

DIN EN 1991-1-2/NA



ICS 13.220.50; 91.010.30

Archiv

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

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

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

Gesamtumfang 48 Seiten

Normenausschuss Bauwesen (NABau) im DIN

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

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

Vorwort

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

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

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

Eine Liste dieser Textstellen befindet sich in NA.2.1.

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

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

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

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

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

NA.1 Anwendungsbereich

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

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

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

NA.2.1 Allgemeines

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

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

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

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

NA.2.2 Nationale Festlegungen

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

NCI zu „1.2 Normative Verweisungen“

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

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

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

NDP zu „2.4 (4) Temperaturberechnung“

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

DIN EN 1991-1-2/NA:2010-12**NDP zu „3.3.1.1 (1) Vereinfachte Brandmodelle — Allgemeines“**

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

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

NDP zu „3.3.1.2 (1) Vollbrände“

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

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

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

NDP zu „3.3.1.2 (2) Außenliegende Bauteile“

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

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

NDP zu „3.3.1.3 Lokale Brände“

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

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

NDP zu „3.3.2 (2) Allgemeine Brandmodelle“

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

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

NDP zu „4.2.2 (2) Zusätzliche Einwirkungen“

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

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

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

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

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

Zu „Anhang A Parametrische Temperaturzeitkurven“

Der Anhang A darf in Deutschland nicht angewendet werden.

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

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

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

Der Anhang B darf angewendet werden mit folgenden Änderungen:

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

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

Zu „Anhang C Lokale Brände“

Der Anhang C darf angewendet werden mit folgenden Änderungen:

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

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

Zu „Anhang D Erweiterte Brandmodelle“

Die Berechnungsmethoden des Anhangs D dürfen angewendet werden.

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

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

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

Zu „Anhang E Brandlastdichten“

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

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

Zu „Anhang F Äquivalente Branddauer“

Der Anhang F darf nicht angewendet werden.

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

Zu „Anhang G Konfigurationsfaktor“

Der Anhang G darf angewendet werden.

NCI

Anhang AA (normativ)

Vereinfachtes Naturbrandmodell für vollentwickelte Raumbrände

AA.1 Allgemeines

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

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

AA.2 Anwendungsgrenzen

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

AA.3 Bemessungsbrand

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

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

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

Dabei ist

A_w die Fläche der Ventilationsöffnungen in m²;

h_w die gemittelte Höhe der Ventilationsöffnungen in m.

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

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

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

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

Dabei ist

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

Der charakteristische Wert der maximalen Wärmefreisetzungsrate ist der kleinere der beiden maximalen Wärmefreisetzungsraten für den ventilationsgesteuerten bzw. den brandlastgesteuerten Brand:

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

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

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

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

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

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

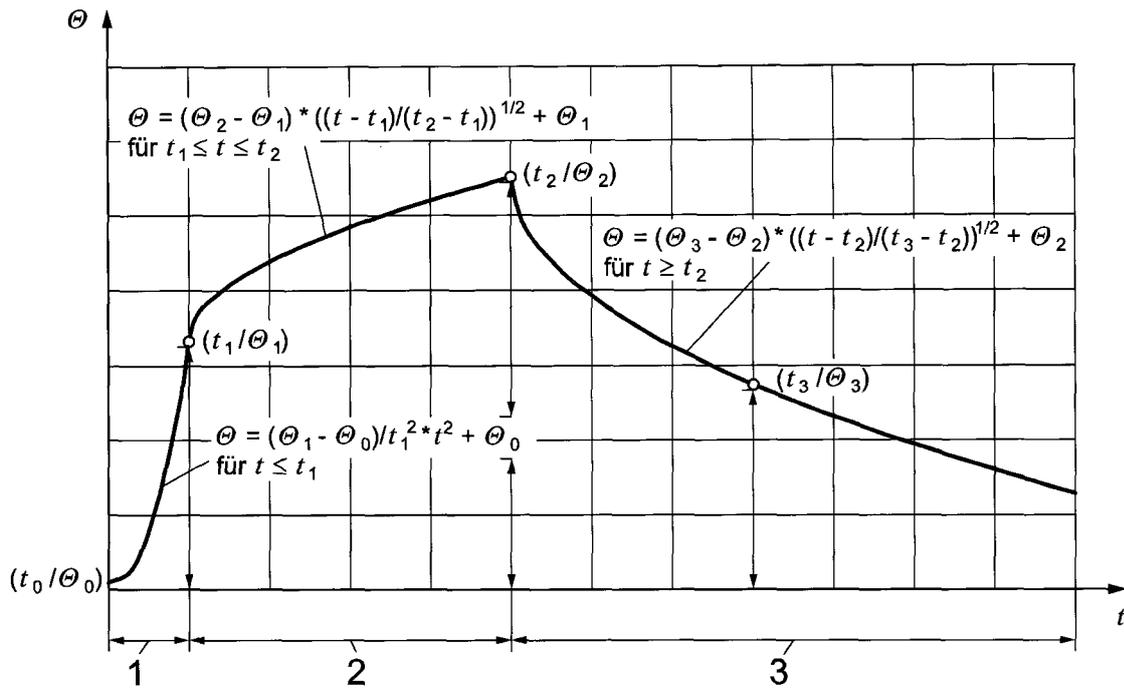
Dabei ist

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

AA.4 Parametrische Temperaturzeitkurven

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

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



Legende

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

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

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

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

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

$$t_2 = t_1 + \frac{Q_2}{\dot{Q}_{\max, v, d}} \quad \text{in s} \quad \text{mit } Q_2 = 0,7 \cdot Q_d - \frac{t_1^3}{3 \cdot t_\alpha^2} \quad (\text{AA.9})$$

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

$$t_3 = t_2 + \frac{2 \cdot Q_3}{\dot{Q}_{\max, v, d}} \quad \text{in s} \quad \text{mit } Q_3 = 0,3 \cdot Q_d \quad (\text{AA.11})$$

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

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

Dabei ist

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

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

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

A_w die Fläche der Ventilationsöffnungen in m^2 ;

h_w die gemittelte Höhe der Ventilationsöffnungen in m;

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

$Q_d = q \cdot A_f$, die Gesamtbrandlast im Brandraum in MJ bei der Referenzbrandlastdichte $q = 1\,300 \text{ MJ}/\text{m}^2$.

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

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

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

$$t_2 = t_1 + \frac{Q_2}{\dot{Q}_{\max, f, d}} \quad \text{in s} \quad \text{mit } Q_2 = 0,7 \cdot Q_d - \frac{t_1^3}{3 \cdot t_\alpha^2} \quad (\text{AA.15})$$

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

$$t_3 = t_2 + \frac{2 \cdot Q_3}{\dot{Q}_{\max, f, d}} \quad \text{in s} \quad \text{mit } Q_3 = 0,3 \cdot Q_d \quad (\text{AA.17})$$

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

Dabei ist

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

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

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

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

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

$$\theta_{2,x} = (\theta_2 - \theta_1) \cdot \sqrt{\frac{(t_{2,x} - t_1)}{(t_2 - t_1)}} + \theta_1 \quad \text{in } ^\circ\text{C} \quad (\text{AA.21})$$

Dabei ist

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

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

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

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

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

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

$$\theta_{2,x} = \frac{(\theta_1 - 20)}{t_1^2} \cdot t_{1,x}^2 + 20 \quad \text{in } ^\circ\text{C} \quad (\text{AA.23})$$

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

$$\theta_{3,x} = \theta_3 \cdot \frac{\log_{10}\left(\frac{t_{3,x}}{60} + 1\right)}{\log_{10}\left(\frac{t_3}{60} + 1\right)} \quad \text{in } ^\circ\text{C} \quad (\text{AA.24})$$

Dabei ist

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

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

$$\theta(t) = \frac{(\theta_1 - 20)}{t_1^2} \cdot t^2 + 20 \quad \text{in } ^\circ\text{C} \quad \text{für } 0 \leq t \leq t_1 \quad (\text{AA.26})$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

AA.5 Berechnung des Wärmespeichervermögens b

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

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

Dabei ist

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

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

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

Tabelle AA.1 — Zuordnung von Einflussgruppen zum Wärmespeichervermögen b

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

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

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

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

AA.6 Durchführung der Berechnung

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

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

NCI

Anhang BB (normativ)

Eingangsdaten für die Anwendung von Naturbrandmodellen

BB.1 Allgemeines

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

BB.2 Anwendungsgrenzen

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

BB.3 Brandlastdichte

BB.3.1 Allgemeines

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

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

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

Dabei ist

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

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

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

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

BB.3.2 Ermittlung der Brandlastdichte durch Klassifizierung nach der Nutzung

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

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

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

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

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

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

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

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

BB.3.3 Ermittlung der Brandlastdichte im Einzelfall

BB.3.3.1 Allgemeines

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

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

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

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

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

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

Dabei ist

- $M_{k,i}$ die Menge des brennbaren Stoffes in kg;
- H_{ui} die Netto-Verbrennungswärme in MJ/kg, siehe BB.3.3.3;
- χ_i die Verbrennungseffektivität;
- ψ_i ein Beiwert zur Berücksichtigung geschützter Brandlasten, siehe BB.3.3.2;
- A_f die Grundfläche des Brandraumes bzw. der Nutzungseinheit in m^2 ;
- $q_{f,d,min}$ der Mindestwert der Brandlastdichte in MJ/m^2 .

