Q}_{\max,v,d} = \dot{Q}_{\max,v,k} \cdot \gamma_{fi,Q} \quad (\text{AA.4})$$

$$\dot{Q}_{\max,f,d} = \dot{Q}_{\max,f,k} \cdot \gamma_{fi,Q} \quad (\text{AA.5})$$

$$\dot{Q}_{\max,d} = \dot{Q}_{\max,k} \cdot \gamma_{fi,Q} \quad (\text{AA.6})$$

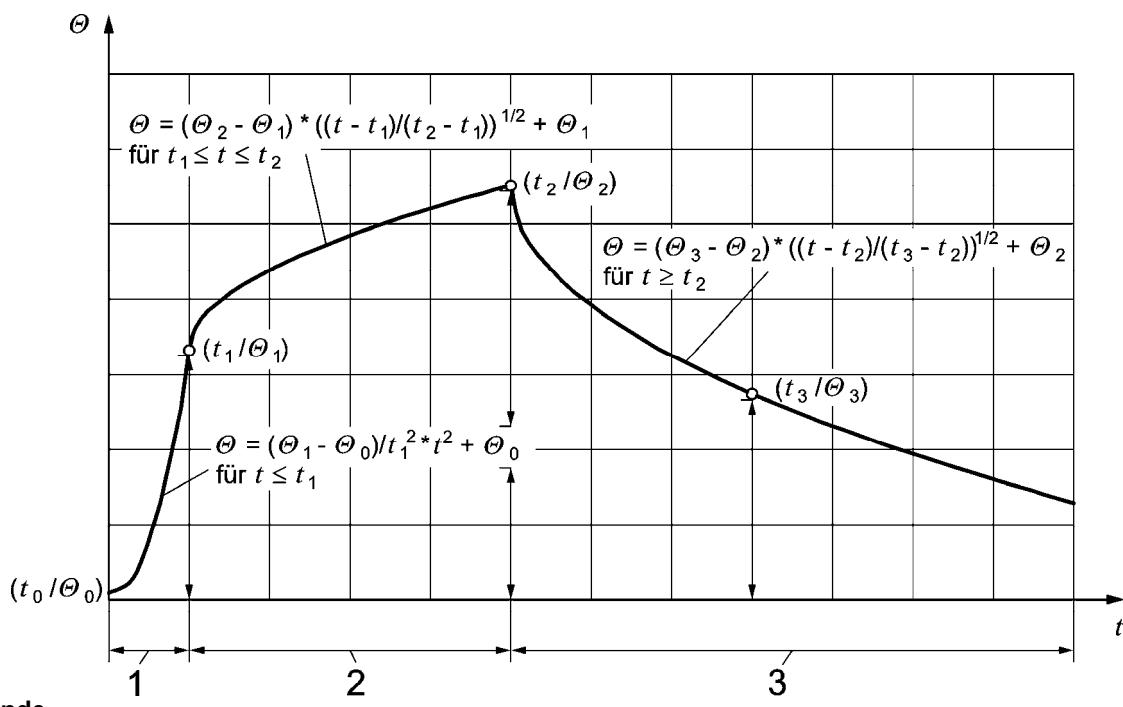
Dabei ist

$\gamma_{fi,Q}$ der Teilsicherheitsbeiwert nach BB.5.3.

AA.4 Parametrische Temperaturzeitkurven

Durch Ausnutzung der zeitlichen Kongruenz mit der Wärmefreisetzungsr率 kann die Temperaturzeitkurve des natürlichen Brandes in sämtlichen Phasen von der Brandentwicklungsphase über die Vollbrandphase bis zur Abklingphase beschrieben werden (siehe Bild AA.1).

Die Kurvenabschnitte für die drei o. g. Phasen sind durch markante Punkte zu den Zeitpunkten t_0 , t_1 , t_2 und t_3 begrenzt, die sich aus dem Verlauf der Wärmefreisetzungsr率 ergeben. Bei der Bestimmung der zugehörigen Temperaturwerte θ_1 , θ_2 und θ_3 muss zwischen ventilationsgesteuerten Bränden und brandlastgesteuerten Bränden unterschieden werden (siehe AA.3).

**Legende**

- 1 Bereich 1
- 2 Bereich 2
- 3 Bereich 3
- t Zeit in min
- Θ Temperatur in °C

Bild AA.1 — Schematische Darstellung der Temperaturzeitkurve nach dem vereinfachten Naturbrandmodell mit den formelmäßig beschriebenen Punkten (t_i, θ_i) und den dazwischen liegenden Kurvenabschnitten

Bei ventilationsgesteuerten Bränden ergibt sich für eine Referenzbrandlastdichte von $q = 1\ 300\ \text{MJ/m}^2$:

$$t_1 = t_\alpha \cdot \sqrt{\dot{Q}_{\max, v, d}} \quad \text{in s} \quad (\text{AA.7})$$

$$\Theta_{1,v} = -8,75 \cdot 1/O - 0,1 \cdot b + 1\ 175 \quad \text{in } ^\circ\text{C} \quad (\text{AA.8})$$

$$t_2 = t_1 + \frac{\dot{Q}_2}{\dot{Q}_{\max, v, d}} \quad \text{in s} \quad \text{mit } \dot{Q}_2 = 0,7 \cdot Q_d - \frac{t_1^3}{3 \cdot t_\alpha^2} \quad (\text{AA.9})$$

$$\Theta_{2,v} = (0,004 \cdot b - 17) \cdot 1/O - 0,4 \cdot b + 2\ 175 \quad \text{in } ^\circ\text{C} \quad \leq 1\ 1340\ ^\circ\text{C} \quad (\text{AA.10})$$

$$t_3 = t_2 + \frac{2 \cdot \dot{Q}_3}{\dot{Q}_{\max, v, d}} \quad \text{in s} \quad \text{mit } \dot{Q}_3 = 0,3 \cdot Q_d \quad (\text{AA.11})$$

$$\Theta_{3,v} = -5,0 \cdot 1/O - 0,16 \cdot b + 1\ 060 \quad \text{in } ^\circ\text{C} \quad (\text{AA.12})$$

DIN EN 1991-1-2/NA:2010-12

Dabei ist

t_α der Faktor zur Beschreibung der Brandentwicklung nach Tabelle BB.2. Für Wohn- und Büronutzungen kann der Faktor zu $t_\alpha = 300$ s gesetzt werden;

b das Wärmespeichervermögen der gesamten Umfassungsbauteile in $J/(m^2 \cdot \sqrt{s} \cdot K)$ nach AA.5;

$O = A_w \sqrt{h_w} / A_t$ der Öffnungsfaktor in $m^{1/2}$;

A_w die Fläche der Ventilationsöffnungen in m^2 ;

h_w die gemittelte Höhe der Ventilationsöffnungen in m;

A_t die Gesamtfläche der umfassenden Bauteile mit Öffnungsflächen in m^2 ;

$\dot{Q}_d = q \cdot A_f$, die Gesamtbrandlast im Brandraum in MJ bei der Referenzbrandlastdichte $q = 1\,300$ MJ/m².

Bei brandlastgesteuerten Bränden ergibt sich für die Referenzbrandlastdichte von $q = 1\,300$ MJ/m²:

$$t_1 = t_\alpha \cdot \sqrt{\dot{Q}_{max,f,d}} \quad \text{in s} \quad (\text{AA.13})$$

$$\Theta_{1,f} = 24\,000 \cdot k + 20 \quad \text{in } ^\circ\text{C} \quad \text{für } k \leq 0,04 \text{ und } \Theta_{1,f} = 980 \text{ } ^\circ\text{C für } k > 0,04 \quad (\text{AA.14})$$

$$t_2 = t_1 + \frac{\dot{Q}_2}{\dot{Q}_{max,f,d}} \quad \text{in s} \quad \text{mit } \dot{Q}_2 = 0,7 \cdot \dot{Q}_d - \frac{t_1^3}{3 \cdot t_\alpha^2} \quad (\text{AA.15})$$

$$\Theta_{2,f} = 33\,000 \cdot k + 20 \quad \text{in } ^\circ\text{C} \quad \text{für } k \leq 0,04 \text{ und } \Theta_{2,f} = 1\,340 \text{ } ^\circ\text{C für } k > 0,04 \quad (\text{AA.16})$$

$$t_3 = t_2 + \frac{2 \cdot \dot{Q}_3}{\dot{Q}_{max,f,d}} \quad \text{in s} \quad \text{mit } \dot{Q}_3 = 0,3 \cdot \dot{Q}_d \quad (\text{AA.17})$$

$$\Theta_{3,f} = 16\,000 \cdot k + 20 \quad \text{in } ^\circ\text{C} \quad \text{für } k \leq 0,04 \text{ und } \Theta_{3,f} = 660 \text{ } ^\circ\text{C für } k > 0,04 \quad (\text{AA.18})$$

Dabei ist

$$k = \left(\frac{\dot{Q}_{max,f,d}^2}{A_w \cdot \sqrt{h_w} (A_t - A_w) \cdot b} \right)^{1/3} \quad (\text{AA.19})$$

Ausgehend von der Temperaturzeitkurve für die Referenzbrandlastdichte ($q = 1\,300$ MJ/m²) lassen sich Temperaturzeitkurven für beliebige Brandlastdichten $q_{x,d} \leq 1\,300$ MJ/m² ermitteln. Der ansteigende Ast der Temperaturzeitkurve in der Brandentwicklungs- und Vollbrandphase (Bereich 1 und Bereich 2 in Bild AA.1) ist dabei unabhängig von der Brandlastdichte. Der Zeitpunkt $t_{2,x}$ bei dem die Maximaltemperatur $\theta_{2,x}$ erreicht wird, ist brandlastabhängig. Er lässt sich direkt aus dem Ansatz für die Wärmefreisetzungsraten bestimmen.

Für $Q_1 < 0,7 \cdot Q_{x,d}$ ergibt sich:

$$t_{2,x} = t_1 + \frac{(0,7 \cdot Q_{x,d}) - (t_1^3 / (3 \cdot t_\alpha^2))}{\dot{Q}_{max,d}} \quad \text{in s} \quad (\text{AA.20})$$

Die zugehörige Temperatur $\Theta_{2,x}$ ermittelt sich zu:

$$\Theta_{2,x} = (\Theta_2 - \Theta_1) \cdot \sqrt{\frac{(t_{2,x} - t_1)}{(t_2 - t_1)}} + \Theta_1 \quad \text{in } ^\circ\text{C} \quad (\text{AA.21})$$

Dabei ist

t_α Faktor zur Beschreibung der Brandentwicklung nach Tabelle BB.2. Für Wohn- und Büronutzungen kann der Faktor zu $t_\alpha = 300$ s gesetzt werden;

$$Q_1 = \frac{t_1^3}{3 \cdot t_\alpha^2} \quad \text{in MW;}$$

$$Q_{x,d} = q_{x,d} \cdot A_f \quad \text{mit } q_{x,d} \text{ nach Gleichung (BB.1)}$$

Für $Q_1 \geq 0,7 \cdot Q_{x,d}$ ergibt sich:

$$t_{1,x} = t_{2,x} = \sqrt[3]{0,7 \cdot Q_{x,d} \cdot 3 \cdot t_\alpha^2} \quad \text{in s} \quad (\text{AA.22})$$

Die zugehörige Temperatur $\Theta_{2,x}$ ermittelt sich zu:

$$\Theta_{2,x} = \frac{(\Theta_1 - 20)}{t_1^2} \cdot t_{1,x}^2 + 20 \quad \text{in } ^\circ\text{C} \quad (\text{AA.23})$$

Die Temperatur $\theta_{3,x}$ zum Zeitpunkt $t_{3,x}$ liegt für unterschiedliche Brandlastdichten $q_{x,d}$ auf einer logarithmischen Funktion durch $(t = 0; \theta_0)$ und $(t_3; \theta_3)$:

$$\Theta_{3,x} = \Theta_3 \cdot \frac{\log_{10}\left(\frac{t_{3,x}}{60} + 1\right)}{\log_{10}\left(\frac{t_3}{60} + 1\right)} \quad \text{in } ^\circ\text{C} \quad (\text{AA.24})$$

Dabei ist

$$t_{3,x} = \frac{0,6 \cdot Q_{x,d}}{\dot{Q}_{max,d}} + t_{2,x} \quad \text{in s} \quad (\text{AA.25})$$

Im Bereich zwischen $t = 0$ und t_1 (Bereich 1 nach Bild AA.1) steigt die Temperatur quadratisch an:

$$\Theta(t) = \frac{(\Theta_1 - 20)}{t_1^2} \cdot t^2 + 20 \quad \text{in } ^\circ\text{C} \quad \text{für } 0 \leq t \leq t_1 \quad (\text{AA.26})$$

