

Ingenieurmethoden im Baulichen Brandschutz

o. Univ. Prof. Dr. techn. Dr. h. c. Ulrich Schneider

Mit ergänzenden Beiträgen von:

Dipl.-Ing. Th. Hegger

Dr.-Ing. U. Max

Dr.-Ing. F. Mehl

Dr.-Ing. U. Seifert

Dipl.-Ing. K.-D. Wathling

4., durchgesehene Auflage

Mit 94 Bildern und 83 Tabellen

In Zusammenarbeit mit:

Verein zur Förderung von Ingenieurmethoden im Brandschutz (VIB)
Arbeitsgemeinschaft Brandsicherheit (AGB)



Kontakt & Studium
Band 531

Herausgeber:
Prof. Dr.-Ing. Dr.h.c. Wilfried J. Bartz
Dipl.-Ing. Elmar Wippler

expertIQp verlag®

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Allgemeines.....	1
1.2	Wirtschaftliche Bedeutung der Brandschäden und Brandrisiko.....	5
1.3	Brandschutz.....	15
1.3.1	Definitionen.....	15
1.3.2	Technische Brandschutzmaßnahmen.....	16
1.3.3	Organisatorische Brandschutzmaßnahmen.....	16
1.3.4	Brandschutzkonzept.....	16
1.4	Ziele des Brandschutzes.....	17
1.5	Literatur zum Kapitel 1.....	20
2	Physikalische Grundlagen der Modellierung von Bränden	22
2.1	Grundlagen der Modellierung von Bränden.....	22
2.1.1	Allgemeines.....	22
2.1.2	Explizite bzw. analytische Methoden.....	23
2.1.3	Brandsimulationsmodelle.....	23
2.2	Modellannahmen.....	26
2.2.1	Geometrie.....	26
2.2.2	Lüftung.....	26
2.2.3	Brandszenarium.....	27
2.2.4	Grundlagen der Berechnung der Gasströmungen und Temperaturen im Falle eines Vollbrandes.....	29
2.2.4.1	Historischer Rückblick.....	29
2.2.4.2	Energiebilanz- und Massenbilanzgleichung.....	30
2.2.4.3	Konvektionsenergie.....	31
2.2.4.4	Strahlung durch Öffnungen.....	37
2.2.4.5	Energieabsorption der Umfassungsbauteile.....	37
2.2.4.6	Wärmespeicherenergie in den Gasen des Brandraumes.....	42
2.2.4.7	Sonstige Energien.....	42
2.2.4.8	Brandleistung.....	42
2.2.4.9	Flashover.....	44
2.3	Berechnung des Gaswechsels in Räumen mit Dachentlüftung.....	45
2.3.1	Voraussetzungen.....	45
2.3.2	Strömungsgleichungen.....	46
2.3.3	Sonderfälle.....	47

2.4	Berechnungsbeispiele zur Ermittlung von Rauchgasströmungen und Brandleistungen.....	49
2.5	Grundlagen der Modellierung von Bränden mit Mehrraum-Zonenmodellen.....	58
2.5.1	Modellierung des Brandraumes.....	58
2.5.2	Modellierung von Raumsystemen.....	61
2.5.3	Modellierung der Massenbilanz im Brandraum.....	64
2.5.4	Modellierung der Energiebilanz im Brandraum.....	65
2.5.5	Berechnung der Gasströmungen beim Zonenmodell.....	68
2.5.6	Modellierung der Flammen und des Feuerplumes.....	74
2.5.7	Näherungsweise Berechnung der Brandraumtemperaturen.....	76
2.6	Grundlagen der Modellierung von Bränden mit Feldmodellen.....	79
2.6.1	Erhaltungsgleichungen.....	79
2.6.2	Turbulenzansätze.....	84
2.6.3	Eddy-Break-Up-Modell.....	92
2.6.4	Berechnung des Feuerplumes, der Strömungsfelder und Temperaturen in einer Halle.....	95
2.7	Literatur zum Kapitel 2.....	102
3	Brandschutzkonzept als Grundlage für die Anwendung von Ingenieurmethoden.....	105
3.1	Stand der Erkenntnisse.....	105
3.2	Mindestanforderungen an zielorientierte Brandschutzkonzepte.....	107
3.3	Spezielle Gesichtspunkte für Brandschutzkonzepte von Sonderbauten.....	112
3.3.1	Allgemeines.....	112
3.3.2	Brandschutzplanung.....	113
3.3.3	Brandabschnitte und Rauchabschnitte.....	113
3.3.4	Baustoffe und Brandbelastung.....	115
3.3.5	Kommunikation, Rettungswege, Treppenträume und Aufzüge.....	116
3.3.6	Entrauchungskonzept und Anlagen für die Entrauchung.....	118
3.3.7	Brandmeldekonzpt.....	120
3.3.8	Löschanlagenkonzept.....	121
3.3.9	Löschwasserkonzept.....	122
3.3.10	Berücksichtigung von Panikreaktionen.....	123
3.3.11	Gefahrenabwehr.....	124
3.3.12	Technische Dokumentation.....	126
3.3.13	Beurteilung von Brandschutzkonzepten.....	127
3.4	Schlussfolgerungen.....	129
3.5	Literatur zum Kapitel 3.....	130

