

**DIN EN 1991-1-2**

ICS 13.220.50; 91.010.30

siehe Berichtigung 1

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:2009Eurocode 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

Normenausschuss Bauwesen (NABau) im DIN

**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:

- a) Vornorm-Charakter wurde aufgehoben;
- b) 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:

- a) Vorgänger-Norm mit der Berichtigung 1 konsolidiert;
- b) 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/GENELEC-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

<b>Vorwort</b> .....	<b>4</b>
<b>Abschnitt 1 Allgemeines</b> .....	<b>9</b>
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
<b>Abschnitt 2 Verfahren zur Tragwerksbemessung im Brandfall</b> .....	<b>20</b>
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
<b>Abschnitt 3 Thermische Einwirkungen für die Temperaturberechnung</b> .....	<b>23</b>
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
<b>Abschnitt 4 Mechanische Einwirkungen für die Tragfähigkeitsberechnung</b> .....	<b>27</b>
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
<b>Anhang A (informativ) Parametrische Temperaturzeitkurven</b> .....	<b>30</b>

<b>Anhang B (informativ) Thermische Einwirkungen auf außenliegende Bauteile – vereinfachtes Berechnungsverfahren .....</b>	<b>33</b>
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
<b>Anhang C (informativ) Lokale Brände .....</b>	<b>42</b>
<b>Anhang D (informativ) Erweiterte Brandmodelle .....</b>	<b>45</b>
D.1 Ein-Zonen-Modelle.....	45
D.2 Zwei-Zonen-Modelle .....	46
D.3 Rechnergestütztes Fluid-Dynamik-Modell (CFD) .....	47
<b>Anhang E (informativ) Brandlastdichten .....</b>	<b>48</b>
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 Energiefreisetzungsrate $Q$ .....	54
<b>Anhang F (informativ) Äquivalente Branddauer .....</b>	<b>56</b>
<b>Anhang G (informativ) Konfigurationsfaktor.....</b>	<b>58</b>
G.1 Allgemeines .....	58
G.2 Abschattungseffekte .....	59
G.3 Außenliegende Bauteile.....	59
<b>Literaturhinweise .....</b>	<b>63</b>

**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 Vereinbarung<sup>1)</sup> 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 Grundlagendokumenten<sup>2)</sup>, auf die in Artikel 12 der Bauprodukten-Richtlinie hingewiesen wird, wenn sie auch anderer Art sind als die harmonisierten Produktnormen<sup>3)</sup>. 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 Tragwerksplanung<sup>4)</sup> 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“<sup>5)</sup> 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 Wohnbarkeit von Gebäude- oder Brandabschnitten,
- die Verwendung von zugelassenen Dämm- und Beschichtungsstoffen einschließlich ihrer Instandhaltung

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

Zahlenwerte für Teilfaktoren und andere Elemente zuverlässigkeitsabhängiger Größen werden als empfohlene Werte angegeben, die ein annehmbares Niveau der Zuverlässigkeit ergeben. Sie wurden unter der Annahme ausgewählt, dass eine qualifizierte Ausführung vorliegt zusammen mit einem annehmbaren Qualitätsmanagement.

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

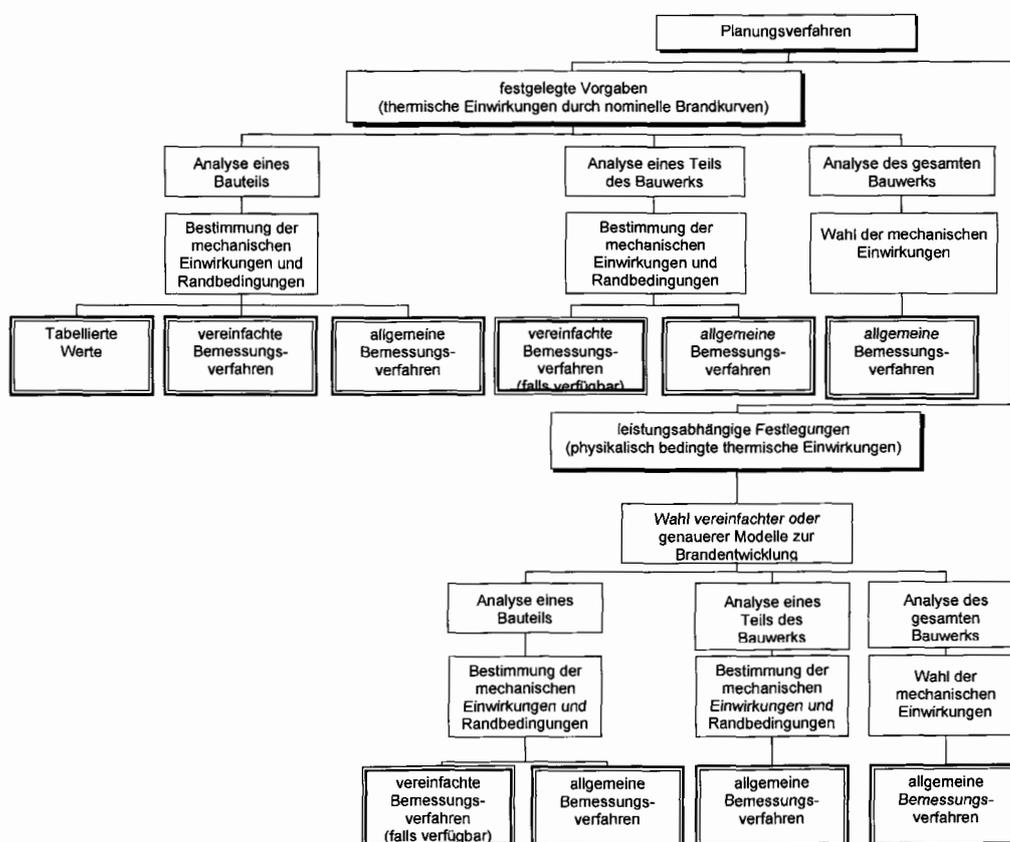
**DIN EN 1991-1-2:2010-12**  
**EN 1991-1-2:2002 + AC:2009 (D)**