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

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

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

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

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

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

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

Die größte Brandlast, jedoch mindestens 10 % der geschützten Brandlast, wird mit $\psi_f = 1,0$ 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 ψ_f einzeln zu ermitteln.

BB.3.3.3 Netto-Verbrennungswärme

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

Der Feuchtegehalt von Materialien darf wie folgt berücksichtigt werden.

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

Dabei ist

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

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

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

BB.4 Wärmefreisetzungsrate

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

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

Dabei ist

t die Zeit nach der Brandentstehung in s;

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

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

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

Tabelle BB.2 — Parameter t_{α} für die Brandentwicklungsphase und maximale flächenbezogene Wärmefreisetzungsrate RHR_f für die stationäre Phase bei verschiedenen Nutzungen (charakteristische Werte)

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

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

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

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

Dabei ist

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

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

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

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

Dabei ist

A_w die Fläche der Ventilationsöffnungen in m²;

h_w die gemittelte lichte Höhe der Ventilationsöffnungen in m;

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

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

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

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

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

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

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

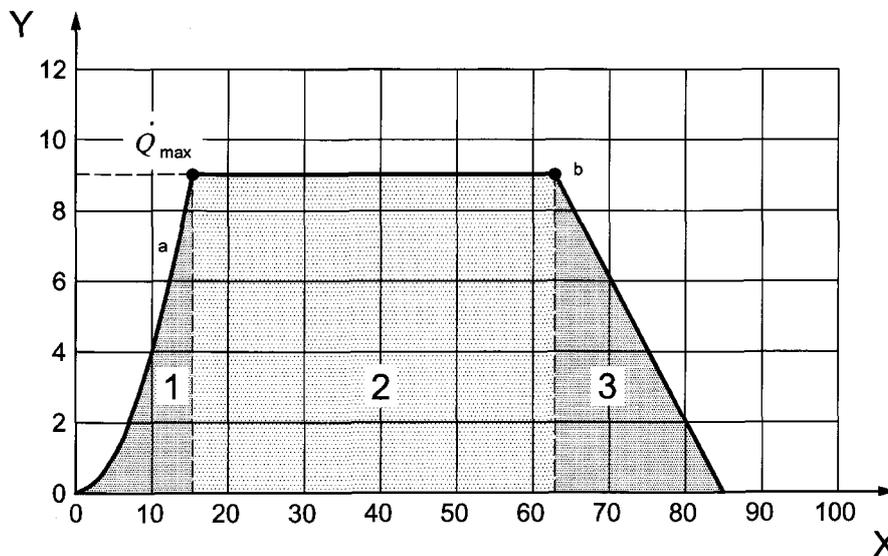
$$\dot{Q}_{\max,d} = \dot{Q}_{\max,k} \cdot \gamma_{fi,Q} \quad (\text{BB.8})$$

Dabei ist

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

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

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

**Legende**

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

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

BB.5 Sicherheitskonzept

BB.5.1 Auftretenswahrscheinlichkeit eines Brandes

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

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

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

Dabei ist

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

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

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

Dabei ist

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

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

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

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

Tabelle BB.3 — Auftretenswahrscheinlichkeit p_1 von mindestens einem Entstehungsbrand je Nutzungseinheit und Jahr in Abhängigkeit von der Nutzung

Zeile	Nutzung	Auftrittswahrscheinlichkeit je Nutzungseinheit und Jahr		
		$p_1 \approx a \cdot A^b$		p_1
		a 1/(m ² · a)	b	1/a
		1	2	3
1	Wohngebäude	4,8E-5	0,9	3,0E-3
2	Bürogebäude	5,9E-5	0,9	6,2E-3
3	Krankenhaus, Pflegeheim	7,0E-4	0,75	3,0E-1
4	Hotel, Beherbergungsstätte	8,0E-5	1,0	3,7E-2
5	Schule, Bildungseinrichtung	2,0E-4	0,75	4,0E-2
6	Verkaufsstätte, Geschäftshaus	6,6E-5	1,0	8,4E-3
7	öffentliche Versammlungsstätte (Theater, Kino) sonstige Versammlungsstätte (z. B. Diskothek)	9,7E-5	0,75 1,0	2,0E-2 1,2E-1

Die Ausfallwahrscheinlichkeit p_2 der manuellen Brandbekämpfung berücksichtigt sowohl die Selbsthilfemaßnahmen der Nutzer als auch die Löscharbeiten der Feuerwehr:

$$p_2 = p_{2,1} \cdot p_{2,2} \quad (\text{BB.11})$$

Die Ausfallwahrscheinlichkeit der manuellen Brandbekämpfung durch die Nutzer darf im Allgemeinen mit $p_{2,1} = 0,5$ angenommen werden.

Die Ausfallwahrscheinlichkeit von Löscharbeiten der Feuerwehr hängt einerseits von der Vornahmezeit (= Alarmierungszeit + Hilfsfrist) und der Stärke der Feuerwehr und andererseits von der Brandausbreitung bis zum Beginn der Löscharbeiten ab. Bei einer öffentlichen Feuerwehr mit einer durchschnittlichen Vornahmezeit von bis zu 15 min kann pauschal mit $p_{2,2} = 0,2$ gerechnet werden. Bei einer Betriebs- oder Werkfeuerwehr kann $p_{2,2}$ aufgrund der kürzeren Vornahmezeit und einer auf das spezielle Objekt ausgerichteten Stärke und Ausstattung ggf. deutlich geringer sein.

Zahlenwerte $p_{2,2}$ für die Brandbekämpfung durch eine öffentliche Feuerwehr bzw. Betriebsfeuerwehr können der Tabelle BB.4 entnommen werden. Zwischen den angegebenen Vornahmezeiten darf linear interpoliert werden.

Die Ausfallwahrscheinlichkeit p_3 der Brandbekämpfung mittels einer automatischen Löschanlage hängt von der Art und Auslegung und dem Zeitpunkt der Auslösung der Löschanlage ab.

Zahlenwerte p_3 für die Ausfallwahrscheinlichkeit verschiedener Löschanlagen können der Tabelle BB.4 entnommen werden.

Tabelle BB.4 — Ausfallwahrscheinlichkeit $p_{2,2}$ bzw. p_3 der Brandbekämpfung bei Anforderung

Zeile	Brandbekämpfung durch	Ausfallwahrscheinlichkeit bei Anforderung	
		$p_{2,2}$	p_3
		1	2
1	öffentliche Feuerwehr mit Vornahmezeit		
1a	< 15 min	0,2	
1b	> 20 min	0,5	
2	Betriebsfeuerwehr mit Vornahmezeit ^a		
2a	< 10 min (vier Staffeln)	0,02	
2b	< 10 min (zwei Staffeln)	0,05	
3	Automatische Löschanlage		
3a	Sprinkleranlage nach VdS/CEA Standard		0,02
3b	in anderen Fällen		0,05
3c	Sonstige Wasserlöschanlage		0,1
3d	Gaslöschanlage		0,1

^a Automatische Brandmeldung und Alarmierung werden vorausgesetzt.

BB.5.2 Erforderliche Zuverlässigkeit im Brandfall

Aus der für alle Lastfälle geltenden zulässigen Versagenswahrscheinlichkeit p_f von Bauteilen und der jährlichen Auftretenswahrscheinlichkeit p_{fi} von mindestens einem Schadenfeuer in der betreffenden Nutzungseinheit nach Gleichung (BB.10) darf eine zulässige bedingte Versagenswahrscheinlichkeit $p_{f,fi}$ im Brandfall bzw. der damit verknüpfte Zuverlässigkeitsindex β_{fi} wie folgt ermittelt werden:

$$p_f = \Phi(-\beta) \quad (\text{BB.12})$$

$$p_{f,fi} = \frac{p_f}{p_{fi}} \quad (\text{BB.13})$$

$$\beta_{fi} = -\Phi^{-1}(p_{f,fi}) \quad (\text{BB.14})$$

Dabei ist $\Phi(\)$ die Funktion der Standard-Normalverteilung und Φ^{-1} deren Umkehrfunktion.

Werte für p_f in Gleichung (BB.13) bzw. für den Zuverlässigkeitsindex β nach Gleichung (BB.12) können in Abhängigkeit von der der Nutzung und den Schadensfolgen bei einem Bauteilversagen aus Tabelle BB.5 entnommen werden. Wenn keine näheren Angaben vorliegen, sind die Werte für mittlere Schadensfolgen zu verwenden.