DIN EN 1991-1-2/NA:2010-12

Im Bereich 2 wird der Temperaturanstieg durch Gleichung (AA.27) beschrieben:

$$\Theta(t) = (\Theta_{2,x} - \Theta_1) \cdot \sqrt{\frac{(t - t_1)}{(t_{2,x} - t_1)}} + \Theta_1 \quad \text{in } ^\circ\text{C} \quad \text{für } t_1 \leq t \leq t_2 \quad (\text{AA.27})$$

Der abfallende Ast in Bereich 3 wird durch Gleichung (AA.28) beschrieben:

$$\Theta(t) = (\Theta_{3,x} - \Theta_{2,x}) \cdot \sqrt{\frac{(t - t_{2,x})}{(t_{3,x} - t_{2,x})}} + \Theta_{2,x} \quad \text{in } ^\circ\text{C} \quad \text{für } t > t_2 \quad (\text{AA.28})$$

Der Zeitpunkt eines gegebenenfalls auftretenden Flashover $t_{1,fo}$, bei dem die Wärmefreisetzungsraten schlagartig auf ihr Maximum ansteigt, kann mit Gleichung (AA.29) ermittelt werden:

$$t_{1,fo} = \sqrt{t_\alpha^2 \cdot \dot{Q}_{fo}} \quad \text{in s} \quad (\text{AA.29})$$

wobei \dot{Q}_{fo} nach Gleichung (AA.30) bestimmt werden kann:

$$\dot{Q}_{fo} = 0,0078 \cdot A_t + 0,378 \cdot A_w \cdot \sqrt{h_w} \quad \text{in MW} \quad (\text{AA.30})$$

AA.5 Berechnung des Wärmespeichervermögens b

Das Wärmespeichervermögen b kann als über die Flächen der Umfassungsbauteile gewichtetes Mittel berechnet werden. Zur Berücksichtigung des unterschiedlichen Wärmespeichervermögens b_i von Wänden, Decke und Boden kann b entsprechend Gleichung (AA.31) ermittelt werden:

$$b = \left(\left(\sum_{i=1}^n (b_i \cdot A_i) \right) / (A_t - A_w) \right) \quad (\text{AA.31})$$

Dabei ist

b_i das Wärmespeichervermögen des Umfassungsbauteils i , in $J/(m^2 \cdot \sqrt{s} \cdot K)$;

A_i die Oberfläche des Umfassungsbauteils i , in m^2 .

Für die Ermittlung des Wärmespeichervermögens b können vereinfacht die in Tabelle AA.1 aufgeführten Beispiele als Orientierung dienen.

Tabelle AA.1 — Zuordnung von Einflussgruppen zum Wärmespeichervermögen b

Zeile	Einflussgruppe	Wärmespeichervermögen b $J/(m^2 \cdot \sqrt{s} \cdot K)$
1	1	2 500
2	2	1 500
3	3	750

Einflussgruppe 1:
Bauteile bzw. Baustoffe mit großem Wärmeabfluss wie Verglasungen, Aluminium, Glas, Stahl.

Einflussgruppe 2:
Bauteile bzw. Baustoffe mit mittlerem Wärmeabfluss wie Beton, Leichtbeton mit einer Rohdichte $> 1\,000 \text{ kg/m}^3$, Kalksandstein, Mauerziegel.

Einflussgruppe 3:
Bauteile bzw. Baustoffe mit geringem Wärmeabfluss wie Baustoffe mit einer Rohdichte $\leq 1\,000 \text{ kg/m}^3$, wie Faserdämmstoffe, Porenbeton, Holz, Holzwolle-Leichtbauplatten, Leichtbeton, Dämmputz, mehrschichtige Bauteile

AA.6 Durchführung der Berechnung

Bild AA.2 zeigt schematisch den Ablauf zur Berechnung des parametrischen Temperaturzeitverlaufs in einem Flussdiagramm.

Das Verfahren darf auch auf Raumzellenbrände angewendet werden [1]; dabei wird die sukzessive Brandausbreitung von Raumzelle zu Raumzelle vereinfacht berücksichtigt.

DIN EN 1991-1-2/NA:2010-12

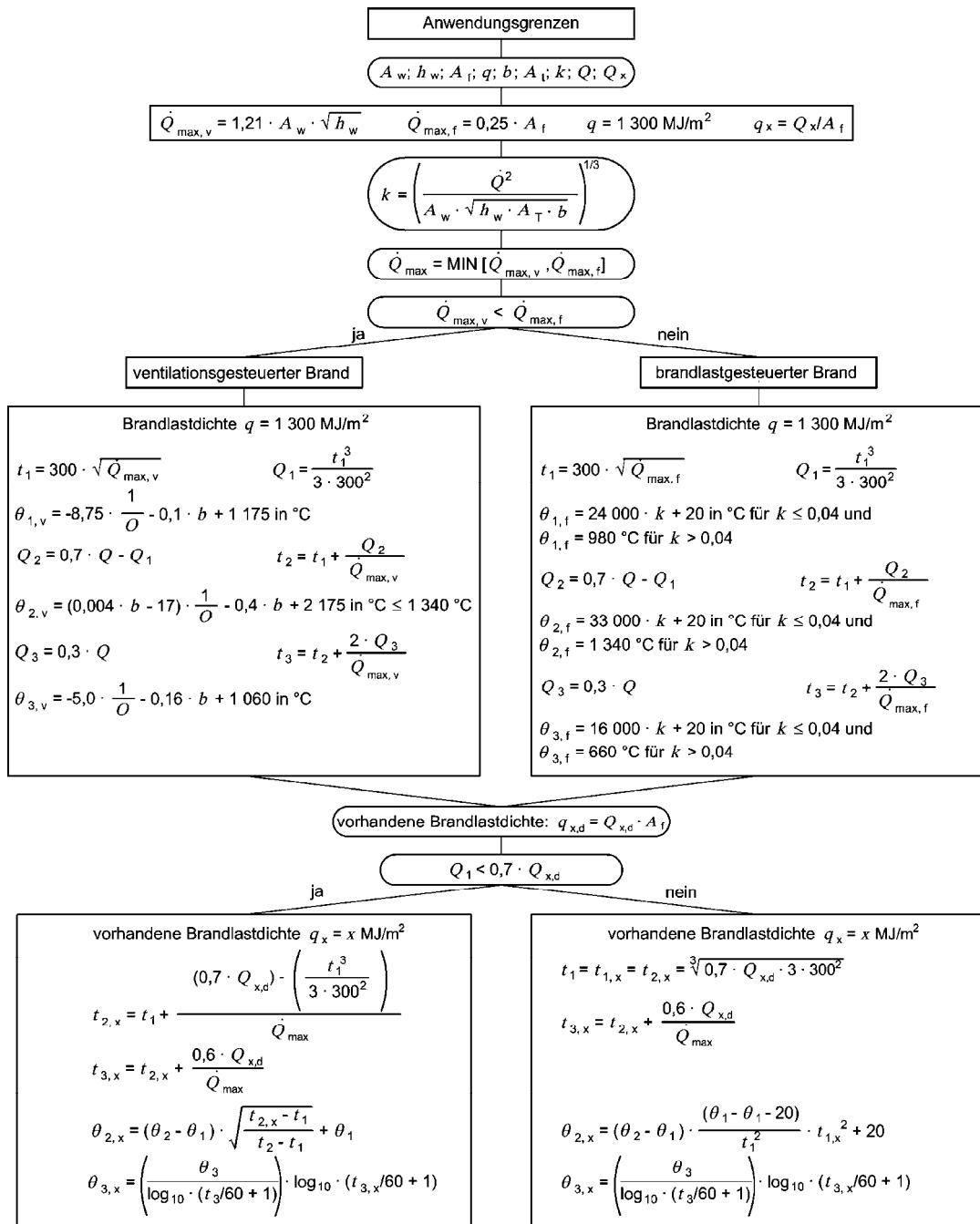


Bild AA.2 — Schematischer Ablauf zur Bestimmung des Temperaturzeitverlaufs eines natürlichen Brandes mit dem vereinfachten Naturbrandmodell für Wohn-, Büro- und vergleichbare Nutzungen mit $t_\alpha = 300 \text{ s}$

NCI
Anhang BB
 (normativ)

Eingangsdaten für die Anwendung von Naturbrandmodellen
BB.1 Allgemeines

Dieser Anhang ersetzt DIN EN 1991-1-2:2010-12, Anhang E. Die Vorgaben in diesem Anhang zu den Brandlastdichten in Gebäuden mit unterschiedlicher Nutzung und zu den Wärmefreisetzungsraten bei unterschiedlichen Bemessungsbrandszenarien berücksichtigen nationale und internationale Erkenntnisse. Die definierten Bemessungswerte für die Einflussgrößen der Brandeinwirkung berücksichtigen auch die erforderliche Zuverlässigkeit der zu bemessenden Bauteile und Tragwerke in der außergewöhnlichen Situation Brand entsprechend dem Sicherheitskonzept in [4]. Damit wird sichergestellt, dass bei Anwendung der unterschiedlichen Naturbrandmodelle für die Brandschutzbemessung von Bauteilen und Tragwerken das erforderliche nationale Sicherheitsniveau erreicht wird.

BB.2 Anwendungsgrenzen

Die nachfolgend beschriebenen Eingangsdaten für die Beschreibung der Brandeinwirkungen bei natürlichen Bränden gelten grundsätzlich für alle vereinfachten und allgemeinen Brandmodelle nach DIN EN 1991-1-2:2010-12, 3.3, in Verbindung mit dem informativen Anhang D sowie nach Anhang AA zu diesem Nationalen Anhang.

BB.3 Brandlastdichte
BB.3.1 Allgemeines

Als wesentliche Eingangsgröße für die Ermittlung der Brandeinwirkungen ist die Brandlastdichte mit ihrem Bemessungswert einzusetzen.

Der Bemessungswert der Brandlastdichte $q_{f,d}$ ist allgemein definiert durch:

$$q_{f,d} = \chi \cdot \gamma_{f,q} \quad \text{in MJ/m}^2 \quad (\text{BB.1})$$

Dabei ist

- $q_{f,k}$ die charakteristische Brandlastdichte, bezogen auf die Grundfläche A_f des Braudraumes bzw. der Nutzungseinheit in MJ/m^2 ;
- χ die Verbrennungseffektivität; für die im Hochbau mit Büro-, Wohn- und vergleichbaren Nutzungen typischen Mischbrandlasten mit einem überwiegenden Anteil an zellulosehaltigen Materialien darf pauschal $\chi = 0,7$ gesetzt werden;
- $\gamma_{f,q}$ ein Teilsicherheitsbeiwert, der die Auftretenswahrscheinlichkeit eines vollentwickelten Brandes in der Nutzungseinheit sowie die erforderliche Zuverlässigkeit der Bauteile nach BB.5 berücksichtigt.

DIN EN 1991-1-2/NA:2010-12

Die Brandlastdichte kann entweder pauschal über eine Brandlastklassifizierung nach der Nutzung (siehe BB.3.2) oder durch Erhebung der einzelnen Brandlasten für ein bestimmtes Projekt (siehe BB.3.3) bestimmt werden.

Wenn die Brandlastdichte über eine Brandlastklassifizierung nach der Nutzung bestimmt wird, dann ist zu unterscheiden zwischen Brandlasten aus der Art der Nutzung (durch die Klassifizierung abgedeckt) und ggf. zusätzlichen Brandlasten aufgrund der Gebäudekonstruktion (Tragelemente, Bekleidungen und Ausrüstung), die nicht in der Klassifizierung enthalten sind.

BB.3.2 Ermittlung der Brandlastdichte durch Klassifizierung nach der Nutzung

Den üblichen Gebäudenutzungen können durchschnittliche Brandlastdichten zugeordnet werden, die auf die Grundfläche A_f des Brandraumes bzw. der Nutzungseinheit bezogen werden.

Als charakteristischer Wert der Brandlastdichte $q_{f,k}$ ist das 90 %-Quantil zu verwenden, das der Tabelle BB.1, Spalte 3, entnommen werden kann.

