

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|-----------|
| Vorwort..... | XI |
| 1 Einleitung..... | 1 |
| 1.1 Allgemeines..... | 1 |
| 1.2 Brandschutz..... | 4 |
| 1.2.1 Definitionen..... | 4 |
| 1.2.2 Technische Brandschutzmaßnahmen..... | 5 |
| 1.2.3 Organisatorische Brandschutzmaßnahmen..... | 5 |
| 1.2.4 Ganzheitlicher Brandschutz..... | 5 |
| 1.3 Ziele des Brandschutzes..... | 6 |
| 1.4 Grundlagen der Ingenieurmethoden für den Brandschutz..... | 8 |
| 1.5 Literatur zum Kapitel 1..... | 11 |
| 2 Grundlagen der rechnerischen Modellierung von Bränden..... | 13 |
| 2.1 Modellannahmen..... | 13 |
| 2.1.1 Geometrie..... | 13 |
| 2.1.2 Lüftung..... | 13 |
| 2.1.3 Brandszenarium..... | 14 |
| 2.2 Grundlagen der Berechnung der Gasströmungen und Temperaturen im Falle eines Vollbrandes..... | 15 |
| 2.2.1 Historischer Rückblick..... | 15 |
| 2.2.2 Energiebilanz- und Massenbilanzgleichung..... | 16 |
| 2.2.3 Konvektionsenergie..... | 17 |
| 2.2.4 Strahlung durch Öffnungen..... | 22 |
| 2.2.5 Energieabsorption der Umfassungsbauteile..... | 22 |
| 2.2.6 Wärmespeicherenergie in den Gasen des Brandraumes..... | 25 |
| 2.2.7 Sonstige Energien..... | 26 |
| 2.2.8 Brandleistung..... | 26 |
| 2.2.9 Flashover..... | 28 |
| 2.3 Berechnung des Gaswechsels in Räumen mit Dachentlüftung..... | 28 |
| 2.3.1 Voraussetzungen..... | 28 |
| 2.3.2 Strömungsgleichungen..... | 28 |
| 2.3.3 Sonderfälle..... | 30 |
| 2.4 Berechnungsbeispiele zur Ermittlung von Rauchgasströmungen und Brandleistungen..... | 31 |
| 2.5 Grundlagen der Modellierung von Bränden mit Mehrraum-Zonenmodellen..... | 39 |
| 2.5.1 Modellierung des Brandraumes..... | 39 |
| 2.5.2 Modellierung von Raumsystemen..... | 41 |
| 2.5.3 Modellierung der Massenbilanz im Brandraum..... | 44 |
| 2.5.4 Modellierung der Energiebilanz im Brandraum..... | 45 |
| 2.5.5 Berechnung der Gasströmungen beim Zonenmodell..... | 48 |
| 2.5.6 Modellierung der Flammen und des Feuerplumes..... | 52 |

| | | |
|----------|---|------------|
| 2.5.7 | Näherungsweise Berechnung der Brandraumtemperaturen..... | 54 |
| 2.6 | Grundlagen der Modellierung von Bränden mit Feldmodellen..... | 56 |
| 2.6.1 | Erhaltungsgleichungen..... | 56 |
| 2.6.2 | Turbulenzansätze..... | 60 |
| 2.6.3 | Eddy-Break-Up-Modell..... | 66 |
| 2.6.4 | Berechnung des Feuerplumes, der Strömungsfelder und Temperaturen in einer Halle..... | 69 |
| 2.7 | Literatur zum Kapitel 2..... | 74 |
| 3 | Berechnung des Feuerplumes..... | 77 |
| 3.1 | Einführung..... | 77 |
| 3.2 | Brandentstehung..... | 78 |
| 3.2.1 | Bedingungen für die Brandentstehung..... | 78 |
| 3.2.2 | Zündtemperatur und Mindestverbrennungstemperatur..... | 79 |
| 3.3 | Physikalische und chemische Vorgänge beim Brand..... | 81 |
| 3.3.1 | Allgemeines..... | 81 |
| 3.3.2 | Der Verbrennungsvorgang..... | 82 |
| 3.4 | Grundlagen der Verbrennungsprozesse..... | 83 |
| 3.5 | Flammenbildung und Feuerplumes..... | 89 |
| 3.5.1 | Flammenbildung..... | 89 |
| 3.5.2 | Turbulente Feuerplumes – Plumetheorie..... | 93 |
| 3.5.3 | Experimentell ermittelte Plumeformeln..... | 97 |