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

Tabelle BB.5 — Richtwerte für den Zuverlässigkeitsindex β und die zugehörige Versagenswahrscheinlichkeit p_f (Bezugszeitraum 1 Jahr) bei verschiedenen Nutzungen

Zeile	Nutzung	Schadensfolgen					
		hoch		mittel		gering	
		β	p_f	β	p_f	β	p_f
		1a	1b	2a	2b	3a	3b
1	Wohngebäude, Bürogebäude und vergleichbare Nutzungen Gebäudeklassen nach MBO	4,7	1,3E-6	4,2	1,3E-5	3,7	1,1E-4
					4 + 5		2 + 3
2	Krankenhaus, Pflegeheim						
3	Beherbergungsstätte, Hotel						
4	Schule						
5	Verkaufsstätte	5,2	1,0E-7	4,7	1,3E-6	4,2	1,3E-5
6	Versammlungsstätte						
7	Hochhaus						
8	Landwirtschaftlich genutzte Gebäude	—	—	4,2	1,3E-5	3,7	1,1E-4

BB.5.3 Teilsicherheitsbeiwerte γ_{fi} für die Einflussgrößen der Brandeinwirkung

Mit der bedingten Versagenswahrscheinlichkeit im Brandfall $p_{f,fi}$ nach Gleichung (BB.13) bzw. dem zugehörigen Zuverlässigkeitsindex β_{fi} nach Gleichung (BB.14) können die Bemessungswerte für die maßgebenden Einflussgrößen der Brandeinwirkung, die Brandlastdichte q und die Wärmefreisetzungsrates \dot{Q} , definiert werden.

ANMERKUNG Die Brandlastdichte nach BB.2 bzw. BB.3 bestimmt maßgeblich die Dauer des Brandes und damit auch die mit der Branddauer zunehmende Brandraumtemperatur. In der frühen Phase des Brandes hat die Wärmefreisetzungsrates nach BB.4 die maßgebende Einflussgröße.

Der Bemessungswert der Brandlastdichte ergibt sich nach Gleichung (BB.1) aus dem charakteristischen Wert $q_{f,k}$ (90 %-Quantil) und einem Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_{fi,q}$.

Bei Ermittlung der Brandlastdichte durch Klassifizierung der Nutzung nach BB.3.2 ergibt sich der Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_{fi,q}$ in Abhängigkeit vom erforderlichen Zuverlässigkeitsindex β_{fi} aus Gleichung (BB.15):

$$\gamma_{fi} = \frac{1 - V \cdot 0,78 \cdot [0,577 2 + \ln(-\ln(\Phi(\alpha \cdot \beta_{fi})))]}{1 - V \cdot 0,78 \cdot [0,577 2 + \ln(-\ln(0,9))]} \quad (\text{BB.15})$$

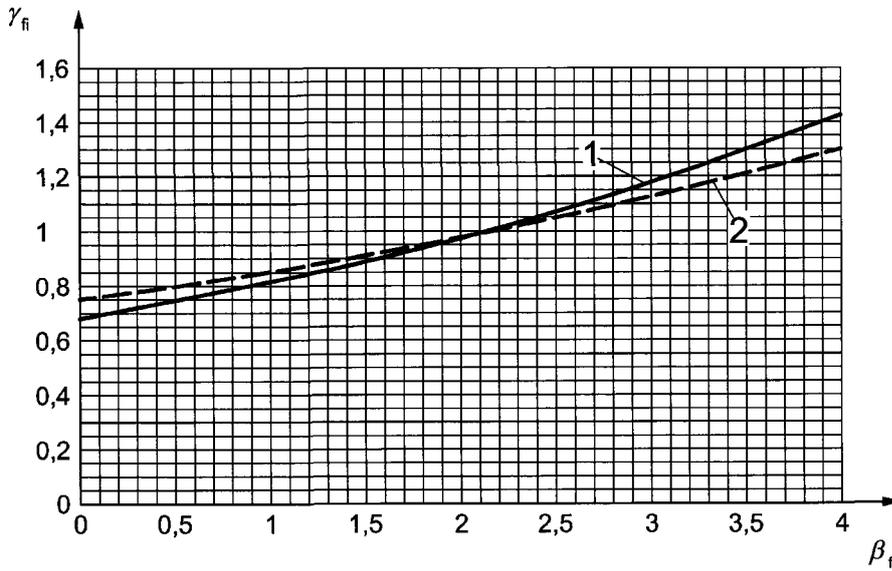
Dabei ist $\Phi(\)$ die Funktion der Standard-Normalverteilung. Für V ist der Variationskoeffizient der Brandlastdichte mit $V_q = 0,3$ einzusetzen, der Sensitivitätsfaktor α (als Maß für den Streuungseinfluss) wird zu $\alpha = 0,6$ angenommen.

Der Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_{fi,q}$ darf auch aus Bild BB.2, Kurve 1, entnommen werden.

Bei Ermittlung der Brandlastdichte im Einzelfall nach BB.3.3 ergibt sich der Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_{fi,q}$ aus Gleichung (BB.15), indem für V der reduzierte Variationskoeffizient $V_q = 0,2$ eingesetzt und der Sensitivitätsfaktor $\alpha = 0,6$ beibehalten wird. Der Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_{fi,q}$ darf auch aus Bild BB.2, Kurve 2 abgelesen werden.

Der Teilsicherheitsbeiwert für die Wärmefreisetzungsrate \dot{Q} nach BB.4 ergibt sich aus der Gleichung (BB.15) mit dem Variationskoeffizient $V_{\dot{Q}} = 0,2$ und dem Sensitivitätsfaktor $\alpha = 0,6$. Er entspricht damit dem Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_{fi,q}$ bei Ermittlung der Brandlastdichte im Einzelfall nach BB.3.3.

Der Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_{fi,\dot{Q}}$ darf auch aus Bild BB.2, Kurve 2, abgelesen werden.



$P_{f,fi}$	β_{fi}
5,0E-01	0,00
4,0E-01	0,25
3,1E-01	0,50
2,3E-01	0,75
1,6E-01	1,00
1,1E-01	1,25
6,7E-02	1,50
4,0E-02	1,75
2,3E-02	2,00
1,2E-02	2,25
6,2E-03	2,50
3,0E-03	2,75
1,3E-03	3,00
5,8E-04	3,25
2,3E-04	3,50
8,8E-05	3,75
3,2E-05	4,00

Legende

- 1 Brandlastdichte nach BB.3.2
- 2 Wärmefreisetzungsrate nach BB.4 und Brandlastdichte nach BB.3.3

Bild BB.2 — Teilsicherheitsbeiwerte für die Einflussgrößen eines Naturbrandes bezogen auf die definierten charakteristischen Werte (90 %-Quantil)

Anhang CC (informativ)

Prüfung und Validierung von Rechenprogramm für Brandschutznachweise mittels allgemeiner Rechenverfahren

CC.1 Allgemeines

Die physikalischen, mathematischen und mechanischen Rechengrundlagen von Rechenprogrammen für Brandschutznachweise mit allgemeinen Rechenverfahren sollten im Hinblick auf die thermische Analyse, Querschnittsanalyse und Systemanalyse validiert sein. Ziel dieses Anhangs CC ist es, die Anwendbarkeit der Programme für eine ingenieurmäßige brandschutztechnische Bemessung von Bauteilen und Tragwerken anhand einer hinreichenden Anzahl von Validierungsbeispielen zu überprüfen und damit auch die Anwendbarkeit der Rechenprogramme auf reale Tragwerke zu bewerten.

Es werden die einzelnen Schritte der Nachweisführung nacheinander anhand eindeutiger Beurteilungskriterien validiert. Dazu wird mit Hilfe einer Prüfmatrix parameterabhängig die Rechengenauigkeit des verwendeten Programms für das betreffende Beurteilungskriterium überprüft. In der Prüfmatrix sind für das jeweilige Beispiel zum Vergleich entweder existierende analytische Lösungen oder Ergebnisse von Berechnungen anerkannter Programme aufgeführt. Damit sind die mit dem zu prüfenden Rechenprogramm erzielten Ergebnisse zu vergleichen. Die Abweichungen sollten innerhalb zulässiger Toleranzen liegen.

Wenn nicht bei allen Beurteilungskriterien die zulässigen Toleranzen eingehalten werden, ist auch eine Einschränkung des Anwendungsbereichs der Programme möglich. Beispielsweise sind Programme, die das Systemverhalten (Auflagerbedingungen, Belastung) nicht hinreichend genau erfassen, nicht für die brandschutztechnische Bemessung von statisch unbestimmten und/oder stabilitätsgefährdeten Systemen geeignet. Die Programme können aber durchaus für die brandschutztechnische Bemessung von statisch bestimmten Biegebauteilen eingesetzt werden.