*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 Tragwerkteiles 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 Brandeinwirkungen 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]**

nomielle 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**

**Wärmefreisetzungsrate [rate of heat release]**

Wärme, die von einem brennbaren Erzeugnis zeitabhängig abgegeben wird

**1.5.3.15**

**Einheits-Temperaturzeitkurve [standard temperature-time curve]**

nomielle 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 Bauteiloberflächen in Abhängigkeit von der Zeit. Das können sein

- **nomielle 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 einer 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 Teil 1-2 gelten die folgenden Symbole.

**Lateinische Großbuchstaben**

A	Fläche des Brandabschnittes
$A_{ind,d}$	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
$Q$	Wärmefreisetzungsrate des Brandes
$Q_c$	konvektiver Anteil der Wärmefreisetzungsrate 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 Wärmefreisetzungsrate
$Q_{in}$	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 [J/kgK])
$R_d$	Bemessungswert der Tragfähigkeit eines Bauteils unter normalen Temperaturen
$R_{fi,d,t}$	Bemessungswert der Tragfähigkeit eines Bauteils im Brandfall zum Zeitpunkt $t$
$RHR_f$	maximale Wärmefreisetzungsrate bezogen auf 1 m <sup>2</sup>
$T$	die Temperatur [K]
$T_{amb}$	die Umgebungstemperatur [K]
$T_0$	die Anfangstemperatur (= 293 [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 ( $W_1$ <small>AC</small> gestrichener Text <small>AC</small> )
$W_1$	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 Bauteiloberfläche $i$

**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 $\left( h_{eq} = \left( \sum_i (A_{v,i} h_i) \right) / A_v \right)$
$h_i$	Höhe von Fenster $i$
$\dot{h}$	Wärmestrom in 1 m <sup>2</sup> Oberfläche
$\dot{h}_{net}$	Netto-Wärmestrom in 1 m <sup>2</sup> Oberfläche
$\dot{h}_{net,c}$	Netto-Wärmestrom durch Konvektion in 1 m <sup>2</sup> Oberfläche
$\dot{h}_{net,r}$	Netto-Wärmestrom durch Strahlung in 1 m <sup>2</sup> Oberfläche
$\dot{h}_{tot}$	gesamter Wärmestrom in 1 m <sup>2</sup> Oberfläche
$\dot{h}_i$	Wärmestrom in 1 m <sup>2</sup> 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
$\dot{m}_f$	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)
$t_{fi,requ}$	erforderliche Feuerwiderstandsdauer
$t_{lim}$	Zeitpunkt der maximalen Gastemperatur im Falle eines gesteuerten Brandes
$t_{max}$	Zeitpunkt der maximalen Gastemperatur
$t_{\alpha}$	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

$\Phi$	Konfigurationsfaktor
$\Phi_f$	Gesamtkonfigurationsfaktor eines Bauteils für den Wärmestrahlungsaustausch mit einer Öffnung
$\Phi_{f,i}$	Konfigurationsfaktor einer Bauteiloberfläche $i$ für eine vorgegebene Öffnung
$\Phi_z$	Gesamtkonfigurationsfaktor einer Bauteiloberfläche für den Wärmestrahlungsaustausch mit einer Flamme
$\Phi_{z,i}$	Konfigurationsfaktor einer Bauteiloberfläche $i$ für eine vorgegebene Flamme
$\Gamma$	Zeitfaktor, abhängig vom Öffnungsfaktor $O$ und dem Wärmespeichervermögen $b$
$\Gamma_{lim}$	Zeitfaktor, abhängig vom Öffnungsfaktor $O_{lim}$ und dem Wärmespeichervermögen $b$
$\theta$	Temperatur [°C]; $\theta [°C] = T [K] - 273$
$\theta_{cr,d}$	Bemessungswert der kritischen Temperatur [°C]
$\theta_d$	Bemessungswert der Materialtemperatur [°C]
$\theta_g$	Gastemperatur im Brandabschnitt oder in der Nähe des Bauteils [°C]
$\theta_m$	Temperatur der Bauteiloberfläche [°C]

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

$\Theta_{\max}$	maximale Temperatur [°C]
$\Theta_e$	effektive Strahlungstemperatur des Brandes [°C]
$\Omega$	$(A_f \cdot q_{f,d}) / (A_v \cdot A_t)^{1/2}$
$\Psi_i$	geschützter Brandlastfaktor