| 3.5.3.1 | McCaffrey Plume..... | 97 |
| 3.5.3.2 | Zukoski Plume..... | 99 |
| 3.5.3.3 | Heskestad Plume..... | 99 |
| 3.5.3.4 | Thomas Plume..... | 101 |
| 3.5.3.5 | Weitere Plumeformeln..... | 103 |
| 3.5.3.6 | Flammenausbreitung und Ceiling Jets unter der Decke..... | 106 |
| 3.6 | Literatur zum Kapitel 3..... | 108 |
| 4 | Schadenfeuer und Stoffdaten..... | 109 |
| 4.1 | Natürlicher Ablauf von Bränden..... | 109 |
| 4.2 | Grundlagen der Berechnung des Ablaufes von realen Bränden..... | 114 |
| 4.3 | Praktische Erfahrungen..... | 119 |
| 4.4 | Flammenausbreitung nach der Entzündung..... | 122 |
| 4.5 | Kalorische Daten brennbarer Stoffe..... | 126 |
| 4.6 | Rauchgaszusammensetzung..... | 130 |
| 4.7 | Weitere Stoffdaten..... | 134 |
| 4.8 | Literatur zum Kapitel 4..... | 147 |
| 5 | Baurechtliche Grundlagen, Brandschutzkonzepte, Schutzziele und Brandszenarien .. | 151 |
| 5.1 | Baurecht..... | 151 |
| 5.1.1 | Brandrisiko und Brandsicherheit..... | 151 |
| 5.1.2 | Bauaufsichtliche Akzeptanz ingenieurmäßiger Nachweise..... | 156 |
| 5.1.3 | Brandsicherheitsnachweise..... | 159 |

| | | |
|----------|--|------------|
| 5.1.3.1 | Übersicht..... | 159 |
| 5.1.3.2 | Nachweisberechnungen zur Rauchfreihaltung..... | 160 |
| 5.1.3.3 | Bestimmung der erforderlichen Feuerwiderstandsdauer..... | 161 |
| 5.1.3.4 | Bestimmung der vorhandenen Feuerwiderstandsdauer..... | 164 |
| 5.1.3.5 | Evakuierungsberechnungen..... | 165 |
| 5.2 | Brandschutzkonzept..... | 165 |
| 5.2.1 | Stand der Erkenntnisse..... | 165 |
| 5.2.2 | Beispiel für ein zielorientiertes Brandschutzkonzept..... | 166 |
| 5.2.3 | Spezielle Gesichtspunkte für Brandschutzkonzepte..... | 170 |
| 5.2.3.1 | Allgemeines..... | 170 |
| 5.2.3.2 | Berücksichtigung von Panikreaktionen..... | 171 |
| 5.2.3.3 | Technische Dokumentation..... | 172 |
| 5.2.3.4 | Beurteilung von Brandschutzkonzepten..... | 173 |
| 5.3 | Schutzziele..... | 175 |
| 5.3.1 | Einleitung..... | 175 |
| 5.3.2 | Schutzziele im Brandschutzentwurf..... | 177 |
| 5.3.2.1 | Allgemeines Schutzziel im Baurecht..... | 177 |
| 5.3.2.2 | Konkretisierung der Schutzziele..... | 178 |
| 5.3.3 | Schutzzielorientierte Brandschutzbemessungen..... | 181 |
| 5.3.3.1 | Vorgehensweise..... | 181 |
| 5.3.3.2 | Realisierung der schutzzielorientierten Brandschutzbemessung..... | 183 |
| 5.3.4 | Sicherheitsaspekte bei der schutzzielorientierten Brandschutzbemessung..... | 186 |
| 5.4 | Brandszenarien..... | 187 |
| 5.4.1 | Definitionen..... | 187 |
| 5.4.2 | Entwicklung und Auswahl von Bemessungsbrandszenarien für die Brandschutzanalyse..... | 188 |
| 5.4.3 | Design Fires..... | 190 |
| 5.4.3.1 | Aufgabe von Design Fires..... | 190 |
| 5.4.3.2 | Systematisierung von Design Fires..... | 190 |
| 5.4.3.3 | Design Fires beruhend auf normativen Temperatur-Zeit-Kurven..... | 192 |
| 5.4.3.4 | Design Fires beruhend auf Brandleistungskurven..... | 194 |
| 5.4.3.5 | Brandleistungs-Kurven aus experimentellen Daten..... | 201 |
| 5.4.3.6 | Parametrische Design Fires..... | 204 |
| 5.5 | Entwicklung von Design Fires..... | 205 |
| 5.5.1 | Voraussetzungen..... | 205 |