Die Beispielsammlung wurde im Rahmen des Forschungsvorhabens [6] erarbeitet und an die aktuellen Fassungen der Eurocode-Brandschutzteile (DIN EN 1991-1-2 bis DIN EN 1996-1-2) angepasst. Abweichungen von den aktuellen DIN-EN-Normen sind in den Beispielen vermerkt.

CC.2 Anwendungsgrenzen

Dieser Anhang CC gilt für die Überprüfung von Rechenprogrammen auf der Grundlage der allgemeinen Rechenverfahren, die in den baustoffbezogenen Eurocode-Brandschutzteilen (DIN EN 1992-1-2 bis DIN EN 1996-1-2 sowie DIN EN 1999-1-2) beschrieben sind.

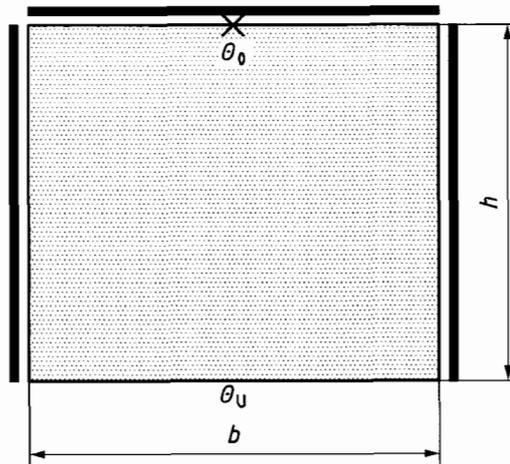
CC.3 Anwendung und Dokumentation

Vom Ersteller eines Rechenprogramms zur Durchführung von Nachweisen nach den allgemeinen Rechenverfahren sollten vor der Anwendung des Programms für bauordnungsrechtlich relevante Brandschutznachweise die Validierungsbeispiele eigenständig berechnet werden. Dabei sollten die Eingangsdaten und Rechenannahmen entsprechend der Programmbeschreibung unverändert verwendet werden.

Über die durchgeführten Berechnungen und die erzielten Ergebnisse sollte eine Dokumentation unter Verwendung der in der Beispielsammlung enthaltenen tabellarischen Übersichten angefertigt werden. Die Abweichungen von den Ergebnissen der Muster-Berechnungen sollten innerhalb der angegebenen Toleranzen liegen.

CC.4 Validierungsbeispiele

CC.4.1 Beispiel 1



Legende

— adiabatischer Rand

Bild CC.1 — Wärmeübertragung (Abkühlprozess)

Tabelle CC.1 — Materialeigenschaften und Randbedingungen

Material		fiktiver Wert
Wärmeleitfähigkeit λ	W/(m · K)	1
Spezifische Wärme c_p	J/(kg · K)	1
Rohdichte ρ	kg/m ³	1 000
Randbedingungen		
Abmessungen h, b	m	1
Wärmeübergangskoeffizient α_c	W/(m ² · K)	1
Emissivität $\epsilon_{res} = \epsilon_m \cdot \epsilon_f$	—	0
Anfangsbedingungen		
Umgebungstemperatur θ_U	°C	0
Temperatur im Querschnitt	°C	1 000
Referenzgröße		
Temperatur θ_0 im Punkt X	°C	

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

Tabelle CC.2 — Referenz- und berechnete Größen für die Wärmeübertragung (Abkühlung)

Zeit s	Referenzgröße Θ_0 Temperatur °C	berechnete Größe Θ'_0 Temperatur °C	Abweichung $(\Theta'_0 - \Theta_0) / \Theta_0 \cdot 100$ % $(\Theta'_0 - \Theta_0)$ K	Grenz- abweichung	Bemerkung
0	1 000			± 1 % und ± 5,0 K	
60	999,3				
300	891,8				
600	717,7				
900	574,9				
1 200	460,4				
1 500	368,7				
1 800	295,3				

Programme, deren berechnete Werte von den Referenzgrößen um mehr als die in Tabelle CC.2 vorgegebene Grenzabweichung (es gilt jeweils der kleinere Wert) abweichen, sind für die thermische Analyse von Bauteilen auf Grundlage des Eurocodes als nicht geeignet anzusehen.

Solche Programme können durchaus für einen eingeschränkten Bereich der thermischen Analyse von Bauteilen (z. B. für bestimmte Baustoffe) angewendet werden, wenn ihre Eignung in diesem eingeschränkten Bereich auf Basis des Beispiels 1 nachgewiesen wird.

CC.4.2 Beispiel 2

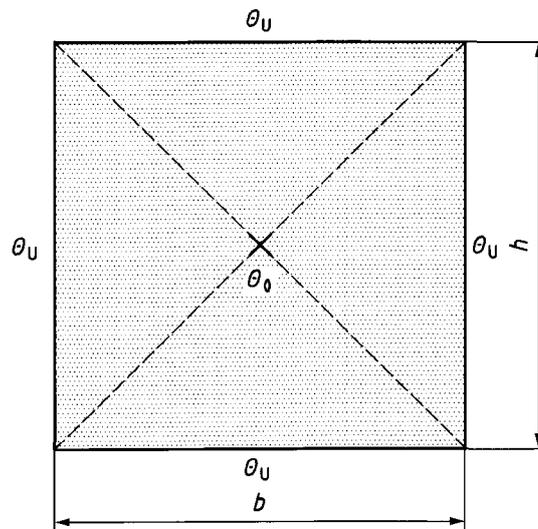


Bild CC.2 — Wärmeübertragung (Erwärmungsprozess)

Tabelle CC.3 — Materialeigenschaften und Randbedingungen

Material		fiktiver Wert	
Wärmeleitfähigkeit λ (linearer Verlauf)	W/(m · K)	Θ	$\lambda(\Theta)$
		0	1,5
		200	0,7
		1 000	0,5
Spezifische Wärme c_p	J/(kg · K)	1 000	
Rohdichte ρ	kg/m ³	2 400	
Randbedingungen			
Abmessungen h, b	m	0,2	
Wärmeübergangskoeffizient α_c	W/(m ² · K)	10	
Emissivität $\varepsilon_{res} = \varepsilon_m \cdot \varepsilon_f$	—	0,8	
Anfangsbedingungen			
Umgebungstemperatur Θ_U	°C	1 000	
Temperatur im Querschnitt	°C	0	
Referenzgröße			
Temperatur Θ_O im Punkt X	°C		

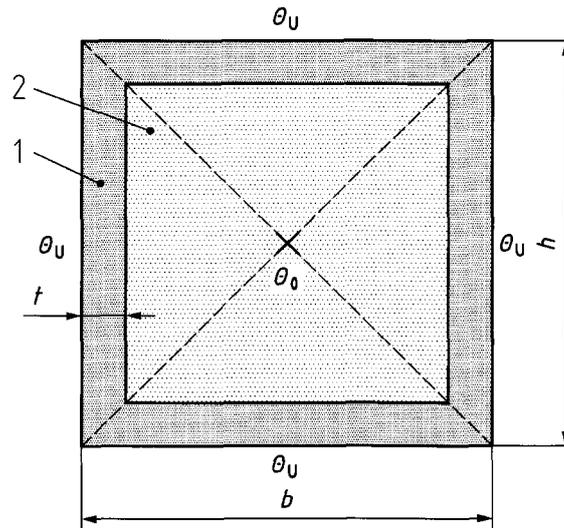
Tabelle CC.4 — Referenz- und berechnete Größen für die Wärmeübertragung (Erwärmungsprozess)

Zeit	Referenzgröße Θ_0 Temperatur	berechnete Größe Θ'_0 Temperatur	Abweichung		Grenz- abweichung	Bemerkung
			$(\Theta'_0 - \Theta_0)/\Theta_0 \cdot 100$ %	$(\Theta'_0 - \Theta_0)$ K		
min	°C	°C				
30	36,9				für $t \leq 60$ min ± 5 K	
60	137,4					
90	244,6					
120	361,1				für $t > 60$ min ± 3 %	
150	466,2					
180	554,8					

Programme, deren berechnete Werte von den Referenzgrößen um mehr als die in Tabelle CC.4 vorgegebene Grenzabweichung abweichen, sind für die thermische Analyse von Bauteilen als nicht geeignet anzusehen.

