

DIN EN 1991-1-2



ICS 13.220.50; 91.010.30

Einsprüche bis 2021-10-27
Vorgesehen als Ersatz für
DIN EN 1991-1-2:2010-12

Entwurf

**Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke –
Teil 1-2: Allgemeine Einwirkungen –
Brandeinwirkungen auf Tragwerke;
Deutsche und Englische Fassung prEN 1991-1-2:2021**

Eurocode 1: Actions on structures –
Part 1-2: General actions –
Actions on structures exposed to fire;
German and English version prEN 1991-1-2:2021

Eurocode 1: Actions sur les structures au feu –
Partie 1-2: Actions générales –
Actions sur les structures exposées;
Version allemande et anglaise prEN 1991-1-2:2021

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2021-08-27 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfs besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal von DIN unter www.din.de/go/entwuerfe bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter www.entwuerfe.normenbibliothek.de, sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an nabau@din.de möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/go/stellungnahmen-norm-entwuerfe oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an den DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau), 10772 Berlin oder Am DIN-Platz, Burggrafenstr. 6, 10787 Berlin.

Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevanten Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 145 Seiten

DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau)

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (prEN 1991-1-2:2021) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 250 „Eurocodes für den konstruktiven Ingenieurbau“ erarbeitet, dessen Sekretariat von BSI (Vereinigtes Königreich) gehalten wird.

Das zuständige deutsche Normungsgremium ist der Arbeitsausschuss NA 005-52-22AA „Konstruktiver baulicher Brandschutz (SpA zu ISO/TC 92/WG 15, ISO/TC 92/SC 2/WG 11 und Teilbereichen von CEN/TC 250)“ im DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau).

Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung beigelegt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen Text.

Aktuelle Informationen zu diesem Dokument können über die Internetseiten von DIN (www.din.de) durch eine Suche nach der Dokumentennummer aufgerufen werden.

Änderungen

Gegenüber DIN EN 1991-1-2:2010-12 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) vollständige Überarbeitung des technischen Inhalts;
- b) Dokument redaktionell überarbeitet.

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

Titel en: Eurocode 1: Actions on Structures — Part 1-2: General Actions — Actions on structures exposed to fire

Titel fr: Eurocode 1: Actions sur les structures au feu — Partie 1-2: Actions générales — Actions sur les structures exposées

Inhalt

Seite

Europäisches Vorwort	4
0 Einleitung	5
1 Anwendungsbereich	10
1.1 Anwendungsbereich von prEN 1991-1-2	10
1.2 Annahmen	10
2 Normative Verweisungen	10
3 Begriffe und Symbole	11
3.1 Begriffe	11
3.1.1 Übliche Ausdrücke aus den Eurocode-Brandschutzteilen	11
3.1.2 Die allgemeine Bemessung betreffende Fachbegriffe	13
3.1.3 Die thermischen Einwirkungen betreffende Begriffe	14
3.1.4 Die Wärmeübertragungsberechnung betreffende Begriffe	15
3.2 Symbole und Abkürzungen	16
3.2.1 Lateinische Großbuchstaben	16
3.2.2 Lateinische Kleinbuchstaben	18
3.2.3 Griechische Großbuchstaben	20
3.2.4 Griechische Kleinbuchstaben	20
4 Verfahren zur Tragwerksbemessung für den Brandfall	21
4.1 Allgemeines	21
4.2 Brandszenario für die Bemessung	22
4.3 Bemessungsbrand	22
4.4 Temperaturberechnung von Bauteilen	22
4.5 Mechanische Berechnung von Bauteilen	23
5 Thermische Einwirkungen für die Temperaturberechnung	23
5.1 Wärmestrom	23
5.2 Nominelle Brandkurven	25
5.2.1 Einheits-Brandkurve	25
5.2.2 Außenbrandkurve	25
5.2.3 Hydrokarbon-Brandkurve	25
5.3 Physikalisch basierte Modelle	26
5.3.1 Vereinfachte Brandmodelle	26
5.3.2 Allgemeine Brandmodelle	26
6 Mechanische Einwirkungen für die statische Berechnung	27
6.1 Allgemeines	27
6.2 Gleichzeitigkeit von Einwirkungen	28
6.2.1 Einwirkungen aus der Bemessung unter Normaltemperatur	28
6.2.2 Zusätzliche Einwirkungen	28
6.3 Kombinationsregeln für Einwirkungen	28
6.3.1 Allgemeine Regel	28
6.3.2 Vereinfachte Regeln	28
6.3.3 Lastniveau	30
Anhang A (informativ) Parametrische Temperaturzeitkurven	31
A.1 Anwendung dieses Anhangs	31
A.2 Anwendungsbereich und Anwendungsgrenzen	31
A.3 Temperaturzeitkurven in der Erwärmungsphase	31
A.4 Temperaturzeitkurven in der Abkühlphase	34
Anhang B (informativ) Thermische Einwirkungen auf außenliegende Bauteile – Vereinfachtes Berechnungsverfahren	35

B.1	Anwendung dieses Anhangs.....	35
B.2	Anwendungsbereich und Anwendungsgrenzen	35
B.3	Anwendungsbedingungen.....	35
B.4	Auswirkungen von Wind	36
B.4.1	Art der Belüftung.....	36
B.4.2	Ablenkung der Flammen durch Wind.....	36
B.5	Brand- und Flammeneigenschaften	37
B.5.1	Ohne Zwangsbelüftung.....	37
B.5.2	Zwangsbelüftung	41
B.6	Gesamtkonfigurationsfaktoren.....	43
Anhang C (informativ) Lokale Brände.....		45
C.1	Anwendung dieses Anhangs.....	45
C.2	Anwendungsbereich und Anwendungsgrenzen	45
C.3	Gedachte stabile Flamme.....	45
C.3.1	Form der gedachten stabilen Flamme	45
C.3.2	Temperatur der gedachten stabilen Flamme	46
C.3.3	Lage und Ausdehnung der gedachten stabilen Flamme.....	47
C.3.4	Netto-Wärmestrom.....	50
Anhang D (informativ) Erweiterte Brandmodelle		51
D.1	Anwendung dieses Anhangs.....	51
D.2	Anwendungsbereich und Anwendungsgrenzen	51
D.3	Ein-Zonen-Modelle.....	51
D.4	Zwei-Zonen-Modelle.....	52
D.5	Rechnergestützte Fluid-Dynamik-Modelle	53
Anhang E (informativ) Brandlastdichten, Brandentwicklungsraten und Wärmefreisetzungsrate		54
E.1	Anwendung dieses Anhangs.....	54
E.2	Anwendungsbereich und Anwendungsgrenzen	54
E.3	Bemessungswert der Brandlastdichte	54
E.4	Ermittlung von Brandlastdichten.....	57
E.4.1	Allgemeines	57
E.4.2	Definitionen.....	58
E.4.3	Geschützte Brandlasten	58
E.4.4	Netto-Verbrennungswärme.....	58
E.4.5	Klassifizierung der Brandlast nach der Nutzung.....	60
E.4.6	Bewertung der Brandlastdichten im Einzelfall	61
E.5	Abbrandverhalten.....	61
E.6	Wärmefreisetzungsrate Q	61
Anhang F (informativ) Äquivalente Branddauer.....		64
F.1	Anwendung dieses Anhangs.....	64
F.2	Anwendungsbereich und Anwendungsgrenzen	64
F.3	Äquivalente Einheits-Branddauer	64
Anhang G (informativ) Konfigurationsfaktor		67
G.1	Anwendung dieses Anhangs.....	67
G.2	Anwendungsbereich und Anwendungsgrenzen	67
G.3	Allgemeines	67
G.4	Abschattungseffekte.....	68
G.5	Außenliegende Bauteile.....	68
G.6	Gedachte stabile Flamme.....	71
Literaturhinweise.....		74

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (prEN 1991-1-2:2021) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 250 „Eurocodes für den konstruktiven Ingenieurbau“ erarbeitet, dessen Sekretariat von BSI gehalten wird. CEN/TC 250 ist für alle Eurocodes des konstruktiven Ingenieurbaus zuständig. Die Verantwortung für alle Angelegenheiten der Tragwerks- und geotechnischen Planung wurde dem CEN/TC 250 von CEN übertragen.

Dieses Dokument ist derzeit zur CEN-Umfrage vorgelegt.

Dieses Dokument wird EN 1991-1-2:2002 ersetzen.

Die erste Generation der EN Eurocodes wurde zwischen den Jahren 2002 und 2007 veröffentlicht. Dieses Dokument wurde als Teil der zweiten Generation der Eurocodes im Rahmen des Mandats M/515 erarbeitet, das die Europäische Kommission und die Europäische Freihandelsassoziation CEN erteilt haben.

Die Eurocodes wurden erarbeitet, um in Verbindung mit einschlägigen Ausführungs-, Werkstoff-, Produkt- und Prüfnormen angewendet zu werden und um Anforderungen an Ausführung, Werkstoffe, Produkte und Prüfung zu identifizieren, auf denen die Eurocodes beruhen.

Die Eurocodes erkennen die Verantwortlichkeit aller Mitgliedstaaten an und wahren deren Recht, sicherheitsbezogene Werte auf nationaler Ebene in Nationalen Anhängen festzulegen.

0 Einleitung

0.1 Einleitung zu den Eurocodes

Die Eurocodes des konstruktiven Ingenieurbaus umfassen die folgenden Normen, die in der Regel aus mehreren Teilen bestehen:

- EN 1990, *Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung*
- EN 1991, *Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke*
- EN 1992, *Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken*
- EN 1993, *Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten*
- EN 1994, *Eurocode 4: Bemessung und Konstruktion von Verbundtragwerken aus Stahl und Beton*
- EN 1995, *Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten*
- EN 1996, *Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten*
- EN 1997, *Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik*
- EN 1998, *Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben*
- EN 1999, *Eurocode 9: Bemessung und Konstruktion von Aluminiumtragwerken*
- <Neue Teile>

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

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

0.2 Einleitung zu EN 1991

EN 1991 gibt die Einwirkungen an, die bei der Tragwerksplanung von Hochbauten, Brücken und anderen Ingenieurbauwerken oder deren Teilen, einschließlich Hilfstragwerken, in Zusammenhang mit EN 1990 und den anderen Eurocodes zu berücksichtigen sind.