**Griechische Kleinbuchstaben**

$\alpha_c$	Wärmeübergangskoeffizient für Konvektion
$\alpha_h$	Verhältnis der Fläche der horizontalen Öffnungen zur Bodenfläche
$\alpha_v$	Verhältnis der Fläche der vertikalen Öffnungen zur Bodenfläche
$\delta_{hi}$	Faktor zur Berücksichtigung einer bestimmten Brandbekämpfungsmaßnahme i
$\delta_{q1}$	Faktor zur Berücksichtigung der Brandentstehungsgefahr durch die Größe des Brandabschnittes
$\delta_{q2}$	Faktor zur Berücksichtigung der Brandentstehungsgefahr durch die Art der Nutzung
$\varepsilon_m$	Emissivität der Oberfläche eines Bauteils
$\varepsilon_f$	Emissivität der Flamme
$\eta_{fi}$	Abminderungsfaktor
$\eta_{fi,t}$	Lastniveau für die Brandschutzbemessung
$\lambda$	Wärmeleitfähigkeit
$\rho$	Dichte
$\rho_g$	innere Gasdichte
$\sigma$	Stephan-Boltzmann-Konstante ( $= 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ [W/m}^2\text{K}^4\text{]}$ )
$\tau_F$	Dauer des unregelmäßigen Brandes (mit 1 200 [s] angenommen)
$\psi_0$	Kombinationsfaktor für den charakteristischen Wert einer veränderlichen Einwirkung
$\psi_1$	Kombinationsfaktor für den häufigen Wert einer veränderlichen Einwirkung
$\psi_2$	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 Brandeinwirkungen 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:

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

oder im Festigkeitsbereich:

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

oder im Temperaturbereich:

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

erfolgen.

Dabei ist

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

$t_{fi,requ}$  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  $t$ ;

$\theta_d$  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  $\dot{h}_{net}$  [ $W/m^2$ ] 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:

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

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:

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

Dabei ist

$\alpha_c$  der Wärmeübergangskoeffizient für Konvektion [ $W/m^2K$ ];

$\theta_g$  die Gastemperatur in der Umgebung des beanspruchten Bauteils [ $^{\circ}C$ ];

$\theta_m$  die Oberflächentemperatur des Bauteils [ $^{\circ}C$ ].

(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  $\alpha_c = 4$  [ $W/m^2K$ ] bestimmt werden. Für den Wärmeübergangskoeffizient für Konvektion sollten  $\alpha_c = 9$  [ $W/m^2K$ ] angesetzt werden, wenn angenommen wird, dass er die Wärmeübertragung durch Strahlung mit abdeckt.

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

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

Dabei ist

$\Phi$  der Konfigurationsfaktor;

$\varepsilon_m$  die Emissivität der Bauteiloberfläche;

$\varepsilon_f$  die Emissivität des Feuers;

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

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

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

$\vartheta_m$  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  $\phi$  wird in Anhang G gegeben.

(8) Wenn das Bauteil vollständig von Flammen eingeschlossen ist, darf die Strahlungstemperatur  $\vartheta_f$  durch die Gastemperatur der Bauteilumgebung  $\vartheta_g$  ausgedrückt werden.

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

(10) Als Gastemperatur  $\vartheta_g$  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:

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

Dabei ist

$\vartheta_g$  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:

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

Dabei ist

**24**

$\vartheta_g$  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:

$$\vartheta_g = 1\,080 (1 - 0,325 e^{-0,167 t} - 0,675 e^{-2,5 t}) + 20 \quad [^\circ\text{C}] \quad (3.6)$$

Dabei ist

$\vartheta_g$  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 Wärmefreisetzungsrate.

(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 Temperaturentwicklung 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  $A_{ind,q}$  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-Temperturbedingungen 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)P Um die maßgebenden Beanspruchungen  $E_{\bar{n},d,t}$  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  $\psi_{2,1} Q_1$  oder alternativ die häufige Größe  $\psi_{1,1} Q_1$  verwendet werden.

ANMERKUNG Ob die quasi ständige Größe  $\psi_{2,1} Q_1$  oder die häufige Größe  $\psi_{1,1} Q_1$  zu verwenden ist, darf in dem Nationalen Anhang festgelegt werden. Die Verwendung von  $\psi_{2,1} Q_1$  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  $E_{\bar{n},d}$  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:

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

Dabei ist

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

$E_{\bar{n},d}$  die entsprechende konstante Bemessungsgröße für den Brandfall;

$\eta_{\bar{n}}$  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.

## Anhang A (informativ)

### Parametrische Temperaturzeitkurven

(1) Die folgenden Temperaturzeitkurven gelten für Brandabschnitte ohne Öffnungen im Dach mit einer Grundfläche von bis zu 500 m<sup>2</sup> 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 zellulösen Brandlasten beschränkt werden.

(3) Die Erwärmungsphase der Temperaturzeitkurven wird gegeben durch:

$$\theta_g = 20 + 1\,325 \left( 1 - 0,324 e^{-0,2t^*} - 0,204 e^{-1,7t^*} - 0,472 e^{-19t^*} \right) \quad (\text{A.1})$$

