

DIN EN 1991-1-2/NA

ICS 13.220.50; 91.010.30

Einsprüche bis 2009-11-13

Entwurf

**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 niveau national –
Eurocode 1: Actions sur les structures –
Partie 1-2: Actions general –
Actions sur les structures exposées au feu

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2009-07-13 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

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

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise als Datei per E-Mail an nabau@din.de in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an den Normenausschuss Bauwesen (NABau) im DIN, 10772 Berlin (Hausanschrift: Burggrafenstr. 6, 10787 Berlin).

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

Gesamtumfang 44 Seiten

Normenausschuss Bauwesen (NABau) im DIN

Inhalt

Seite

Vorwort	3
Einleitung.....	4
1 Anwendungsbereich	5
2 Normative Verweisungen.....	5
3 Begriffe	5
4 Symbole und Abkürzungen	6
5 National festgelegte Parameter	6
6 Validierung von Rechenprogrammen für allgemeine Rechenverfahren.....	8
7 Anwendung der Informativen Anhänge	8
Anhang AA (normativ) Vereinfachtes Naturbrandmodell für vollentwickelte Raumbrände	10
AA.1 Allgemeines.....	10
AA.2 Anwendungsgrenzen	10
AA.3 Bemessungsbrand	10
AA.4 Parametrische Temperaturzeitkurven	11
AA.5 Durchführung der Berechnung	14
Anhang BB (normativ) Eingangsdaten für die Anwendung von Naturbrandmodellen	16
BB.1 Allgemeines.....	16
BB.2 Anwendungsgrenzen	16
BB.3 Brandlastdichte.....	16
BB.3.1 Allgemeines.....	16
BB.3.2 Ermittlung der Brandlastdichte durch Klassifizierung nach der Nutzung.....	17
BB.3.3 Ermittlung der Brandlastdichte im Einzelfall	17
BB.4 Wärmefreisetzungsrates	19
BB.5 Sicherheitskonzept.....	21
BB.5.1 Auftretenswahrscheinlichkeit eines Brandes.....	21
BB.5.2 Erforderliche Zuverlässigkeit im Brandfall	23
BB.5.3 Teilsicherheitsbeiwerte γ_{fi} für die Einflussgrößen der Brandeinwirkung	24
Anhang CC (normativ) Prüfung und Validierung von Rechenprogramm für Brandschutznachweise mittels allgemeiner Rechenverfahren	26
CC.1 Vorbemerkung.....	26
CC.2 Anwendungsgrenzen	26
CC.3 Anwendung und Dokumentation	26
CC.4 Validierungsbeispiele.....	27
CC.4.1 Beispiel 1	27
CC.4.2 Beispiel 2	28
CC.4.3 Beispiel 3	30
CC.4.4 Beispiel 4	31
CC.4.5 Beispiel 5	33
CC.4.6 Beispiel 6	35
CC.4.7 Beispiel 7	36
CC.4.8 Beispiel 8 – schwach bewehrter Stahlbeton-Biegebalken	37
CC.4.9 Beispiel 9 – stark bewehrter Stahlbeton-Biegebalken	39
CC.4.10 Beispiel 10 – Stahlbeton-Kragstütze	41
CC.4.11 Beispiel 11 – Verbundstütze mit Kammerbeton.....	42
Literaturhinweise	44

Vorwort

Dieser Norm-Entwurf wurde vom Normenausschuss Bauwesen (NABau), Arbeitsausschuss NA 005-52-22 AA „Konstruktiver baulicher Brandschutz (Spiegelausschuss zu Teilbereichen von CEN/TC 250)“ erarbeitet.

Dieser Norm-Entwurf E DIN EN 1991-1-2/NA bildet den Nationalen Anhang zu DIN EN 1991-1-2:2003-09, Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-2: Allgemeine Einwirkungen - Brandeinwirkungen auf Tragwerke.

Die Anhänge AA bis CC zu diesem Nationalen Anhang sind normativ.

Einleitung

Die diesem Norm-Entwurf zugrunde liegende Norm DIN EN 1991-1-2 beinhaltet allgemeine Festlegungen und Festlegungen zu den thermischen und mechanischen Einwirkungen für brandschutztechnische Nachweise von Tragwerken. In DIN EN 1991-1-2 werden unter anderem eine Reihe von national festzulegenden, in der Regel sicherheitsrelevanten Parametern aufgeführt, die durch diesen Norm-Entwurf spezifiziert werden.

