

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 m²)	57
Bild 39 — Zeitlicher Verlauf der Temperatur der Heißgasschicht im Brandraum (MRFC 2 400 m²)	58
Bild 40 — Zeitlicher Verlauf der Bauteiltemperaturen im Referenzbauteil (MRFC 2 400 m²)	58
Bild 41 — Zeitlicher Verlauf der Wärmefreisetzung im Brandraum (FIGARO 2 400 m²)	60
Bild 42 — Zeitlicher Verlauf der Temperatur der Heißgasschicht im Brandraum (FIGARO 2 400 m²)	61
Bild 43 — Zeitlicher Verlauf der Bauteiltemperaturen im Referenzbauteil (FIGARO 2 400 m²)	61
Bild 44 — Zeitlicher Verlauf der Wärmefreisetzung im Brandraum (CFAST 2 400 m²)	63
Bild 45 — Zeitlicher Verlauf der Temperatur der Heißgasschicht im Brandraum (CFAST 2 400 m²)	64
Bild 46 — Zeitlicher Verlauf der Bauteiltemperaturen im Referenzbauteil (CFAST 2 400 m²)	65
Bild 47 — Zeitlicher Verlauf der Wärmefreisetzung im Berechnungsgebiet (FDS 2 400 m²)	66
Bild 48 — Gemittelte Temperaturentwicklung über 25 Zellen unter dem Dach (FDS 2 400 m²)	67
Bild 49 — Zeitlicher Verlauf der Bauteiltemperaturen im Referenzbauteil (FDS 2 400 m²)	68
Bild 50 — Zusammenfassung der Ergebnisse der 2 400 m²-Halle im Vergleich zu DIN 18230-1	69
Bild 51 — Zusammenfassung der Ergebnisse der 2 400 m²-Halle im w-Faktor-Diagramm	70
Bild 52 — Schematische Darstellung der Hallengeometrie (10 000 m² ohne Unterteilung)	71
Bild 53 — Festlegung Randabstand Brandfläche zu freien Raumgrenzen	72
Bild 54 — Schematische Darstellung der Hallengeometrie (Brandfläche 10 000 m²)	74
Bild 55 — Zeitlicher Verlauf der Brandfläche im Brandraum (MRFC 10 000 m²)	75
Bild 56 — Zeitlicher Verlauf der Wärmefreisetzung im Brandraum (MRFC 10 000 m²)	76
Bild 57 — Zeitlicher Verlauf der Dicke der raucharmen Schicht im Brandraum (MRFC 10 000 m²)	77
Bild 58 — Zeitlicher Verlauf der Temperatur der Heißgasschicht im Brandraum (MRFC 10 000 m²)	78
Bild 59 — Zeitlicher Verlauf der Bauteiltemperaturen im Referenzbauteil (MRFC 10 000 m²)	80
Bild 60 — Schematische Darstellung der Hallengeometrie (Brandfläche 1 600 m²)	80
Bild 61 — Zeitlicher Verlauf der Brandfläche und Wärmefreisetzung im Brandraum bei 1 600 m² Brandfläche	81
Bild 62 — Zeitlicher Verlauf der verbleibenden Masse des Brandgutes und der eingetragenen Wärmemenge im Brandraum bei 1 600 m² 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