Dabei ist

$\theta_g$	die Temperatur im Brandabschnitt	[°C]	
$t^*$	$= t \cdot \Gamma$	[h]	(A.2a)

mit

$t$	Zeit	[h]	
$\Gamma$	$= [O/b]^2 / (0,04/1\,160)^2$	[-]	
$b$	$= \sqrt{(\rho c \lambda)}$		
	in den folgenden Grenzen: $100 \leq b \leq 2\,200$	[J/m <sup>2</sup> s <sup>1/2</sup> K]	
$\rho$	Dichte der Raumhülle	[kg/m <sup>3</sup> ]	
$c$	spezifische Wärmekapazität der Raumhülle	[J/kgK]	
$\lambda$	Wärmeleitfähigkeit der Raumhülle	[W/mK]	
$O$	Öffnungsfaktor: $A_v \sqrt{h_{\text{eq}}} / A_t$	[m <sup>1/2</sup> ]	
	in den folgenden Grenzen: $0,02 \leq O \leq 0,20$		
$A_v$	Gesamtfläche der vertikalen Öffnungen in allen Wänden	[m <sup>2</sup> ]	
$h_{\text{eq}}$	gewichtetes Mittel der Fensterhöhen in allen Wänden	[m]	
$A_t$	Gesamtfläche der Raumhülle (Wände, Decke und Boden, einschließlich der Öffnungen)	[m <sup>2</sup> ]	

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

(4) Zur Berechnung des  $b$ -Faktors dürfen die Dichte  $\rho$ , die spezifische Wärmekapazität  $c$  und die Wärmeleitfähigkeit  $\lambda$  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 Grenzsichtdicke des brandbeanspruchten Baustoffs  $s_{lim}$  berechnet mit:

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

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

- Falls  $s_1 < s_{lim}$  dann gilt  $b = \frac{s_1}{s_{lim}} b_1 + \left(1 - \frac{s_1}{s_{lim}}\right) b_2$  (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  $i$

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

$\rho_i$  die Dichte der Schicht  $i$

$c_i$  die spezifische Wärmekapazität der Schicht  $i$

$\lambda_i$  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:

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

Dabei ist

$A_j$  die Fläche der Hülleneroberfläche  $j$  ohne Berücksichtigung von Öffnungen;

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

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

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

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

**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/m<sup>2</sup>]. Die folgenden Grenzen sollten beachtet werden:  $50 \leq q_{t,d} \leq 1\,000$  [MJ/m<sup>2</sup>];

$q_{f,d}$  der Bemessungswert für die Brandlastdichte bezogen auf die Grundfläche  $A_f$  [MJ/m<sup>2</sup>] 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:

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

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

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

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

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

(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:

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

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

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

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

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

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

## 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/m<sup>2</sup> 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**

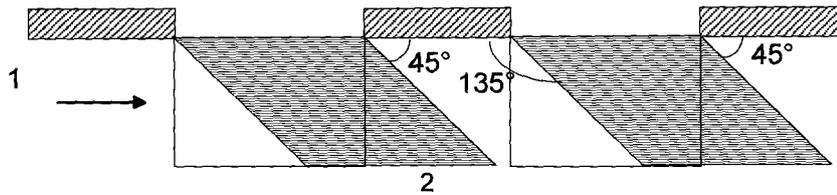
#### **B.3.1 Art der Belüftung**

(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 Wärmefreisetzungsrate ist gegeben durch:

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

(2) Die Temperatur des Brandabschnitts ist gegeben durch:

$$T_f = 6000 (1 - e^{-0,1/\Omega}) \Omega^{1/2} (1 - e^{-0,00286\Omega}) + T_0 \quad (\text{B.5})$$

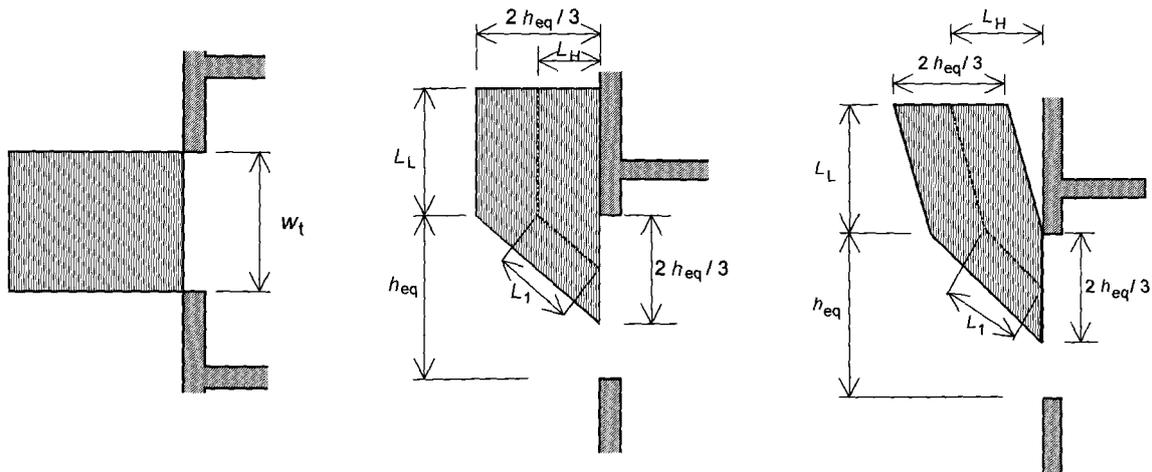
(3) Die Höhe der Flamme (siehe Bild B.2) ist gegeben durch:

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

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 Flammentiefe 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:

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

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

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

– keine Wand oberhalb des Fensters:

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

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

falls  $L_L > 0$ :

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

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

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

(8) Die Flammentemperatur am Fenster ist:

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

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

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

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

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

mit

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

$L_x$  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:

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

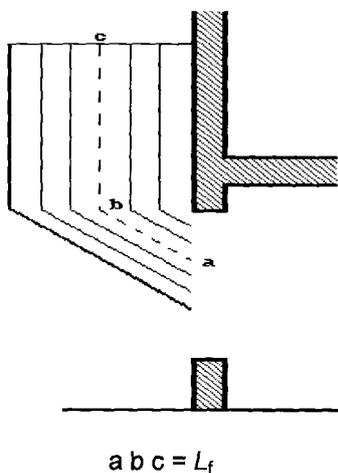
Dabei ist  $d_f$  die Dicke der Flamme [m].