Tabelle BB.1 — Brandlastdichten (in MJ/m²) für verschiedene Nutzungen

Zeile	Nutzung	Brandlastdichte MJ/m ²		
		Mittelwert 1	Standardab- weichung 2	90 %-Quantil 3
1	Wohngebäude	780	234	1 085
2	Bürogebäude	420	126	584
3	Krankenhaus (Zimmer)	230	69	320
4	Hotel (Zimmer)	310	93	431
5	Bibliothek, Bücherei	1 500	450	2 087
6	Schule (Klassenzimmer)	285	85,5	397
7	Verkaufsstätte, Einkaufszentrum	600	180	835
8	Versammlungsstätte (Theater, Kino)	300	90	417
9	Transport (öffentlicher Bereich)	100	30	139

Die in Tabelle BB.1 angegebenen Brandlastdichten gelten nur für Bereiche, die für die jeweilige Nutzung typisch sind, z. B. Büroräume in Bürogebäuden. Besondere Räume, z. B. Archive oder Lagerräume in Bürogebäuden, sind nach BB.3.3 gesondert zu betrachten.

Brandlasten aufgrund der Gebäudekonstruktion (Tragelemente, Bekleidungen und Beschichtungen) sind nach BB.3.3 getrennt zu ermitteln und zu den Brandlasten nach Tabelle BB.1 zu addieren.

ANMERKUNG 1 Bei Änderungen der Raumnutzung und damit der zu Grunde zu legenden Brandlastdichten ist in der Regel eine neue Beurteilung erforderlich.

ANMERKUNG 2 Die Brandlastdichten in Industriegebäuden hängen stark von der speziellen Nutzung ab, deshalb ist die Angabe von pauschalen Durchschnittswerten nicht sinnvoll. Für die Ermittlung im Einzelfall (analog zu BB.3.3) wird auf die Normenreihe DIN 18230 verwiesen.

BB.3.3 Ermittlung der Brandlastdichte im Einzelfall

BB.3.3.1 Allgemeines

Falls eine Klassifizierung nach der Nutzung nicht möglich oder nicht sinnvoll ist, müssen die Brandlasten für das spezielle Objekt unter Berücksichtigung der Nutzung erfasst werden.

Bei der Erfassung der Brandlasten und ihrer lokalen Anordnung sind die geplante Funktion, Möblierung und Installation sowie mögliche Veränderungen im Laufe der Zeit durch ungünstige Entwicklungen oder andere Nutzungen zu berücksichtigen.

Falls möglich, sollte die Brandlasterehebung an einem vergleichbaren bestehenden Projekt so durchgeführt werden, dass lediglich die Unterschiede zu dem bestehenden Projekt vom Auftraggeber anzugeben sind. Nach Inbetriebnahme sind die Brandlastannahmen zu überprüfen. Dies gilt auch nach Nutzungsänderungen.

Zusätzlich zu den Brandlasten aus der Nutzung sind auch brennbare Stoffe der Gebäudekonstruktion (Tragelemente, Bekleidungen und Beschichtungen, Wärmedämmung) zu erfassen.

Der Bemessungswert der Brandlastdichte $q_{f,d}$ ist definiert durch:

$$q_{f,d} = \frac{\sum M_{k,i} \cdot H_{ui} \cdot \chi_i \cdot \psi_i}{A_f} \cdot \gamma_{fi,q} \geq q_{f,d,min} \quad \text{in MJ/m}^2 \quad (\text{BB.2})$$

Dabei ist

$M_{k,i}$ die Menge des brennbaren Stoffes in kg;

H_{ui} die Netto-Verbrennungswärme in MJ/kg, siehe BB.3.3.3;

χ_i die Verbrennungseffektivität;

ψ_i ein Beiwert zur Berücksichtigung geschützter Brandlasten, siehe BB.3.3.2;

A_f die Grundfläche des Brandraumes bzw. der Nutzungseinheit in m²;

$q_{f,d,min}$ der Mindestwert der Brandlastdichte in MJ/m².

Ständige Brandlasten, von denen angenommen wird, dass sie sich während der Nutzungsdauer des Gebäudes nicht ändern, sollten mit den erwarteten Größen erfasst werden.

Veränderliche Brandlasten, von denen angenommen wird, dass sie sich während der Nutzungsdauer ändern, sollten durch Größen berücksichtigt werden, die während 90 % der Nutzungsdauer nicht überschritten werden (90 %-Quantil).

Das unterschiedliche Abbrandverhalten der brennbaren Stoffe in Abhängigkeit von ihrer Art und Anordnung wird vereinfacht mit der Verbrennungseffektivität χ_i berücksichtigt. Für die im Hochbau mit Büro-, Wohn- und vergleichbaren nutzungen typischen Mischbrandlasten mit einem überwiegenden Anteil an zellulosehaltigen Materialien darf pauschal $\chi = 0,7$ gesetzt werden. In allen anderen Fällen ist auf der sichereren Seite liegend für Feststoffe $\chi = 0,8$ und für Flüssigkeiten und Gase $\chi = 1,0$ anzunehmen. Für häufig vorkommende Feststoffe, Flüssigkeiten und Gase kann die Verbrennungseffektivität χ z. B. [4] entnommen werden.

Bei sehr geringer rechnerischer Brandlastdichte ist unter Berücksichtigung von unvorhergesehenen Brandlasten ein Mindestbemessungswert $q_{f,d,min} = 50 \text{ MJ/m}^2$ anzunehmen.

DIN EN 1991-1-2/NA:2010-12**BB.3.3.2 Geschützte Brandlasten**

Brandlasten in Einhausungen, die so bemessen sind, dass ihre Integrität beim Brand erhalten bleibt, brauchen nicht berücksichtigt zu werden.

Brandlasten in nichtbrennbaren Einhausungen ohne besondere Brandbemessung, die bei einem Brand erfahrungsgemäß erhalten bleiben, dürfen wie folgt berücksichtigt werden:

Die größte Brandlast, jedoch mindestens 10 % der geschützten Brandlast, wird mit $\psi_i = 1,0$ berücksichtigt.

Wenn diese Brandlast zuzüglich der ungeschützten Brandlast nicht ausreicht, um die restliche geschützte Brandlast über die Zündtemperatur zu erwärmen, dann darf die restliche geschützte Brandlast mit $\psi_i = 0,0$ berücksichtigt werden. In allen anderen Fällen ist der Wert ψ_i einzeln zu ermitteln.

BB.3.3.3 Netto-Verbrennungswärme

Die Netto-Verbrennungswärme sollte nach DIN EN ISO 1716 ermittelt werden.

Der Feuchtegehalt von Materialien darf wie folgt berücksichtigt werden.

$$H_u = H_{u0} (1 - 0,01 u) - 0,025 u \quad \text{in MJ/kg} \quad (\text{BB.3})$$

Dabei ist

u der Feuchtegehalt in % (Massenanteil), bezogen auf das Trockengewicht;

H_{u0} die Netto-Verbrennungswärme der trockenen Materialien.

Die Netto-Verbrennungswärme kann für häufig vorkommende Feststoffe, Flüssigkeiten und Gase DIN 18230-3 entnommen werden, wobei 1 kWh = 3,6 MJ entspricht.

BB.4 Wärmefreisetzungsraten

Der charakteristische Wert der Wärmefreisetzungsraten \dot{Q}_k in der Phase der Brandentwicklung und –ausbreitung darf mit folgender Gleichung berechnet werden:

$$\dot{Q}_k = (t / t_\alpha)^2 \quad (\text{BB.4})$$

Dabei ist

t die Zeit nach der Brandentstehung in s;

t_α die Zeit, die erforderlich ist, bis eine Wärmefreisetzungsratenrate von 1 MW erreicht wird, in s.

Der Parameter t_α für verschiedene Nutzungen kann aus Tabelle BB.2 entnommen werden. Dabei handelt es sich um charakteristische Werte, die etwa einem 90 %-Quantil der statistischen Verteilung entsprechen.

Bei einer extrem schnellen Brandausbreitung ist $t_\alpha = 75$ s anzunehmen.

Tabelle BB.2 — Parameter t_α für die Brandentwicklungsphase und maximale flächenbezogene Wärmefreisetzungsraten RHR_f für die stationäre Phase bei verschiedenen Nutzungen (charakteristische Werte)

Zeile	Nutzung	Brandausbreitung	t_α s	RHR_f MW/m ²
		1	2	3
1	Wohngebäude	mittel	300	0,25
2	Bürogebäude	mittel	300	0,25
3	Krankenhaus (Zimmer)	mittel	300	0,25
4	Hotel (Zimmer)	mittel	300	0,25
5	Bibliothek, Bücherei	mittel	450	0,25 bis 0,50
6	Schule (Klassenzimmer)	mittel	300	0,15
7	Verkaufsstätte, Einkaufszentrum	schnell	150	0,25
8	Versammlungsstätte (Theater, Kino)	schnell	150	0,50
9	Transport (öffentlicher Bereich)	langsam	600	0,25

Die Wärmefreisetzungsraten wird durch ein horizontales Plateau begrenzt, das der stationären Phase des vollentwickelten Brandes entspricht, mit dem charakteristischen Wert $\dot{Q}_{\max,k}$.

Für brandlastgesteuerte Brände kann der charakteristische Wert der maximalen Wärmefreisetzungsraten mit Gleichung (BB.5) bestimmt werden:

$$\dot{Q}_{\max,f,k} = RHR_f \cdot A_f \quad \text{in MW} \quad (\text{BB.5})$$

Dabei ist

RHR_f der charakteristische Wert der flächenbezogenen Wärmefreisetzungsraten nach Tabelle BB.2 in MW/m²; RHR_f ist die maximale Wärmefreisetzungsraten, die auf 1 m² bei einem brandlastgesteuerten Brand erreicht wird;

A_f die maximale Brandfläche, in der Regel die Grundfläche des Brandraumes in m².

Für ventilationsgesteuerte Brände in Räumen bis 400 m² Grundfläche kann die maximale Wärmefreisetzungsraten im Brandraum vereinfacht nach Gleichung (BB.6) bestimmt werden:

$$\dot{Q}_{\max,v,k} = 0,1 \cdot \chi \cdot H_u \cdot A_w \cdot \sqrt{h_w} \quad \text{in MW} \quad (\text{BB.6})$$

Dabei ist

A_w die Fläche der Ventilationsöffnungen in m²;

h_w die gemittelte lichte Höhe der Ventilationsöffnungen in m;

H_u die Netto-Verbrennungswärme der maßgebenden Brandlast in MJ/kg; im Hochbau darf in der Regel der Wert für Holz $H_u = 17,3$ MJ/kg verwendet werden;

χ die Verbrennungseffektivität; im Hochbau darf für typische Mischbrandlasten pauschal mit $\chi = 0,7$ angenommen werden, ansonsten siehe z. B. [4].

DIN EN 1991-1-2/NA:2010-12

ANMERKUNG Für Räume mit mehr als 400 m² Grundfläche liegt die Wärmefreisetzungsraten nach Gleichung (BB.6) zunehmend auf der sicheren Seite. In diesem Fall wird die Verwendung eines erweiterten Brandmodells nach Anhang D empfohlen. Bei Beachtung der Anwendungsgrenzen (Durchmesser der Brandfläche < 10 m, Wärmefreisetzungsraten < 50 MW) darf die thermische Einwirkung ggf. für einen lokalen Brand nach Anhang C ermittelt werden.

Die maximale Wärmefreisetzungsraten ist der kleinere der beiden Maximalwerte des ventilationsgesteuerten und des brandlastgesteuerten Brandes:

$$\dot{Q}_{\max,k} = \min \{\dot{Q}_{\max,f,k}; \dot{Q}_{\max,v,k} \} \quad (\text{BB.7})$$

Der Bemessungswert der maximalen Wärmefreisetzungsraten ergibt sich nach Gleichung (BB.8)

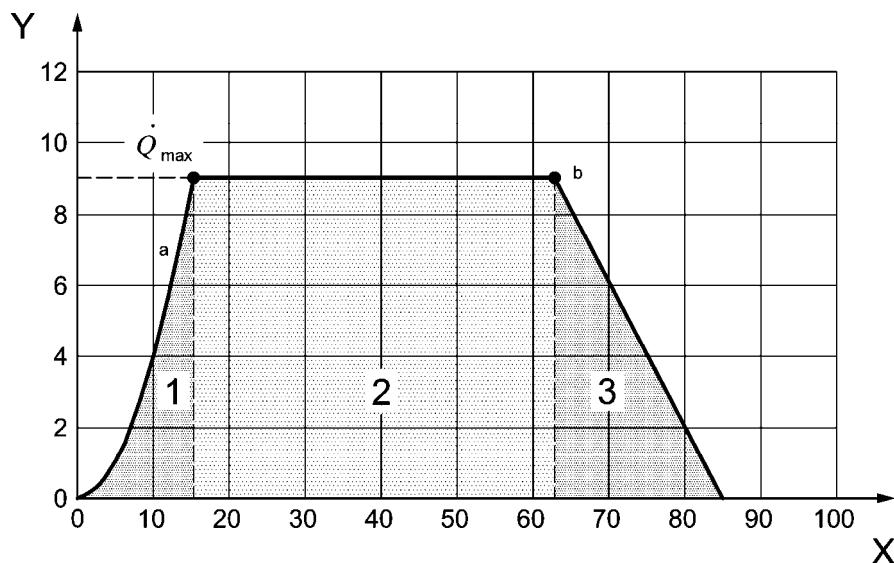
$$\dot{Q}_{\max,d} = \dot{Q}_{\max,k} \cdot \gamma_{fi,Q} \quad (\text{BB.8})$$

Dabei ist

$\gamma_{fi,Q}$ der Teilsicherheitsbeiwert nach BB.5.3.