Die in EN 1991 aufgeführten Einwirkungen auf Tragwerke, in einigen Fällen gegebenenfalls einschließlich geotechnischer Tragwerke in Zusammenhang mit EN 1997, sind vorgesehen für die Anwendung in Zusammenhang mit den anderen Eurocodes zum Nachweis der Sicherheit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit sowie der Robustheit von Tragwerken, einschließlich der Ausführungsphase.

EN 1991 behandelt keine Einwirkungen auf Tragwerke in Erdbebengebieten, sofern nicht ausdrücklich durch EN 1998 vorgeschrieben.

EN 1991 ist anwendbar auf bestehende Tragwerke für deren:

- statische Bewertung;
- Bemessung der Nachrüstung (Verstärkung, Reparatur);
- Bewertung für Änderungen der Verwendung.

ANMERKUNG 1 In diesem Fall können zusätzliche oder geänderte Festlegungen notwendig sein.

EN 1991 ist anwendbar auf die Bemessung von Tragwerken mit Baustoffen oder Einwirkungen außerhalb der Anwendungsbereiche der anderen Eurocodes.

ANMERKUNG 2 In diesem Fall können zusätzliche oder geänderte Festlegungen notwendig sein.

0.3 Einleitung zu prEN 1991-1-2

prEN 1991-1-2 beschreibt die thermischen und mechanischen Einwirkungen für die Tragwerksplanung von Hochbauten unter Brandbeanspruchung einschließlich der folgenden Sicherheitsanforderungen und Bemessungsverfahren.

prEN 1991-1-2 ist vorgesehen für die Anwendung mit EN 1990, den anderen Teilen von EN 1991 sowie EN 1992 bis EN 1999 für die Bemessung von Tragwerken.

0.3.1 Sicherheitsanforderungen

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

Die Bauproduktenverordnung (EU) Nr. 305/2011 enthält die folgende Anforderung zur Begrenzung der Folgen im Brandfall:

„Das Bauwerk muss derart 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 wird;
- die Ausbreitung von Feuer auf benachbarte Bauwerke begrenzt wird;
- die Bewohner des Bauwerks unverletzt verlassen oder durch andere Maßnahmen gerettet werden können;
- die Sicherheit der Rettungsmannschaften berücksichtigt ist.“

Gemäß dem Grundlagendokument Nr. 2 „Brandschutz“¹ darf die wesentliche Anforderung durch Befolgen verschiedener in den Mitgliedstaaten geltender Brandschutzstrategien, wie konventionelle Brandszenarien (nominelle Brände) oder „natürliche“ (physikalisch basierte) Brandszenarien, einschließlich vorbeugender und/oder abwehrender Brandschutzmaßnahmen erfüllt werden.

¹ Siehe 2.2, 3.2 (4) und 4.2.3.3 des Grundlagendokuments Nr. 2.

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.

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.

Zahlenwerte für Teilsicherheitsbeiwerte und andere Zuverlässigkeitselemente werden angegeben, um ein annehmbares Zuverlässigkeitsniveau bereitzustellen. Sie wurden unter der Annahme ausgewählt, dass ein angemessenes Niveau von qualifizierter Ausführung und Qualitätsmanagement vorliegt.

0.3.2 Bemessungsverfahren

Ein vollständiges Berechnungsverfahren für die Tragwerksbemessung für den Brandfall würde das Verhalten des Tragsystems bei erhöhten Temperaturen, die mögliche Beanspruchung durch Wärme und die positiven Auswirkungen von passiven und aktiven Brandschutzsystemen sowie die mit diesen drei Faktoren verbundenen Unsicherheiten und die Bedeutung des Tragwerks (Versagensfolgen) berücksichtigen.

Gegenwärtig ist es möglich, ein Verfahren zur Bestimmung angemessener Leistung durchzuführen, das einige, wenn nicht alle der vorstehenden Parameter einschließt, und nachzuweisen, dass das Tragwerk oder seine Bauteile bei einem tatsächlichen Brand eine angemessene Leistung aufweisen werden. Wenn das Verfahren jedoch auf einer nominellen (Einheits-)Brandkurve beruht, berücksichtigt das Klassifizierungssystem, welches spezifische Feuerwiderstandsdauern erfordert, die vorstehend beschriebenen Merkmale und Unsicherheiten (wenn auch nicht explizit).

Bild 1 stellt die zwei Bemessungsverfahren nach prEN 1991-1-2 dar, d. h. die Ansätze durch festgelegte Vorgaben und durch leistungsabhängige Festlegungen. Der Ansatz durch festgelegte Vorgaben beruht auf nominellen (Einheits-)Bränden zur Erzeugung thermischer Einwirkungen. 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.

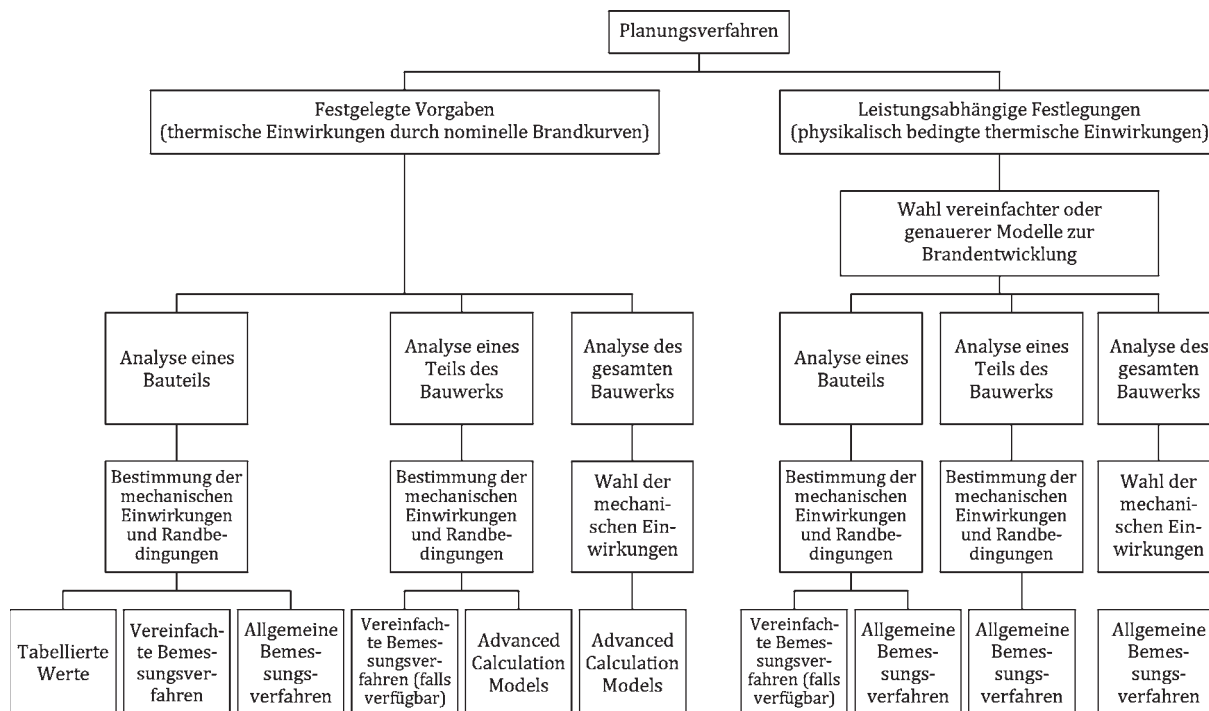


Bild 1 — Alternative Bemessungsverfahren

0.4 In den Eurocodes verwendete Verbformen

Das Verb „muss“ beschreibt eine Anforderung die zwingend zu befolgen ist und von der bei Anwendung der Eurocodes keine Abweichung zulässig ist.

Das Verb „sollte“ beschreibt eine streng empfohlene Auswahl oder Vorgehensweise. In Abhängigkeit von nationalen Regeln und/oder relevanten Vertragsbestimmungen können alternative Lösungen verwendet/angenommen werden, wenn sie technisch gerechtfertigt sind.

Das Verb „darf“ beschreibt eine erlaubte Vorgehensweise innerhalb der Anwendungsgrenzen der Eurocodes.

Das Verb „kann“ beschreibt Möglichkeiten und Fähigkeiten; es wird für Tatsachenfeststellungen und Erklärungen verwendet.

0.5 Nationaler Anhang für prEN 1991-1-2

Nationale Festlegungen sind nach dieser Norm zulässig, wenn im Rahmen von Anmerkungen eine Wahl ausdrücklich gestattet ist. Nationale Festlegungen schließen die Wahl von Werten für national festzulegende Parameter (NDP, en: Nationally Determined Parameters) ein.

Hierzu kann die jeweilige nationale Ausgabe von prEN 1991-1-2 einen Nationalen Anhang mit allen nationalen Festlegungen enthalten, die für den Entwurf und die Bemessung von Hoch- und Ingenieurbauten im jeweiligen Land Verwendung finden.

Wird keine nationale Festlegung angeführt, ist der in dieser Norm angegebene Standardwert anzuwenden.

Wenn keine nationale Festlegung angeführt wird und kein Standardwert in dieser Norm angegeben ist, kann die Festlegung durch eine zuständige Behörde getroffen werden, oder sofern keine Festlegungen getroffen wurden, können die beteiligten Parteien im Einzelfall eine Vereinbarung treffen.

Nationale Festlegungen sind in prEN 1991-1-2 zu den folgenden Abschnitten gestattet:

- 4.4(4)
- 6.2.2(2)
- 6.3.1(2)
- 6.3.2(3)
- 6.3.2(4)

Nationale Festlegungen sind in diesem Dokument zur Anwendung der folgenden informativen Anhänge festgelegt:

Anhang A (informativ) Parametrische Temperaturzeitkurven

Anhang B (informativ) Thermische Einwirkungen auf außenliegende Bauteile – Vereinfachtes Berechnungsverfahren

Anhang C (informativ) Lokale Brände

Anhang D (informativ) Erweiterte Brandmodelle

Anhang E (informativ) Brandlastdichten, Brandentwicklungsraten und Wärmefreisetzungsrate

Anhang F (informativ) Äquivalente Branddauer

Anhang G (informativ) Konfigurationsfaktor

Der Nationale Anhang kann, direkt oder durch Verweisungen, ergänzende nicht widersprechende Angaben zur Erleichterung der Umsetzung enthalten, sofern dadurch keine Bestimmungen der Eurocodes geändert werden.