(12) Der Wärmeübergangskoeffizient für Konvektion beträgt:

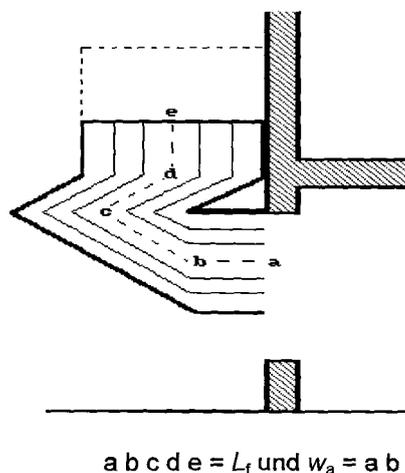
$$\alpha_c = 4,67 (1/d_{\text{eq}})^{0,4} (Q/A_v)^{0,6} \quad (\text{B.17})$$

(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  $h_{\text{eq}} \leq 1,25 w_f$  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



Vertikalschnitt

Bild B.3 — Ablenkung der Flammen durch Markisen

**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 Wärmefreisetzungsrate ist gegeben durch:

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

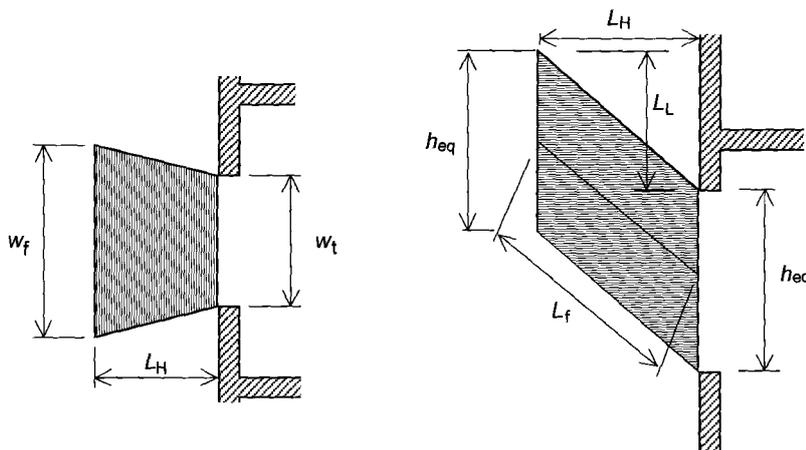
(2) Die Temperatur des Brandabschnitts ist gegeben durch:

$$T_f = 1\,200 (1 - e^{-0,00228 \cdot Q}) + T_0 \quad (\text{AC}) \quad (\text{B.19})$$

(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  $L_L \approx 0,628 \cdot Q / A_v^{1/2} - h_{eq}$ .



**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:

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

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

(5) Die Flammenbreite beträgt:

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

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

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

(7) Die Flammentemperatur am Fenster ist:

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

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:

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

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:

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

Dabei ist  $d_f$  die Dicke der Flamme [m].

(11) Der Wärmeübergangskoeffizient für Konvektion beträgt:

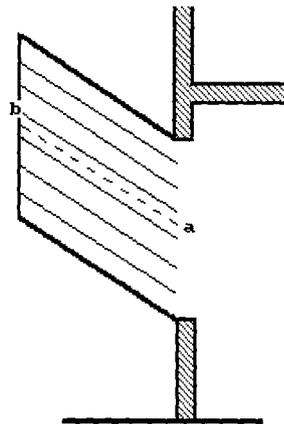
$$\alpha_c = 9,8 (1 / d_{eq})^{0,4} (Q / (17,5 A_v) + u / 1,6)^{0,6} \quad (\text{B.27})$$

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

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

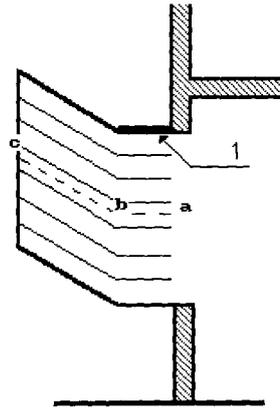
(12) Unter dem Einfluss von Balkonen oder Markisen wie in Bild B.5 bleibt der Flammenaustritt nach der horizontalen Ablenkung der gleiche wie oben beschrieben. Die Flamme wird also um die Balkon- oder Markisentiefe nach außen verschoben, wobei die Flammenlänge  $L_f$  unverändert bleibt.

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



$$a b = L_f$$

Vertikalschnitt



$$a b c = L_f$$

Vertikalschnitt

**Legende**

1 Markise

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

**B.5 Gesamtkonfigurationsfaktor**

(1) Der Gesamtkonfigurationsfaktor  $\Phi_f$  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  $\Phi_z$  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.

## 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):

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

(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  $\vartheta_{(z)}$  entlang der vertikalen Symmetrieachse der Flamme berechnet mit:

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

Dabei ist

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

$Q$  die Wärmefreisetzungsrate [W] des Brandes nach E.4 in Anhang E;

$Q_c$  der konvektive Anteil der Wärmefreisetzungsrate [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.