Das horizontale Plateau der Wärmefreisetzungsrates endet, wenn 70 % der gesamten Brandlast aufgebraucht sind. Für die anschließende Abklingphase darf vereinfacht ein linearer Verlauf angenommen werden.

Der gesamte Zeitverlauf der Wärmefreisetzungsrates ist schematisch in Bild BB.1 dargestellt.

**Legende**

- 1 Entwicklungsphase
- 2 stationäre Phase
- 3 Abklingphase
- a t^2 -Anstieg
- b 70 % der Brandlast verbrannt
- X Zeit in min
- Y Wärmefreisetzungsraten

Bild BB.1 — Zeitverlauf der Wärmefreisetzungsraten mit Entwicklungsphase, stationärer Phase (Vollbrand) und Abklingphase

BB.5 Sicherheitskonzept

BB.5.1 Auftretenswahrscheinlichkeit eines Brandes

Die erforderliche Zuverlässigkeit von tragenden und/oder raumabschließenden Bauteilen eines Gebäudes im Brandfall hängt von der Auftretenswahrscheinlichkeit eines Schadenfeuers in einer Nutzungseinheit eines Gebäudes und den mit dem brandbedingten Versagen der Bauteile verbundenen Schadensfolgen ab.

Die Auftretenswahrscheinlichkeit p_{fi} eines Schadenfeuers in einer brandschutztechnisch wirksam abgetrennten Nutzungseinheit mit der Grundfläche A_f in einem Bezugszeitraum von 1 Jahr kann mit Gleichung (BB.9) ermittelt werden:

$$p_{fi} = p_1 \cdot p_2 \cdot p_3 \quad (\text{BB.9})$$

Dabei ist

- p_1 die jährliche Auftretenswahrscheinlichkeit eines Entstehungsbrandes in der Nutzungseinheit in a^{-1} ;
- p_2 die Ausfallwahrscheinlichkeit der manuellen Brandbekämpfung;
- p_3 die Ausfallwahrscheinlichkeit der Brandbekämpfung durch eine automatische Löschanlage im Anforderungsfall.

Die jährliche Auftretenswahrscheinlichkeit p_1 von mindestens einem Entstehungsbrand in der Nutzungseinheit kann nach Gleichung (BB.10) unter Berücksichtigung der meist unterproportional mit der Grundfläche A_f wachsenden Brandentstehungshäufigkeit bestimmt werden:

$$p_1 = 1 - \exp(a \cdot A^b) \approx a \cdot A^b \quad (\text{BB.10})$$

Dabei ist

- A_f die Grundfläche der brandschutztechnisch abgetrennten Nutzungseinheit in m^2 ;
- a der Basiswert der bezogenen Brandentstehungshäufigkeit je Quadratmeter in $(m^2 \cdot a)^{-1}$;
- b der von der Nutzung und der Unterteilung der Nutzungseinheit (Raumzellen) abhängige Exponent.

Zahlenwerte für a und b sind in Tabelle BB.3 für verschiedene Nutzungen angegeben.

Vereinfachend darf die durchschnittliche Auftretenswahrscheinlichkeit p_1 von mindestens einem Entstehungsbrand je Jahr in einer Nutzungseinheit aus Tabelle BB.3, letzte Spalte entnommen werden. Diese Werte gelten für durchschnittliche Grundflächen A_f entsprechend genutzter Bereiche.

DIN EN 1991-1-2/NA:2010-12**Tabelle BB.3 — Auftretenswahrscheinlichkeit p_1 von mindestens einem Entstehungsbrand je Nutzungseinheit und Jahr in Abhängigkeit von der Nutzung**

Zeile	Nutzung	Auftretenswahrscheinlichkeit je Nutzungseinheit und Jahr		
		$p_1 \approx a \cdot A^b$		p_1
		a $1/(m^2 \cdot a)$	b	$1/a$
		1	2	3
1	Wohngebäude	4,8E-5	0,9	3.0E-3
2	Bürogebäude	5,9E-5	0,9	6.2E-3
3	Krankenhaus, Pflegeheim	7,0E-4	0,75	3,0E-1
4	Hotel, Beherbergungsstätte	8,0E-5	1,0	3,7E-2
5	Schule, Bildungseinrichtung	2,0E-4	0,75	4.0E-2
6	Verkaufsstätte, Geschäftshaus	6,6E-5	1,0	8,4E-3
7	öffentliche Versammlungsstätte (Theater, Kino) sonstige Versammlungsstätte (z. B. Diskothek)	9,7E-5	0,75 1,0	2.0E-2 1.2E-1

Die Ausfallwahrscheinlichkeit p_2 der manuellen Brandbekämpfung berücksichtigt sowohl die Selbsthilfemaßnahmen der Nutzer als auch die Löscharbeiten der Feuerwehr:

$$p_2 = p_{2,1} \cdot p_{2,2} \quad (\text{BB.11})$$

Die Ausfallwahrscheinlichkeit der manuellen Brandbekämpfung durch die Nutzer darf im Allgemeinen mit $p_{2,1} = 0,5$ angenommen werden.

Die Ausfallwahrscheinlichkeit von Löscharbeiten der Feuerwehr hängt einerseits von der Vornahmezeit (= Alarmierungszeit + Hilfsfrist) und der Stärke der Feuerwehr und andererseits von der Brandausbreitung bis zum Beginn der Löscharbeiten ab. Bei einer öffentlichen Feuerwehr mit einer durchschnittlichen Vornahmezeit von bis zu 15 min kann pauschal mit $p_{2,2} = 0,2$ gerechnet werden. Bei einer Betriebs- oder Werkfeuerwehr kann $p_{2,2}$ aufgrund der kürzeren Vornahmezeit und einer auf das spezielle Objekt ausgerichteten Stärke und Ausstattung ggf. deutlich geringer sein.

Zahlenwerte $p_{2,2}$ für die Brandbekämpfung durch eine öffentliche Feuerwehr bzw. Betriebsfeuerwehr können der Tabelle BB.4 entnommen werden. Zwischen den angegebenen Vornahmezeiten darf linear interpoliert werden.

Die Ausfallwahrscheinlichkeit p_3 der Brandbekämpfung mittels einer automatischen Löschanlage hängt von der Art und Auslegung und dem Zeitpunkt der Auslösung der Löschanlage ab.

Zahlenwerte p_3 für die Ausfallwahrscheinlichkeit verschiedener Löschanlagen können der Tabelle BB.4 entnommen werden.

Tabelle BB.4 — Ausfallwahrscheinlichkeit $p_{2,2}$ bzw. p_3 der Brandbekämpfung bei Anforderung

Zeile	Brandbekämpfung durch	Ausfallwahrscheinlichkeit bei Anforderung	
		$p_{2,2}$	p_3
		1	2
1 1a 1b	öffentliche Feuerwehr mit Vornahmezeit < 15 min > 20 min	0,2 0,5	
2 2a 2b	Betriebsfeuerwehr mit Vornahmezeit ^a < 10 min (vier Staffeln) < 10 min (zwei Staffeln)	0,02 0,05	
3 3a 3b 3c 3d	Automatische Löschanlage Sprinkleranlage nach VdS/CEA Standard in anderen Fällen Sonstige Wasserlöschanlage Gaslöschanlage		0,02 0,05 0,1 0,1

^a Automatische Brandmeldung und Alarmierung werden vorausgesetzt.

BB.5.2 Erforderliche Zuverlässigkeit im Brandfall

Aus der für alle Lastfälle geltenden zulässigen Versagenswahrscheinlichkeit p_f von Bauteilen und der jährlichen Auftretenswahrscheinlichkeit p_{fi} von mindestens einem Schadenfeuer in der betreffenden Nutzeinheit nach Gleichung (BB.10) darf eine zulässige bedingte Versagenswahrscheinlichkeit $p_{f,fi}$ im Brandfall bzw. der damit verknüpfte Zuverlässigkeitsindex β_{fi} wie folgt ermittelt werden:

$$p_f = \Phi(-\beta) \quad (\text{BB.12})$$

$$p_{f,fi} = \frac{p_f}{p_{fi}} \quad (\text{BB.13})$$

$$\beta_{fi} = -\Phi^{-1}(p_{f,fi}) \quad (\text{BB.14})$$

Dabei ist $\Phi()$ die Funktion der Standard-Normalverteilung und Φ^{-1} deren Umkehrfunktion.

Werte für p_f in Gleichung (BB.13) bzw. für den Zuverlässigkeitsindex β nach Gleichung (BB.12) können in Abhängigkeit von der Nutzung und den Schadensfolgen bei einem Bauteilversagen aus Tabelle BB.5 entnommen werden. Wenn keine näheren Angaben vorliegen, sind die Werte für mittlere Schadensfolgen zu verwenden.

Tabelle BB.5 — Richtwerte für den Zuverlässigkeitsexponenten β und die zugehörige Versagenswahrscheinlichkeit p_f (Bezugszeitraum 1 Jahr) bei verschiedenen Nutzungen

Zeile	Nutzung	Schadensfolgen					
		hoch		mittel		gering	
		β	p_f	β	p_f	β	p_f
1a	1b	2a	2b	3a	3b		
1	Wohngebäude, Bürogebäude und vergleichbare Nutzungen Gebäudeklassen nach MBO	4,7	1,3E-6	4,2	1,3E-5	3,7	1,1E-4
2	Krankenhaus, Pflegeheim				4 + 5		
3	Beherbergungsstätte, Hotel						
4	Schule						
5	Verkaufsstätte	5,2	1,0E-7	4,7	1,3E-6	4,2	1,3E-5
6	Versammlungsstätte						
7	Hochhaus						
8	Landwirtschaftlich genutzte Gebäude	—	—	4,2	1,3E-5	3,7	1,1E-4

BB.5.3 Teilsicherheitsbeiwerte γ_{fi} für die Einflussgrößen der Brandeinwirkung

Mit der bedingten Versagenswahrscheinlichkeit im Brandfall $p_{f,fi}$ nach Gleichung (BB.13) bzw. dem zugehörigen Zuverlässigkeitsexponenten β_{fi} nach Gleichung (BB.14) können die Bemessungswerte für die maßgebenden Einflussgrößen der Brandeinwirkung, die Brandlastdichte q und die Wärmefreisetzungsraten \dot{Q} , definiert werden.

ANMERKUNG Die Brandlastdichte nach BB.2 bzw. BB.3 bestimmt maßgeblich die Dauer des Brandes und damit auch die mit der Brändauer zunehmende Brandraumtemperatur. In der frühen Phase des Brandes hat die Wärmefreisetzungsraten nach BB.4 die maßgebende Einflussgröße.

Der Bemessungswert der Brandlastdichte ergibt sich nach Gleichung (BB.1) aus dem charakteristischen Wert $q_{f,k}$ (90 %-Quantil) und einem Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_{fi,q}$.

