

| Inhalt | Seite |
|---|-------|
| Vorwort | 8 |
| Einleitung | 9 |
| 1 Anwendungsbereich..... | 10 |
| 2 Normative Verweisungen | 10 |
| 3 Begriffe und Symbole | 11 |
| 4 Grundlagen..... | 13 |
| 4.1 Vorgehensweise..... | 13 |
| 4.2 Eingangsdaten und Randbedingungen..... | 13 |
| 4.3 Bemessungsbrand..... | 14 |
| 4.3.1 Ausbreitungsmodell..... | 14 |
| 4.3.2 Brennstoffzusammensetzung/Berücksichtigung des Brandregimes..... | 15 |
| 4.3.3 Branddauer | 15 |
| 4.3.4 Modellbildung | 15 |
| 4.4 Auswertung..... | 15 |
| 4.4.1 Allgemeines..... | 15 |
| 4.4.2 Maßgebende Temperaturbelastung | 16 |
| 4.4.3 Brandleistung (Wärmefreisetzung) | 16 |
| 4.4.4 Sauerstoffkonzentrationen | 16 |
| 4.4.5 Äquivalente Branddauer..... | 16 |
| 5 Auswirkungen unterschiedlicher Referenzbauteile..... | 17 |
| 5.1 Vorgehensweise | 17 |
| 5.2 Referenzbauteile | 17 |
| 5.2.1 Allgemeines..... | 17 |
| 5.2.2 Referenzbauteil <i>Beton</i> , $d = 150$ mm..... | 17 |
| 5.2.3 Referenzbauteil <i>Beton</i> , $d = 200$ mm..... | 18 |
| 5.2.4 Referenzbauteil <i>Stahl</i> | 21 |
| 5.3 Vergleichsrechnungen..... | 22 |
| 5.3.1 Referenzbauteil <i>Beton</i> , $d = 200$ mm..... | 22 |
| 5.3.2 Referenzbauteil <i>Stahl</i> | 23 |
| 5.3.3 Temperaturberechnungen mit verschiedenen Programmen..... | 24 |
| 5.3.4 Einfluss des Temperaturverlaufs auf die äquivalente Branddauer..... | 25 |
| 5.4 Schlussfolgerung..... | 27 |
| 6 Anwendungsbeispiele..... | 28 |
| 6.1 Vorgehensweise | 28 |
| 6.2 Kleine Halle (400 m ²)..... | 28 |
| 6.2.1 Spezifikation | 28 |
| 6.2.2 Modellbildung für ein Mehrraum-Zonenmodell | 30 |
| 6.2.3 Ergebnisse der Simulation | 30 |
| 6.2.4 Simulationsergebnisse mit dem Zonenmodell FIGARO | 32 |
| 6.2.5 Simulationsergebnisse mit dem Zonenmodell CFAST | 35 |
| 6.2.6 Simulationsergebnisse mit einem Feldmodell | 37 |
| 6.2.7 Ergebnisse..... | 39 |
| 6.3 Mittlere Halle (1 600 m ²) | 40 |
| 6.3.1 Spezifikation | 40 |
| 6.3.2 Simulationsergebnisse mit einem Mehrraum-Zonenmodell..... | 42 |

| | | |
|-------|--|-----|
| 6.3.3 | Simulationsergebnisse mit dem Zonenmodell FIGARO | 44 |
| 6.3.4 | Simulationsergebnisse mit dem Zonenmodell CFAST | 47 |
| 6.3.5 | Simulationsergebnisse mit einem Feldmodell | 49 |
| 6.3.6 | Ergebnisse | 52 |
| 6.4 | Referenzhalle nach DIN 18230-1 (2 400 m ²) | 52 |
| 6.4.1 | Spezifikation | 52 |
| 6.4.2 | Berechnungen nach DIN 18230-1:2010-09 | 55 |
| 6.4.3 | Simulationsergebnisse mit einem Mehrraum-Zonen-Modell | 56 |
| 6.4.4 | Simulationsergebnisse mit dem Zonen-Modell FIGARO | 59 |
| 6.4.5 | Simulationsergebnisse mit dem Zonen-Modell CFAST | 62 |
| 6.4.6 | Simulationsergebnisse mit einem Feldmodell | 65 |
| 6.4.7 | Ergebnisse | 68 |
| 6.5 | Große eingeschossige Halle (10 000 m ²) | 70 |
| 6.5.1 | Spezifikation | 70 |
| 6.5.2 | Simulationsergebnisse mit einem Mehrraum-Zonenmodell | 73 |
| 7 | Dokumentation | 104 |
| 8 | Zusammenfassung | 104 |
| 8.1 | Möglichkeiten zur Ermittlung der äquivalenten Branddauer | 104 |
| 8.2 | Anwendung des Verfahrens nach Bild 84, Spalte 3 | 106 |
| | Literaturhinweise | 108 |