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

CC.4.3 Beispiel 3



Legende

- 1 Stahl
2 Füllung

Bild CC.3 — Wärmedurchgang bei mehreren Schichten (Stahlhohlquerschnitt mit Füllung)

Tabelle CC.5 — Materialeigenschaften und Randbedingungen

Material		Stahl	Füllung
Wärmeleitfähigkeit λ	W/(m · K)	DIN EN 1993-1-2	0,05
Spezifische Wärme c_p	J/(kg · K)	DIN EN 1993-1-2	1 000
Rohdichte ρ	kg/m ³	DIN EN 1993-1-2	50
Randbedingungen			
Abmessungen h, b, t	m	$h = b = 0,201$;	$t = 0,000 5$
Wärmeübergangskoeffizient α_c	W/(m ² · K)	10	
Emissivität $\varepsilon_{res} = \varepsilon_m \cdot \varepsilon_f$	—	0,8	
Anfangsbedingungen			
Umgebungstemperatur θ_U	°C	1 000	
Temperatur im Querschnitt	°C	0	0
Referenzgröße			
Temperatur θ_0 im Punkt X	°C		

Tabelle CC.6 — Referenz- und berechnete Größen für den Wärmedurchgang bei mehreren Schichten

Zeit min	Referenzgröße Θ_0 Temperatur °C	berechnete Größe Θ'_0 Temperatur °C	Abweichung $(\Theta'_0 - \Theta_0) / \Theta_0 \cdot 100$ % $(\Theta'_0 - \Theta_0)$ K	Grenz- abweichung	Bemerkung
30	340,5			± 1 % und ± 5 K	
60	717,1				
90	881,6				
120	950,6				
150	979,3				
180	991,7				

Programme, deren berechnete Werte von den Referenzgrößen um mehr als die in Tabelle CC.6 vorgegebene Grenzabweichung (es gilt jeweils der kleinere Wert) abweichen, sind für die thermische Analyse von (bekleideten) Bauteilen aus mehreren Materialschichten auf Grundlage des Eurocodes nicht geeignet.

CC.4.4 Beispiel 4

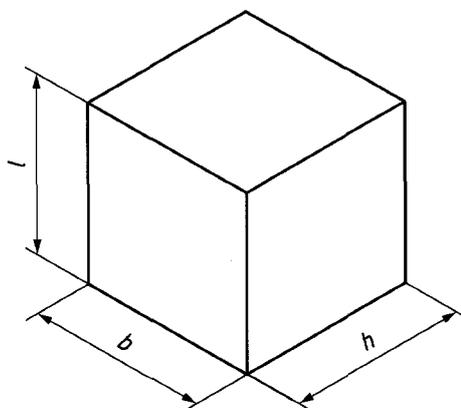


Bild CC.4 — Bauteil (statisch bestimmt gelagert)

Tabelle CC.7 — Materialeigenschaften und Randbedingungen

Randbedingungen		Baustahl
Abmessungen l, h, b	mm	100
Spannungs-Dehnungs-Linien		DIN EN 1993-1-2
Festigkeit $f_{yk}(20^\circ\text{C})$	N/mm ²	355
Anfangsbedingungen	°C	20
Homogene Bauteiltemperatur Θ	°C	100 300 500 600 700 900
Thermische Dehnung	—	DIN EN 1993-1-2
Referenzgröße		
Thermische Verlängerung Δl	mm	

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

Tabelle CC.8 — Referenz- und berechnete Größen für die thermische Verlängerung von Baustahl

Θ	Referenzgröße Δl	berechnete Größe $\Delta l'$	Abweichung $(\Delta l' - \Delta l)/\Delta l \cdot 100$ %	Grenz- abweichung	Bemer- kung
$^{\circ}\text{C}$	mm	mm	$(\Delta l' - \Delta l)$ mm		
100	0,099 84			für $\Theta \leq 300 \text{ }^{\circ}\text{C}$ $\pm 0,05 \text{ mm}$ für $\Theta > 300 \text{ }^{\circ}\text{C}$ $\pm 1 \%$	
300	0,371 84				
500	0,675 84				
600	0,839 84				
700	1,011 84				
900	1,180 00				

Programme, deren berechnete Werte von den Referenzgrößen um mehr als die in Tabelle CC.8 vorgegebene Grenzabweichung abweichen, sind für die mechanische Analyse von Bauteilen auf Grundlage des Eurocodes als nicht geeignet anzusehen.

CC.4.5 Beispiel 5

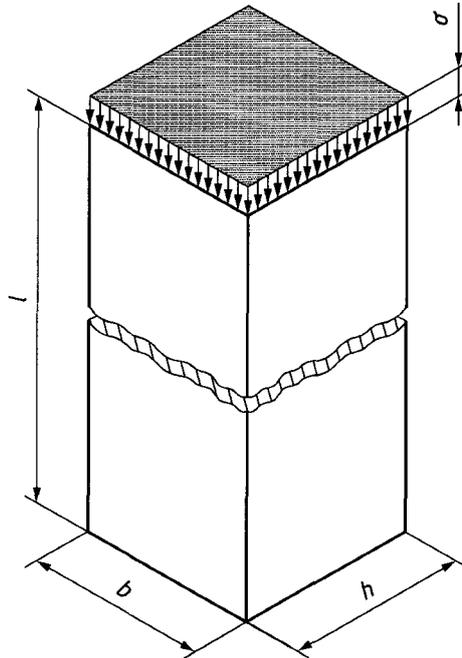


Bild CC.5 — Bauteil (Lagerung Eulerfall 2, die Lagerbedingungen sind so festzulegen, dass Stabilitätsversagen auszuschließen ist)

Tabelle CC.9 — Materialeigenschaften und Randbedingungen (Beton mit überwiegend quarzithaltiger Gesteinskörnung und 3 % (Massenanteil) Feuchte)

Randbedingungen		Baustahl	Beton
Abmessungen $l / h / b$	mm	100 / 10 / 10	100 / 31,6 / 31,6
Spannungs-Dehnungs-Linien		DIN EN 1993-1-2	DIN EN 1992-1-2
Festigkeit $f_{yk(20^{\circ}\text{C})}, f_{ck(20^{\circ}\text{C})}$	N/mm ²	355	20
Thermische Dehnung		DIN EN 1993-1-2	DIN EN 1992-1-2
Anfangsbedingungen	°C	20	
Homogene Bauteiltemperatur Θ		20 200 400 600 800	
Belastung $\sigma_{s(\Theta)} / f_{yk(\Theta)}$ bzw. $\sigma_{c(\Theta)} / f_{ck(\Theta)}$ (nur für Beispiel 5)		0,2 0,6 0,9	
Referenzgröße			
Längenänderung Δl (Beispiel 5)	mm		
Normalkraft $N_{R,fi,k}$ (Beispiel 6)		kN	

Tabelle CC.10 Referenz- und berechnete Größe für Spannungs-Dehnungs-Linien von Baustahl

Temperatur Θ °C	Belastung $\sigma_{s(\Theta)} / f_{yk(\Theta)}$	Referenzgröße Δl mm	berechnete Größe $\Delta l'$ mm	Abweichung $(\Delta l' - \Delta l) / \Delta l \cdot 100$ %	Grenzabweichung %	Bemerkung	
20	0,2	-0,034			± 3		
	0,6	-0,101					
	0,9	-0,152					
200	0,2	+0,194					
	0,6	+0,119					
	0,9	-0,159					
400	0,2	+0,472					
	0,6	+0,293					
	0,9	-0,451					
600	0,2	+0,789					
	0,6	+0,581					
	0,9	-0,162					
800	0,2	+1,059					
	0,6	+0,914					
	0,9	+0,170					

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

Tabelle CC.11 — Referenz- und berechnete Größen für Spannungs-Dehnungs-Linien von Beton mit überwiegend quarzithaltiger Gesteinskörnung

Temperatur Θ °C	Belastung $\sigma_{c(\Theta)} / f_{ck(\Theta)}$	Referenzgröße Δl mm	berechnete Größe $\Delta l'$ mm	Abweichung $(\Delta l' - \Delta l) / \Delta l \cdot 100$ %	Grenzabweichung %	Bemerkung	
20	0,2	-0,033 4			± 3		
	0,6	-0,104					
	0,9	-0,176					
200	0,2	+0,107					
	0,6	-0,047 4					
	0,9	-0,207 5					
400	0,2	+0,356					
	0,6	+0,075					
	0,9	-0,216					
600	0,2	+0,685					
	0,6	-0,016 7					
	0,9	-0,744					
800	0,2	+1,066					
	0,6	+0,365					
	0,9	-0,363					

Programme, deren berechnete Werte von den Referenzgrößen um mehr als die in Tabelle CC.10 und Tabelle CC.11 vorgegebene Grenzabweichung abweichen, sind für die mechanische Analyse von Bauteilen auf Grundlage des Eurocodes als nicht geeignet anzusehen.

CC.4.6 Beispiel 6

Randbedingungen und Materialeigenschaften siehe Bild CC.5 und Tabelle CC.9.