Bei Ermittlung der Brandlastdichte durch Klassifizierung der Nutzung nach BB.3.2 ergibt sich der Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_{fi,q}$ in Abhängigkeit vom erforderlichen Zuverlässigkeitsexponenten β_{fi} aus Gleichung (BB.15):

$$\gamma_{fi} = \frac{1 - V \cdot 0,78 \cdot [0,577 \cdot 2 + \ln(-\ln(\Phi(\alpha \cdot \beta_{fi})))]}{1 - V \cdot 0,78 \cdot [0,577 \cdot 2 + \ln(-\ln(0,9))]} \quad (\text{BB.15})$$

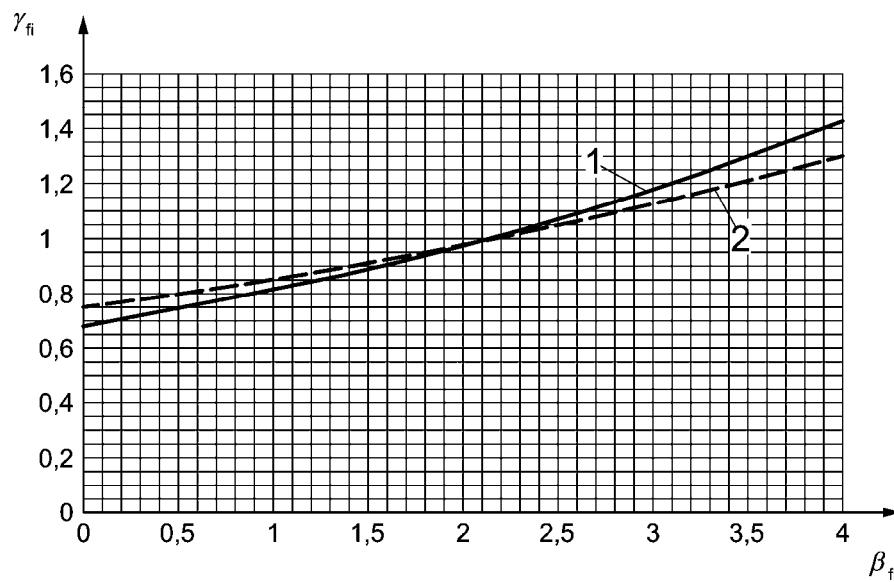
Dabei ist $\Phi(\)$ die Funktion der Standard-Normalverteilung. Für V ist der Variationskoeffizient der Brandlastdichte mit $V_q = 0,3$ einzusetzen, der Sensitivitätsfaktor α (als Maß für den Streuungseinfluss) wird zu $\alpha = 0,6$ angenommen.

Der Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_{fi,q}$ darf auch aus Bild BB.2, Kurve 1, entnommen werden.

Bei Ermittlung der Brandlastdichte im Einzelfall nach BB.3.3 ergibt sich der Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_{fi,q}$ aus Gleichung (BB.15), indem für V der reduzierte Variationskoeffizient $V_q = 0,2$ eingesetzt und der Sensitivitätsfaktor $\alpha = 0,6$ beibehalten wird. Der Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_{fi,q}$ darf auch aus Bild BB.2, Kurve 2 abgelesen werden.

Der Teilsicherheitsbeiwert für die Wärmefreisetzungsraten \dot{Q} nach BB.4 ergibt sich aus der Gleichung (BB.15) mit dem Variationskoeffizient $V_{\dot{Q}} = 0,2$ und dem Sensitivitätsfaktor $\alpha = 0,6$. Er entspricht damit dem Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_{fi,\dot{Q}}$ bei Ermittlung der Brandlastdichte im Einzelfall nach BB.3.3.

Der Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_{fi,\dot{Q}}$ darf auch aus Bild BB.2, Kurve 2, abgelesen werden.



Legende

- 1 Brandlastdichte nach BB.3.2
- 2 Wärmefreisetzungsraten nach BB.4 und Brandlastdichte nach BB.3.3

Bild BB.2 — Teilsicherheitsbeiwerte für die Einflussgrößen eines Naturbrandes bezogen auf die definierten charakteristischen Werte (90 %-Quantil)

$p_{f,fi}$	β_{fi}
5,0E-01	0,00
4,0E-01	0,25
3,1E-01	0,50
2,3E-01	0,75
1,6E-01	1,00
1,1E-01	1,25
6,7E-02	1,50
4,0E-02	1,75
2,3E-02	2,00
1,2E-02	2,25
6,2E-03	2,50
3,0E-03	2,75
1,3E-03	3,00
5,8E-04	3,25
2,3E-04	3,50
8,8E-05	3,75
3,2E-05	4,00

NCI

Anhang CC (informativ)

Prüfung und Validierung von Rechenprogramm für Brandschutznachweise mittels allgemeiner Rechenverfahren

CC.1 Allgemeines

Die physikalischen, mathematischen und mechanischen Rechengrundlagen von Rechenprogrammen für Brandschutznachweise mit allgemeinen Rechenverfahren sollten im Hinblick auf die thermische Analyse, Querschnittsanalyse und Systemanalyse validiert sein. Ziel dieses Anhangs CC ist es, die Anwendbarkeit der Programme für eine ingenieurmäßige brandschutztechnische Bemessung von Bauteilen und Tragwerken anhand einer hinreichenden Anzahl von Validierungsbeispielen zu überprüfen und damit auch die Anwendbarkeit der Rechenprogramme auf reale Tragwerke zu bewerten.

Es werden die einzelnen Schritte der Nachweisführung nacheinander anhand eindeutiger Beurteilungskriterien validiert. Dazu wird mit Hilfe einer Prüfmatrix parameterabhängig die Rechengenauigkeit des verwendeten Programms für das betreffende Beurteilungskriterium überprüft. In der Prüfmatrix sind für das jeweilige Beispiel zum Vergleich entweder existierende analytische Lösungen oder Ergebnisse von Berechnungen anerkannter Programme aufgeführt. Damit sind die mit dem zu prüfenden Rechenprogramm erzielten Ergebnisse zu vergleichen. Die Abweichungen sollten innerhalb zulässiger Toleranzen liegen.

Wenn nicht bei allen Beurteilungskriterien die zulässigen Toleranzen eingehalten werden, ist auch eine Einschränkung des Anwendungsbereichs der Programme möglich. Beispielsweise sind Programme, die das Systemverhalten (Auflagerbedingungen, Belastung) nicht hinreichend genau erfassen, nicht für die brandschutztechnische Bemessung von statisch unbestimmten und/oder stabilitätsgefährdeten Systemen geeignet. Die Programme können aber durchaus für die brandschutztechnische Bemessung von statisch bestimmten Biegebauteilen eingesetzt werden.

Die Beispielsammlung wurde im Rahmen des Forschungsvorhabens [6] erarbeitet und an die aktuellen Fassungen der Eurocode-Brandschutzteile (DIN EN 1991-1-2 bis DIN EN 1996-1-2) angepasst. Abweichungen von den aktuellen DIN-EN-Normen sind in den Beispielen vermerkt.

CC.2 Anwendungsgrenzen

Dieser Anhang CC gilt für die Überprüfung von Rechenprogrammen auf der Grundlage der allgemeinen Rechenverfahren, die in den baustoffbezogenen Eurocode-Brandschutzteilen (DIN EN 1992-1-2 bis DIN EN 1996-1-2 sowie DIN EN 1999-1-2) beschrieben sind.

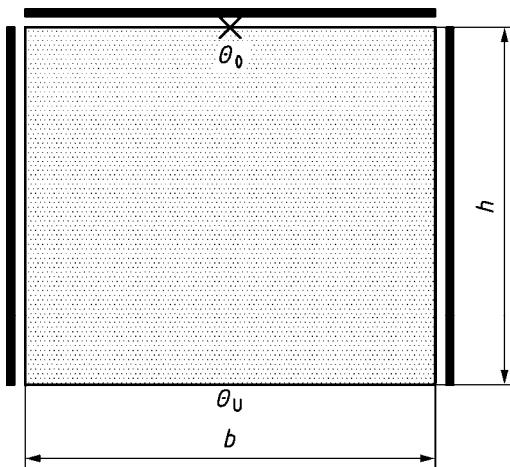
CC.3 Anwendung und Dokumentation

Vom Ersteller eines Rechenprogramms zur Durchführung von Nachweisen nach den allgemeinen Rechenverfahren sollten vor der Anwendung des Programms für bauordnungsrechtlich relevante Brandschutznachweise die Validierungsbeispiele eigenständig berechnet werden. Dabei sollten die Eingangsdaten und Rechenannahmen entsprechend der Programmbeschreibung unverändert verwendet werden.

Über die durchgeföhrten Berechnungen und die erzielten Ergebnisse sollte eine Dokumentation unter Verwendung der in der Beispielsammlung enthaltenen tabellarischen Übersichten angefertigt werden. Die Abweichungen von den Ergebnissen der Muster-Berechnungen sollten innerhalb der angegebenen Toleranzen liegen.

CC.4 Validierungsbeispiele

CC.4.1 Beispiel 1



Legende

— adiabatischer Rand

Bild CC.1 — Wärmeübertragung (Abkühlprozess)

Tabelle CC.1 — Materialeigenschaften und Randbedingungen

Material	fiktiver Wert
Wärmeleitfähigkeit λ W/(m · K)	1
Spezifische Wärme c_p J/(kg · K)	1
Rohdichte ρ kg/m ³	1 000
Randbedingungen	
Abmessungen h, b m	1
Wärmeübergangskoeffizient α_c W/(m ² · K)	1
Emissivität $\varepsilon_{\text{res}} = \varepsilon_m \cdot \varepsilon_f$ —	0
Anfangsbedingungen	
Umgebungstemperatur Θ_U °C	0
Temperatur im Querschnitt °C	1 000
Referenzgröße	
Temperatur Θ_O im Punkt X °C	

Tabelle CC.2 — Referenz- und berechnete Größen für die Wärmeübertragung (Abkühlung)

Zeit s	Referenzgröße Θ_0 Temperatur °C	berechnete Größe Θ'_0 Temperatur °C	Abweichung $(\Theta'_0 - \Theta_0) / \Theta_0 \cdot 100$ % $(\Theta'_0 - \Theta_0)$ K	Grenz- abweichung	Bemerkung
0	1 000			$\pm 1\%$ und $\pm 5,0\text{ K}$	
60	999,3				
300	891,8				
600	717,7				
900	574,9				
1 200	460,4				
1 500	368,7				
1 800	295,3				

Programme, deren berechnete Werte von den Referenzgrößen um mehr als die in Tabelle CC.2 vorgegebene Grenzabweichung (es gilt jeweils der kleinere Wert) abweichen, sind für die thermische Analyse von Bauteilen auf Grundlage des Eurocodes als nicht geeignet anzusehen.

Solche Programme können durchaus für einen eingeschränkten Bereich der thermischen Analyse von Bauteilen (z. B. für bestimmte Baustoffe) angewendet werden, wenn ihre Eignung in diesem eingeschränkten Bereich auf Basis des Beispiels 1 nachgewiesen wird.

CC.4.2 Beispiel 2

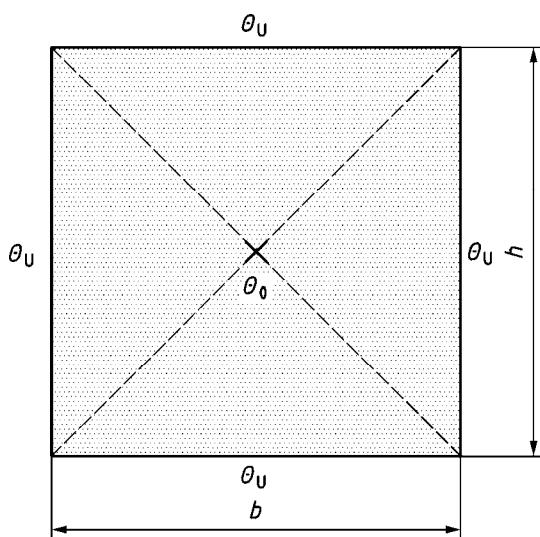


Bild CC.2 — Wärmeübertragung (Erwärmungsprozess)

Tabelle CC.3 — Materialeigenschaften und Randbedingungen

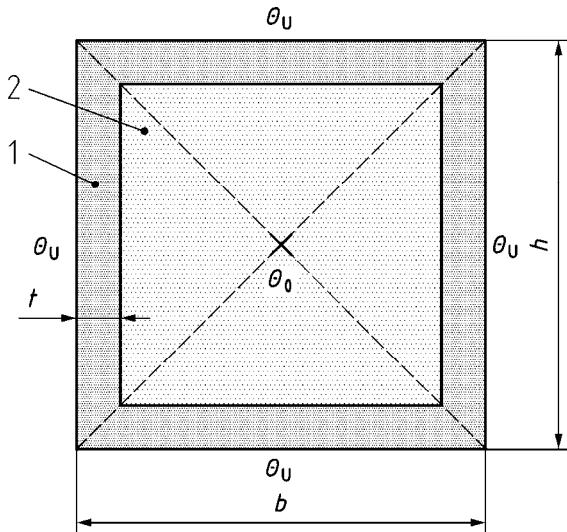
Material	fiktiver Wert	
Wärmeleitfähigkeit λ (linearer Verlauf)	Θ	$\lambda(\Theta)$
	0	1,5
	200	0,7
	1 000	0,5
Spezifische Wärme c_p	J/(kg · K)	
Rohdichte ρ	kg/m ³	
Randbedingungen		
Abmessungen h, b	m	0,2
Wärmeübergangskoeffizient α_c	W/(m ² · K)	
Emissivität $\varepsilon_{\text{res}} = \varepsilon_m \cdot \varepsilon_f$	—	
Anfangsbedingungen		
Umgebungstemperatur Θ_U	°C	1 000
Temperatur im Querschnitt	°C	0
Referenzgröße		
Temperatur Θ_0 im Punkt X	°C	

Tabelle CC.4 — Referenz- und berechnete Größen für die Wärmeübertragung (Erwärmungsprozess)

Zeit min	Referenzgröße Θ_0 Temperatur °C	berechnete Größe Θ'_0 Temperatur °C	Abweichung		Grenz- abweichung	Bemerkung
			$(\Theta'_0 - \Theta_0)/\Theta_0 \cdot 100$ %	$(\Theta'_0 - \Theta_0)$ K		
30	36,9				für $t \leq 60$ min ± 5 K für $t > 60$ min ± 3 %	
60	137,4					
90	244,6					
120	361,1					
150	466,2					
180	554,8					

Programme, deren berechnete Werte von den Referenzgrößen um mehr als die in Tabelle CC.4 vorgegebene Grenzabweichung abweichen, sind für die thermische Analyse von Bauteilen als nicht geeignet anzusehen.