1 Anwendungsbereich

1.1 Anwendungsbereich von prEN 1991-1-2

(1) Die in diesem Eurocode angegebenen Verfahren sind auf Hoch- und Ingenieurbauten mit Brandlasten entsprechend der Gebäudeart und -nutzung anwendbar.

(2) prEN 1991-1-2 behandelt die thermischen und mechanischen Einwirkungen auf Tragwerke unter Brandbeanspruchung. Sie ist vorgesehen zur Anwendung in Zusammenhang mit den Brandschutzteilen von EN 1992 bis EN 1996 sowie EN 1999, die die Regeln für die Bemessung von Tragwerken auf Feuerwiderstand enthalten.

(3) prEN 1991-1-2 enthält thermische Einwirkungen, die entweder nominell oder physikalisch basiert sind. Weitere Daten und Modelle für physikalisch basierte thermische Einwirkungen sind in Anhängen angegeben.

(4) prEN 1991-1-2 behandelt nicht die Schadensbewertung eines Tragwerks nach einem Brand.

(5) prEN 1991-1-2 behandelt keine ergänzenden Anforderungen beispielsweise bezüglich:

- des möglichen Einbaus und der Instandhaltung von Sprinkleranlagen;
- der Bedingungen für die Bewohnbarkeit von Gebäude- oder Brandabschnitten;
- der Verwendung von zugelassenen Dämm- und Beschichtungsstoffen, einschließlich ihrer Instandhaltung.

1.2 Annahmen

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

- jedes bei der Bemessung berücksichtigte aktive oder passive Brandschutzsystem wird angemessen gewartet;
- die Wahl des maßgebenden Bemessungsbrandszenarios wird durch entsprechend qualifiziertes und erfahrenes Personal getroffen oder durch die maßgebende nationale Vorschrift vorgegeben.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente werden im Text in solcher Weise in Bezug genommen, dass einige Teile davon oder ihr gesamter Inhalt Anforderungen des vorliegenden Dokuments darstellen. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

prEN 1990:2020, *Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung*

EN 1992 (alle Teile), *Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken*

EN 1993 (alle Teile), *Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten*

EN 1994 (alle Teile), *Eurocode 4: Bemessung und Konstruktion von Verbundtragwerken aus Stahl und Beton*

EN 1995 (alle Teile), *Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten*

EN 1996 (alle Teile), *Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten*

EN 1999 (alle Teile), *Eurocode 9: Bemessung und Konstruktion von Aluminiumtragwerken*

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

3 Begriffe und Symbole

3.1 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach prEN 1990 und die folgenden Begriffe.

ISO und IEC stellen terminologische Datenbanken für die Verwendung in der Normung unter den folgenden Adressen bereit:

- IEC Electropedia: verfügbar unter <https://www.electropedia.org/>
- ISO Online Browsing Platform: verfügbar unter <https://www.iso.org/obp>

3.1.1 Übliche Ausdrücke aus den Eurocode-Brandschutzteilen

3.1.1.1

äquivalente Branddauer [equivalent time of fire exposure]

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

3.1.1.2

außenliegendes Bauteil [external member]

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

3.1.1.3

Brandabschnitt [compartment, 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

3.1.1.4

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

3.1.1.5

voll entwickelter Brand [fully developed fire]

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

3.1.1.6

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

Anmerkung 1 zum Begriff: Indirekte Brandeinwirkungen werden dabei im gesamten Tragwerk berücksichtigt.

3.1.1.7

indirekte Brandeinwirkungen [indirect fire actions]

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

3.1.1.8

Raumabschluss [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

3.1.1.9

Wärmedämmung [insulation]

I

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

3.1.1.10

lasttragende Funktion [load bearing function]

R

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

3.1.1.11

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

3.1.1.12

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

Anmerkung 1 zum Begriff: Indirekte Brandeinwirkungen werden nicht betrachtet, außer sie haben ihre Ursache in Temperaturgradienten.

3.1.1.13

Bemessung bei normaler Temperatur [normal temperature design]

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

3.1.1.14

raumabschließende Funktion [separating function]

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

3.1.1.15

raumabschließendes Bauteil [separating element]

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

3.1.1.16

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-Brandkurve für eine festgelegte Dauer zu erfüllen

3.1.1.17

tragende Bauteile [structural members]

physikalisch unterscheidbarer Teil eines Tragwerks, z. B. Stütze, Träger, Platte, Gründung

3.1.1.18

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

3.1.1.19

thermische Einwirkungen [thermal actions]

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

3.1.2 Die allgemeine Bemessung betreffende Fachbegriffe

3.1.2.1

allgemeines Brandmodell [advanced fire model]

Bemessungsbrand auf Grundlage von Massen- und Energieerhaltungsgrundsätzen

3.1.2.2

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

3.1.2.3

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

3.1.2.4

Ein-Zonen-Modell [one-zone model]

ein Brandmodell, das von einer gleichmäßigen Gastemperatur im Brandabschnitt ausgeht

3.1.2.5

vereinfachtes Brandmodell

ein Bemessungsbrand auf Grundlage eines begrenzten Anwendungsfeldes bestimmter physikalischer Größen

3.1.2.6

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

Anmerkung 1 zum Begriff: In der oberen und der unteren Schicht wird von einer einheitlichen Gastemperatur ausgegangen.

3.1.3 Die thermischen Einwirkungen betreffende Begriffe

3.1.3.1

Abbrandfaktor [combustion factor]

Faktor, der gibt die Vollständigkeit der Verbrennung angibt und zwischen 1 für die vollständige Verbrennung und 0 für nichtbrennbar liegt

3.1.3.2

Bemessungsbrand [design fire]

quantitative Beschreibung der angenommenen Eigenschaften eines Brands innerhalb eines festgelegten Bemessungsbrandszenarios

3.1.3.3

Bemessungswert der Brandlastdichte [design fire load density]

Brandlastdichte, die für die thermische Einwirkung bei der Brandschutzbemessung angenommen wird

3.1.3.4

Bemessungsbrandfall [design fire scenario]

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

3.1.3.5

Außenbrandkurve [external fire curve]

nominelle Brandkurve zur Anwendung auf die Außenfläche raumabschließender (EI-)Außenwände und Brüstungen, die aus einem Brandabschnitt, der sich unter der jeweiligen Außenwand befindet oder an diese angrenzt, einem Brand ausgesetzt sein können

3.1.3.6

Brandentstehungsrisiko [fire activation risk]

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

3.1.3.7

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

3.1.3.8

Brandlast [fire load]

Energiemenge, die bei der vollständigen Verbrennung aller brennbaren Stoffe (Inventar und Bauteile) in einem Brandabschnitt oder einem lokalen Brandbereich frei wird

3.1.3.9

Brandfall (Brandszenario) [fire scenario]

qualitative Beschreibung des Brandverlaufs mit Zeitangaben für Schlüsselereignisse, die den Brand charakterisieren und von anderen möglichen Bränden unterscheidet

Anmerkung 1 zum Begriff: 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.

3.1.3.10

Feuerüberschlag [flash-over]

gleichzeitige Entzündung aller Brandlasten in einem Brandabschnitt

3.1.3.11

Hydrokarbon-Brandkurve [hydrocarbon fire curve]

nominelle Brandkurve zur Darstellung von Hydrokarbon-Brandlasten

3.1.3.12

lokaler Brand [localised fire]

Brand, der nur eine begrenzte Fläche des Brandabschnitts entfacht

3.1.3.13

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

3.1.3.14

Wärmefreisetzungsrate [rate of heat release]

Wärme, die von einem brennbaren Erzeugnis zeitabhängig abgegeben wird

3.1.3.15

Einheits-Brandkurve [standard fire curve]

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

3.1.3.16

Brandkurve [fire curve]

Brandgastemperaturen in der Umgebung der Bauteiloberflächen in Abhängigkeit von der Zeit

Anmerkung 1 zum Begriff: Das können sein:

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

3.1.4 Die Wärmeübertragungsberechnung betreffende Begriffe

3.1.4.1

Konfigurationsfaktor [configuration factor]

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

3.1.4.2

konvektiver Wärmeübergangskoeffizient [convective heat transfer coefficient]

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

3.1.4.3

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

3.1.4.4

Netto-Wärmestrom [net heat flux]

von Bauteilen absorbierte Energie pro Zeiteinheit und Oberfläche

3.2 Symbole und Abkürzungen

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Symbole.

3.2.1 Lateinische Großbuchstaben

A	Fläche des Brandabschnitts
$A_{\text{ind,d}}$	Bemessungswert für indirekte Einwirkung durch den Brand
A_f	Bodenfläche des Brandabschnitts
A_{fi}	Brandfläche
A_h	Fläche der horizontalen Öffnungen im Dach eines Brandabschnitts
$A_{h,v}$	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, Decke und Boden, einschließlich der Öffnungen)
A_v	gesamte Fläche der vertikalen Öffnungen in allen Wänden ($A_v = \sum_i A_{v,i}$)
$A_{v,i}$	Fläche des Fensters „ i “
C_i	Schutzkoeffizient der Bauteiloberfläche i
D	Tiefe des Brandabschnitts, Durchmesser des Brandes
E_d	Bemessungswert der maßgebenden Auswirkungen von Einwirkungen entsprechend der Grundkombination nach prEN 1990
$E_{d,\text{fi}}$	zeitlich unabhängiger Bemessungswert der maßgebenden Auswirkungen von Einwirkungen im Brandfall
$E_{d,\text{fi},t}$	Bemessungswert der maßgebenden Auswirkungen von Einwirkungen im Brandfall zum Zeitpunkt t
E_g	innere Energie von Gas
H	Abstand zwischen Brandherd und Decke
H_u	Netto-Heizwert unter Berücksichtigung der Feuchte
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 Fall 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 Brandabschnitts
$Q_{k,1}$	charakteristischer Wert der führenden veränderlichen Einwirkung
Q_{max}	maximale Wärmefreisetzungsrate
Q_{in}	Wärmefreisetzungsrate bei Eintritt mit dem Gasstrom durch Öffnungen
Q_{out}	Wärmefreisetzungsrate bei Austritt mit dem Gasstrom durch Öffnungen
Q_{rad}	Wärmefreisetzungsrate, die durch Strahlung durch Öffnungen abgegeben wird
Q_{wall}	Energie, die durch Strahlung und Konvektion an die Oberfläche des Brandabschnitts abgegeben wird
R	ideale Gaskonstante ($= 287 \text{ [J/kgK]}$)
R_d	Bemessungswert des Bauteilwiderstands bei Normaltemperatur
$R_{fi,d,t}$	Bemessungswert des Bauteilwiderstands im Brandfall zum Zeitpunkt t
RHR_f	maximale Wärmefreisetzungsrate je Quadratmeter
T	Temperatur [K]
T_{amb}	Umgebungstemperatur [K]
T_0	Anfangstemperatur [K]
T_f	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 Fenster(n)
W_1	Breite der Wand 1 mit angenommener größter Fensterfläche
W_2	Breite der Wand des Brandabschnitts senkrecht zu Wand 1
W_a	horizontale Projektion eines Vordachs oder Balkons
W_c	Breite des Brandherdes