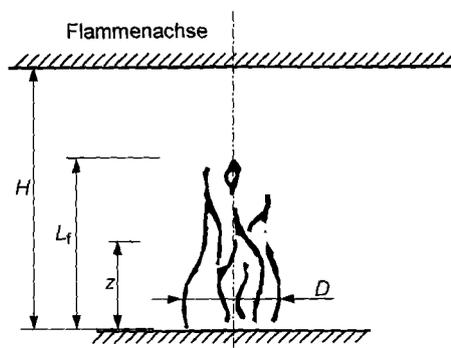


Bild C.1

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

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

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

$$\begin{aligned} \dot{h} &= 100\,000 && \text{wenn } y \leq 0,30 \\ \dot{h} &= 136\,300 - 121\,000 y && \text{wenn } 0,30 < y < 1,0 \\ \dot{h} &= 15\,000 y^{-3,7} && \text{wenn } y \geq 1,0 \end{aligned} \quad (\text{C.4})$$

Dabei ist

$y$  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.

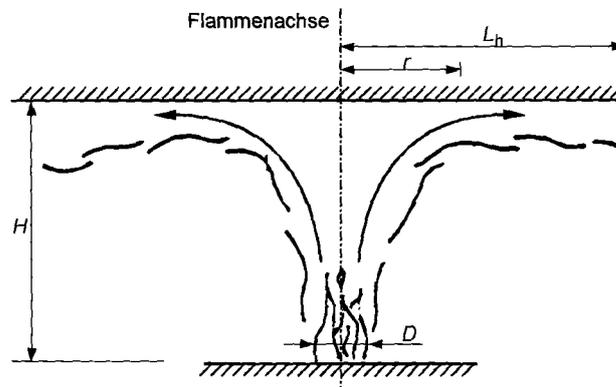


Bild C.2

(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 Wärmefreisetzungsrate 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  $\dot{h}_{\text{net}}$  in der brandbeanspruchten Fläche in Höhe der Decke beträgt:

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

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  $D \leq 10 \text{ m}$ ,
- die Wärmefreisetzungsrate des Brandes ist begrenzt auf  $Q \leq 50 \text{ MW}$ .

(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 (Pyrolyserate);
- 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;

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

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

$\dot{m}_{\text{fi}}$  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:

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

Dabei ist

$E_g$  die innere Gasenergie [J];

$Q$  die Wärmefreisetzungsrate des Brandes [W];

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

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

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

$Q_{rad} = A_{h,v} \sigma T_f^4$ , 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, äußeres 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 gleichmäßig verteilter Brandlast kann sich ein Zwei-Zonen-Modell zu einem Ein-Zonen-Modell entwickeln, wenn einer der beiden nachstehenden Fällen eintritt:

- die Gastemperatur in der oberen Schicht wird größer als 500 °C,
- die Dicke der oberen Schicht wächst zu einer Dicke von mehr als 80 % der Brandabschnittshöhe.

### **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).

## 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);

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

$\delta_{q2}$  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  $\delta_{q1}$ ,  $\delta_{q2}$ 

Grundfläche des Brandabschnittes $A_f$ [m <sup>2</sup> ]	Brandentstehungs- gefahr $\delta_{q1}$	Brandentstehungs- gefahr $\delta_{q2}$	Beispiele für verschiedene Nutzungen
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  $\delta_{ni}$ 

$\delta_n$ - Abhängigkeit für die Brandbekämpfung											
Automatische Brandbekämpfung		Automatische Branderkennung			Manuelle Brandbekämpfung						
Automa- tisches Wasser Lösch- system	Unabhängige Wasser- versorgung			Automatische Branderkennung und Alarm	Automa- tische Alarmüber- mittlung zur Feuerwehr	Werks- feuer- wehr	Externe Feuerwehr	Sichere Zugangs- wege	Geräte zur Brand- bekämpfung	Rauch- abzug	
	0	1	2								durch Wärme
$\delta_{n1}$	$\delta_{n2}$			$\delta_{n3}$	$\delta_{n4}$	$\delta_{n5}$	$\delta_{n6}$	$\delta_{n7}$	$\delta_{n8}$	$\delta_{n9}$	$\delta_{n10}$
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 Treppenträumen, sollten die Werte  $\delta_{ni}$  aus Tabelle E.2 mit 1,0 angenommen werden. Wurde diese normale Brandschutzmaßnahme nicht vorgesehen, dann sollte der entsprechende Wert für  $\delta_{ni}$  mit 1,5 berücksichtigt werden.

(5) Falls Treppenträume im Alarmfall unter Überdruck gesetzt werden, dann darf der Faktor  $\delta_{n8}$  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 charakteristische Brandlast ist definiert durch:

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

Dabei ist

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

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

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

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

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

Dabei ist

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

(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  $\psi_f = 1,0$  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  $\psi_f = 0,0$  berücksichtigt werden.