Tabelle CC.12 — Referenz- und berechnete Größen für die Grenztragfähigkeit von Baustahl

Temperatur Θ °C	Referenzgröße $N_{R,fi,k}$ kN	berechnete Größe $N_{R,fi,k}'$ kN	Abweichung $(N_{R,fi,k}' - N_{R,fi,k})/N_{R,fi,k} \cdot 100$ % $(N_{R,fi,k}' - N_{R,fi,k})$ kN	Grenzabweichung	Bemerkung
20	-35,5			± 3,0 % und ± 0,5 kN	
200	-35,5				
400	-35,5				
600	-16,7				
800	-3,9				

Tabelle CC.13 — Referenz- und berechnete Größen für die Grenztragfähigkeit von Beton mit überwiegend quarzithaltiger Gesteinskörnung

Temperatur Θ °C	Referenzgröße $N_{R,fi,k}$ kN	berechnete Größe $N_{R,fi,k}'$ kN	Abweichung $(N_{R,fi,k}' - N_{R,fi,k})/N_{R,fi,k} \cdot 100$ % $(N_{R,fi,k}' - N_{R,fi,k})$ kN	Toleranz	Bemerkung
20	-20,0			± 3,0 % und ± 0,5 kN	
200	-19,0				
400	-15,0				
600	-9,0				
800	-3,0				

Programme, deren berechnete Werte von den Referenzgrößen um mehr als die in Tabelle CC.12 und Tabelle CC.13 vorgegebene Grenzabweichung (es gilt jeweils der kleinere Wert) abweichen, sind für die mechanische Analyse von Bauteilen auf Grundlage des Eurocodes als nicht geeignet anzusehen.

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

CC.4.7 Beispiel 7

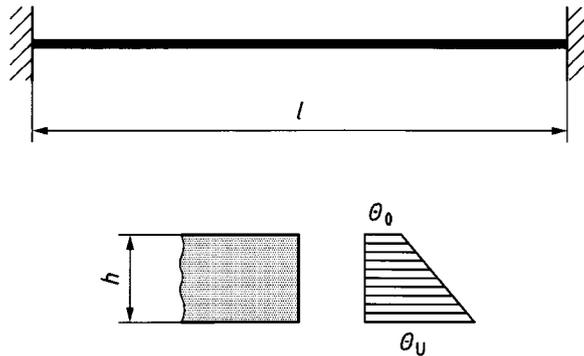


Bild CC.6 — System und Querschnitt

Tabelle CC.14 — Rand- und Anfangsbedingungen

Randbedingungen		Baustahl		
Abmessungen $l/h/b$	mm	1 000 / 100 / 100		
Spannungs-Dehnungs-Linien		DIN EN 1993-1-2		
Festigkeit $f_{yk(20^{\circ}\text{C})}$	N/mm ²	650 ^a		
Elastizitätsmodul $E_{a(20^{\circ}\text{C})}$	N/mm ²	210 000		
Thermische Dehnung		DIN EN 1993-1-2		
Anfangsbedingungen				
Bauteiltemperatur	Θ_0	°C	120	20
	Θ_U	°C	120	220
Referenzgröße				
Zwangsschnittgrößen N_{Zw}, M_{Zw}	kN, kNm			
Zwangsspannung σ_{Zw} am unteren Rand	N/mm ²			
^a Baustahl nach DIN EN 1993-1-1 mit der fiktiven Streckgrenze $f_{yk(20^{\circ}\text{C})} = 650 \text{ N/mm}^2$ (kein hochfester Stahl) und den thermo-mechanischen Eigenschaften nach DIN EN 1993-1-2				

Tabelle CC.15 — Referenz- und berechnete Größen für die Ausbildung von Zwanggrößen

Temperaturlastfall		Referenzgröße X	berechnete Größe X'	Abweichung (X' - X)/X · 100 %	Grenzabweichung %
120/120	N_{Zw} kN	-2 585			$N_{Zw}: \pm 1$ $M_{Zw}: \pm 1$ $\sigma_{Zw}: \pm 5$
	M_{Zw} kNm	0		-----	
	σ_{Zw} N/mm ²	-258,5			
20/220	N_{Zw} kN	-2 511			$N_{Zw}: \pm 1$ $M_{Zw}: \pm 1$ $\sigma_{Zw}: \pm 5$
	M_{Zw} kNm	-40,3			
	σ_{Zw} N/mm ²	-479			

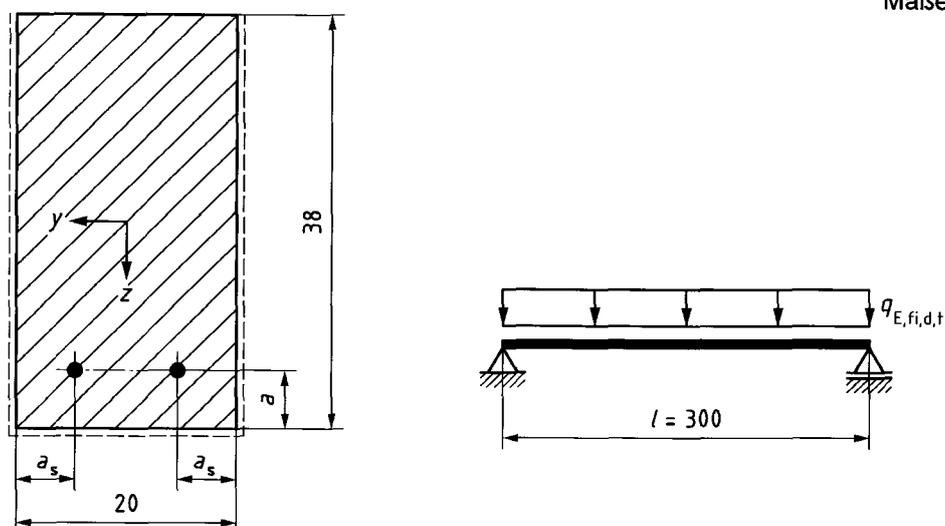
Programme, deren berechnete Werte von den Referenzgrößen um mehr als die in Tabelle CC.15 vorgegebene Grenzabweichung abweichen, sind für die mechanische Analyse von Bauteilen auf Grundlage des Eurocodes als nicht geeignet anzusehen.

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

CC.4.8 Beispiel 8 — schwach bewehrter Stahlbeton-Biegebalken

Ein schwach bewehrter Stahlbeton-Biegebalken mit dem Querschnitt $b/h = 20 \text{ cm}/38 \text{ cm}$ und der Stützweite $l = 3,0 \text{ m}$ (Bild CC.7), wird dreiseitig beflammt. Die Achsabstände der Bewehrung werden entsprechend Tabelle CC.16 für die Feuerwiderstandsklasse R 90 vorgegeben.

Maße in Zentimeter



Legende

--- beflamnte Seite

Bild CC.7 — Querschnitt und System des schwach bewehrten Stahlbeton-Biegebalkens

Tabelle CC.16 — Querschnittswerte, Materialeigenschaften und Randbedingungen

Stahlbeton-Biegebalken (schwach bewehrt)		R 90	
Abmessungen	$l/b/h$ in cm	300 / 20 / 38	
Achsabstände	a/a_s in cm	4,5 / 5,5	
Belastung	$q_{E,fi,d,t}$ in kN/m	29	
Beton C20/25 (3 % Feuchte (Massenanteile))	$f_{ck}(20^\circ\text{C})$ in N/mm ²	20	
Betonstahl B500	$f_{yk}(20^\circ\text{C})$ in N/mm ²	500	
Spannungs-Dehnungs-Linien	Beton ^a	DIN EN 1992-1-2	
	Betonstahl ^b		
Temperaturbeanspruchung	ETK (dreiseitig)	DIN EN 1991-1-2	
Wärmeübergangskoeffizient	α_c in W/(m ² · K)	25	
Emissivität	ϵ_m	0,70	
Thermische und physikalische Materialwerte	Beton	$\lambda, \rho, c_p, \epsilon_{th,c}$	DIN EN 1992-1-2
	Betonstahl	$\lambda_a, \rho, c_a, \epsilon_{th,s}$	DIN EN 1994-1-2

^a Mit überwiegend quarzhaltiger Gesteinskörnung und der Rohdichte $\rho = 2\,400 \text{ kg/m}^3$

^b Klasse N, warmgewalzt

Tabelle CC.17 — Referenz- und berechnete Größe für den schwach bewehrten Stahlbetonbalken