3.2.2 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 tragenden Bauteils (Durchmesser oder Kantenlänge)
d_f	Flammendicke
d_i	Querschnittsabmessung der Bauteiloberfläche i
g	Fallbeschleunigung
h_{eq}	gewichtetes Mittel der Fensterhöhen in allen Wänden ($h_{eq} = (\sum_i (A_{v,i} h_i)) / A_v$)
h_i	Höhe von Fenster i
$\dot{h}$	Wärmestrom in 1 m ² Oberfläche
$\dot{h}_{net}$	Netto-Wärmestrom in 1 m ² Oberfläche
$\dot{h}_{net,c}$	Netto-Wärmestrom durch Konvektion in 1 m ² Oberfläche
$\dot{h}_{net,r}$	Netto-Wärmestrom durch Strahlung in 1 m ² Oberfläche
$\dot{h}_{tot}$	gesamter Wärmestrom in 1 m ² Oberfläche
$\dot{h}_i$	Wärmestrom in 1 m ² Oberfläche infolge Brand i
k	Korrekturfaktor

k_b	Umrechnungsfaktor
k_c	Korrekturfaktor
m	Masse, Abbrandfaktor
$\dot{m}$	Massenstrom
$\dot{m}_{in}$	Massenstrom von Gasen, der durch die Öffnungen eintritt
$\dot{m}_{out}$	Massenstrom von Gasen, der durch die Öffnungen austritt
$\dot{m}_{fi}$	Menge entstehender Verbrennungsprodukte
q_f	Brandlast je Flächeneinheit bezogen auf die Bodenfläche A_f
$q_{f,d}$	Bemessungsbrandlastdichte bezogen auf die Bodenfläche A_f
$q_{f,k}$	charakteristische Brandlastdichte bezogen auf Größe der Oberfläche A_f
q_t	Brandlast je Flächeneinheit 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 Achse des Feuers und dem Punkt entlang der Decke, für den der Wärmestrom berechnet wird
s_i	Dicke der Schicht i
s_{lim}	Schichtdickengrenze
t	Zeit
$t_{e,d}$	äquivalente Branddauer
$t_{d,fi}$	Bemessungswert der Feuerwiderstandsfähigkeit (Eigenschaft des Bauteils oder Tragwerks)
$t_{fi,requ}$	erforderliche Feuerwiderstandsdauer
t_{lim}	Zeitpunkt der maximalen Gastemperatur bei brandlastgesteuertem Brand
t_{max}	Zeitpunkt der maximalen Gastemperatur
t_α	Koeffizient für Feuerwachstumsrate
u	Windgeschwindigkeit, Feuchtegehalt
w_i	Breite von Fenster „i“
w_t	Summe der Fensterbreiten an allen Wänden ($w_t = \sum w_i$); Ventilationsfaktor bezogen 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

3.2.3 Griechische Großbuchstaben

Φ	Konfigurationsfaktor
Φ_f	Gesamtkonfigurationsfaktor eines Bauteils für Wärmeübertragung durch Strahlung von einer Öffnung
$\Phi_{f,i}$	Konfigurationsfaktor einer Bauteiloberfläche i für eine gegebene Öffnung
Φ_z	Gesamtkonfigurationsfaktor eines Bauteils für Wärmeübertragung durch Strahlung von einer Flamme
$\Phi_{z,i}$	Konfigurationsfaktor einer Bauteiloberfläche i für eine gegebene Flamme
Γ	Zeitfaktor, abhängig vom Öffnungsfaktor O und dem Wärmespeichervermögen b
Γ_{lim}	Zeitfaktor, abhängig vom Öffnungsfaktor O_{lim} und dem Wärmespeichervermögen b
θ	Temperatur [°C]; θ [°C] = T [K] – 273
$\theta_{\text{cr,d}}$	Bemessungswert der kritischen Materialtemperatur [°C]
θ_d	Bemessungswert der Materialtemperatur [°C]
θ_g	Gastemperatur im Brandabschnitt oder in der Nähe des Bauteils [°C]
θ_m	Temperatur der Bauteiloberfläche [°C]
θ_{max}	maximale Temperatur [°C]
θ_r	effektive Strahlungstemperatur der Brandumgebung [°C]
Ω	$A_f \cdot q_{f,d} / (A_v \cdot A_t)^{1/2}$
ψ_i	geschützter Brandlastfaktor

3.2.4 Griechische Kleinbuchstaben

α_c	Wärmeübergangskoeffizient für Konvektion
α_h	Verhältnis der Fläche der horizontalen Öffnungen zur Bodenfläche
α_v	Verhältnis der Fläche der vertikalen Öffnungen zur Bodenfläche
δ_{ni}	Faktor zur Berücksichtigung einer bestimmten Brandbekämpfungsmaßnahme i
δ_{q1}	Faktor zur Berücksichtigung des Brandentstehungsrisikos durch die Größe des Brandabschnitts

δ_{q2}	Faktor zur Berücksichtigung des Brandentstehungsrisikos durch die Art der Nutzung
ε_m	Emissivität der Oberfläche des Bauteils
ε_f	Emissivität der Flamme, des Brandes
η_{fi}	Abminderungsfaktor
$\eta_{fi,t}$	Lastniveau für baulichen Brandschutz
λ	Wärmeleitfähigkeit
ρ	Dichte
ρ_g	innere Gasdichte
σ	Stephan-Boltzmann-Konstante ($= 5,67 \cdot 10^{-8} [W/(m^2K^4)]$)
τ_F	Dauer des ungeregelten Brandes
ψ_0	Kombinationsfaktor, angewendet auf eine veränderliche Einwirkung zur Bestimmung ihres Kombinationswertes
ψ_1	Kombinationsfaktor, angewendet auf eine veränderliche Einwirkung zur Bestimmung ihres häufigen Wertes
ψ_2	Kombinationsfaktor, angewendet auf eine veränderliche Einwirkung zur Bestimmung ihres quasi-ständigen Wertes

4 Verfahren zur Tragwerksbemessung für den Brandfall

4.1 Allgemeines

(1) Eine Tragwerksbemessung im Brandfall muss die folgenden Schritte umfassen, sofern maßgebend:

- Auswahl der maßgebenden Brandszenarien für die Bemessung;
- Bestimmung der entsprechenden Bemessungsbrände;
- Berechnung der Temperaturentwicklung innerhalb der tragenden Bauteile;
- Berechnung des mechanischen Verhaltens des Tragwerks unter Brandbeanspruchung.

ANMERKUNG Das mechanische Verhalten eines Tragwerks ist abhängig von:

- thermischen Einwirkungen und deren Auswirkung auf die Baustoffeigenschaften;
- indirekten Brandeinwirkungen;
- direkten und indirekten Auswirkungen mechanischer Einwirkungen.

(2) Die Tragwerksbemessung im Brandfall sollte die Anwendung von Einwirkungen für die Temperaturberechnung und die Anwendung von Einwirkungen für die Berechnung des mechanischen Verhaltens nach diesem Teil und anderen Teilen von EN 1991 einschließen.

(3) Brandeinwirkungen auf Tragwerke müssen als außergewöhnliche Einwirkungen eingestuft werden, siehe prEN 1990:2020, 8.3.3.4.

4.2 Brandszenario für die Bemessung

(1) Zur Ermittlung der außergewöhnlichen Bemessungssituation sollten die maßgebenden Bemessungsbrandszenarien und die damit verbundenen Bemessungsbrände auf der Grundlage einer Brandrisikobewertung bestimmt werden.

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

(3) Das zeit- und lastabhängige Tragverhalten vor der außergewöhnlichen Situation darf vernachlässigt werden, sofern nicht (2) zutrifft.

4.3 Bemessungsbrand

(1) Für jedes Bemessungsbrandszenario sollte ein Bemessungsbrand in einem Brandabschnitt nach Abschnitt 5 bestimmt werden oder anhand verfügbarer physikalischer Modelle mit Begründung.

(2) Der Bemessungsbrand sollte nur auf einen Brandabschnitt gleichzeitig angesetzt werden, sofern im Bemessungsbrandszenario nicht anders festgelegt.

(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.

4.4 Temperaturberechnung von Bauteilen

(1) 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 raumabschließender Funktion sollte die Brandbeanspruchung von innen (aus Sicht des Brandabschnitts) und alternativ von außen (von anderen Brandabschnitten) berücksichtigt werden, sofern erforderlich.

(4) Abhängig von dem in Abschnitt 5 gewählten Bemessungsbrand sollten die folgenden Verfahren angewendet werden:

- bei Verwendung einer nominellen Brandkurve wird die Temperaturberechnung der tragenden Bauteile für die festgelegte Dauer ohne Berücksichtigung der Abkühlphase durchgeführt;

ANMERKUNG 1 Die festgelegte Dauer kann durch die nationalen Vorschriften vorgegeben sein. Sofern nach den nationalen Vorschriften zulässig, kann die festgelegte Dauer nach Anhang F unter Einhaltung der Festlegungen des Nationalen Anhangs ermittelt werden.

- bei Verwendung eines physikalisch basierten Modells erfolgt die Temperaturberechnung der tragenden Bauteile für die gesamte Dauer des Brandes, einschließlich der Abkühlphase.

ANMERKUNG 2 Der Nationale Anhang kann auf nationale Vorschriften Bezug nehmen, in denen begrenzte Feuerwiderstandsdauern festgelegt sind.

4.5 Mechanische Berechnung von Bauteilen

(1) Die mechanische Berechnung muss für dieselbe Dauer wie die Temperaturberechnung durchgeführt werden.

