

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Allgemeines	1
1.2	Brandschutzziele und Maßnahmen.....	5
1.2.1	Definitionen.....	5
1.2.2	Ziele des Brandschutzes	6
1.2.3	Technische Brandschutzmaßnahmen.....	8
1.2.4	Organisatorische Brandschutzmaßnahmen.....	9
1.2.5	Brandschutzkonzept.....	9
1.3	Literatur zum Kapitel 1.....	10
2	Brandrisiko und Brandsicherheit nach Baurecht	12
2.1	Brandschäden und Brandrisiko.....	12
2.2	Brandsicherheit nach Baurecht	15
2.3	Bauaufsichtliche Akzeptanz ingenieurmäßiger Nachweise.....	25
2.4	Verfügbare Nachweismethoden.....	28
2.5	Bestimmung der Feuerwiderstandsdauer nach Eurocode.....	33
2.6	Evakuierungsberechnungen.....	34
2.7	Literatur zum Kapitel 2.....	35
3	Brandschutzkonzept als Grundlage für die Anwendung von Ingenieurmethoden	38
3.1	Stand der Erkenntnisse	38
3.2	Mindestanforderungen an zielorientierte Brandschutzkonzepte	40
3.3	Spezielle Gesichtspunkte für Brandschutzkonzepte von Sonderbauten.....	44
3.3.1	Personenschutz in Sonderbauten	44
3.3.2	Brandschutzplanung	46
3.3.3	Brandabschnitte und Rauchabschnitte	46
3.3.4	Baustoffe und Brandbelastung.....	47
3.3.5	Kommunikation, Rettungswege, Treppenräume und Aufzüge	48
3.3.6	Entrauchungskonzept und Anlagen für die Entrauchung	50
3.3.7	Brandmeldekonzept	52
3.3.8	Löschanlagenkonzept	54
3.3.9	Löschwasserkonzept	54

3.3.10	Berücksichtigung von Panikreaktionen	55
3.3.11	Gefahrenabwehr.....	57
3.3.12	Technische Dokumentation	58
3.3.13	Beurteilung von Brandschutzkonzepten	59
3.4	Schlussfolgerungen.....	61
3.5	Literatur zum Kapitel 3.....	62
4	Schutzziele für die Anwendung von Ingenieurmethoden	64
4.1	Einleitung.....	64
4.2	Schutzziele im Brandschutzentwurf	64
4.2.1	Allgemeine Schutzziele im Baurecht	64
4.2.2	Konkretisierung der Schutzziele.....	66
4.3	Schutzzielorientierte Brandschutzbemessungen.....	70
4.4	Realisierung der schutzzielorientierten Brandschutzbemessung.....	73
4.5	Sicherheitsaspekte bei der schutzzielorientierten Brandschutzbemessung	78
4.6	Literatur zum Kapitel 4.....	79
5	Brandszenarien für die Anwendung von Ingenieurmethoden	81
5.1	Einleitung – Der Brand.....	81
5.2	Physikalische und chemische Vorgänge beim Brand	82
5.2.1	Der Verbrennungsvorgang.....	82
5.2.2	Grundlagen der Verbrennungsprozesse	84
5.3	Ablauf eines Schadenfeuers.....	90
5.4	Design Fires und Bemessungsbrandszenarien.....	92
5.4.1	Einleitung.....	92
5.4.2	Entwicklung und Auswahl von Bemessungsbrandszenarien für die Brandschutzanalyse	93
5.4.3	Design Fires.....	97
5.4.3.1	Aufgabe von Design Fires	97
5.4.3.2	Systematisierung von Design Fires.....	97
5.4.3.3	Design Fires beruhend auf normativen Temperatur-Zeit-Kurven	99
5.4.3.4	Design Fires beruhend auf Brandleistungskurven	103
5.4.3.5	Brandleistungs-Kurven aus experimentellen Daten	112
5.4.3.6	Brandmodelle nach DIN EN 1991-1-2/NA: 09-2010.....	113
5.5	Entwicklung von Design Fires für die Brandsimulation	115
5.5.1	Voraussetzungen.....	115