Bilder

| | | |
|---------|--|----|
| Bild 1 | — Definition der äquivalenten Branddauer t_a für ein Referenzbauteil, links: Temperaturen im Brandraum oberhalb der ETK, rechts: Temperaturen im Brandraum unterhalb der ETK | 16 |
| Bild 2 | — Referenzbauteil Beton ($d = 150$ mm) | 18 |
| Bild 3 | — Referenzbauteil Beton ($d = 200$ mm) | 19 |
| Bild 4 | — Ermittlung des Profilfaktors für Stahlbauteile unter allseitiger und dreiseitiger Brandbeanspruchung für profilfolgende und kastenförmige Bekleidung aus [9] | 22 |
| Bild 5 | — Berechnete Temperaturverteilungen nach 15 min, 30 min, 60 min und 90 min bei Beanspruchung nach Einheit-Temperaturzeitkurve (ETK) (DIN 4102-2) | 22 |
| Bild 6 | — Berechnete Temperaturen nach einer vierseitigen Brandbeanspruchung nach der Einheit-Temperaturzeitkurve für einen Stahlträger und ein Blech mit einem Profilfaktor $A_p/V = 131$ m ⁻¹ | 23 |
| Bild 7 | — Berechnete Temperaturentwicklungen unter Normbrandbeanspruchung im Referenzbauteil in der definierten Referenzposition mit verschiedenen Simulationsprogrammen für die Materialgesetze des Referenzbauteils $d = 200$ mm | 24 |
| Bild 8 | — Berechnete Temperaturentwicklungen unter Normbrandbeanspruchung im Referenzbauteil in der definierten Referenzposition mit verschiedenen Materialgesetzen | 25 |
| Bild 9 | — Beispiele für Temperaturzeitkurven | 26 |
| Bild 10 | — Berechnete äquivalente Branddauern t_a für die Bemessungsbrände aus Bild 9 für die Referenzbauteile aus Beton und Stahl | 27 |
| Bild 11 | — Schematische Darstellung der Hallengeometrie (400 m ²) | 29 |

| | |
|---|-----------|
| Bild 12 — Zeitlicher Verlauf der Brandleistung (Wärmefreisetzung) im Brandraum (MRFC 400 m²)..... | 31 |
| Bild 13 — Zeitlicher Verlauf der Temperatur der Heißgasschicht im Brandraum (MRFC 400 m²) | 31 |
| Bild 14 — Zeitlicher Verlauf der Bauteiltemperaturen im Referenzbauteil (MRFC 400 m²)..... | 32 |
| Bild 15 — Zeitlicher Verlauf der Brandleistung (Wärmefreisetzung) im Brandraum (FIGARO 400 m²)..... | 33 |
| Bild 16 — Zeitlicher Verlauf der Temperatur der Heißgasschicht im Brandraum (FIGARO 400 m²)..... | 34 |
| Bild 17 — Zeitlicher Verlauf der Bauteiltemperaturen im Referenzbauteil (FIGARO 400 m²)..... | 34 |
| Bild 18 — Zeitlicher Verlauf der Brandleistung (Wärmefreisetzung) im Brandraum (CFAST 400 m²) | 35 |
| Bild 19 — Zeitlicher Verlauf der Temperatur der Heißgasschicht im Brandraum (CFAST 400 m²) | 36 |
| Bild 20 — Zeitlicher Verlauf der Bauteiltemperaturen im Referenzbauteil (FIGARO 400 m²)..... | 37 |
| Bild 21 — Zeitlicher Verlauf der Wärmefreisetzung im Berechnungsgebiet (FDS 400 m²)..... | 38 |
| Bild 22 — Gemittelte Temperaturentwicklung über alle Zellen unter dem Dach (FDS 400 m²)..... | 38 |
| Bild 23 — Zeitlicher Verlauf der Bauteiltemperaturen im Referenzbauteil (FDS 400 m²) | 39 |
| Bild 24 — Schematische Darstellung der Hallengeometrie (1 600 m²) | 41 |
| Bild 25 — Zeitlicher Verlauf der Wärmefreisetzung im Brandraum (MRFC 1 600 m²)..... | 42 |
| Bild 26 — Zeitlicher Verlauf der Temperatur der Heißgasschicht im Brandraum (MRFC 1 600 m²) | 43 |
| Bild 27 — Zeitlicher Verlauf der Bauteiltemperaturen im Referenzbauteil (MRFC 1 600 m²) | 44 |
| Bild 28 — Zeitlicher Verlauf der Wärmefreisetzung im Brandraum (FIGARO 1 600 m²) | 45 |
| Bild 29 — Zeitlicher Verlauf der Temperatur der Heißgasschicht im Brandraum (FIGARO 1 600 m²)..... | 46 |
| Bild 30 — Zeitlicher Verlauf der Bauteiltemperaturen im Referenzbauteil (FIGARO 1 600 m²) | 47 |
| Bild 31 — Brandleistung (Wärmefreisetzung) des Bemessungsbrandes..... | 48 |
| Bild 32 — Zeitlicher Verlauf der Bauteiltemperaturen im Referenzbauteil (CFAST 1 600 m²)..... | 49 |
| Bild 33 — Bauteiltemperatur im Referenzbauteil..... | 49 |
| Bild 34 — Zeitlicher Verlauf der Wärmefreisetzung im Berechnungsgebiet sowie in der Modellhalle (FDS 1 600 m²)..... | 50 |
| Bild 35 — Gemittelte Temperaturentwicklung über alle Zellen unter dem Dach (FDS 1 600 m²)..... | 51 |
| Bild 36 — Zeitlicher Verlauf der Bauteiltemperaturen im Referenzbauteil (FDS 1 600 m²) | 51 |
| Bild 37 — Schematische Darstellung der Hallengeometrie (2 400 m²) | 54 |