(2) Der Nachweis des Feuerwiderstands sollte im Zeitbereich erfolgen:

$$t_{d,fi} \geq t_{requ,fi} \quad (4.1)$$

oder im Festigkeitsbereich:

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

oder im Temperaturbereich:

$$\theta_d \leq \theta_{cr,d} \quad (4.3)$$

Dabei ist

- $t_{d,fi}$ der Bemessungswert des Feuerwiderstands;
- $t_{requ,fi}$ die erforderliche Feuerwiderstandsdauer;
- $R_{d,fi,t}$ der Bemessungswert des Bauteilwiderstands im Brandfall zum Zeitpunkt t ;
- $E_{d,fi,t}$ der Bemessungswert der maßgebenden Auswirkungen von Einwirkungen im Brandfall zum Zeitpunkt t ;
- θ_d der Bemessungswert der Baustofftemperatur;
- $\theta_{cr,d}$ der Bemessungswert der kritischen Baustofftemperatur.

5 Thermische Einwirkungen für die Temperaturberechnung

5.1 Wärmestrom

(1) Thermische Einwirkungen müssen durch den Netto-Wärmestrom $\dot{h}_{net}$ [W/m²] zur Oberfläche des Bauteils angegeben werden.

(2) Bei brandbeanspruchten Oberflächen sollte der Netto-Wärmestrom $\dot{h}_{net}$ unter Berücksichtigung der Wärmeübertragung durch Konvektion und Strahlung nach Gleichung (5.1) ermittelt werden:

$$\dot{h}_{net} = \dot{h}_{net,c} + \dot{h}_{net,r} \quad [\text{W/m}^2] \quad (5.1)$$

Dabei ist

- $\dot{h}_{net,c}$ der konvektive Anteil des Netto-Wärmestroms nach Gleichung (5.2);
- $\dot{h}_{net,r}$ der Anteil des Netto-Wärmestroms durch Strahlung gegeben durch Gleichung (5.3).

(3) Der konvektive Anteil des Netto-Wärmestroms sollte nach Gleichung (5.2) berechnet werden:

$$\dot{h}_{net,c} = \alpha_c \cdot (\theta_g - \theta_m) \quad [\text{W/m}^2] \quad (5.2)$$

Dabei ist

- α_c der Wärmeübergangskoeffizient für Konvektion [W/(m²K)];
- θ_g die Gastemperatur im Brandabschnitt in der Nähe des Bauteils [°C];
- θ_m die Oberflächentemperatur des Bauteils entsprechend den maßgebenden Teilen zum baulichen Brandschutz von EN 1992 bis EN 1996 und EN 1999 [°C].

(4) Auf der brandbeanspruchten Oberfläche sollte der für die nominellen Temperaturzeitkurven maßgebende Wärmeübergangskoeffizient für Konvektion α_c den Angaben nach 5.2 entsprechen.

(5) Für die brandabgewandte Seite von raumabschließenden Bauteilen sollte der Netto-Wärmestrom $\dot{h}_{\text{net}}$ unter Verwendung von Gleichung (5.1) mit dem Wärmeübergangskoeffizienten für Konvektion α_c wie folgt bestimmt werden:

- $\alpha_c = 9 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ unter der Annahme, dass er die Auswirkungen der Wärmeübertragung durch Strahlung einschließt;
- $\alpha_c = 4 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ -in allen anderen Fällen.

(6) Der Netto-Wärmestrom durch Strahlung je Einheit der Oberfläche wird bestimmt durch Gleichung (5.3):

$$\dot{h}_{\text{net},r} = \Phi \cdot \varepsilon_m \cdot \varepsilon_f \cdot \sigma \cdot [(\theta_r + 273)^4 - (\theta_m + 273)^4] \quad [\text{W/m}^2] \quad (5.3)$$

Dabei ist

- Φ der Konfigurationsfaktor;
- ε_m die Emissivität der Bauteiloberfläche;
- ε_f die Emissivität des Feuers;
- σ die Stephan-Boltzmann-Konstante ($= 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/(m}^2\text{K}^4)$);
- θ_r die wirksame Strahlungstemperatur der Brandumgebung [°C];
- θ_m die Oberflächentemperatur des Bauteils [°C].

(7) Wenn in diesem Dokument oder in den Teilen zum baulichen Brandschutz von EN 1992 bis EN 1996 und EN 1999 keine spezifischen Werte angegeben sind, sollte der Konfigurationsfaktor mit $\Phi = 1,0$ angesetzt werden. Ein geringerer Wert des Konfigurationsfaktors darf gewählt werden, um Positions- und Abschattungseffekte zu berücksichtigen.

ANMERKUNG Ein Verfahren für die Berechnung des Konfigurationsfaktors Φ ist in Anhang G angegeben. Dieser Anhang verdeutlicht auch Positions- und Abschattungseffekte.

(8) Falls nicht in den baustoffbezogenen Brandschutzteilen von EN 1992 bis EN 1996 und EN 1999 angegeben, sollte der Wert $\varepsilon_m = 0,8$ verwendet werden.

(9) Die Emissivität des Brandes sollte als $\varepsilon_f = 1,0$ angesetzt werden.

(10) Wenn Bauteile vollständig von Flammen eingeschlossen sind, darf die Strahlungstemperatur θ_r durch die Gastemperatur θ_g der Bauteilumgebung ausgedrückt werden.

(11) Gastemperaturen θ_g dürfen nominellen Brandkurven nach 5.2 entnommen oder anhand von physikalisch basierten Brandmodellen nach 5.3 berechnet werden.

5.2 Nominelle Brandkurven

5.2.1 Einheits-Brandkurve

(1) Die Einheits-Brandkurve ist durch Gleichung (5.4) gegeben:

$$\theta_g = 20 + 345 \log_{10}(8t + 1) \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (5.4)$$

Dabei ist

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

t die Zeit [min].

(2) Der Wärmeübergangskoeffizient für Konvektion α_c für die Einheits-Brandkurve sollte als $\alpha_c = 25 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ angesetzt werden.

5.2.2 Außenbrandkurve

(1) Die Außenbrandkurve ist durch Gleichung (5.5) gegeben:

$$\theta_g = 660 (1 - 0,687e^{-0,32t} - 0,313e^{-3,8t}) + 20 \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (5.5)$$

Dabei ist

θ_g die Gastemperatur in Bauteilnähe [$^{\circ}\text{C}$];

t die Zeit [min].

(2) Der Wärmeübergangskoeffizient für Konvektion α_c für die Außenbrandkurve sollte als $\alpha_c = 25 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ angesetzt werden.

5.2.3 Hydrokarbon-Brandkurve

(1) Die Hydrokarbon-Brandkurve ist durch Gleichung (5.6) gegeben:

$$\theta_g = 1\,080 (1 - 0,325e^{-0,167t} - 0,675e^{-2,5t}) + 20 \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (5.6)$$

Dabei ist

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

t die Zeit [min].

(2) Der Wärmeübergangskoeffizient für Konvektion für die Hydrokarbon-Brandkurve sollte als $\alpha_c = 50 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ angesetzt werden.

5.3 Physikalisch basierte Modelle

5.3.1 Vereinfachte Brandmodelle

5.3.1.1 Allgemeines

(1) Vereinfachte Brandmodelle basieren auf bestimmten physikalischen Parametern mit begrenztem Anwendungsbereich.

ANMERKUNG Ein Verfahren zur Berechnung des Bemessungswertes der Brandlastdichte $q_{f,d}$ ist in Anhang E angegeben.

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

(3) Bei Verwendung vereinfachter Brandmodelle sollte der konvektive Wärmeübergangskoeffizient als $\alpha_c = 35 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ angesetzt werden.

5.3.1.2 Vollbrände

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

ANMERKUNG 1 Für innenliegende Bauteile von Brandabschnitten ist ein Verfahren zur Berechnung der Gastemperatur im Brandabschnitt in Anhang A und Anhang E angegeben.

ANMERKUNG 2 Für außenliegende Bauteile, die durch Öffnungen in der Fassade dem Brand ausgesetzt sind, ist ein Verfahren zur Berechnung der Erwärmungsbedingungen in Anhang B angegeben.

5.3.1.3 Lokale Brände

(1) Ein lokaler Brand sollte in einem Brandabschnitt berücksichtigt werden, in dem das Auftreten von Feuerüberschlag in der frühen Brandphase unwahrscheinlich ist.

ANMERKUNG Ein Verfahren zur Berechnung der thermischen Einwirkungen durch lokale Brände ist in Anhang C angegeben.

5.3.2 Allgemeine Brandmodelle

(1) In allgemeinen Brandmodellen sollte Folgendes berücksichtigt werden:

- Gaseigenschaften;
- Massenaustausch;
- Energieaustausch.

ANMERKUNG Verfahren zur Berechnung des Bemessungswertes der Brandlastdichte $q_{f,d}$, der Brandentwicklungsrate und der Wärmefreisetzungsrate Q sind in Anhang E angegeben.

(2) Eines der folgenden 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 sowie einer unteren Schicht mit gleichmäßigen zeitabhängigen geringeren Temperaturen ausgehen;
- rechnergestützte Fluid-Dynamik-Modelle mit Angabe der Temperaturentwicklung im Brandabschnitt in vollständiger Abhängigkeit von Zeit und Ort.

ANMERKUNG Ein Verfahren zur Berechnung thermischer Einwirkungen bei Verwendung von Ein-Zonen-, Zwei-Zonen- oder rechnergestützten Fluid-Dynamik-Modellen ist in Anhang D angegeben.

(3) Wenn keine detaillierteren Angaben vorliegen, sollte bei allgemeinen Brandmodellen der Wärmeübergangskoeffizient für Konvektion als $\alpha_c = 35 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ angesetzt 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. Das Temperaturfeld im Bauteil darf dadurch bestimmt werden, dass die größte Auswirkung an jedem Ort aus den beiden Brandmodellen berücksichtigt wird.

6 Mechanische Einwirkungen für die statische Berechnung

6.1 Allgemeines

(1) Aufgebrachte und behinderte Ausdehnungen und Verformungen infolge Temperaturänderungen durch Brandbeanspruchungen verursachen Auswirkungen von Einwirkungen, z. B. Kräfte und Momente, die berücksichtigt werden müssen, mit Ausnahme von Fällen, in denen sie:

- entweder als vernachlässigbar oder günstig wirkend betrachtet werden können;
- durch konservativ gewählte Auflagerungsmodelle und Randbedingungen berücksichtigt werden und/oder implizit durch konservativ festgelegte Brandschutzanforderungen abgedeckt werden.