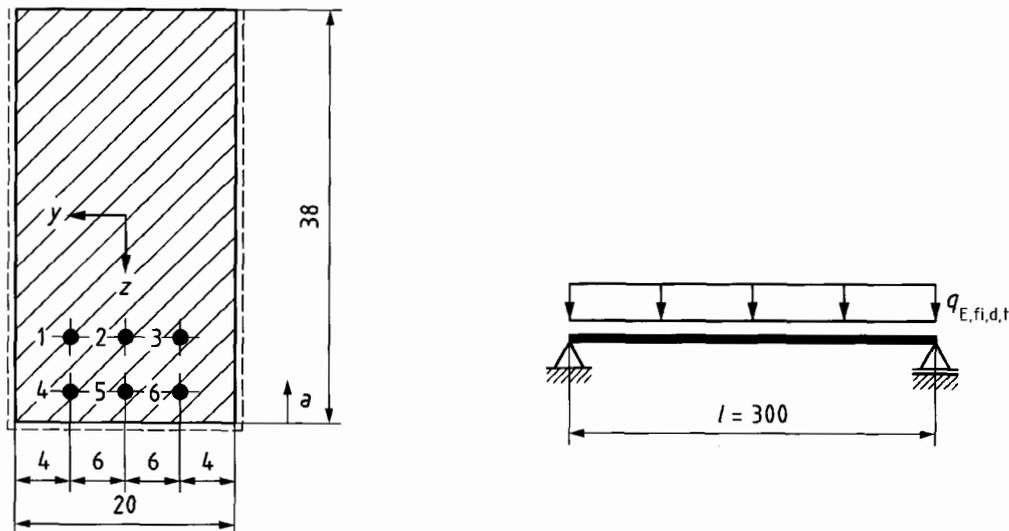
Feuerwiderstandsklasse	Referenzgröße A_s cm ²	berechnete Größe A'_s cm ²	Abweichung $(A'_s - A_s)/A_s \cdot 100$ %	Grenzabweichung %	Bemerkung
90	3,56			± 10	
ANMERKUNG Die Temperatur in der Bewehrung nach $t = 90$ min Branddauer beträgt $\theta_s = 562$ °C.					

Programme, bei denen der berechnete Bewehrungsquerschnitt von dem Referenzwert der Tabelle CC.17 um mehr als die angegebene Grenzabweichung abweicht, sind für die brandschutztechnische Analyse von Stahlbeton-Biegebalken auf Grundlage des Eurocodes als nicht geeignet anzusehen.

CC.4.9 Beispiel 9 — stark bewehrter Stahlbeton-Biegebalken

Ein stark bewehrter Biegebalken mit dem Querschnitt $b/h = 20$ cm/38 cm und der Stützweite $l = 3,0$ m (Bild CC.8) wird dreiseitig beflammt. Die Achsabstände der Bewehrung werden entsprechend Tabelle CC.18 für die Feuerwiderstandsklasse R 90 vorgegeben.

Maße in Zentimeter



Legende

--- beflammt Seite

Bild CC.8 — Querschnitt und System des stark bewehrten Stahlbeton-Biegebalkens

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

Tabelle CC.18 — Querschnittswerte, Materialeigenschaften und Randbedingungen

Stahlbeton-Biegebalken (stark bewehrt)		R 90	
Abmessungen	$l / b / h$	in cm	300 / 20 / 38
Achsabstände	$a_{1, 2, 3}$	in cm	7
	$a_{4, 5, 6}$	in cm	4
Belastung	$q_{E,fi,d,t}$	in kN/m	62,9
Beton C20/25 (3 % Feuchte (Massenanteile))	$f_{ck}(20^{\circ}\text{C})$	in N/mm ²	20
Betonstahl B500	$f_{yk}(20^{\circ}\text{C})$	in N/mm ²	500
Spannungs-Dehnungs-Linien	Beton ^a		DIN EN 1992-1-2
	Betonstahl ^b		
Temperaturbeanspruchung	ETK (dreiseitig)		DIN EN 1991-1-2
Wärmeübergangskoeffizient	α_c in	W/(m ² · K)	25
Emissivität	ϵ_m		0,70
Thermische und physikalische Materialwerte	Beton	$\lambda, \rho, c_p, \epsilon_{th,c}$	DIN EN 1992-1-2
	Betonstahl	$\lambda_a, \rho, c_a, \epsilon_{th,s}$	DIN EN 1994-1-2

^a Mit überwiegend quarzhaltiger Gesteinskörnung und der Rohdichte $\rho = 2\,400\text{ kg/m}^3$

^b Klasse N, warmgewalzt

Tabelle CC.19 — Referenz- und berechnete Größe für den stark wehrten Stahlbetonbalken

Feuerwiderstandsklasse	Referenzgröße A_s cm ²	berechnete Größe A'_s cm ²	Abweichung $(A'_s - A_s)/A_s \cdot 100$ %	Grenzabweichung %	Bemerkung
90	9,76			± 10	

ANMERKUNG Die Temperatur in der Bewehrung nach $t = 90$ min Branddauer beträgt:

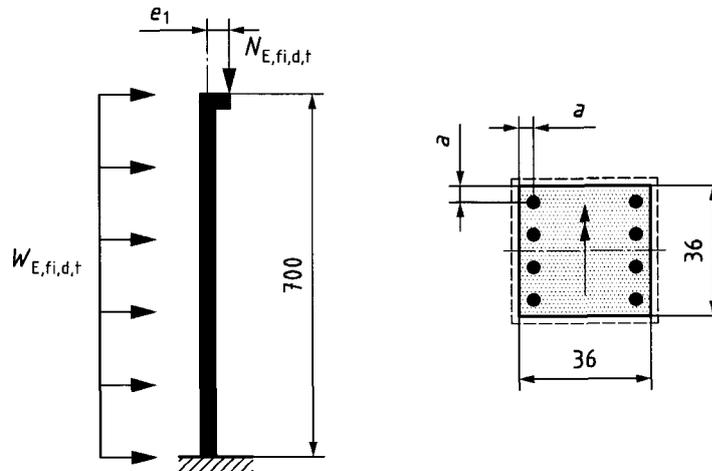
- $\theta_{s,1} = \theta_{s,3} = 539\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- $\theta_{s,2} = 372\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- $\theta_{s,4} = \theta_{s,6} = 656\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- $\theta_{s,5} = 525\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Programme, bei denen der berechnete Bewehrungsquerschnitt von dem Referenzwert der Tabelle CC.19 um mehr als die angegebene Grenzabweichung abweicht, sind für die brandschutztechnische Analyse von Stahlbeton-Biegebalken auf Grundlage des Eurocodes als nicht geeignet anzusehen.

CC.4.10 Beispiel 10 — Stahlbeton-Kragstütze

Eine Stahlbeton-Kragstütze mit dem Querschnitt $b = h = 36$ cm und der Länge $l = 7,0$ m (Bild CC.9) wird vierseitig beflammt. Die Stütze aus Beton C20/25 ist mit vorh. $A_s = 18,85$ cm² (6 \varnothing 20 mm) B500 bewehrt und wird im Brand durch eine Längskraft mit der Lastausmitte $e_1 = 3,5$ cm und eine Streckenlast aus Wind belastet. (Tabelle CC.20).

Maße in Zentimeter



Legende

--- beflamnte Seite

Bild CC.9 — Querschnitt und System der Stahlbeton-Kragstütze

Tabelle CC.20 — Abmessungen, Belastung und Materialeigenschaften

Abmessungen	$l / b / h$	in cm	700 / 36 / 36
Knicklänge im Brand	$l_{0,fi}$	in m	14,0
Lastausmitte im Brand	e_1	in cm	3,5
Achsabstand	a	in mm	55
Belastung	$N_{E,fi,d,t}$	in kN	-79
	$w_{E,fi,d,t}$	in kN/m	1,74
Beton C20/25 (3 % Feuchte(Massenanteile))	$f_{ck}(20^\circ\text{C})$	in N/mm ²	20
Betonstahl B500	$f_{yk}(20^\circ\text{C})$	in N/mm ²	500
Spannungs-Dehnungs-Linien	Beton ^a		DIN EN 1992-1-2
	Betonstahl ^b		
Temperaturbeanspruchung	ETK (4-seitig)		DIN EN 1991-1-2
Wärmeübergangskoeffizient	α_c	in W/(m ² · K)	25
Emissivität	ϵ_m		0,70
Thermische und physikalische Materialwerte	Beton	$\lambda, \rho, c_p, \epsilon_{th,c}$	DIN EN 1992-1-2
	Betonstahl	$\lambda, \rho, c_a, \epsilon_{th,s}$	DIN EN 1994-1-2
^a Mit überwiegend quarzhaltiger Gesteinskörnung und der Rohdichte $\rho = 2\,400$ kg/m ³			
^b Klasse N, warmgewalzt			

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

ANMERKUNG In der Lastausmitte e_1 sind die Imperfektionen nach DIN EN 1992-1-1:2005-10, 5.2 enthalten.

Die Stahlbeton-Kragstütze wird in der Hauptbiegerichtung nachgewiesen.