In allen anderen Fällen ist der Wert von  $\psi_f$  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**

<b>Feststoffe</b>	
Holz	17,5
Andere Zellstoffe	20
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kleidung</li> <li>• Kork</li> <li>• Baumwolle</li> <li>• Papier, Pappe</li> <li>• Seide</li> <li>• Stroh</li> <li>• Wolle</li> </ul>	
Kohlenstoffe	30
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hartkohle, Anthrazit</li> <li>• Holzkohle</li> <li>• Kohle</li> </ul>	
<b>Chemische Stoffe</b>	
Paraffine	50
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Methan</li> <li>• Ethan</li> <li>• Propan</li> <li>• Butan</li> </ul>	
Olefine	45
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ethylen</li> <li>• Propylen</li> <li>• Buten</li> </ul>	
Aromen	40
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Benzol</li> <li>• Toluol</li> </ul>	
Alkohole	30
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Methanol</li> <li>• Ethanol</li> <li>• Ethylalkohol</li> </ul>	
Treibstoffe	45
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Benzin, Kerosin</li> <li>• Diesel</li> </ul>	
Reine Kohlenwasserstoff-Kunststoffe	40
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Polyethylen</li> <li>• Polystyren</li> <li>• Polypropylen</li> </ul>	
<b>Andere Produkte</b>	
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/m<sup>2</sup>] aus Tabelle E.4 sollten verwendet werden.

**Tabelle E.4 — Brandlastdichten  $q_{f,k}$  [MJ/m<sup>2</sup>] 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  $\delta_{Q2}$  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 Brandlasterhebung 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];

$t_\alpha$  die Zeit, die erforderlich ist, bis eine Wärmefreisetzungsrates von 1 MW erreicht wird.

(2) Der Parameter  $t_\alpha$  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	$t_\alpha$ [s]	$RHR_f$ [kW/m <sup>2</sup> ]
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  $\delta_{q2}$  gleich 1,0 ist (siehe Tabelle E.1).

(4) Bei einer extrem schnellen Brandausbreitung entspricht  $t_\alpha$  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 [m<sup>2</sup>], 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 m<sup>2</sup> bei einem brandlastgesteuerten Brand erreicht wird [kW/m<sup>2</sup>] (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 [ $\text{m}^2$ ];

$h_{\text{eq}}$  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 Wärmefreisetzungsrate reduziert wurde, muss die Kurve für die Wärmefreisetzungsrate 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.

## 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 zellulösen Brandlasten beschränkt werden.

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

$$t_{e,d} = (q_{f,d} \cdot k_b \cdot w_f) k_c \quad \text{oder}$$

$$t_{e,d} = (q_{t,d} \cdot k_b \cdot w_t) k_c \quad [\text{min}] \quad (\text{F.1})$$

Dabei ist

$q_{f,d}$  die Bemessungsbrandlast nach Anhang E, wobei  $q_{t,d} = q_{f,d} \cdot A_f / A_i$ ;

$k_b$  der Umrechnungsfaktor nach (4);

$w_f$  der Ventilationsfaktor nach (5), wobei  $w_t = w_f \cdot A_f / A_i$ ;

$k_c$  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 thermische Eigenschaft 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 <sup>2</sup> s <sup>1/2</sup> K]	$k_b$ [min · m <sup>2</sup> /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:

$$w_f = 0^{-1/2} \cdot A_f / A_t \quad (\text{F.4})$$

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.

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

## Anhang G (informativ)

### Konfigurationsfaktor

#### G.1 Allgemeines

(1) Der Konfigurationsfaktor  $\phi$  wird in 1.5.4.1 definiert. Seine mathematische Formulierung lautet:

$$dF_{d_1-d_2} = \frac{\cos \theta_1 \cos \theta_2}{\pi S_{1-2}^2} dA_2 \quad (\text{G.1})$$

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).

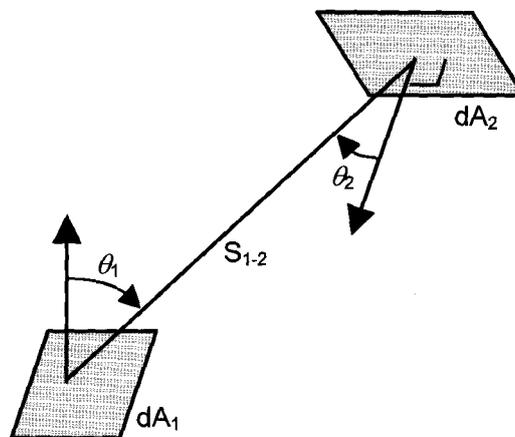


Bild G.1 — Strahlungsaustausch zwischen zwei infinitesimalen Oberflächen

(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  $2\pi$ .“

(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  $\phi$  enthält Tabelle G.1.

Tabelle G.1 — Grenzen des Konfigurationsfaktors  $\phi$ 

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

## 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.

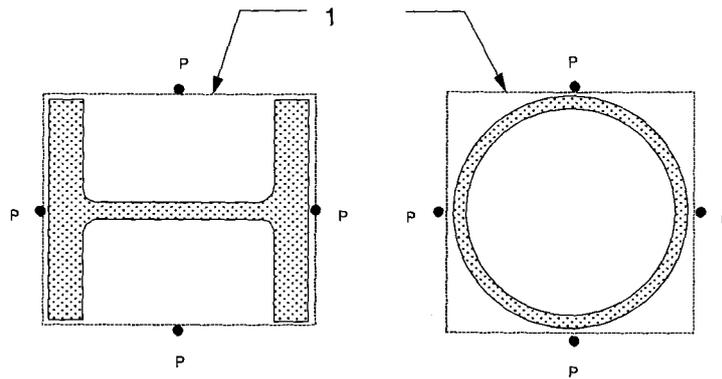
(2) Wenn der Konfigurationsfaktor für einen konkreten Fall berechnet wird, sollte zunächst, wie in Bild G.2 dargestellt, eine rechteckige Einhüllende um den Querschnitt des empfangenden Bauteils gelegt werden, die die Wärmestrahlen aufnimmt. (So wird der Abschattungseffekt in annähernder Weise berücksichtigt.) Die Größe von  $\phi$  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 Einhüllende