Die entsprechenden Textstellen sind in der Europäischen Norm durch Hinweise auf die Möglichkeit nationaler Festlegungen gekennzeichnet. Eine Liste der Textstellen wird im Abschnitt 1 "Anwendungsbereich" aufgeführt.

Dieser Norm-Entwurf enthält weitere Festlegungen zu den informativen Anhängen in DIN EN 1991-1-2 und alternative Rechenverfahren.

Die in diesem Norm-Entwurf national festgelegten Parameter wurden auf der Grundlage von theoretischen Untersuchungen und Vergleichen mit brandschutztechnischen Nachweisen nach DIN 4102-4 ermittelt und im Hinblick auf die Aufrechterhaltung des bisherigen nationalen Sicherheitsniveaus mit den zuständigen Gremien der Bauministerkonferenz (ARGEBAU) abgestimmt.

1 Anwendungsbereich

Dieser Nationale Anhang zu DIN EN 1991-1-2 enthält zusätzliche nationale Festlegungen, die bei der Anwendung von DIN EN 1991-1-2 in Deutschland zu berücksichtigen sind.

Dieser Norm-Entwurf gilt nur in Verbindung mit DIN EN 1991-1-2:2003-09.

Nationale Festlegungen sind zu folgenden Abschnitten vorgesehen:

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

2 Normative Verweisungen

Die folgenden zitierten Dokumente sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. 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).

DIN 4102-3:1977-09, *Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen — Teil 3: Brandwände und nichttragende Außenwände, Begriffe, Anforderungen und Prüfungen*

DIN 18230-1:1998-05, *Baulicher Brandschutz im Industriebau — Teil 1: Rechnerisch erforderliche Feuerwiderstandsdauer*

DIN EN 1991-1-2:2003-09, *Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke — Teil 1-2: Allgemeine Einwirkungen; Brandeinwirkungen auf Tragwerke; Deutsche Fassung EN 1991-1-2:2002*

DIN EN 1992-1-2:2006-10, *Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken — Teil 1-2: Allgemeine Regeln — Tragwerksbemessung für den Brandfall; Deutsche Fassung EN 1992-1-2:2004*

3 Begriffe

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

4 Symbole und Abkürzungen

In diesem Dokument werden die Symbole und Abkürzungen nach DIN EN 1991-1-2 verwendet, sofern nicht anders festgelegt.

5 National festgelegte Parameter

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 Einheitstemperaturzeitkurve (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 Abkühlphase durchzuführen.

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 grundsätzlich die Einheitstemperaturzeitkurve 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 angesetzt werden. Für die Innenseite der Bauteile gilt die Einheitstemperaturzeitkurve nach 3.2.1.

Für Tragwerksteile von Hochbauten, die ganz 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 in der Regel nicht anzuwenden.

Naturbrandmodelle nach 3.3.1 bzw. 3.3.2 dürfen 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 sowie die Festlegungen zu den Informativen Anhängen in Abschnitt 7 zu beachten.

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. Angaben zur Berechnung der Bemessungsbrandlast und der Bemessungswärmefreisetzungsrate werden im Anhang BB zu diesem Nationalen Anhang gemacht.

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 zu diesem Nationalen Anhang unter Beachtung der dort festgelegten Anwendungsgrenzen verwendet werden.

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.“

Zur Berechnung der Erwärmungsbedingungen von außenliegenden Bauteilen darf grundsätzlich das im Anhang B gegebene Verfahren angewendet werden (siehe auch Abschnitt 7 dieses Nationalen Anhangs und dort „zu Anhang B“).

Zur vereinfachten Ermittlung kann auf die Angaben und Bemessungshilfen in [2] zurückgegriffen werden.

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 grundsätzlich mit dem im Anhang C gegebenen Verfahren berechnet werden (siehe auch Abschnitt 7 dieses Nationalen Anhangs und dort „zu Anhang C“).

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 grundsätzlich angewendet werden. Dabei sind die Bemessungsbrandlast und der Bemessungswert der Wärmefreisetzungsrate jedoch nicht nach Anhang E zu bestimmen, sondern nach Anhang BB zu diesem Nationalen Anhang.

Weitere Hinweise und Daten zum Sicherheitskonzept werden in [4] gegeben.