(2) Bei einer Bewertung indirekter Einwirkungen sollte Folgendes berücksichtigt werden:

- behinderte thermische Ausdehnung der Bauteile selbst, z. B. Stützen in mehrgeschossigen Rahmentragwerken mit steifen Wänden;
- 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 Verschiebung eines Stützenkopfes infolge der Ausdehnung der Decke oder die Ausdehnung angeschlossener Seile;
- thermische Ausdehnung von Bauteilen mit Auswirkungen auf Bauteile außerhalb des Brandabschnitts.

(3) Die Bemessungswerte indirekter Einwirkungen infolge eines Brandes $A_{\text{ind,d}}$ sollten auf Grundlage der Bemessungswerte für thermische und mechanische Baustoffeigenschaften, die in den Brandschutzteilen von EN 1992 bis EN 1996 und EN 1999 angegeben sind, und der maßgebenden Brandbeanspruchung bestimmt werden.

(4) Indirekte Einwirkungen durch angeschlossene Bauteile sollten nicht berücksichtigt werden, wenn sich die Brandschutzanforderungen auf Bauteile unter Einheits-Brandbedingungen beziehen.

6.2 Gleichzeitigkeit von Einwirkungen

6.2.1 Einwirkungen aus der Bemessung unter Normaltemperatur

- (1) Einwirkungen, deren Auftreten im Brandfall wahrscheinlich ist, müssen wie bei der Bemessung für Normaltemperatur berücksichtigt werden.
- (2) Die maßgebenden Werte für veränderliche Einwirkungen sollten prEN 1990 entnommen werden. Dabei sollte beachtet werden, dass es sich im Brandfall um eine außergewöhnliche Bemessungssituation handelt.
- (3) Die Abnahme von aufgebrauchten Lasten durch ihre Verbrennung darf vernachlässigt werden.
- (4) Fälle, in denen Schneelasten wegen des Schmelzens von Schnee im Brandfall vernachlässigt werden dürfen, sollten für den Einzelfall bewertet werden.
- (5) Einwirkungen aus industriellem Betrieb, wie z. B. Bremskräfte von Kränen, sollten nicht berücksichtigt werden.

6.2.2 Zusätzliche Einwirkungen

- (1) Gleichzeitiges Auftreten eines Brandes mit anderen unabhängigen außergewöhnlichen Einwirkungen sollte nicht berücksichtigt 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 Die Auswahl zusätzlicher Einwirkungen kann im Nationalen Anhang festgelegt sein.

- (3) Wenn es erforderlich ist, dass Brandwände einer horizontalen Stoßlast widerstehen, sollte dies nach EN 1363-2 festgelegt werden.

6.3 Kombinationsregeln für Einwirkungen

6.3.1 Allgemeine Regel

- (1) Um die maßgebenden Auswirkungen von Einwirkungen $E_{fi,d,t}$ während der Brandbeanspruchung zu ermitteln, müssen die mechanischen Einwirkungen nach prEN 1990 für außergewöhnliche Bemessungssituationen kombiniert werden.
- (2) Für den repräsentativen Wert der veränderlichen Einwirkung Q_1 darf der quasi-ständige Wert $\psi_{2,1} Q_1$ oder alternativ der häufige Wert $\psi_{1,1} Q_1$ verwendet werden.

ANMERKUNG Der repräsentative Wert der veränderlichen Einwirkung Q_1 ist der quasi ständige Wert $\psi_{2,1} Q_1$, sofern nicht im Nationalen Anhang der häufige Wert $\psi_{1,1} Q_1$ festgelegt ist.

6.3.2 Vereinfachte Regeln

- (1) Wenn indirekte Brandeinwirkungen nicht ausdrücklich zu berücksichtigen sind, dann dürfen die Auswirkungen von Einwirkungen ausschließlich durch Berechnung des Tragwerks für kombinierte Einwirkungen nach 6.3.1 für $t = 0$ bestimmt werden. Diese Auswirkungen von Einwirkungen $E_{fi,d}$ dürfen als konstant während der gesamten Brandbeanspruchung angewendet werden.

ANMERKUNG Dieser Absatz gilt zum Beispiel für Auswirkungen von Einwirkungen an Rändern und Auflagerungen, wenn eine Berechnung von Teiltragwerken entsprechend den Brandschutzteilen von EN 1992 bis EN 1996 und EN 1999 durchgeführt wird.

(2) Als weitere Vereinfachung zu (1) dürfen Auswirkungen von Einwirkungen von denen aus der Bemessung unter Normaltemperatur abgeleitet werden, die mit Gleichung (6.1) ermittelt werden:

$$E_{fi,d,t} = E_{fi,d} = \eta_{fi} \cdot E_d \quad (6.1)$$

Dabei ist

E_d der Bemessungswert der maßgebenden Auswirkungen von Einwirkungen für grundlegende (ständige und vorübergehende) Bemessungssituationen nach prEN 1990;

$E_{fi,d}$ der entsprechende konstante Bemessungswert im Brandfall;

η_{fi} ein Abminderungsfaktor.

(3) Für die Kombination von Einwirkungen nach prEN 1990:2020, Gleichung (8.12), sollte der Abminderungsfaktor η_{fi} angesetzt werden als:

$$\eta_{fi} = \frac{G_k + \psi_{fi} Q_{k,1}}{\gamma_G G_k + \gamma_{Q,1} Q_{k,1}} \quad (6.2)$$

oder, für die Kombination von Einwirkungen nach prEN 1990:2020, Gleichung (8.13a) und Gleichung (8.13b), als der kleinste Wert nach Gleichung (6.3) und Gleichung (6.4):

$$\eta_{fi} = \frac{G_k + \psi_{fi} Q_{k,1}}{\gamma_G G_k + \gamma_{Q,1} Q_{k,1}} \quad (6.3)$$

$$\eta_{fi} = \frac{G_k + \psi_{fi} Q_{k,1}}{\xi \gamma_G G_k + \gamma_{Q,1} Q_{k,1}} \quad (6.4)$$

Dabei ist

$Q_{k,1}$ der charakteristische Wert der führenden veränderlichen Einwirkung 1;

G_k der charakteristische Wert der ständigen Einwirkung;

γ_G der Teilsicherheitsbeiwert für die ständige Einwirkung;

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

ψ_{fi} der Kombinationsfaktor für veränderliche Einwirkungen im Brandfall, angegeben durch entweder $\psi_{1,1}$ oder $\psi_{2,1}$, siehe 6.3.1(2);

ξ ein Abminderungsfaktor für die ungünstige ständige Einwirkung G_k .

ANMERKUNG 1 Die Auswahl der anzuwendenden Kombination von Einwirkungen ist im Nationalen Anhang von prEN 1990 angegeben.

ANMERKUNG 2 Ein Beispiel der Schwankung des Abminderungsfaktors η_{fi} gegenüber dem Lastverhältnis $Q_{k,1}/G_k$ für verschiedene Werte des Kombinationsfaktors ψ_{fi} nach Gleichung (6.2) ist in Bild 6.1 dargestellt mit den folgenden

Annahmen: $\gamma_G = 1,35$ und $\gamma_{Q,1} = 1,5$. Teilsicherheitsbeiwerte sind im maßgebenden Nationalen Anhang von prEN 1990 festgelegt. Gleichung (6.3) und Gleichung (6.4) ergeben geringfügig höhere Werte.

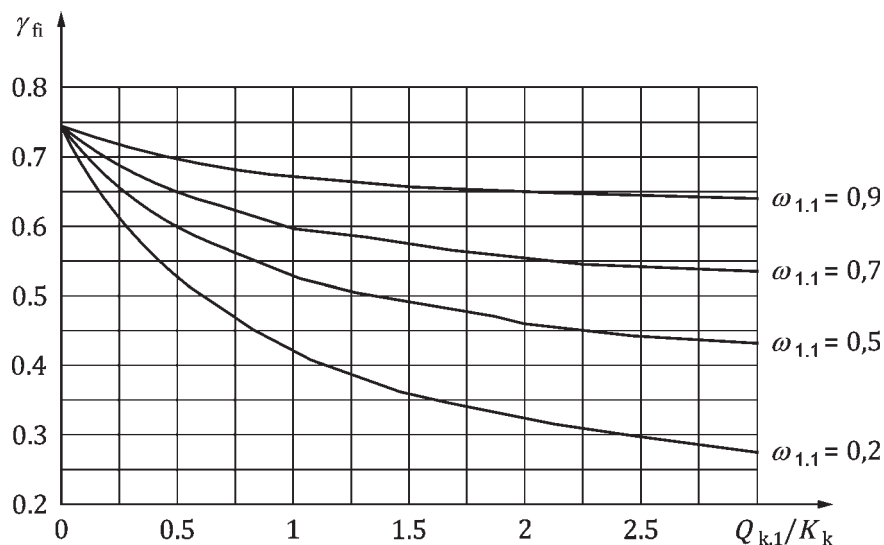


Bild 6.1 — Beispiele für den Abminderungsfaktor η_{fi} in Abhängigkeit vom Lastverhältnis $Q_{k,1}/G_k$ nach Gleichung (6.2)

(4) Als Vereinfachung dürfen die Werte von η_{fi} verwendet werden, wie im maßgebenden baustoffbezogenen Eurocode festgelegt.

ANMERKUNG 3 Die Auswahl empfohlener Werte für den Abminderungsfaktor η_{fi} können dem Nationalen Anhang des maßgebenden baustoffbezogenen Eurocodes entnommen werden.

6.3.3 Lastniveau

(1) Wenn Tabellenwerte für ein Referenzlastniveau festgelegt sind, sollte dieses Lastniveau nach Gleichung (6.5) berechnet werden:

$$E_{fi,d,t} = \eta_{fi,t} \cdot R_d \quad (6.5)$$

Dabei ist

R_d der Bemessungswert des Widerstands eines Bauteils unter Normaltemperatur, bestimmt nach EN 1992 bis EN 1996 und EN 1999;

$\eta_{fi,t}$ das Lastniveau für baulichen Brandschutz.

Anhang A (informativ)

Parametrische Temperaturzeitkurven

A.1 Anwendung dieses Anhangs

(1) Dieser informative Anhang enthält zusätzliche Hinweise zu den Angaben in 5.3.1.2.

ANMERKUNG Die nationale Festlegung, ob und wie dieser informative Anhang angewendet werden soll, ist im Nationalen Anhang angegeben. Falls der Nationale Anhang keine Angaben über die Anwendung dieses informativen Anhangs enthält, kann er angewendet werden.