| | |
|--|----|
| Bild 38 — Zeitlicher Verlauf der Wärmefreisetzung im Brandraum (MRFC 2 400 m ²)..... | 57 |
| Bild 39 — Zeitlicher Verlauf der Temperatur der Heißgasschicht im Brandraum (MRFC 2 400 m ²) | 58 |
| Bild 40 — Zeitlicher Verlauf der Bauteiltemperaturen im Referenzbauteil (MRFC 2 400 m ²)..... | 58 |
| Bild 41 — Zeitlicher Verlauf der Wärmefreisetzung im Brandraum (FIGARO 2 400 m ²)..... | 60 |
| Bild 42 — Zeitlicher Verlauf der Temperatur der Heißgasschicht im Brandraum (FIGARO 2 400 m ²) | 61 |
| Bild 43 — Zeitlicher Verlauf der Bauteiltemperaturen im Referenzbauteil (FIGARO 2 400 m ²)..... | 61 |
| Bild 44 — Zeitlicher Verlauf der Wärmefreisetzung im Brandraum (CFAST 2 400 m ²)..... | 63 |
| Bild 45 — Zeitlicher Verlauf der Temperatur der Heißgasschicht im Brandraum (CFAST 2 400 m ²)..... | 64 |
| Bild 46 — Zeitlicher Verlauf der Bauteiltemperaturen im Referenzbauteil (CFAST 2 400 m ²)..... | 65 |
| Bild 47 — Zeitlicher Verlauf der Wärmefreisetzung im Berechnungsgebiet (FDS 2 400 m ²) | 66 |
| Bild 48 — Gemittelte Temperaturentwicklung über 25 Zellen unter dem Dach (FDS 2 400 m ²)..... | 67 |
| Bild 49 — Zeitlicher Verlauf der Bauteiltemperaturen im Referenzbauteil (FDS 2 400 m ²)..... | 68 |
| Bild 50 — Zusammenfassung der Ergebnisse der 2 400 m ² -Halle im Vergleich zu DIN 18230-1..... | 69 |
| Bild 51 — Zusammenfassung der Ergebnisse der 2 400 m ² -Halle im w-Faktor-Diagramm..... | 70 |
| Bild 52 — Schematische Darstellung der Hallengeometrie (10 000 m ² ohne Unterteilung)..... | 71 |
| Bild 53 — Festlegung Randabstand Brandfläche zu freien Raumgrenzen..... | 72 |
| Bild 54 — Schematische Darstellung der Hallengeometrie (Brandfläche 10 000 m ²)..... | 74 |
| Bild 55 — Zeitlicher Verlauf der Brandfläche im Brandraum (MRFC 10 000 m ²)..... | 75 |
| Bild 56 — Zeitlicher Verlauf der Wärmefreisetzung im Brandraum (MRFC 10 000 m ²) | 76 |
| Bild 57 — Zeitlicher Verlauf der Dicke der raucharmen Schicht im Brandraum (MRFC 10 000 m ²)..... | 77 |
| Bild 58 — Zeitlicher Verlauf der Temperatur der Heißgasschicht im Brandraum (MRFC 10 000 m ²)..... | 78 |
| Bild 59 — Zeitlicher Verlauf der Bauteiltemperaturen im Referenzbauteil (MRFC 10 000 m ²)..... | 80 |
| Bild 60 — Schematische Darstellung der Hallengeometrie (Brandfläche 1 600 m ²) | 80 |
| Bild 61 — Zeitlicher Verlauf der Brandfläche und Wärmefreisetzung im Brandraum bei 1 600 m ² Brandfläche..... | 81 |
| Bild 62 — Zeitlicher Verlauf der verbleibenden Masse des Brandgutes und der eingetragenen Wärmemenge im Brandraum bei 1 600 m ² Brandfläche..... | 82 |