5.5.2	Grundlagen der Berechnung des Ablaufes von realen Bränden	116
5.5.3	Brandausbreitung im Brandsimulationsmodell MRFC	122

5.5.4	Ermittlung eines Design Fires aus einer gegebenen Brandlastaufstellung ...	126
5.5.5	Praktische Erfahrungen.....	130
5.6	Literatur zum Kapitel 5.....	133
6	Physikalische Grundlagen der Modellierung von Bränden	135
6.1	Grundlagen der Modellierung von Bränden	135
6.1.1	Allgemeines	135
6.1.2	Explizite bzw. analytische Methoden	135
6.1.3	Brandsimulationsmodelle	136
6.2	Modellannahmen	138
6.2.1	Anfangsbedingungen	138
6.2.2	Geometrie	139
6.2.3	Lüftung	139
6.2.4	Brandszenarium	140
6.2.5	Grundlagen der Berechnung der Gasströmungen und Temperaturen im Falle eines Vollbrandes	141
6.2.5.1	Historischer Rückblick	141
6.2.5.2	Energiebilanz- und Massenbilanzgleichung.....	142
6.2.5.3	Konvektionsenergie	144
6.2.5.4	Strahlung durch Öffnungen	149
6.2.5.5	Energieabsorption der Umfassungsbauteile	149
6.2.5.6	Wärmespeicherenergie in den Gasen des Brandraumes	154
6.2.5.7	Sonstige Energien	154
6.2.5.8	Brandleistung.....	154
6.2.5.9	Flashover	156
6.3	Berechnung des Gaswechsels in Räumen mit Dachentlüftung	157
6.3.1	Voraussetzungen.....	157
6.3.2	Strömungsgleichungen	158
6.3.3	Sonderfälle.....	159
6.4	Berechnungsbeispiele zur Ermittlung von Rauchgasströmungen und Brandleistungen	161
6.5	Grundlagen der Modellierung von Bränden mit Mehrraum-Zonenmodellen	170
6.5.1	Modellierung des Brandraumes	170
6.5.2	Modellierung von Raumsystemen	173
6.5.3	Modellierung der Massenbilanz im Brandraum	176
6.5.4	Modellierung der Energiebilanz im Brandraum	177
6.5.5	Berechnung der Gasströmungen beim Zonenmodell.....	180
6.5.6	Näherungsweise Berechnung der Brandraumtemperaturen.....	185
6.6	Modellierung von Flammen und Feuerplumes.....	189
6.6.1	Flammenbildung	189
6.6.2	Turbulente Feuerplumes – Plumetheorie.....	193

6.6.3	Experimentell ermittelte Plumeformeln	198
6.6.3.1	McCaffrey-Plume	198
6.6.3.2	Zukoski-Plume.....	200
6.6.3.3	Heskestad-Plume	201
6.6.3.4	Thomas-Plume.....	204
6.6.3.5	Flammenausbreitung und Ceiling Jets unter der Decke	205
6.7	Grundlagen der Modellierung von Bränden mit CFD-Modellen	209
6.7.1	Allgemeine Einführung	209
6.7.2	Spezielle Submodelle in den CFD-Codes FDS, JASMINE und FLUENT	211
6.7.2.1	Turbulenzberechnung – Prognosemethoden.....	211
6.7.2.2	Strahlungsmodelle in CFD-Codes	213
6.7.2.3	Verbrennungsmodelle.....	214
6.7.2.4	Folgerungen und Hinweise	214
6.7.3	Erhaltungsgleichungen	215
6.7.4	Turbulenzansätze.....	220
6.7.5	Eddy-Break-Up-Modell.....	227
6.8	Anwendungsbeispiel für das CFD-Modell FDS.....	230
6.8.1	Untersuchungsgegenstand – Überdachung eines Haltestellenbereiches.....	230
6.8.2	Brandszenarien	231
6.9	Risikobewertung der möglichen Brandszenarien	232
6.9.1	Simulationsmodell.....	234
6.9.2	Ergebnisse der Simulationen	234
6.9.3	Schlussfolgerungen aus den Simulationen	236
6.10	Literatur zum Kapitel 6.....	236
7	Muster-Richtlinie über den baulichen Brandschutz im Industriebau	240
