

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 <sup>2</sup> ).....	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 <sup>2</sup> ) .....	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 <sup>2</sup> ) .....	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 <sup>2</sup> ) .....	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 <sup>-1</sup> .....	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 <sup>2</sup> ) .....	29

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

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

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

## **Tabellen**

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