Rechenprogramme für die Ermittlung von Brandwirkungen bei Naturbränden dürfen nur angewendet werden, wenn sie für den jeweiligen Anwendungsbereich validiert sind. Erläuterungen bezüglich Anwendungsgrenzen und Validierungskriterien werden in [3] gegeben.

Zu „4.2.2 (2) Zusätzliche Einwirkungen“:

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

Dies gilt insbesondere bei Bauteilen zur Trennung von Brandabschnitten (bzw. Brandbekämpfungsabschnitten in Industriebauten), die eine erhöhte Festigkeit gegen Stoßbeanspruchung nach DIN 4102-3 aufweisen müssen.

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.“:

Es ist grundsätzlich die quasi ständige Größe $\psi_{2,1} Q_{k,1}$ zu verwenden. Eine Ausnahme bilden Bauteile, deren führende veränderliche Einwirkung der Wind ist; in diesem Fall ist für die Einwirkung aus Wind die häufige Größe $\psi_{1,1} Q_{k,1}$ zu verwenden.

6 Validierung von Rechenprogrammen für allgemeine Rechenverfahren

Rechenprogramme zur Berechnung des Tragverhaltens mit allgemeinen Rechenverfahren nach den baustoffbezogenen Eurocodes müssen für die Anwendung auf brandbeanspruchte Bauteile und Tragwerke mindestens nach Anhang CC zu diesem Nationalen Anhang validiert sein.

Weitere Hinweise und Erläuterungen werden in [5] gegeben.

In den Nationalen Anhängen zu den Brandschutzteilen der Eurocodes 2 bis 6 wird dazu auf den Anhang CC dieses Nationalen Anhangs Bezug genommen. Zu Eurocode 9 ist gegenwärtig kein Nationaler Anhang vorgesehen.

7 Anwendung der Informativen Anhänge

Zu „Anhang A Parametrische Temperaturzeitkurven“:

Der Anhang A darf nicht angewendet werden.

Parametrische Temperaturzeitkurven für vollentwickelte Raumbrände (Vollbrände) dürfen nach Anhang AA zu diesem Nationalen Anhang ermittelt werden. Weitere Hinweise und Erläuterungen werden in [1] gegeben.

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

Der Anhang B darf grundsätzlich angewendet werden mit folgenden Änderungen:

- die Wärmefreisetzungsrate ist nicht nach Gleichung (B.4) zu ermitteln, sondern nach Anhang BB, BB.4 bzw. Anhang AA, Abschnitt AA.3 (unter Beachtung der Anwendungsgrenzen) zu diesem Nationalen Anhang;
- der Abschnitt B.4.2 (Zwangsbelüftung) darf nicht angewendet werden.

Angaben und Bemessungshilfen zur vereinfachten Ermittlung der Erwärmungsbedingungen werden in [2] gegeben.

Zu „Anhang C Lokale Brände“:

Der Anhang C darf grundsätzlich angewendet werden mit folgender Änderung:

Die Wärmefreisetzungsrate $\dot{Q}$ ist nicht nach Anhang E, E.4 zu ermitteln, sondern nach Anhang BB, BB.4 dieses Nationalen Anhangs.

Weitere Hinweise und Erläuterungen werden in [3] gegeben.

Zu „Anhang D Erweiterte Brandmodelle“:

Die Berechnungsmethoden des Anhangs D dürfen angewendet werden. Hinweise zur Validierung der Brandmodelle für die jeweiligen Anwendungsbereiche werden in [3] gegeben.

Zu „Anhang E Brandlastdichten“:

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

Weitere Hinweise und Erläuterungen werden in [4] 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.

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 soll ein Bemessungsbrand sein.

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 Wärme- freisetzungsrate definierte 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 6 m Höhe.

AA.3 Bemessungsbrand

Als Bemessungsbrand dient grundsätzlich der zeitliche Verlauf der Wärmefreisetzungsrate nach Anhang BB, BB.4.

Für ventilationsgesteuerte Brände in Wohn-, Büro- und vergleichbaren Nutzungen darf der charakteristische Wert der maximalen Wärmefreisetzungsrate 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 Fläche der Ventilationsöffnungen in m²;

h_w gemittelte Höhe der Ventilationsöffnungen in m.