| 5.5.2 | Grundlagen der Berechnung des Ablaufes von realen Bränden..... | 206 |
| 5.5.3 | Ermittlung eines Design Fires aus einer gegebenen Brandlastaufstellung..... | 208 |
| 5.6 | Literatur zum Kapitel 5..... | 211 |
| 6 | Grundlagen der Rauch- und Wärmeableitung..... | 215 |
| 6.1 | Einleitung..... | 215 |
| 6.2 | Das Verrauchungsproblem..... | 215 |
| 6.3 | Rauchableitung aus eingeschossigen Gebäuden oder einzelnen Geschossebenen..... | 220 |
| 6.3.1 | Der Feuerplume als Grundlage der Rauchbildung..... | 220 |
| 6.3.2 | Rauchableitung durch horizontale Öffnungen..... | 222 |

| | | |
|----------|--|------------|
| 6.3.3 | Bestimmung der Lage der neutralen Ebene..... | 228 |
| 6.4 | Temperatur der Rauchgase | 231 |
| 6.5 | Rauchableitung aus vertikalen Öffnungen..... | 234 |
| 6.6 | Verrauchung von Atrien und Einkaufszentren..... | 236 |
| 6.7 | Praktische Beispiele für die Rauchableitung in Gebäuden | 239 |
| 6.7.1 | Berechnung der Entrauchungsöffnung einer Industriehalle | 239 |
| 6.7.2 | Berechnung der maschinellen Entrauchung einer Industriehalle..... | 241 |
| 6.7.3 | Berechnung einer Überdruckbelüftung eines Atriums | 241 |
| 6.8 | Rauchableitung nach DIN 18 232..... | 244 |
| 6.8.1 | Brandszenarien nach DIN 18 232..... | 244 |
| 6.8.2 | Bemessungstabellen nach DIN 18 232..... | 247 |
| 6.8.3 | Untersuchung der Wirksamkeit der thermischen Auslösung von natürlichen Rauchabzügen | 249 |
| 6.8.4 | Ergebnisse der Brandsimulationen | 251 |
| 6.8.4.1 | Berechnung der Auslösezeiten..... | 251 |
| 6.9 | Entrauchung mehrgeschossiger Industriegebäude | 253 |
| 6.9.1 | Rauchabzug durch vertikale Öffnungen im Industriebau | 253 |
| 6.9.2 | Gebäudebeschreibung..... | 254 |
| 6.9.3 | Ventilationsbedingungen..... | 255 |
| 6.9.4 | Bemessungsbrände | 256 |
| 6.9.5 | Lüftungsszenarien | 257 |
| 6.9.6 | Gebäudegeometrie..... | 258 |
| 6.9.7 | Rechenergebnisse | 260 |
| 6.9.7.1 | Allgemeine Darstellung der Ergebnisse..... | 260 |
| 6.9.7.2 | Vertikale Öffnungsflächen für Geschossbauten mit raucharmen Schichten von mindesten 2,5 m | 265 |
| 6.10 | Literatur zum Kapitel 6..... | 268 |
| 7 | Grundlagen der Bauteilberechnung | 271 |
| 7.1 | Nachweisverfahren nach Eurocode | 271 |
| 7.2 | Zuverlässigkeitsnachweis | 271 |
| 7.3 | Wichtungsfaktor | 274 |
| 7.4 | Thermische Einwirkungen..... | 274 |
| 7.5 | Mechanische Einwirkungen | 276 |
| 7.6 | Teilsicherheitsbeiwerte..... | 278 |
| 7.7 | Brandschutzberechnungen von Stahlbauteilen nach Eurocode 3 Teil 1-2..... | 280 |
| 7.7.1 | Grundlagen der Berechnung..... | 280 |
| 7.7.2 | Berechnung der Temperaturen in Stahlbauteilen..... | 284 |
| 7.7.3 | Zugbeanspruchte Bauteile | 287 |
| 7.7.4 | Druckbeanspruchte Bauteile mit Querschnitten der Klasse 1, 2 oder 3..... | 288 |
| 7.7.5 | Träger mit Querschnitten der Klasse 1 und 2 | 290 |
| 7.7.6 | Träger mit Querschnitten der Klasse 3 | 294 |
| 7.7.7 | Profilmfaktoren..... | 295 |
| 7.7.8 | Eigenschaften von Bekleidungsmaterialien..... | 297 |
| 7.7.9 | Berechnung anderer Bauteile | 299 |

| | | |
|----------|--|------------|