**Bild G.2 — Einhüllende empfangender Oberflächen**

a) empfangende Oberfläche ist parallel zur strahlenden Oberfläche:

$$\Phi = \frac{l}{2\pi} \left[ \frac{a}{(1+a^2)^{0,5}} \tan^{-1} \left( \frac{b}{(1+a^2)^{0,5}} \right) + \frac{b}{(1+b^2)^{0,5}} \tan^{-1} \left( \frac{a}{(1+b^2)^{0,5}} \right) \right] \quad (\text{G.2})$$

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;

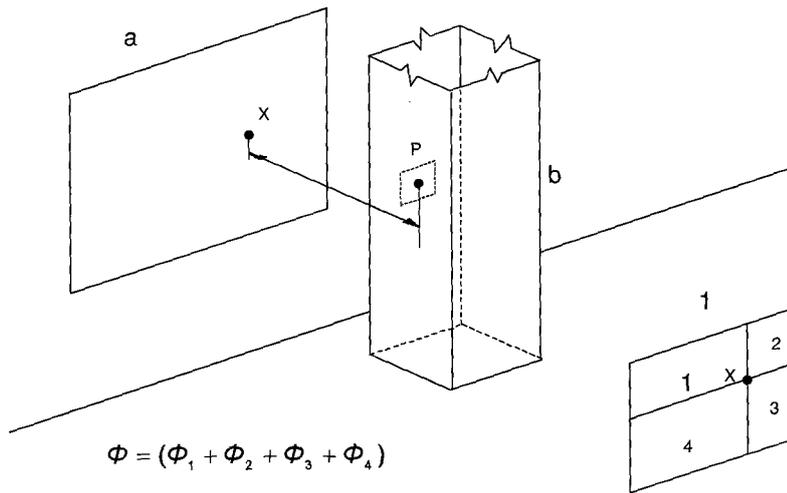
$w$  die Breite dieser Teilfläche.

b) die empfangende Oberfläche steht rechtwinklig zur strahlenden Oberfläche:

$$\Phi = \frac{l}{2\pi} \left[ \tan^{-1}(a) - \frac{l}{(1+b^2)^{0,5}} \tan^{-1} \left( \frac{a}{(1+b^2)^{0,5}} \right) \right] \quad (\text{G.3})$$

c) empfangende Oberfläche steht in einem Winkel  $\theta$  zur strahlenden Oberfläche:

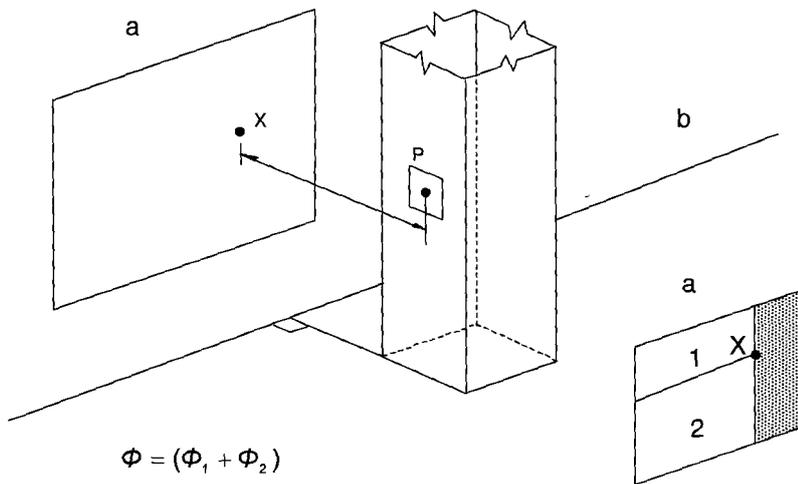
$$\Phi = \frac{l}{2\pi} \left[ \tan^{-1}(a) - \frac{(1-b \cos \theta)}{(1+b^2-2b \cos \theta)^{0,5}} \tan^{-1} \left( \frac{a}{(1+b^2-2b \cos \theta)^{0,5}} \right) + \frac{a \cos \theta}{(a^2 + \sin^2 \theta)^{0,5}} \left[ \tan^{-1} \left( \frac{(b - \cos \theta)}{(a^2 + \sin^2 \theta)^{0,5}} \right) + \tan^{-1} \left( \frac{\cos \theta}{(a^2 + \sin^2 \theta)^{0,5}} \right) \right] \right] \quad (\text{G.4})$$



**Legende**

- a strahlende Oberfläche
- b empfangende Oberfläche

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

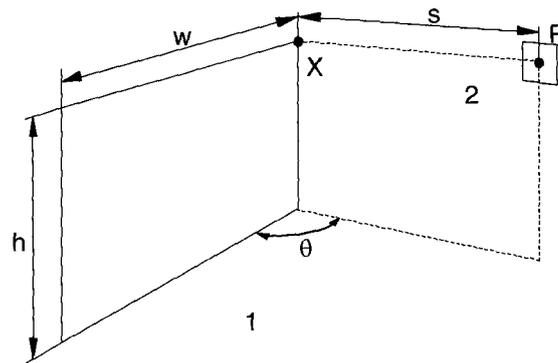


**Legende**

- 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  $\theta$  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.*