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 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:

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

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

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

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

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

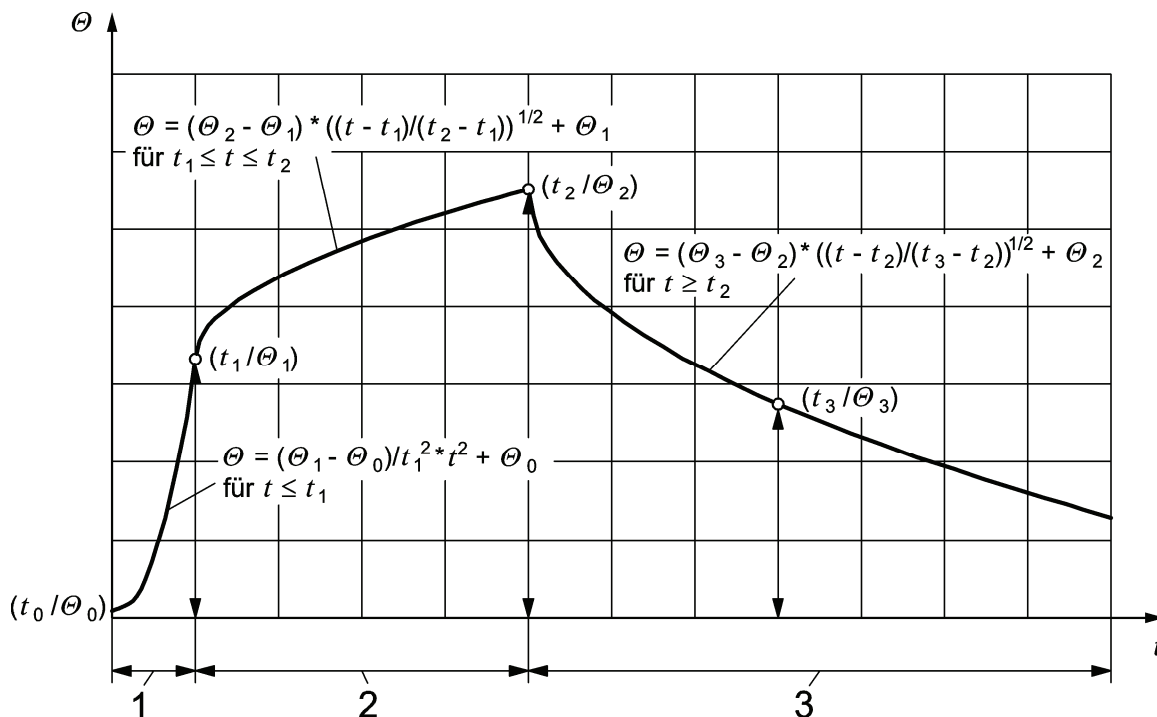
Dabei ist

$\gamma_{fi,\dot{Q}}$ Teilsicherheitsbeiwert nach Anhang BB, 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 $q = 1\,300 \text{ MJ/m}^2$

$$t_1 = 300 \cdot \sqrt{\frac{\dot{Q}_{\max, v, d}}{q}} \quad (\text{AA.5a})$$

$$\Theta_{1, v} = -8,75 \cdot 1/O - 0,1 \cdot b + 1175 \quad \text{in } ^\circ\text{C} \quad (\text{AA.5b})$$

$$t_2 = t_1 + \frac{Q_2}{\dot{Q}_{\max, v, d}} \quad \text{mit } Q_2 = 0,7 \cdot Q_d - \frac{t_1^3}{3 \cdot 300^2} \quad (\text{AA.6a})$$

$$\Theta_{2, v} = (0,004 \cdot b - 17) \cdot 1/O - 0,4 \cdot b + 2175 \quad \text{in } ^\circ\text{C} \leq 1340^\circ\text{C} \quad (\text{AA.6b})$$

$$t_3 = t_2 + \frac{2 \cdot Q_3}{\dot{Q}_{\max, v, d}} \quad \text{mit } Q_3 = 0,3 \cdot Q_d \quad (\text{AA.7a})$$

$$\Theta_{3, v} = -5,0 \cdot 1/O - 0,16 \cdot b + 1060 \quad \text{in } ^\circ\text{C} \quad (\text{AA.7b})$$

Dabei ist

b die gemittelte thermische Eindringzahl der Umfassungsbauteile in $\text{J}/(\text{m}^2 \cdot \sqrt{\text{s}} \cdot \text{K})$;

$O = A_w \sqrt{h_w} / A_t$ 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 .