| | |
|--|-----|
| Bild 63 — Zeitlicher Verlauf der Dicke der Heißgasschicht im Brandraum bei 1 600 m ² Brandfläche | 83 |
| Bild 64 — Zeitlicher Verlauf der Temperatur der Heißgasschicht im Brandraum bei 1 600 m ² Brandfläche | 84 |
| Bild 65 — Zeitlicher Verlauf der Bauteiltemperaturen im Referenzbauteil bei 1 600 m ² Brandfläche | 85 |
| Bild 66 — Schematische Darstellung der Hallengeometrie (Brandfläche 2 400 m ²) | 86 |
| Bild 67 — Zeitlicher Verlauf der Brandfläche im Brandraum (Brandfläche 2 400 m ²) | 87 |
| Bild 68 — Zeitlicher Verlauf der verbleibenden Masse des Brandgutes und der eingetragenen Wärmemenge im Brandraum bei 2 400 m ² Brandfläche..... | 88 |
| Bild 69 — Zeitlicher Verlauf der Rauchsichtdicke im Brandraum bei 2 400 m ² Brandfläche | 89 |
| Bild 70 — Zeitlicher Verlauf der Temperatur der Heißgasschicht im Brandraum bei 2 400 m ² Brandfläche | 90 |
| Bild 71 — Zeitlicher Verlauf der Bauteiltemperaturen im Referenzbauteil bei 2 400 m ² Brandfläche | 92 |
| Bild 72 — Schematische Darstellung der Hallengeometrie (Brandfläche 3 200 m ²) | 92 |
| Bild 73 — Zeitlicher Verlauf der Brandfläche im Brandraum (Brandfläche 3 200 m ²) | 93 |
| Bild 74 — Zeitlicher Verlauf der verbleiben Masse des Brandgutes und der eingetragenen Wärmemenge im Brandraum bei 3 200 m ² Brandfläche..... | 94 |
| Bild 75 — Zeitlicher Verlauf der Temperatur der Heißgasschicht im Brandraum bei 3 200 m ² Brandfläche | 95 |
| Bild 76 — Zeitlicher Verlauf der Temperatur der Heißgasschicht im Brandraum bei 3 200 m ² Brandfläche | 96 |
| Bild 77 — Zeitlicher Verlauf der Bauteiltemperaturen im Referenzbauteil bei 3 200 m ² Brandfläche | 98 |
| Bild 78 — Schematische Darstellung der Hallengeometrie (Brandfläche 4 800 m ²) | 98 |
| Bild 79 — Zeitlicher Verlauf der Brandfläche im Brandraum (Brandfläche 4 800 m ²) | 99 |
| Bild 80 — Zeitlicher Verlauf der verbleibende Masse des Brandgutes und der eingetragenen Wärmemenge im Brandraum bei 4 800 m ² Brandfläche..... | 100 |
| Bild 81 — Zeitlicher Verlauf der Dicke der Heißgasschicht im Brandraum bei 4 800 m ² Brandfläche | 101 |
| Bild 82 — Zeitlicher Verlauf der Temperatur der Heißgasschicht im Brandraum bei 4 800 m ² Brandfläche | 102 |
| Bild 83 — Zeitlicher Verlauf der Bauteiltemperaturen im Referenzbauteil bei 4 800 m ² Brandfläche | 104 |
| Bild 84 — Zusammenfassung..... | 105 |

Tabellen

| | |
|---|-----------|
| Tabelle 1 — Chemische und Thermophysikalische Daten zum Brennstoff..... | 30 |
| Tabelle 2 — Ergebnisse kleine Halle (400 m²)..... | 39 |
| Tabelle 3 — Äquivalente Branddauer aus den Berechnungen | 52 |
| Tabelle 4 — Untersuchte Varianten 2 400 m²-Halle | 52 |
| Tabelle 5 — Öffnungsflächen der untersuchten Varianten (2 400 m²)..... | 53 |
| Tabelle 6 — Materialkennwerte bei Raumtemperatur | 55 |
| Tabelle 7 — Ergebnisse der Berechnung der äquivalenten Branddauer (2 400 m²-Halle) | 56 |
| Tabelle 8 — Ergebnisse $t_{\ddot{a}}$ MRFC 2 400 m²-Halle | 59 |
| Tabelle 9 — Ergebnisse $t_{\ddot{a}}$ FIGARO 2 400 m²-Halle | 62 |
| Tabelle 10 — Ergebnisse $t_{\ddot{a}}$ CFAST 2 400 m²-Halle..... | 65 |
| Tabelle 11 — Ergebnisse $t_{\ddot{a}}$ FDS 2 400 m²-Halle..... | 68 |
| Tabelle 12 — Maximale Bauteiltemperatur im Referenzbauteil und Äquivalente Branddauer aus den Berechnungen | 70 |