Tabelle CC.21 — Referenz- und berechnete Größen für die Stahlbeton-Kragstütze

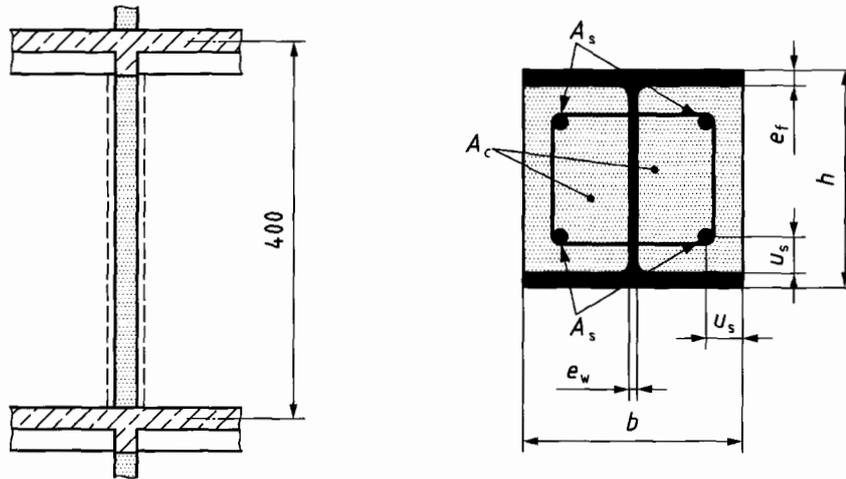
	Referenz- größe X	berechnete Größe X'	Abweichung $(X' - X)/X \cdot 100$ %	Grenzabweichung %
Versagenszeit t_U in min	93			± 3
horiz. Verformung am Stützenkopf w_z in mm nach $t = 90$ min Branddauer	381			± 15
Moment am Stützenfuß $M_{E,fi,d}$ in kNm nach $t = 90$ min Branddauer	75,5			± 5
ANMERKUNG Die Temperatur in der Bewehrung nach $t = 90$ min Branddauer beträgt: — Eckeisen $\theta_s = 502$ °C; — Mitteleisen $\theta_s = 319$ °C.				

Programme, bei denen die berechneten Werte von den Referenzwerten der Tabelle CC.21 um mehr als die angegebene Grenzabweichung abweichen, sind für die brandschutztechnische Analyse von Stahlbeton-Stützen auf Grundlage des Eurocodes als nicht geeignet anzusehen.

CC.4.11 Beispiel 11 — Verbundstütze mit Kammerbeton

Eine kammerbetonierte Verbundstütze mit den Querschnittsabmessungen $b = h = 30$ cm und der Länge $l = 4,0$ m (Bild CC.10) wird vierseitig beflammt. Der Stützenquerschnitt besteht aus einem HE-B 300 Profil aus Baustahl S235, Kammerbeton C25/30 und Betonstahlbewehrung $4 \varnothing 28$ aus B500. Beide Stützenenden werden im Brandfall rotationsbehindert. Die Verbundstütze wird im Brandfall durch eine zentrische Längskraft $N_{E,fi,d,t}$ belastet (Tabelle CC.22), die geometrische Imperfektion wird über eine spannungslose, parabelförmige Vorverformung mit dem Scheitelwert $l/1\ 000$ erfasst.

Maße in Zentimeter



Legende

--- vierseitig beflamte Stütze

Bild CC.10 — Querschnitt und System der kammerbetonierten Verbundstütze

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

Tabelle CC.22 — Abmessungen, Belastung und Materialeigenschaften

Abmessungen	$l / b / h$	in cm	400 / 30 / 30
	u_s	in mm	50
	e_f	in mm	19
	e_w	in mm	11
Knicklänge im Brand	$l_{0,fi}$	in cm	200
Belastung	$N_{E,fi,d,t}$	in kN	-1 700
Beton C25/30 (3 % Feuchte (Massenanteile))	$f_{ck(20^\circ C)}$	in N/mm ²	25
Betonstahl B500	$f_{yk(20^\circ C)}$	in N/mm ²	500
Baustahl S 235	$f_{ak(20^\circ C)}$	in N/mm ²	235
Spannungs-Dehnungs-Linien	Beton ^a		DIN EN 1994-1-2
	Betonstahl ^b		
	Baustahl		
Temperaturbeanspruchung	ETK (vierseitig)		DIN EN 1991-1-2
Wärmeübergangskoeffizient	α_c	in W/(m ² · K)	25
Emissionswert	ϵ_m		0,7
Thermische und physikalische Materialwerte	Beton	$\lambda, \rho, c_p, \epsilon_{th,c}$	DIN EN 1994-1-2
	Stahl	$\lambda, \rho, c_a, \epsilon_{th,s}, \epsilon_{th,a}$	DIN EN 1994-1-2
^a mit überwiegend quarzithaltiger Gesteinskörnung und der Rohdichte $\rho = 2\,400 \text{ kg/m}^3$ ^b warmgewalzt			

Tabelle CC.23 — Referenz- und berechnete Größen für die kammerbetonierte Verbundstütze

	Referenzgröße X	berechnete Größe X'	Abweichung $(X' - X)/X \cdot 100$ %	Grenzabweichung %
Versagenszeit t_u in min	92			± 5
horiz. Gesamtverformung w_z in mm in Stützenmitte nach der Branddauer von $t =$	30 min 4,4			
	60 min 5,5			
ANMERKUNG Die Temperatur nach $t = 90$ min Branddauer beträgt: — in der Bewehrung $\theta_s = 535$ °C; — im Schwerpunkt des Stahlprofils $\theta_s = 447$ °C.				

Programme, bei denen die berechneten Werte von den Referenzwerten der Tabelle CC.23 um mehr als die angegebene Grenzabweichung abweichen, sind für die brandschutztechnische Analyse von kammerbetonierten Verbundstützen auf Grundlage des Eurocodes als nicht geeignet anzusehen.

NCI Literaturhinweise

DIN 488-1, *Betonstahl — Teil 1: Stahlsorten, Eigenschaften, Kennzeichnung*

DIN 4102-3, *Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen — Teil 3: Brandwände und nichttragende Außenwände, Begriffe, Anforderungen und Prüfungen*

DIN 4102-4:1994-03, *Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen — Zusammenstellung und Anwendung klassifizierter Baustoffe, Bauteile und Sonderbauteile*

DIN EN 1992-1-1:2005-10, *Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken — Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau; Deutsche Fassung EN 1992-1-1:2004*

DIN EN 1992-1-2, *Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken — Teil 1-2: Allgemeine Regeln — Tragwerksbemessung für den Brandfall*

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

DIN EN 1993-1-2, *Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-2: Allgemeine Regeln — Tragwerksbemessung für den Brandfall*

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

DIN EN 1996-1-2, *Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten — Teil 1-2: Allgemeine Regeln — Tragwerksbemessung für den Brandfall*

DIN EN 1999-1-2, *Eurocode 9: Bemessung und Konstruktion von Aluminiumtragwerken — Teil 1-2: Tragwerksbemessung für den Brandfall*

Normen der Reihe DIN EN 10025, *Warmgewalzte Erzeugnisse aus Baustählen*

DIN EN ISO 1716, *Prüfungen zum Brandverhalten von Bauprodukten — Bestimmung der Verbrennungswärme*

- [1] ZEHFUSS, J.; HOSSER, D.: Vereinfachtes Naturbrandmodell für die brandschutztechnische Bemessung von Bauteilen und Tragwerken, In: *Bauphysik 27* (2005) Heft 2. S. 79–86.
- [2] HOSSER, D.; DORN, T.; NEUMANN, P.; SIEGFRIED, W.: Vereinfachter Brandschutznachweis für außenliegende Stahlbauteile. In: *Stahlbau 65* (1996), Heft 2, S.64–68.
- [3] HOSSER, D. (Hrsg.): Leitfaden Ingenieurmethoden des Brandschutzes. Technischer Bericht vfdB TB 04-01, 2. Auflage Mai 2009. Altenberge, Braunschweig: vfdB, 2009.
- [4] SCHNEIDER, U.: Ingenieurmethoden im Brandschutz, 2. Auflage. Werner-Verlag, 2009, Seite 269ff.
- [5] HOSSER, D.; WEILERT, A.; KLINZMANN, C.; SCHNETGÖKE, R.; ALBRECHT, C.: Erarbeitung eines Sicherheitskonzeptes für die brandschutztechnische Bemessung unter Anwendung von Ingenieurmethoden gemäß Eurocode 1 Teil 1-2" (Sicherheitskonzept zur Brandschutzbemessung). Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben ZP 52-5-4.168-1239/07 im Auftrag des Deutschen Instituts für Bautechnik. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz, Technische Universität Braunschweig. Fraunhofer IRB Verlag, 2009, ISBN 978-3-8167-8145-5.

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

- [6] *HOSSE*R, D., *RICHTER*, E., *ZEHFU*ß, J.: Erarbeitung von Nationalen Anwendungsrichtlinien für rechnerische Nachweise nach den Brandschutzteilen der Eurocodes 2 – 5. Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben RS III 4 – 67 41 – 97.120 im Auftrag des Bundesministeriums für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz, Technische Universität Braunschweig, Oktober 1999.