CC.4.3 Beispiel 3



Legende

- 1 Stahl
2 Füllung

Bild CC.3 — Wärmedurchgang bei mehreren Schichten (Stahlhohlquerschnitt mit Füllung)

Tabelle CC.5 — Materialeigenschaften und Randbedingungen

Material	Stahl	Füllung
Wärmeleitfähigkeit λ W/(m · K)	DIN EN 1993-1-2	0,05
Spezifische Wärme c_p J/(kg · K)	DIN EN 1993-1-2	1 000
Rohdichte ρ kg/m ³	DIN EN 1993-1-2	50
Randbedingungen		
Abmessungen h, b, t m	$h = b = 0,201$; $t = 0,000\,5$	
Wärmeübergangskoeffizient α_c W/(m ² · K)		10
Emissivität $\varepsilon_{\text{res}} = \varepsilon_m \cdot \varepsilon_f$ —		0,8
Anfangsbedingungen		
Umgebungstemperatur Θ_U °C		1 000
Temperatur im Querschnitt °C	0	0
Referenzgröße		
Temperatur Θ_O im Punkt X °C		

Tabelle CC.6 — Referenz- und berechnete Größen für den Wärmedurchgang bei mehreren Schichten

Zeit min	Referenzgröße Θ_0	berechnete Größe Θ'_0	Abweichung $(\Theta'_0 - \Theta_0)/\Theta_0 \cdot 100$ %	Grenz- abweichung	Bemerkung
	Temperatur °C	Temperatur °C	$(\Theta'_0 - \Theta_0)$ K		
30	340,5			$\pm 1\%$ und $\pm 5\text{ K}$	
60	717,1				
90	881,6				
120	950,6				
150	979,3				
180	991,7				

Programme, deren berechnete Werte von den Referenzgrößen um mehr als die in Tabelle CC.6 vorgegebene Grenzabweichung (es gilt jeweils der kleinere Wert) abweichen, sind für die thermische Analyse von (bekleideten) Bauteilen aus mehreren Materialschichten auf Grundlage des Eurocodes nicht geeignet.

CC.4.4 Beispiel 4

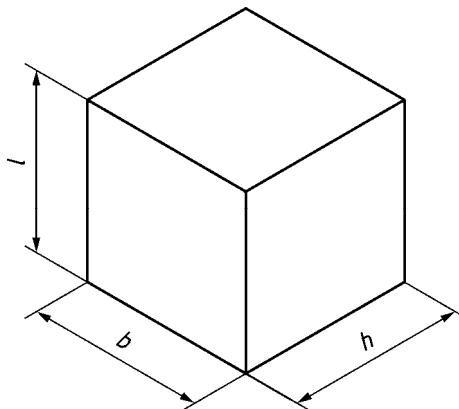


Bild CC.4 — Bauteil (statisch bestimmt gelagert)

Tabelle CC.7 — Materialeigenschaften und Randbedingungen

Randbedingungen	Baustahl
Abmessungen l, h, b mm	100
Spannungs-Dehnungs-Linien	DIN EN 1993-1-2
Festigkeit $f_{yk}(20^\circ\text{C})$ N/mm ²	355
Anfangsbedingungen °C	20
Homogene Bauteiltemperatur Θ °C	100 300 500 600 700 900
Thermische Dehnung —	DIN EN 1993-1-2
Referenzgröße	
Thermische Verlängerung Δl mm	

Tabelle CC.8 — Referenz- und berechnete Größen für die thermische Verlängerung von Baustahl

Θ °C	Referenzgröße Δl	berechnete Größe $\Delta l'$	Abweichung $(\Delta l' - \Delta l) / \Delta l \cdot 100$ %	Grenz- abweichung	Bemer- kung
	mm	mm	mm		
100	0,099 84				
300	0,371 84			für $\Theta \leq 300$ °C $\pm 0,05$ mm	
500	0,675 84				
600	0,839 84			für $\Theta > 300$ °C ± 1 %	
700	1,011 84				
900	1,180 00				

Programme, deren berechnete Werte von den Referenzgrößen um mehr als die in Tabelle CC.8 vorgegebene Grenzabweichung abweichen, sind für die mechanische Analyse von Bauteilen auf Grundlage des Eurocodes als nicht geeignet anzusehen.

CC.4.5 Beispiel 5

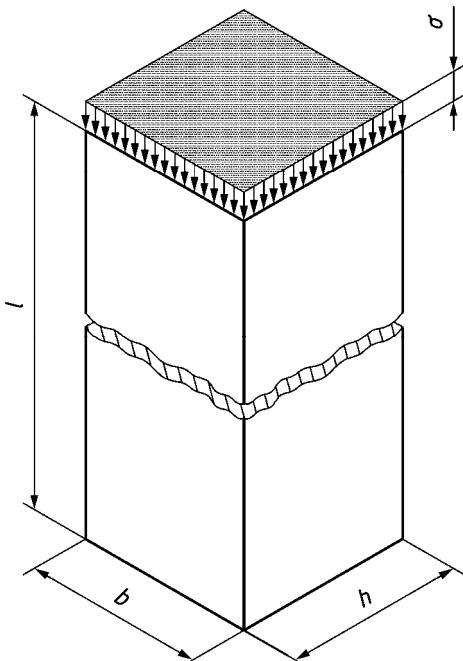


Bild CC.5 — Bauteil (Lagerung Eulerfall 2, die Lagerbedingungen sind so festzulegen, dass Stabilitätsversagen auszuschließen ist)

Tabelle CC.9 — Materialeigenschaften und Randbedingungen (Beton mit überwiegend quarzhaltiger Gesteinskörnung und 3 % (Massenanteil) Feuchte)

Randbedingungen	Baustahl	Beton
Abmessungen $l / h / b$ mm	100 / 10 / 10	100 / 31,6 / 31,6
Spannungs-Dehnungs-Linien	DIN EN 1993-1-2	DIN EN 1992-1-2
Festigkeit $f_{yk}(20^\circ\text{C}), f_{ck}(20^\circ\text{C})$ N/mm ²	355	20
Thermische Dehnung	DIN EN 1993-1-2	DIN EN 1992-1-2
Anfangsbedingungen °C		20
Homogene Bauteiltemperatur Θ °C	20 200 400 600 800	
Belastung $\sigma_{s(\Theta)} / f_{yk(\Theta)}$ bzw. $\sigma_{c(\Theta)} / f_{ck(\Theta)}$ (nur für Beispiel 5)		0,2 0,6 0,9
Referenzgröße		
Längenänderung Δl (Beispiel 5) mm		
Normalkraft $N_{R,f,i,k}$ (Beispiel 6) kN		

Tabelle CC.10 Referenz- und berechnete Größe für Spannungs-Dehnungs-Linien von Baustahl

Tempe- ratur Θ °C	Belastung $\sigma_{s(\Theta)} / f_{yk(\Theta)}$	Referenz- größe Δl mm	berechnete Größe Δl' mm	Abweichung $(\Delta l' - \Delta l) / \Delta l \cdot 100$ %	Grenzab- weichung %	Bemerkung
20	0,2	-0,034			± 3	
	0,6	-0,101				
	0,9	-0,152				
200	0,2	+0,194			± 3	
	0,6	+0,119				
	0,9	-0,159				
400	0,2	+0,472			± 3	
	0,6	+0,293				
	0,9	-0,451				
600	0,2	+0,789			± 3	
	0,6	+0,581				
	0,9	-0,162				
800	0,2	+1,059			± 3	
	0,6	+0,914				
	0,9	+0,170				

DIN EN 1991-1-2/NA:2010-12**Tabelle CC.11 — Referenz- und berechnete Größen für Spannungs-Dehnungs-Linien von Beton mit überwiegend quarzhaltiger Gesteinskörnung**

Tempe- ratur Θ °C	Belastung $\sigma_{c(\Theta)} / f_{ck(\Theta)}$	Referenz- größe Δl mm	berechnete Größe $\Delta l'$ mm	Abweichung $(\Delta l' - \Delta l) / \Delta l \cdot 100$ %	Grenzab- weichung %	Bemerkung
20	0,2	-0,033 4			± 3	
	0,6	-0,104				
	0,9	-0,176				
200	0,2	+0,107			± 3	
	0,6	-0,047 4				
	0,9	-0,207 5				
400	0,2	+0,356			± 3	
	0,6	+0,075				
	0,9	-0,216				
600	0,2	+0,685			± 3	
	0,6	-0,016 7				
	0,9	-0,744				
800	0,2	+1,066			± 3	
	0,6	+0,365				
	0,9	-0,363				

Programme, deren berechnete Werte von den Referenzgrößen um mehr als die in Tabelle CC.10 und Tabelle CC.11 vorgegebene Grenzabweichung abweichen, sind für die mechanische Analyse von Bauteilen auf Grundlage des Eurocodes als nicht geeignet anzusehen.

CC.4.6 Beispiel 6

Randbedingungen und Materialeigenschaften siehe Bild CC.5 und Tabelle CC.9.

Tabelle CC.12 — Referenz- und berechnete Größen für die Grenztragfähigkeit von Baustahl

Temperatur Θ °C	Referenzgröße $N_{R,fi,k}$	berechnete Größe $N_{R,fi,k}'$	Abweichung $(N_{R,fi,k}' - N_{R,fi,k})/N_{R,fi,k} \cdot 100$ % $(N_{R,fi,k}' - N_{R,fi,k})$ kN	Grenzabweichung	Bemerkung
20	-35,5			$\pm 3,0\%$ und $\pm 0,5\text{ kN}$	
200	-35,5				
400	-35,5				
600	-16,7				
800	-3,9				

Tabelle CC.13 — Referenz- und berechnete Größen für die Grenztragfähigkeit von Beton mit überwiegend quarzhaltiger Gesteinskörnung

Temperatur Θ °C	Referenzgröße $N_{R,fi,k}$	berechnete Größe $N_{R,fi,k}'$	Abweichung $(N_{R,fi,k}' - N_{R,fi,k})/N_{R,fi,k} \cdot 100$ % $(N_{R,fi,k}' - N_{R,fi,k})$ kN	Toleranz	Bemerkung
20	-20,0			$\pm 3,0\%$ und $\pm 0,5\text{ kN}$	
200	-19,0				
400	-15,0				
600	-9,0				
800	-3,0				

Programme, deren berechnete Werte von den Referenzgrößen um mehr als die in Tabelle CC.12 und Tabelle CC.13 vorgegebene Grenzabweichung (es gilt jeweils der kleinere Wert) abweichen, sind für die mechanische Analyse von Bauteilen auf Grundlage des Eurocodes als nicht geeignet anzusehen.