A.2 Anwendungsbereich und Anwendungsgrenzen

(1) Die in diesem Anhang angegebenen Temperaturzeitkurven gelten für Brandabschnitte ohne Öffnungen im Dach mit einer Grundfläche von bis zu 500 m² und einer maximalen Höhe von 4 m. Es wird davon ausgegangen, dass die Brandlast im Brandabschnitt vollständig abbrennt.

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

A.3 Temperaturzeitkurven in der Erwärmungsphase

(1) Die Temperaturzeitkurven in der Erwärmungsphase sollten nach Gleichung (A.1) berechnet werden:

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

Dabei ist

θ_g die Gastemperatur im Brandabschnitt [°C];

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

mit

t Zeit [h];

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

b Wärmespeichervermögen der gesamten Hülle = $\sqrt{(\rho c \lambda)}$;

in den folgenden Grenzen: $100 \leq b \leq 2\,200$ [J/m²s^{1/2}K];

ρ Dichte der Raumhülle [kg/m³];

c spezifische Wärmekapazität der Raumhülle [J/kgK];

λ Wärmeleitfähigkeit der Raumhülle [W/(mK)];

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

in den folgenden Grenzen: $0,02 \leq O \leq 0,20$;

A_v gesamte Fläche der vertikalen Öffnungen in allen Wänden [m²];

h_{eq} gewichtetes Mittel der Fensterhöhen in allen Wänden [m];

A_t gesamte Fläche der Hülle (Wände, Decke und Boden, einschließlich der Öffnungen) [m²].

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

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

— Wenn $b_1 < b_2$, dann $b = b_1$ (A.3)

— Wenn $b_1 > b_2$, wird eine Grenzschiebtdicke s_{lim} des beanspruchten Baustoffs berechnet nach:

$$s_{lim} = \sqrt{\frac{3\,600\,t_{max}\,\lambda_1}{c_1\,\rho_1}} \text{ mit } t_{max} \text{ gegeben durch Gleichung (A.7)} \quad [m] \quad (A.4)$$

Wenn $s_1 > s_{lim}$, dann $b = b_1$ (A.4a)

Wenn $s_1 < s_{lim}$, dann $b = \frac{s_1}{s_{lim}} b_1 + \left(1 - \frac{s_1}{s_{lim}}\right) b_2$ (A.4b)

Dabei ist

Index 1 repräsentativ für die Schicht, die direkt dem Brand ausgesetzt ist, Index 2 für die nächste Schicht usw.;

s_i die Dicke der Schicht i ;

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

ρ_i die Dichte der Schicht i ;

c_i die spezifische Wärmekapazität der Schicht i ;

λ_i die Wärmeleitfähigkeit der Schicht i .

(4) Zur Berücksichtigung verschiedener b -Faktoren für Wände, Decke und Boden sollte $b = \sqrt{(\rho c \lambda)}$ nach Gleichung (A.5) berechnet werden:

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

Dabei ist

A_j die Fläche der Hüllenoberfläche j ohne Berücksichtigung von Öffnungen;

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

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

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

mit

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

Dabei ist

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

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

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

ANMERKUNG 1 Der Zeitpunkt $t_{\max}$, zu dem die maximale Temperatur auftritt, wird bei brandlastgesteuerten Bränden durch $t_{\lim}$ gegeben. Falls $t_{\max}$ durch $(0,2 \cdot 10^{-3} \cdot q_{t,d}/O)$ bestimmt wird, ist der Brand ventilationsgesteuert.

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

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

mit

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

Dabei ist

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

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

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

(8) Bei langsamer Brandentwicklung gilt $t_{\lim} = 25$ min; bei mittelschneller Brandentwicklung gilt $t_{\lim} = 20$ min; und bei schneller Brandentwicklung gilt $t_{\lim} = 15$ min.

ANMERKUNG 2 Empfehlungen zur Geschwindigkeit der Brandentwicklung sind Anhang E, Tabelle E.6, zu entnehmen.

A.4 Temperaturzeitkurven in der Abkühlphase

(1) Die Temperaturzeitkurven in der Abkühlphase werden gegeben durch:

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

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

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

Dabei ist

t^* gegeben durch Gleichung (A.2a).

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

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

Anhang B (informativ)

Thermische Einwirkungen auf außenliegende Bauteile – Vereinfachtes Berechnungsverfahren

B.1 Anwendung dieses Anhangs

(1) Dieser informative Anhang enthält zusätzliche Hinweise zu den Angaben in 5.3.1.2.

ANMERKUNG Die nationale Festlegung, ob und wie dieser informative Anhang angewendet werden soll, ist im Nationalen Anhang angegeben. Falls der Nationale Anhang keine Angaben über die Anwendung dieses informativen Anhangs enthält, kann er angewendet werden.

B.2 Anwendungsbereich und Anwendungsgrenzen

(1) Das in diesem informativen Anhang angegebene Verfahren ermöglicht die Bestimmung von Folgendem:

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

(2) Dieses Verfahren basiert auf der Annahme konstanter Bedingungen für die verschiedenen Parameter.

(3) Das Verfahren ist nur für Brandlasten $q_{f,d}$ von mehr als 200 MJ/m² gültig.

B.3 Anwendungsbedingungen

(1) Wenn der betrachtete Brandabschnitt mehr als ein Fenster aufweist, 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) Das Verhältnis D/W sollte wie folgt ermittelt werden:

$$D/W = \frac{W_2}{W_1} \quad \text{bei Fenstern ausschließlich in Wand 1} \quad (\text{B.1})$$

$$D/W = \frac{W_2}{W_1} \frac{A_{v1}}{A_v} \quad \text{bei Fenstern in mehr als einer Wand} \quad (\text{B.2})$$

Dabei ist

W_1 die Breite der Wand 1 mit der angenommenen 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 Brandabschnitts.

(3) Besitzt der Brandabschnitt einen Kern, sollte das Verhältnis D/W wie folgt ermittelt werden (es gelten die in (7) angegebenen Grenzen):

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

Dabei sind

L_c und W_c die Länge und die Breite des Kerns;

W_1 und W_2 die Länge und die Breite des Brandabschnitts.

(4) Alle Teile einer Außenwand, die nicht den für die Standsicherheit des Gebäudes erforderlichen Feuerwiderstand (REI) aufweisen, sollten als Fensterflächen eingestuft werden.

(5) Die Gesamtfläche von Fenstern in einer Außenwand sollte wie folgt berechnet werden:

- die Gesamtfläche nach (4), sofern diese weniger als 50 % der Fläche der jeweiligen Außenwand des Brandabschnitts entspricht;
- erstens die Gesamtfläche und zweitens 50 % der Fläche der jeweiligen Außenwand des Brandabschnitts, wenn die Fläche nach (5) 50 % übersteigt. Diese beiden Fälle sollten bei der Berechnung berücksichtigt werden. Wenn die Berechnung auf 50 % der Fläche der Außenwand beruht, sollten Lage und Geometrie der offenen Flächen für den ungünstigsten Fall gewählt werden.

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

(7) Die Flammentemperatur sollte über die Breite und Dicke der Flamme als gleichförmig angenommen werden.

B.4 Auswirkungen von Wind

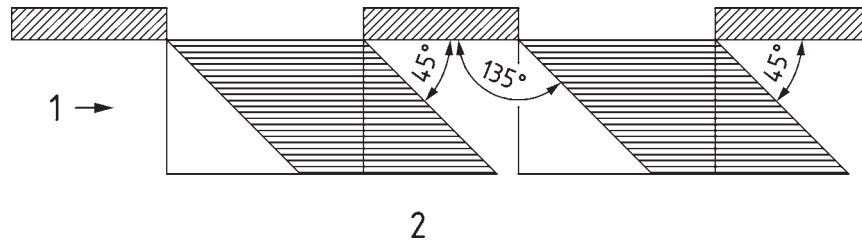
B.4.1 Art der Belüftung

(1) Falls der Brandabschnitt Fenster an gegenüberliegenden Seiten aufweist oder Luft zusätzlich von einer anderen Quelle (als Fenster) dem Brand zugeführt wird, muss eine Zwangsbelüftung in die Berechnung mit einbezogen werden (siehe B.5.2). In allen anderen Fällen wird bei der Berechnung keine Zwangsbelüftung berücksichtigt (siehe B.5.1).

B.4.2 Ablenkung der Flammen durch Wind

(1) Es sollte angenommen werden, dass Flammen aus einer Öffnung im Brandabschnitt wie folgt austreten (siehe Bild B.1):

- rechtwinklig zur Fassade;
- mit einer Ablenkung von 45° zur Fassade infolge der Auswirkungen von Wind.



Legende

- 1 Wind
2 Horizontalschnitt

Bild B.1 — Ablenkung der Flammen durch Wind

B.5 Brand- und Flammeneigenschaften

B.5.1 Ohne Zwangsbelüftung

(1) Die Verbrennungsrate oder Wärmefreisetzungsrate sollte nach Gleichung (B.4) berechnet werden:

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

Dabei ist

- A_f die Bodenfläche des Brandabschnitts;
- $q_{f,d}$ die Bemessungsbrandlastdichte bezogen auf die Bodenfläche A_f ;
- τ_F als gleich 1 200 [s] angenommen;
- A_v die gesamte Fläche der vertikalen Öffnungen in allen Wänden ($A_v = \sum_i A_{v,i}$);
- h_{eq} das gewichtete Mittel der Fensterhöhen in allen Wänden ($h_{eq} = (\sum_i (A_{v,i} h_i)) / A_v$);
- D/W das nach B.3 berechnete Verhältnis.