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

$$t_1 = 300 \cdot \sqrt{\dot{Q}_{\max,f,d}} \quad (\text{AA.8a})$$

$$\Theta_{1,f} = 24000 \cdot k + 20 \quad \text{in } ^\circ\text{C für } k \leq 0,04 \quad \text{und} \quad \Theta_{1,f} = 980 \text{ } ^\circ\text{C für } k > 0,04 \quad (\text{AA.8b})$$

$$t_2 = t_1 + \frac{Q_2}{\dot{Q}_{\max,f,d}} \quad \text{mit} \quad Q_2 = 0,7 \cdot Q_d - \frac{t_1^3}{3 \cdot 300^2} \quad (\text{AA.9a})$$

$$\Theta_{2,f} = 33000 \cdot k + 20 \quad \text{in } ^\circ\text{C für } k \leq 0,04 \quad \text{und} \quad \Theta_{2,f} = 1340 \text{ } ^\circ\text{C für } k > 0,04 \quad (\text{AA.9b})$$

$$t_3 = t_2 + \frac{2 \cdot Q_3}{\dot{Q}_{\max,f,d}} \quad \text{mit} \quad Q_3 = 0,3 \cdot Q_d \quad (\text{AA.10a})$$

$$\Theta_{3,f} = 16000 \cdot k + 20 \quad \text{in } ^\circ\text{C für } k \leq 0,04 \quad \text{und} \quad \Theta_{3,f} = 660 \text{ } ^\circ\text{C für } k > 0,04 \quad (\text{AA.10b})$$

Dabei ist

$$k = \left(\frac{\dot{Q}_{\max,d}^2}{A_w \cdot \sqrt{h_w} \cdot A_t \cdot b} \right)^{1/3} \quad (\text{AA.11})$$

Ausgehend von der Temperaturzeitkurve für die Referenzbrandlastdichte ($q = 1\,300 \text{ MJ/m}^2$) lassen sich Temperaturzeitkurven für beliebige Brandlastdichten $q_{x,d} \leq 1\,300 \text{ MJ/m}^2$ ermitteln. Der ansteigende Ast der Temperaturzeitkurve in der Brandentwicklungs- und Vollbrandphase 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:

$$t_{2,x} = t_1 + \frac{(0,7 \cdot Q_{x,d}) - (t_1^3 / (3 \cdot t_\alpha^2))}{\dot{Q}_{\max,d}} \quad (\text{AA.12})$$

Dabei ist

t_α Faktor zur Beschreibung der Brandentwicklung nach Anhang BB, Tabelle BB.2. Für Wohn- und Büronutzungen kann der Faktor zu $t_g = 300 \text{ s}$ gesetzt werden.

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

$$\Theta_{2,x} = (\Theta_2 - \Theta_1) \cdot \sqrt{(t_{2,x} - t_1) / (t_2 - t_1)} + \Theta_1. \quad (\text{AA.13})$$

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

$$\Theta_{3,x} = (\Theta_3 / \log_{10}(t_3 + 1)) \cdot \log_{10}(t_{3,x} + 1) \quad (\text{AA.14})$$

Dabei ist

$$t_{3,x} = \frac{0,6 \cdot \dot{Q}_{x,d}}{\dot{Q}_{\max,d}} + t_{2,x} \quad (\text{AA.15})$$

Der abfallende Ast wird für $q_{x,d} < 1\,300 \text{ MJ/m}^2$ durch Gleichung (AA.16) beschrieben:

$$\Theta = (\Theta_{3,x} - \Theta_{2,x}) \cdot \sqrt{(t - t_{2,x}) / (t_{3,x} - t_{2,x})} + \Theta_{2,x}. \quad (\text{AA.16})$$

Der Zeitpunkt eines ggf. auftretenden Flashover $t_{1,fo}$, bei dem die Wärmefreisetzungsrate schlagartig auf ihr Maximum ansteigt, kann mit Gleichung (AA.17) ermittelt werden:

$$t_{1,fo} = \sqrt{t_{\alpha}^2 \cdot \dot{Q}_{fo}}, \quad (\text{AA.17})$$

wobei $\dot{Q}_{fo}$ nach Gleichung (AA.18) bestimmt werden kann:

$$\dot{Q}_{fo} = 0,0078 \cdot A_l + 0,378 \cdot A_w \cdot \sqrt{h_w} \quad \text{in MW} \quad (\text{AA.18})$$

AA.5 Durchführung der Berechnung

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

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