DIN EN 1991-1-2/NA:2010-12

CC.4.7 Beispiel 7

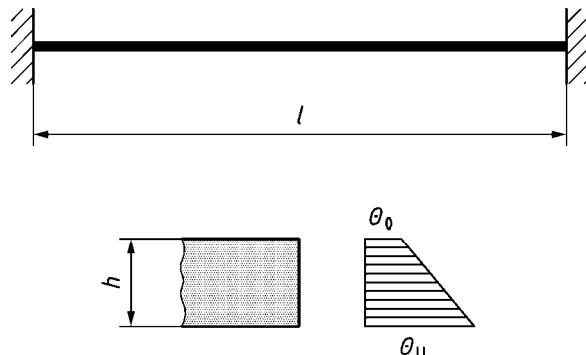


Bild CC.6 — System und Querschnitt

Tabelle CC.14 —Rand- und Anfangsbedingungen

Randbedingungen	Baustahl		
Abmessungen $l / h / b$	mm	1 000 / 100 / 100	
Spannungs-Dehnungs-Linien		DIN EN 1993-1-2	
Festigkeit $f_{yk}(20^\circ\text{C})$	N/mm ²	650 ^a	
Elastizitätsmodul $E_a(20^\circ\text{C})$	N/mm ²	210 000	
Thermische Dehnung		DIN EN 1993-1-2	
Anfangsbedingungen			
Bauteiltemperatur	Θ_0 °C	120	20
	Θ_u °C	120	220
Referenzgröße			
Zwangschnittgrößen N_{Zw}, M_{Zw}	kN, kNm		
Zwangsspannung σ_{Zw} am unteren Rand	N/mm ²		

^a Baustahl nach DIN EN 1993-1-1 mit der fiktiven Streckgrenze $f_{yk}(20^\circ\text{C}) = 650 \text{ N/mm}^2$ (kein hochfester Stahl) und den thermomechanischen Eigenschaften nach DIN EN 1993-1-2

Tabelle CC.15 — Referenz- und berechnete Größen für die Ausbildung von Zwanggrößen

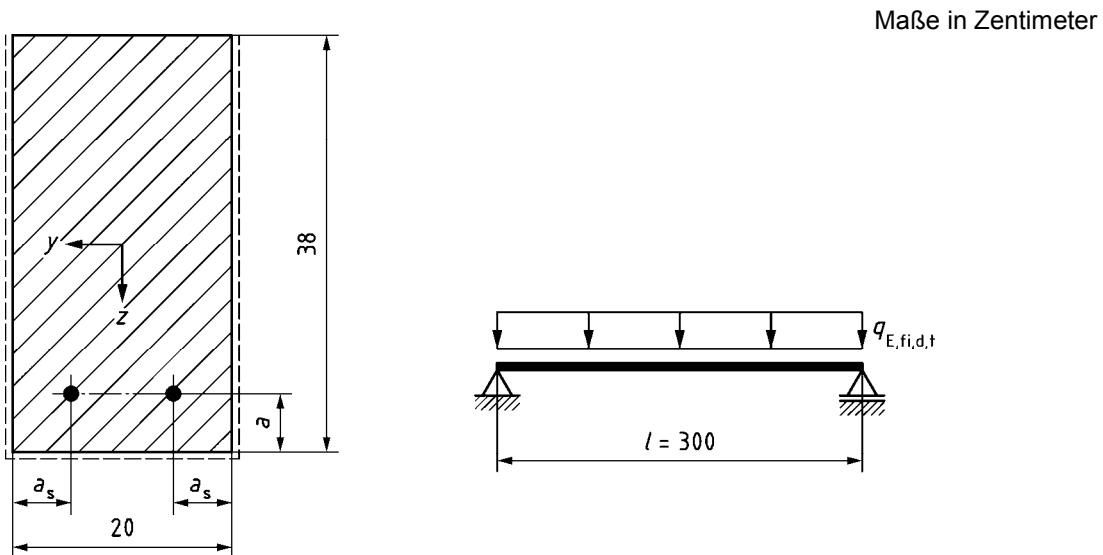
Temperaturlastfall		Referenzgröße X	berechnete Größe X'	Abweichung $(X' - X)/X \cdot 100\%$	Grenzabweichung %
120/120	N_{Zw} kN	-2 585			$N_{Zw}: \pm 1$ $M_{Zw}: \pm 1$ $\sigma_{Zw}: \pm 5$
	M_{Zw} kNm	0		-----	
	σ_{Zw} N/mm ²	-258,5			
20/220	N_{Zw} kN	-2 511			
	M_{Zw} kNm	-40,3			
	σ_{Zw} N/mm ²	-479			

Programme, deren berechnete Werte von den Referenzgrößen um mehr als die in Tabelle CC.15 vorgegebene Grenzabweichung abweichen, sind für die mechanische Analyse von Bauteilen auf Grundlage des Eurocodes als nicht geeignet anzusehen.

DIN EN 1991-1-2/NA:2010-12

CC.4.8 Beispiel 8 — schwach bewehrter Stahlbeton-Biegebalken

Ein schwach bewehrter Stahlbeton-Biegebalken mit dem Querschnitt $b/h = 20 \text{ cm}/38 \text{ cm}$ und der Stützweite $l = 3,0 \text{ m}$ (Bild CC.7), wird dreiseitig beflammt. Die Achsabstände der Bewehrung werden entsprechend Tabelle CC.16 für die Feuerwiderstandsklasse R 90 vorgegeben.



Legende

--- beflammte Seite

Bild CC.7 — Querschnitt und System des schwach bewehrten Stahlbeton-Biegebalkens

Tabelle CC.16 — Querschnittswerte, Materialeigenschaften und Randbedingungen

Stahlbeton-Biegebalken (schwach bewehrt)		R 90
Abmessungen	$l / b / h$ in cm	300 / 20 / 38
Achsabstände	a / a_s in cm	4,5 / 5,5
Belastung	$q_{E,\text{fi},\text{d},t}$ in kN/m	29
Beton C20/25 (3 % Feuchte (Massenanteile))	$f_{ck}(20^\circ\text{C})$ in N/mm ²	20
Betonstahl B500	$f_{yk}(20^\circ\text{C})$ in N/mm ²	500
Spannungs-Dehnungs-Linien	Beton ^a Betonstahl ^b	DIN EN 1992-1-2
Temperaturbeanspruchung	ETK (dreiseitig)	DIN EN 1991-1-2
Wärmeübergangskoeffizient	α_c in W/(m ² · K)	25
Emissivität	ε_m	0,70
Thermische und physikalische Materialwerte	Beton Betonstahl	DIN EN 1992-1-2 DIN EN 1994-1-2

^a Mit überwiegender quarzhaltiger Gesteinskörnung und der Rohdichte $\rho = 2\,400 \text{ kg/m}^3$
^b Klasse N, warmgewalzt

Tabelle CC.17 — Referenz- und berechnete Größe für den schwach bewehrten Stahlbetonbalken

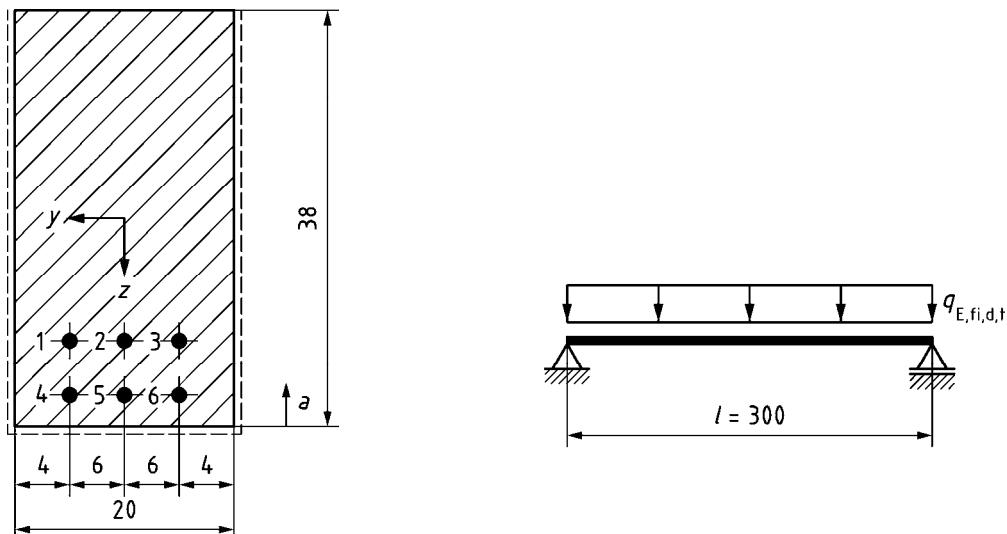
Feuerwiderstands Klasse	Referenz-größe A_s cm ²	berechnete Größe A'_s cm ²	Abweichung $(A'_s - A_s)/A_s \cdot 100$ %	Grenzab- weichung %	Bemerkung
90	3,56			± 10	
ANMERKUNG Die Temperatur in der Bewehrung nach $t = 90$ min Branddauer beträgt $\theta_s = 562$ °C.					

Programme, bei denen der berechnete Bewehrungsquerschnitt von dem Referenzwert der Tabelle CC.17 um mehr als die angegebene Grenzabweichung abweicht, sind für die brandschutztechnische Analyse von Stahlbeton-Biegebalken auf Grundlage des Eurocodes als nicht geeignet anzusehen.

CC.4.9 Beispiel 9 — stark bewehrter Stahlbeton-Biegebalken

Ein stark bewehrter Biegebalken mit dem Querschnitt $b/h = 20\text{ cm}/38\text{ cm}$ und der Stützweite $l = 3,0\text{ m}$ (Bild CC.8) wird dreiseitig beflammt. Die Achsabstände der Bewehrung werden entsprechend Tabelle CC.18 für die Feuerwiderstandsklasse R 90 vorgegeben.

Maße in Zentimeter



Legende

--- beflammte Seite

Bild CC.8 — Querschnitt und System des stark bewehrten Stahlbeton-Biegebalkens

DIN EN 1991-1-2/NA:2010-12**Tabelle CC.18 — Querschnittswerte, Materialeigenschaften und Randbedingungen**

Stahlbeton-Biegebalken (stark bewehrt)			R 90
Abmessungen		$l / b / h$ in cm	300 / 20 / 38
Achsabstände	$a_{1, 2, 3}$	in cm	7
	$a_{4, 5, 6}$	in cm	4
Belastung		$q_{E,fi,d,t}$ in kN/m	62,9
Beton C20/25 (3 % Feuchte (Massenanteile))		$f_{ck}(20^\circ\text{C})$ in N/mm ²	20
Betonstahl B500		$f_{yk}(20^\circ\text{C})$ in N/mm ²	500
Spannungs-Dehnungs-Linien	Beton ^a	DIN EN 1992-1-2	
	Betonstahl ^b		
Temperaturbeanspruchung		ETK (dreiseitig)	DIN EN 1991-1-2
Wärmeübergangskoeffizient		α_c in W/(m ² · K)	25
Emissivität		ε_m	0,70
Thermische und physikalische Materialwerte	Beton	$\lambda, \rho, c_p, \varepsilon_{th,c}$	DIN EN 1992-1-2
	Betonstahl	$\lambda_a, \rho, c_a, \varepsilon_{th,s}$	DIN EN 1994-1-2
^a Mit überwiegend quarzhaltiger Gesteinskörnung und der Rohdichte $\rho = 2\,400 \text{ kg/m}^3$			
^b Klasse N, warmgewalzt			

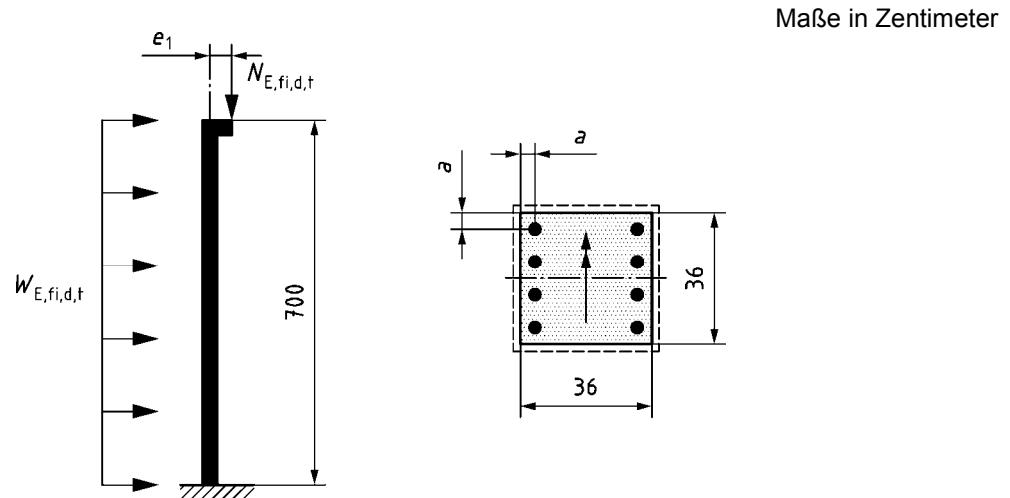
Tabelle CC.19 — Referenz- und berechnete Größe für den stark wehrten Stahlbetonbalken

Feuerwiderstandsklasse	Referenzgröße A_s cm ²	berechnete Größe A'_s cm ²	Abweichung $(A'_s - A_s)/A_s \cdot 100$ %	Grenzabweichung %	Bemerkung
90	9,76			± 10	
ANMERKUNG Die Temperatur in der Bewehrung nach $t = 90 \text{ min}$ Branddauer beträgt:					
<ul style="list-style-type: none"> — $\theta_{s,1} = \theta_{s,3} = 539 \text{ }^\circ\text{C};$ — $\theta_{s,2} = 372 \text{ }^\circ\text{C};$ — $\theta_{s,4} = \theta_{s,6} = 656 \text{ }^\circ\text{C};$ — $\theta_{s,5} = 525 \text{ }^\circ\text{C}.$ 					

Programme, bei denen der berechnete Bewehrungsquerschnitt von dem Referenzwert der Tabelle CC.19 um mehr als die angegebene Grenzabweichung abweicht, sind für die brandschutztechnische Analyse von Stahlbeton-Biegebalken auf Grundlage des Eurocodes als nicht geeignet anzusehen.