7.1	Grundsätzliche Überlegungen und Ziele	240
7.1.1	Einführung.....	240
7.1.2	Ziel der M IndBau-Richtlinie	241
7.2	Anwendungsbereich	242
7.3	Begriffe	243
7.4	Verfahren	248
7.5	Allgemeine Anforderungen	249
7.6	Anforderungen an Baustoffe und Bauteile sowie an die Größe der Brandabschnitte im Verfahren ohne Brandlastermittlung	262
7.7	Anforderungen an Baustoffe und Bauteile sowie an die Größe der Brandbekämpfungsabschnitte unter Verwendung des Rechenverfahrens nach DIN 18 230-1.....	266

7.8	Zusätzliche Bauvorlagen	279
7.9	Pflichten des Betreibers	280
7.10	Grundsätze für die Aufstellung von Nachweisen mit Methoden des Brandschutzingenieurwesens	280
7.11	Anrechenbare Wärmeabzugsflächen nach Abschnitt 6, Tabelle 1	282
8	Inhalte und Erläuterung der DIN 18 230-1.....	284
8.1	Einleitung.....	284
8.2	Anwendungsbereich	289
8.3	Begriffe	289
8.4	Beschreibung des Verfahrens	291
8.4.1	Vorgehensweise.....	291
8.5	Flächen mit Brandlasten	292
8.5.1	Fläche A_B des Brandbekämpfungsabschnittes.....	292
8.5.2	Flächen $A_{E,i}$ von Ebenen.....	293
8.5.3	Teilfläche A_T bei ungleichmäßig verteilter Brandbelastung.....	293
8.5.4	Teilfläche A_T bei ungleichmäßig verteiltem Wärmeabzug	294
8.5.5	Teilfläche A_T bei Berücksichtigung der Havarie eines Behälters.....	294
8.6	Ermittlung der rechnerischen Brandbelastung.....	294
8.6.1	Brandlasten	294
8.6.2	Brandbelastung q	295
8.6.3	Rechnerische Brandbelastung q_R und Abbrandfaktor m	295
8.6.4	Erfassung der Brandlasten	296
8.6.4.1	Brandlasten, die unberücksichtigt bleiben.....	296
8.6.4.2	Brandlasten, die teilweise unberücksichtigt bleiben.....	298
8.6.4.3	Mit Einrichtungsschutzanlagen geschützte Brandlasten	298
8.6.4.4	Mit Löschanlagen gesondert geschützte Teileflächen mit erhöhten Brandlasten	298
8.6.5	Brandlasten, die berücksichtigt werden müssen	299
8.6.6	Geschützte Brandlasten	300
8.7	Umrechnungsfaktor c	301
8.8	Wärmeabzugsfaktor w	303
8.8.1	Ermittlung des Wärmeabzugsfaktors nach DIN 18 230-1	303
8.8.2	Wärmebilanzrechnungen als Ersatz für das Näherungsverfahren	305
8.8.3	Näherungsverfahren für die Ermittlung des Wärmeabzugsfaktors w	307
8.8.3.1	Ermittlung der anrechenbaren Wärmeabzugsflächen	307
8.8.3.2	Ermittlung des Wärmeabzugsfaktor w nach DIN 18 230-1	310
8.8.4	Näherungsverfahren für Teileflächen und Teilabschnitte	315
8.8.5	Brandbekämpfungsabschnitte mit mehreren Ebenen	316
8.8.5.1	Ebenen mit Öffnungen < 20 % in den Decken und im Dach	316

8.8.5.2	Brandbekämpfungsabschnitte mit mehreren Ebenen und übereinander liegenden Öffnungen $\geq 20\%$ in den Decken und im Dach	318
8.9	Sicherheitsbeiwerte.....	319
8.9.1	Grundlagen der Sicherheitsbetrachtungen	319
8.9.2	Sicherheitsbeiwert γ	321
8.9.3	Zusatzbeiwert α_L	321
8.9.4	Brandsicherheitsklassen.....	323
8.10	Erforderliche Feuerwiderstandsfähigkeit.....	325
8.11	Rechenbeispiele für Ebenennachweise Abschnitt 4 und Anhang B der Norm.....	325
8.11.1	Brandbekämpfungsabschnitte mit mehreren Ebenen im Geschossbau – Definitionen	325