(2) Die Temperatur des Brandabschnitts sollte nach Gleichung (B.5) berechnet werden:

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

Dabei ist

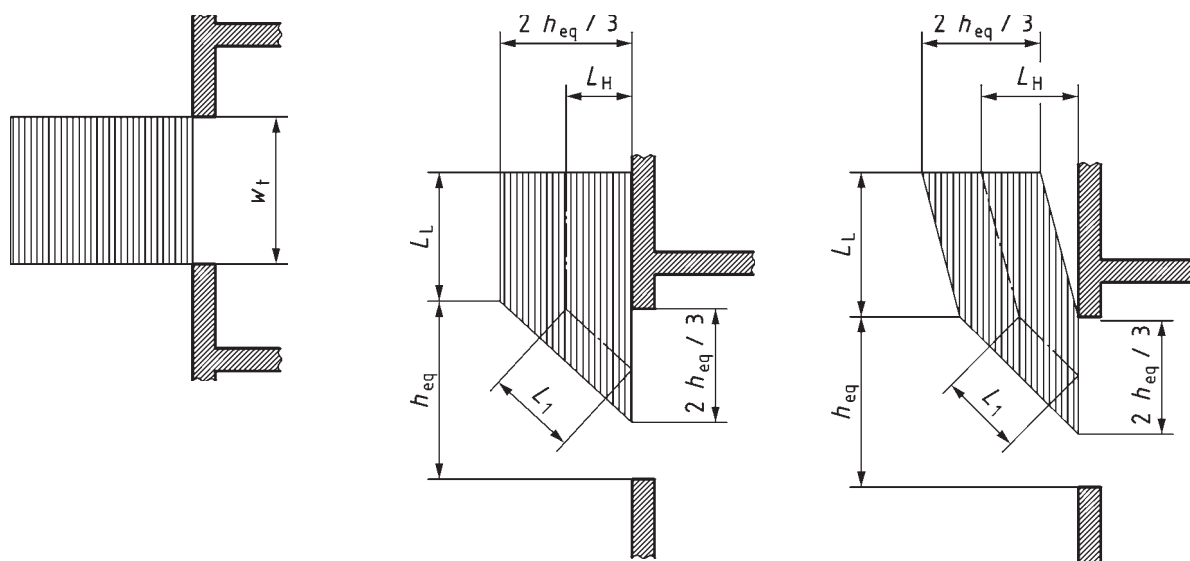
- O der Öffnungsfaktor des Brandabschnitts ($O = A_v \sqrt{h_{eq}} / A_t$);
- T_0 die Anfangstemperatur.

(3) Die Flammenhöhe (siehe Bild B.2) sollte nach Gleichung (B.6) berechnet werden:

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

Gleichung (B.6) darf bei $\rho_g = 0,45 \text{ kg/m}^3$ und $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ wie folgt vereinfacht werden:

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



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

Bild B.2 — Flammenmaße ohne Zwangsbelüftung

(4) Die Flammenbreite sollte als die Fensterbreite angesetzt werden (siehe Bild B.2).

(5) Die Flammentiefe sollte als 2/3 der Fensterhöhe angesetzt werden: $2/3 h_{eq}$ (siehe Bild B.2).

(6) Die Austrittsweite von Flammen sollte wie folgt angesetzt werden:

— in Fällen mit einer Wand oberhalb des Fensters:

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

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

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

— in Fällen ohne eine 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 sollte angesetzt werden als:

wenn

$$L_L > 0$$

$$L_f = L_L + h_{eq}/2 \quad \text{in Fällen mit einer Wand oberhalb des Fensters und falls } h_{eq} \leq 1,25w_t \quad (B.12)$$

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

wenn

$$L_L = 0, \text{ dann ist } L_f = 0$$

(8) Die Flammentemperatur am Fenster sollte angesetzt werden als:

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

mit

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

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

(10) Die Flammentemperatur entlang der Achse sollte angesetzt werden als:

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

mit

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

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

(11) Die Emissivität von Flammen darf angesetzt werden als:

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

Dabei ist

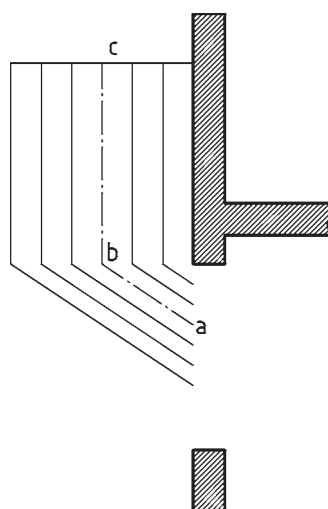
d_f die Dicke der Flamme [m].

(12) Der Wärmeübergangskoeffizient für Konvektion sollte nach Gleichung (B.17) berechnet werden:

$$\alpha_c = 4,67 (1/\text{deg}) 0,4 (Q/Av) 0,6 \quad (\text{B.17})$$

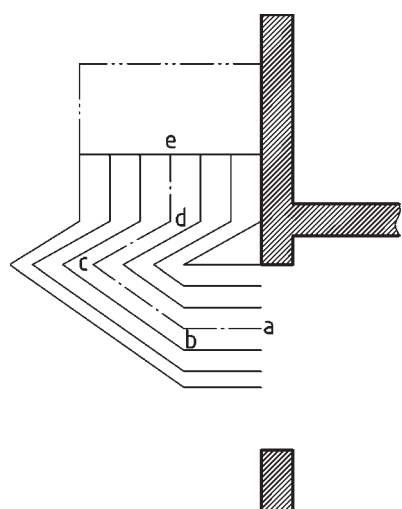
(13) Befindet sich eine Markise oder ein Balkon (mit einem horizontalen Vorsprung W_a) an der oberen Kante des Fensters sowie über dessen volle Breite (siehe Bild B.3), sollten bei der Wand oberhalb des Fensters und bei $h_{eq} \leq 1,25 w_t$ die Höhe und der horizontale Vorsprung der Flamme wie folgt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

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



a) Vertikalschnitt

$$a \ b \ c = L_f$$



b) Vertikalschnitt

$$a \ b \ c \ d \ e = L_f \text{ und } w_a = a \ b$$

Bild B.3 — Ablenkung der Flammen durch Balkon

(14) Unter den gleichen Bedingungen für Markise oder 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 sollte um W_a verringert werden;
- der in (6) angegebene horizontale Vorsprung der Flamme L_H mit dem vorstehend angegebenen Wert L_L sollte um W_a erhöht werden.

B.5.2 Zwangsbelüftung

(1) Die Verbrennungsrate oder Wärmefreisetzungsrate sollte gegeben werden durch:

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

Dabei ist

A_f die Bodenfläche des Brandabschnitts;

$q_{f,d}$ die Bemessungsbrandlastdichte bezogen auf die Bodenfläche A_f ;

τ_F die Dauer des unregelmäßigen Brandes.

(2) Die Temperatur des Brandabschnitts sollte gegeben werden durch:

$$T_f = 1\,200(1 - e^{-0,002\,28\Omega}) + T_0 \quad (\text{B.19})$$

(3) Die Höhe der Flamme (siehe Bild B.4) sollte gegeben werden 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 1 Mit $u = 6 \text{ m/s}$, $L_L \approx 0,63 Q/A_v^{1/2} - h_{eq}$.

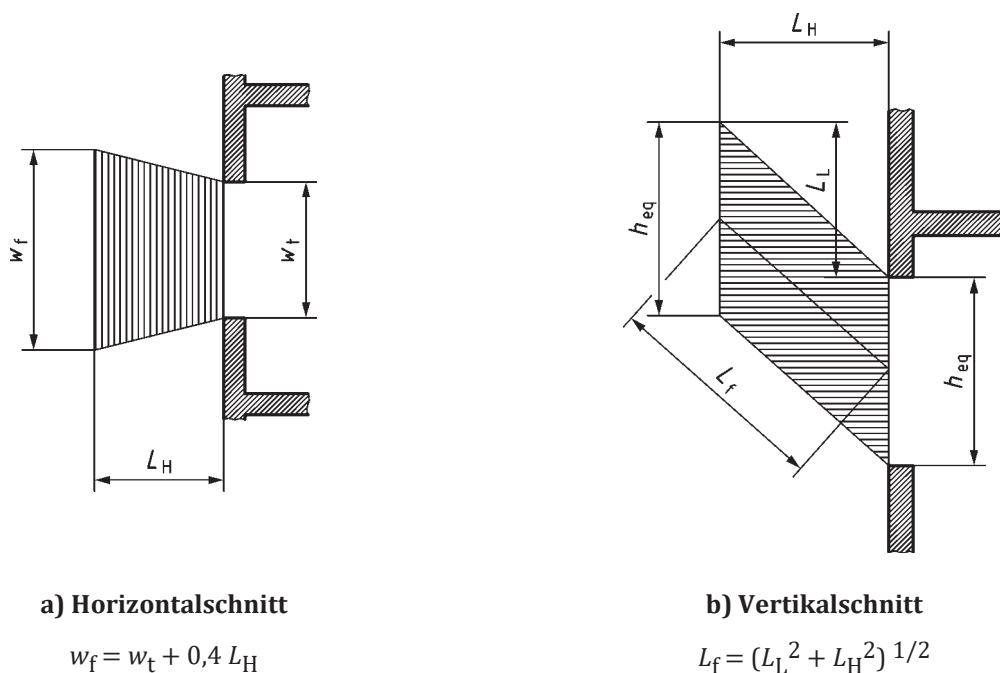


Bild B.4 — Flammenmaße bei Durch- oder Zwangsbelüftung

(4) Die Austrittsweite von Flammen sollte gegeben werden durch:

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

ANMERKUNG 2 Mit $u = 6 \text{ m/s}$, $L_H = 1,33 (L_L + h_{eq})/h_{eq}^{0,22}$.

(5) Die Flammenbreite sollte gegeben werden durch:

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

(6) Die Länge der Flammen entlang der Achse sollte gegeben werden durch:

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

(7) Die Flammentemperatur am Fenster sollte gegeben werden durch:

$$T_w = 520 / (1 - 0,332 5 L_f (A_v)^{1/2} / Q) + T_0 \quad [\text{K}] \quad (\text{B.24})$$

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

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

(9) Die Flammentemperatur entlang der Achse sollte gegeben werden durch:

$$T_z = \left(1 - 0,332 5 \frac{L_x (A_v)^{1/2}}{Q} \right) (T_w - T_0) + T_0 \quad [\text{K}] \quad (\text{B.25})$$

Dabei ist

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

(10) Die Emissivität von Flammen darf angesetzt werden als:

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

Dabei ist d_f die Dicke der Flamme [m].

(11) Der Wärmeübergangskoeffizient für Konvektion sollte gegeben werden durch:

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

ANMERKUNG 3 Mit $u = 6$ 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) Hinsichtlich der Auswirkungen von Balkonen oder Markisen, siehe Bild B.5, bleibt der Flammenaustritt nach der horizontalen Ablenkung durch Balkon oder Markise unverändert, d. h. die Flamme wird um die Balkontiefe nach außen verschoben, wobei jedoch die Flammenlänge L_f unverändert bleibt.