| 7.8 | Literatur zum Kapitel 7..... | 299 |
| 8 | Muster-Industriebaurichtlinie 2000 und Baulicher Brandschutz im Industriebau nach DIN 18 230 | 301 |
| 8.1 | Sicherheitsbetrachtungen, Ziele, Begriffe und Verfahren | 301 |
| 8.1.1 | Grundsätzliche Sicherheitsbetrachtungen..... | 301 |
| 8.1.2 | Ziel der Muster-Industriebaurichtlinie..... | 302 |
| 8.1.3 | Begriffe der Muster-Industriebaurichtlinie..... | 303 |
| 8.1.4 | Verfahren der Muster-Industriebaurichtlinie..... | 305 |
| 8.1.5 | Grundsätze für die Aufstellung von Nachweisen mit Methoden des Brandschutzingenieurwesens | 306 |
| 8.2 | Nachweis der Brandwirkungen bei realen Bränden nach DIN 18 230..... | 307 |
| 8.2.1 | Anbindung an die Muster-Industriebaurichtlinie..... | 307 |
| 8.2.2 | Grundlagen der Norm DIN 18 230 Teil 1 | 309 |
| 8.2.3 | Nachweise nach DIN 18 230 Teil 1..... | 310 |
| 8.2.4 | Gebäudestruktur | 311 |
| 8.2.4.1 | Brandbekämpfungsabschnitt und Geschossigkeit..... | 311 |
| 8.2.4.2 | Teilabschnitte..... | 311 |
| 8.3 | Beschreibung des Verfahrens | 312 |
| 8.3.1 | Rechnerisch erforderliche Feuerwiderstandsdauer $t_{F,erf}$ | 312 |
| 8.3.2 | Ermittlung der äquivalenten Branddauer t_a | 313 |
| 8.4 | Rechnerische Brandbelastung q_R | 316 |
| 8.4.1 | Bedeutung und Definition der Brandlast | 316 |
| 8.4.2 | Methodik der Brandlasterhebung | 317 |
| 8.4.3 | Einteilung der Brandlasten | 317 |
| 8.4.4 | Rechnerische Brandbelastung q_R | 317 |
| 8.4.5 | Abbrandfaktor m | 318 |
| 8.4.6 | Erfassung der Brandlasten | 320 |
| 8.5 | Umrechnungsfaktor c | 323 |
| 8.6 | Wärmeabzugsfaktor w | 324 |
| 8.6.1 | Grundlagen für die Ermittlung des w -Faktors | 324 |
| 8.6.2 | w -Faktoren für mehrgeschossige Brandbekämpfungsabschnitte..... | 330 |
| 8.6.2.1 | Grundsätze des Verfahrens | 330 |
| 8.6.2.2 | Mehrgeschossige Brandbekämpfungsabschnitte bei Geschossflächen mit horizontalen Öffnungen von $\leq 2\%$ | 331 |
| 8.6.2.3 | Mehrgeschossige Brandbekämpfungsabschnitte bei Geschossflächen mit horizontalen Öffnungen von $> 20\%$ | 333 |
| 8.6.3 | Wärmebilanzrechnungen als Ersatz für das Näherungsverfahren | 334 |
| 8.7 | Sicherheitsbeiwert γ und Beiwert δ | 335 |
| 8.8 | Zusatzbeiwert α_L | 336 |
| 8.9 | Literatur zum Kapitel 8..... | 338 |
| 9 | Praxisbeispiel für die Anwendung der MIndBauRL und DIN 18 230..... | 341 |
| 9.1 | Beschreibung der Aufgabenstellung..... | 341 |
| 9.2 | Brandschutzkonzept | 341 |

| | | |
|-------|---|-----|
| 9.2.1 | Erschließung und Gebäudeanordnung..... | 341 |
| 9.2.2 | Nutzung und Brandlasten | 343 |
| 9.2.3 | Bauliche Brandschutzeinrichtungen | 344 |
| 9.2.4 | Rettungswege | 345 |
| 9.2.5 | Brandschutzeinrichtungen | 348 |
| 9.2.6 | Sonstige sicherheitstechnische Einrichtungen | 349 |
| 9.2.7 | Abwehrender Brandschutz | 350 |
| 9.2.8 | Umweltschutz..... | 350 |
| 9.2.9 | Betrieblicher Brandschutz | 351 |
| 9.3 | Nachweise nach DIN 18 230-1 und der MIndBauRL | 352 |
| 9.3.1 | Berechnung für den Brandbekämpfungsabschnitt..... | 352 |
| 9.3.2 | Maximal zulässige Flächen | 355 |
| 9.4 | Zusammenfassung | 356 |
| 9.5 | Literatur zum Kapitel 9..... | 357 |