8.11.2	Brandbekämpfungsabschnitt mit mehreren Ebenen – globaler Nachweis ..	326
8.11.2.1	Geometrie und Rechenwerte.....	326
8.11.2.2	Nichtbemessene Ebenen bzw. Bühnen	327
8.11.2.3	Bemessene Ebenen (Decke mit Öffnungen).....	327
8.11.3	Brandbekämpfungsabschnitt mit mehreren Ebenen – Deckenöffnungen $< 20\%$	328
8.11.3.1	Geometrie und Rechenwerte.....	328
8.11.3.2	Globaler Nachweis	329
8.11.3.3	Ebenennachweis – Deckenöffnung $< 20\%$ Wärmeabzug (nicht gleichmäßig verteilt).....	329
8.12	Zusammenfassung	331
8.13	Literatur zum Kapitel 8	332
9	DIN 18 230-4: Ermittlung der äquivalenten Branddauer u. des Wärmeabzugs durch Brandsimulation	334
9.1	Einleitung.....	334
9.2	Anwendungsbereich der Norm	334
9.3	Begriffe	335
9.4	Verfahren zur Berechnung der äquivalenten Normbranddauer	336
9.4.1	Berechnung von t_a -Werten für Industriebauten durch Brandsimulation	336
9.4.2	Berechnung der äquivalenten Normbranddauer im Referenzbauteil	337
9.4.2.1	Beschreibung der Vorgehensweise	337
9.4.2.2	Referenzbauteil zur Bestimmung von t_a	342
9.4.3	Berechnung des Wärmeabzugsfaktors w aus der Brandsimulation	345
9.5	Temperatur-Zeit-Verläufe für Brände in Industriebauten.....	345
9.5.1	Anforderungen an Brandsimulationsberechnungen.....	345
9.5.2	Brandsimulation mit Zonenmodellen – Geometriemodellierung	348
9.5.3	Brandsimulationen mit CFD-Modellen – Geometriemodellierung	349
9.5.4	Randbedingungen für die Ventilation.....	350

9.5.4.1	Allgemeine Anforderungen bei Zonen- und CFD-Modellen	350
9.5.4.2	Besondere Randbedingungen bei der Brandsimulation mit Zonen-Modellen	350
9.5.4.3	Randbedingungen bei der Brandsimulation mit CFD-Modellen	351
9.5.5	Bedingungen für Brandszenarien bei der Brandsimulation in Industriebauten	352
9.5.5.1	Anforderungen bei der Modellierung von Brandszenarien	352
9.5.5.2	Brandregime	360
9.5.5.3	Arten von Brandszenarien	363
9.5.5.4	Entwicklung von Brandszenarien für die Brandsimulation	364
9.5.5.5	Modellierung von Stoffgemischen	367
9.5.6	Brandszenarien für den Nachweis von t_d auf Teilflächen, Teilabschnitten und Ebenen	369
9.5.6.1	Brandszenarien für Teilflächenbereiche in Brandbekämpfungsabschnitten	369
9.5.6.2	Berechnung des Feuerüberschlages für den Nachweis von Teilabschnitten	371
9.5.6.3	Brandszenarien für die Feuerausbreitung zwischen zwei übereinander liegenden Ebenen	373
9.5.7	Plumeformeln für Zonenmodelle	376
9.5.8	Besonderheiten der Brandszenarien bei CFD-Modellen	377
9.6	Sicherheitskonzept und Nachweise	378
9.7	Dokumentation und Prüfung von Ergebnissen aus Brandsimulationen	379
9.8	Anhänge zur DIN 18 230-4	381
9.8.1	Übersicht	381
9.8.2	Beispiel für eine Brandsimulation nach Anhang A von DIN 18 230-4	381
9.8.2.1	Aufgabenstellung	381
9.8.2.2	Auswertungen	383
9.8.2.3	Brandszenarium und Stoffdaten	383
9.8.3	Simulationsergebnisse mit einem Mehrraum-Zonenmodell	384
9.9	Zusammenfassung	386
9.10	Literatur zum Kapitel 9	387