CC.4.10 Beispiel 10 — Stahlbeton-Kragstütze

Eine Stahlbeton-Kragstütze mit dem Querschnitt $b = h = 36 \text{ cm}$ und der Länge $l = 7,0 \text{ m}$ (Bild CC.9) wird vierseitig beflammt. Die Stütze aus Beton C20/25 ist mit vorh. $A_s = 18,85 \text{ cm}^2$ ($6 \varnothing 20 \text{ mm}$) B500 bewehrt und wird im Brand durch eine Längskraft mit der Lastausmitte $e_1 = 3,5 \text{ cm}$ und eine Streckenlast aus Wind belastet. (Tabelle CC.20).



Legende

--- beflammte Seite

Bild CC.9 — Querschnitt und System der Stahlbeton-Kragstütze

Tabelle CC.20 — Abmessungen, Belastung und Materialeigenschaften

Abmessungen	$l / b / h$	in cm	700 / 36 / 36
Knicklänge im Brand	$l_{0,fi}$	in m	14,0
Lastausmitte im Brand	e_1	in cm	3,5
Achsabstand	a	in mm	55
Belastung	$N_{E,fi,d,t}$	in kN	-79
	$w_{E,fi,d,t}$	in kN/m	1,74
Beton C20/25 (3 % Feuchte(Massenanteile))	$f_{ck}(20^\circ\text{C})$	in N/mm ²	20
Betonstahl B500	$f_{yk}(20^\circ\text{C})$	in N/mm ²	500
Spannungs-Dehnungs-Linien	Beton ^a		DIN EN 1992-1-2
	Betonstahl ^b		
Temperaturbeanspruchung	ETK (4-seitig)		DIN EN 1991-1-2
Wärmeübergangskoeffizient	α_c	in W/(m ² · K)	25
Emissivität	ε_m		0,70
Thermische und physikalische Materialwerte	Beton	$\lambda, \rho, c_p, \varepsilon_{th,c}$	DIN EN 1992-1-2
	Betonstahl	$\lambda, \rho, c_a, \varepsilon_{th,s}$	DIN EN 1994-1-2
^a Mit überwiegend quarzhaltiger Gesteinskörnung und der Rohdichte $\rho = 2\,400 \text{ kg/m}^3$			
^b Klasse N, warmgewalzt			

DIN EN 1991-1-2/NA:2010-12

ANMERKUNG In der Lastausmitte e_1 sind die Imperfektionen nach DIN EN 1992-1-1:2005-10, 5.2 enthalten.

Die Stahlbeton-Kragstütze wird in der Hauptbiegerichtung nachgewiesen.

Tabelle CC.21 — Referenz- und berechnete Größen für die Stahlbeton-Kragstütze

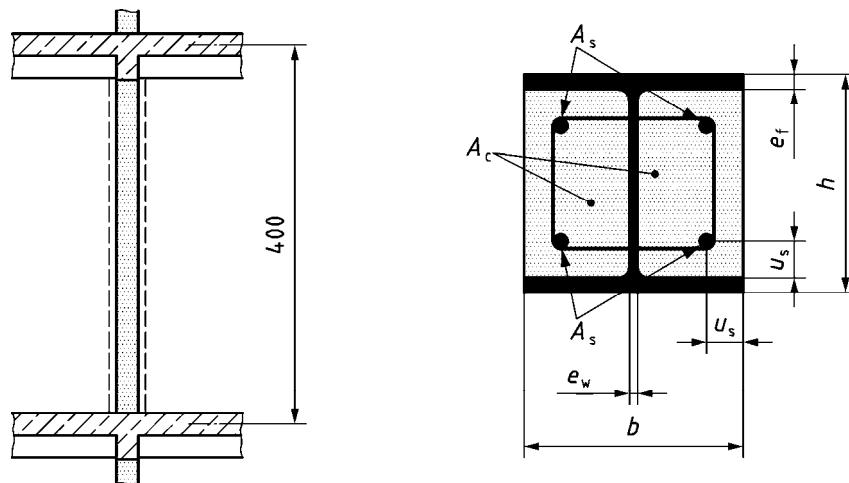
	Referenz-größe X	berechnete Größe X'	Abweichung (X' – X)/X · 100 %	Grenzabweichung %
Versagenszeit t_u in min	93			± 3
horiz. Verformung am Stützenkopf w_z in mm nach $t = 90$ min Branddauer	381			± 15
Moment am Stützenfuß $M_{E,fi,d}$ in kNm nach $t = 90$ min Branddauer	75,5			± 5
ANMERKUNG Die Temperatur in der Bewehrung nach $t = 90$ min Branddauer beträgt:				
— Eckeisen $\Theta_s = 502$ °C;				
— Mitteleisen $\Theta_s = 319$ °C.				

Programme, bei denen die berechneten Werte von den Referenzwerten der Tabelle CC.21 um mehr als die angegebene Grenzabweichung abweichen, sind für die brandschutztechnische Analyse von Stahlbeton-Stützen auf Grundlage des Eurocodes als nicht geeignet anzusehen.

CC.4.11 Beispiel 11 — Verbundstütze mit Kammerbeton

Eine kammerbetonierte Verbundstütze mit den Querschnittsabmessungen $b = h = 30 \text{ cm}$ und der Länge $l = 4,0 \text{ m}$ (Bild CC.10) wird vierseitig beflammt. Der Stützenquerschnitt besteht aus einem HE-B 300 Profil aus Baustahl S235, Kammerbeton C25/30 und Betonstahlbewehrung $4 \oslash 28$ aus B500. Beide Stützenenden werden im Brandfall rotationsbehindert. Die Verbundstütze wird im Brandfall durch eine zentrische Längskraft $N_{E,fi,d,t}$ belastet (Tabelle CC.22), die geometrische Imperfektion wird über eine spannungslose, parabelförmige Vorverformung mit dem Scheitelwert $l/1\,000$ erfasst.

Maße in Zentimeter



Legende

--- vierseitig beflammte Stütze

Bild CC.10 — Querschnitt und System der kammerbetonierten Verbundstütze

DIN EN 1991-1-2/NA:2010-12**Tabelle CC.22 — Abmessungen, Belastung und Materialeigenschaften**

Abmessungen	$l / b / h$	in cm	400 / 30 / 30
	u_s	in mm	50
	e_f	in mm	19
	e_w	in mm	11
Knicklänge im Brand	$l_{0,fi}$	in cm	200
Belastung	$N_{E,fi,d,t}$	in kN	-1 700
Beton C25/30 (3 % Feuchte (Massenanteile))	$f_{ck}(20^\circ\text{C})$	in N/mm ²	25
Betonstahl B500	$f_{yk}(20^\circ\text{C})$	in N/mm ²	500
Baustahl S 235	$f_{ak}(20^\circ\text{C})$	in N/mm ²	235
Spannungs-Dehnungs-Linien	Beton ^a	DIN EN 1994-1-2	
	Betonstahl ^b		
	Baustahl		
Temperaturbeanspruchung	ETK (vierseitig)	DIN EN 1991-1-2	
Wärmeübergangskoeffizient	α_c	in W/(m ² · K)	25
Emissionswert	ε_m		0,7
Thermische und physikalische Materialwerte	Beton	$\lambda, \rho, c_p, \varepsilon_{th,c}$	DIN EN 1994-1-2
	Stahl	$\lambda, \rho, c_a, \varepsilon_{th,s}, \varepsilon_{th,a}$	DIN EN 1994-1-2

^a mit überwiegend quarzhaltiger Gesteinskörnung und der Rohdichte $\rho = 2\,400 \text{ kg/m}^3$
^b warmgewalzt

Tabelle CC.23 — Referenz- und berechnete Größen für die kammerbetonierte Verbundstütze

	Referenzgröße X	berechnete Größe X'	Abweichung $(X' - X) / X \cdot 100 \%$	Grenzabweichung %
Versagenszeit t_u in min	92			
horiz. Gesamtverformung w_z in mm in Stützenmitte nach der Branddauer von $t =$	30 min 60 min	4,4 5,5		± 5
ANMERKUNG Die Temperatur nach $t = 90 \text{ min}$ Branddauer beträgt: — in der Bewehrung $\theta_s = 535^\circ\text{C}$; — im Schwerpunkt des Stahlprofils $\theta_s = 447^\circ\text{C}$.				

Programme, bei denen die berechneten Werte von den Referenzwerten der Tabelle CC.23 um mehr als die angegebene Grenzabweichung abweichen, sind für die brandschutztechnische Analyse von kammerbetonierten Verbundstützen auf Grundlage des Eurocodes als nicht geeignet anzusehen.

NCI Literaturhinweise

DIN 488-1, *Betonstahl — Teil 1: Stahlsorten, Eigenschaften, Kennzeichnung*

DIN 4102-3, *Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen — Teil 3: Brandwände und nichttragende Außenwände, Begriffe, Anforderungen und Prüfungen*

DIN 4102-4:1994-03, *Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen — Zusammenstellung und Anwendung klassifizierter Baustoffe, Bauteile und Sonderbauteile*

DIN EN 1992-1-1:2005-10, *Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken — Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau; Deutsche Fassung EN 1992-1-1:2004*

DIN EN 1992-1-2, *Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken — Teil 1-2: Allgemeine Regeln — Tragwerksbemessung für den Brandfall*

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

DIN EN 1993-1-2, *Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-2: Allgemeine Regeln — Tragwerksbemessung für den Brandfall*

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

DIN EN 1996-1-2, *Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten — Teil 1-2: Allgemeine Regeln — Tragwerksbemessung für den Brandfall*

DIN EN 1999-1-2, *Eurocode 9: Bemessung und Konstruktion von Aluminiumtragwerken — Teil 1-2: Tragwerksbemessung für den Brandfall*

Normen der Reihe DIN EN 10025, *Warmgewalzte Erzeugnisse aus Baustählen*

DIN EN ISO 1716, *Prüfungen zum Brandverhalten von Bauprodukten — Bestimmung der Verbrennungswärme*

- [1] ZEHFUSS, J.; HOSSER, D.: Vereinfachtes Naturbrandmodell für die brandschutztechnische Bemessung von Bauteilen und Tragwerken, In: Bauphysik 27 (2005) Heft 2, S. 79–86.
- [2] HOSSER, D.; DORN, T.; NEUMANN, P.; SIEGFRIED, W.: Vereinfachter Brandschutznachweis für außenliegende Stahlbauteile. In: Stahlbau 65 (1996), Heft 2, S.64–68.
- [3] HOSSER, D. (Hrsg.): Leitfaden Ingenieurmethoden des Brandschutzes. Technischer Bericht vfdb TB 04-01, 2. Auflage Mai 2009. Altenberge, Braunschweig: vfdb, 2009.
- [4] SCHNEIDER, U.: Ingenieurmethoden im Brandschutz, 2. Auflage. Werner-Verlag, 2009, Seite 269ff.
- [5] HOSSER, D.; WEILERT, A.; KLINZMANN, C.; SCHNETGÖKE, R.; ALBRECHT, C.: Erarbeitung eines Sicherheitskonzeptes für die brandschutztechnische Bemessung unter Anwendung von Ingenieurmethoden gemäß Eurocode 1 Teil 1–2“ (Sicherheitskonzept zur Brandschutzbemessung). Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben ZP 52–5–4.168–1239/07 im Auftrag des Deutschen Instituts für Bautechnik. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz, Technische Universität Braunschweig. Fraunhofer IRB Verlag, 2009, ISBN 978-3-8167-8145-5.

DIN EN 1991-1-2/NA:2010-12

- [6] *HOSSER, D., RICHTER, E., ZEHFUß, J.*: Erarbeitung von Nationalen Anwendungsrichtlinien für rechnerische Nachweise nach den Brandschutzteilen der Eurocodes 2 – 5. Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben RS III 4 – 67 41 – 97.120 im Auftrag des Bundesministeriums für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz, Technische Universität Braunschweig, Oktober 1999.