10	Beispiele für Brandsimulationen mit Zonen- und CFD-Modellen.....	389
10.1	Beispiel 1: Zonenmodellberechnung mit MRFC – Entrauchung einer Industriehalle	389
10.1.1	Aufgabenstellung	389
10.1.2	Modellbildung	391
10.1.2.1	Anlegen eines neuen Projektes	391
10.1.2.2	Zeitsteuerung	391
10.1.2.3	Thermodynamische Steuerdaten	392
10.1.2.4	Iterationssteuerung	392
10.1.2.5	Modellierung der Umgebung	392

10.1.2.6	Modellierung der Räume	392
10.1.2.7	Modellierung der Bauteile	396
10.1.2.8	Verbinden der virtuellen Räume.....	398
10.1.2.9	Öffnungen in die Umgebung	398
10.1.2.10	Modellierung der Öffnungsbedingungen.....	402
10.1.2.11	Definition des Brandszenariums.....	404
10.1.2.12	Zuweisung des Brandszenarios im Modell.....	405
10.1.2.13	Raumkette anpassen	407
10.1.3	Auswahl der Postprozessor-Daten.....	408
10.1.4	Durchführung der Simulation	409
10.1.5	Auswertung und Vergleich der Ergebnisse	412
10.1.6	Zusammenfassung	416
10.2	Beispiel 2: Zonenmodellberechnung mit MRFC – Entrauchung einer Sporthalle.....	417
10.2.1	Aufgabenstellung.....	417
10.2.2	Modellbildung	420
10.2.2.1	Anlegen eines neuen Projektes	420
10.2.2.2	Zeitsteuerung	420
10.2.2.3	Modellierung der Räume	421
10.2.2.4	Modellierung der Bauteile	424
10.2.2.5	Verbinden der virtuellen Räume.....	426
10.2.2.6	Öffnungen in die Umgebung	428
10.2.2.7	Modellierung der Öffnungsbedingungen.....	431
10.2.2.8	Definition des Brandszenariums.....	432
10.2.2.9	Zuweisung des Brandszenarios im Modell.....	433
10.2.2.10	Raumkette anpassen	435
10.2.3	Auswahl der Postprozessor-Daten.....	436
10.2.4	Durchführung der Simulation	437
10.2.5	Auswertung und Vergleich der Ergebnisse	439
10.2.6	Zusammenfassung	442
10.3	Beispiel 3: CFD-Modellberechnung mit FDS – Entrauchungsbeispiel.....	443
10.3.1	Einführung	443
10.3.2	Aufgabenstellung.....	443
10.3.3	Übersicht.....	444
10.3.4	Modellbildung	445
10.3.4.1	Datensatz-Bezeichnung	445
10.3.4.2	Dimensionierung und Gitterbildung.....	445
10.3.4.3	Festlegung der Rahmenparameter	446
10.3.4.4	Brandszenarium	446
10.3.4.5	Definition der Modellgrenzen	448
10.3.4.6	Modellierung der Wände und des Daches	448
10.3.4.7	Modellierung der NRA-Flächen	449
10.3.4.8	Modellierung der Zuluft	450
10.3.5	Festlegung der Auswertungen	451
10.3.5.1	Definition von Slice Files	451
10.3.5.2	Messung der Schichthöhen	453

10.3.5.3	Messung der Volumenströme durch die Öffnungen.....	455
10.3.5.4	Fertiger Datensatz.....	455
10.3.6	Durchführung der Berechnung	459
10.3.7	Auswertung der Berechnungsergebnisse	459
10.3.7.1	Starten von Smokeview	459
10.3.7.2	Slice-Files	461
10.3.7.3	Ergebnisse der Messstellen.....	465
10.3.8	Zusammenfassung	468
10.4	Beispiel 4: CFD-Modellberechnung mit FDS – Auswirkungen des Einbaus eines Folientunnels auf die Sprinklerauslösung	469
10.4.1	Aufgabenstellung.....	469
10.4.2	Modellbildung	470
10.4.2.1	Datensatz-Bezeichnung	470
10.4.2.2	Dimensionierung und Gitterbildung.....	470
10.4.2.3	Festlegung der Rahmenparameter	471
10.4.2.4	Brandquelle.....	472
10.4.2.5	Definition der Modellgrenzen	473
10.4.2.6	Modellierung der Tunnelumfassungen	473
10.4.2.7	Modellierung von DEVC-Detektoren als Sprinklerauslöser	475
10.4.3	Festlegung der Auswertungen	476
10.4.3.1	Definition von Slice Files	476
10.4.3.2	Definition von ISOsurface Files	476
10.4.4	Fertiger Datensatz.....	477
10.4.5	Durchführung der Berechnung	480
10.4.6	Auswertung der Berechnungsergebnisse	481
10.4.6.1	Starten von Smokeview	481
10.4.6.2	Slice-Files	482
10.4.6.3	ISOsurface Files.....	484
10.4.7	Zusammenfassung	485
10.5	Beispiel 5: CFD-Modellberechnung mit FDS – Brandursachenermittlung.....	485
10.5.1	Aufgabenstellung.....	485
10.5.2	Darstellung des zu beurteilenden Bereichs.....	486
10.5.3	Modellbildung	487
10.5.3.1	Datensatz-Bezeichnung	487
10.5.3.2	Dimensionierung und Gitterbildung.....	487
10.5.3.3	Festlegung der Rahmenparameter	488
10.5.3.4	Brandquelle.....	489
10.5.3.5	Öffnen der Modellgrenzen.....	490
10.5.3.6	Modellierung der Umfassungsbauteile	490
10.5.3.7	Modellierung der Öffnungen	491
10.5.3.8	Modellierung von Bett, Schrank und Unterdecke	492
10.5.4	Festlegung der Auswertungen	493
10.5.4.1	Allgemeines	493
10.5.4.2	Definition der Slice Files.....	493
10.5.5	Durchführung der Berechnung	498

10.5.6	Auswertung der Berechnungsergebnisse	499
10.5.6.1	Starten von Smokeview	499
10.5.6.2	Slice-Files	500
10.5.6.3	ISOsurface Files	501
10.5.6.4	Ergebnisse der Messstellen	502
10.5.7	Zusammenfassung	504
10.6	Literatur zum Kapitel 10	504
11	Sicherheitskonzept – Brandschutz im Industriebau	505
11.1	Zielsetzung	505
11.2	Auftretenswahrscheinlichkeit von Bränden	505
11.2.1	Entstehungsbrände	505
11.2.2	Schadenfeuer	506
11.3	Zulässige Wahrscheinlichkeiten im Brandfall	508
11.3.1	Berücksichtigung der Auftretenswahrscheinlichkeit	508
11.3.2	Versagenswahrscheinlichkeit und Zuverlässigkeitsexponent β	508
11.3.3	Zulässige Wahrscheinlichkeiten p_f für Bauteile	509
11.3.4	Zulässige bedingte Wahrscheinlichkeiten $p_{f,f}$	511
11.4	Sicherheitsbeiwerte	513
11.4.1	Nachweise	513
11.4.2	Grundlagen der semi-probabilistischen Bemessung	514
11.4.3	Sicherheitsbeiwerte in DIN 18 230 Teil 1	515
11.4.4	Bemessungswert der Feuerwiderstandsdauer	517
11.4.5	Sicherheitsbeiwerte in DIN EN 1991-1-2/NA (Anhang B)	523
11.4.6	Sicherheitsbeiwerte nach DIN 18 230 Teil 4	524
11.5	Beiwerte α_L nach DIN 18 230 Teil 1 und Teil 4	528
11.5.1	Vorbemerkungen	528
11.5.2	Sicherheitsbeiwerte γ und α_L -Beiwerte nach DIN 18 230 Teil 1	530
11.5.2.1	Sicherheitsbeiwerte γ und γ_{Nom} für DIN 18 230-1 – ohne besondere Infrastruktur	530
11.5.2.2	Beiwerte α_L für DIN 18 230-1	531
11.5.3	Sicherheitsbeiwerte γ und α_L -Beiwerte nach DIN 18 230 Teil 4	534
11.5.3.1	Sicherheitsbeiwerte γ und γ_{Nom} für DIN 18 230-4 – ohne besondere Infrastruktur	534
11.5.3.2	Beiwerte α_L für DIN 18 230-4	535
11.5.4	Vergleich der Beiwerte α_L nach DIN 18 230 Teil 1 und Teil 4	537
11.6	Zusammenfassung	537
11.7	Literatur zum Kapitel 11	538