4	Schutzziele für die Anwendung von Ingenieurmethoden	132
4.1	Einleitung.....	132
4.2	Schutzziele im Brandschutzentwurf.....	132
4.2.1	Allgemeines Schutzziel im Baurecht.....	132
4.2.2	Konkretisierung der Schutzziele.....	134
4.3	Schutzzielorientierte Brandschutzbemessungen.....	138
4.4	Realisierung der schutzzielorientierten Brandschutzbemessung.....	141
4.5	Sicherheitsaspekte bei der schutzzielorientierten Brandschutzbemessung.....	146
4.6	Literatur zum Kapitel 4.....	147
5	Brandszenarien für die Anwendung von Ingenieurmethoden	149
5.1	Einleitung - Der Brand.....	149
5.2	Physikalische und chemische Vorgänge beim Brand.....	150
5.2.1	Der Verbrennungsvorgang.....	151
5.2.2	Grundlagen der Verbrennungsprozesse.....	152
5.3	Ablaufeines Schadenfeuers.....	159
5.4	Design Fires und Bemessungsbrandszenarien.....	160
5.4.1	Einleitung.....	160
5.4.2	Entwicklung und Auswahl von Bemessungsbrandszenarien für die Brandschutzanalyse.....	162
5.4.2.1	Schritt 1: Art des Brandes.....	163
5.4.2.2	Schritt 2: Brandbereich.....	163
5.4.2.3	Schritt 3: Potentielle Brandgefahren (-katastrophen).....	163
5.4.2.4	Schritt 4: Technische Systeme, die einen Einfluss auf das Brandszenarium haben.....	164
5.4.2.5	Schritt 5: Reaktion der Personen (im Gebäude).....	164
5.4.2.6	Schritt 6: Ereignisbaum.....	164
5.4.2.7	Schritt 7: Wahrscheinlichkeiten.....	165
5.4.2.8	Schritt 8: Abschätzung der Folgen.....	165
5.4.2.9	Schritt 9: Risikobewertung.....	165
5.4.2.10	Schritt 10: Auswahl der relevanten Bemessungsbrandszenarien und Dokumentation.....	165
5.4.3	Design Fires.....	166
5.4.3.1	Aufgabe von Design Fires.....	166
5.4.3.2	Systematisierung von Design Fires.....	166
5.4.3.3	Design Fires beruhend auf normativen Temperatur-Zeit-Kurven.....	168
5.4.3.3.1	Einheits-Temperaturkurve (ISO 834, Teil 1).....	169
5.4.3.3.2	Harmonisierte Hydrokarbon-Kurve.....	169
5.4.3.3.3	Schwelfeuerkurve.....	170

5.4.3.3.4	Externe Brandkurve.....	170
5.4.3.3.5	RABT Kurve (Tunnelbrandkurve).....	170
5.4.3.3.6	Die Anwendung der nominellen Temperatur-Zeit-Kurve im brandschutztechnischen Design.....	171
5.4.3.4	Design Fires beruhend auf Brandleistungskurven.....	172
5.4.3.4.1	Konstante Brandleistung.....	173
5.4.3.4.2	Design Fires zur Bemessung von NAs und MAs nach DIN 18 232-2 bzw. DIN 18 232-5.....	173
5.4.3.4.3	Design Fires zur Bemessung von RWAs nach TRVBS125.....	177
5.4.3.4.4	Zeitlich abhängige Brandleistungs-Kurven (Heat-Release-Curves).....	180
5.4.3.4.5	t ² -Modelle.....	180
5.4.3.4.6	Brandausbreitungsmodell nach MRFC.....	182
5.4.3.5	Brandleistungs-Kurven aus experimentellen Daten.....	184
5.4.3.6	Parametrische Design Fires.....	187
5.4.3.6.1	Parametrische Temperaturzeitkurve nach ENV 1991-2-2, Anhang B.....	188
5.5	Entwicklung von Design Fires.....	191
5.5.1	Voraussetzungen.....	191
5.5.2	Grundlagen der Berechnung des Ablaufes von realen Bränden.....	192
5.5.3	Ermittlung eines Design Fires aus einer gegebenen Brandlastaufstellung..	199
5.5.4	Praktische Erfahrungen.....	203
5.6	Literatur zum Kapitel 5.....	206

6 Baurechtliche Grundlagen für die Anwendung von Ingenieurmethoden.....209

6.1	Einleitung - Brandrisiko und Brandsicherheit.....	209
6.2	Bauaufsichtliche Akzeptanz ingenieurmäßiger Nachweise zum vorbeugenden baulichen Brandschutz.....	215
6.3	Brandsicherheitsnachweise - Ingenieurmethoden für die Brandsicherheit.....	220
6.3.1	Übersicht.....	220
6.3.2	Nachweisberechnungen zur Rauchfreihaltung.....	221
6.3.3	Bestimmung der erforderlichen Feuerwiderstandsdauer.....	223
6.3.4	Bestimmung der vorhandenen Feuerwiderstandsdauer.....	226
6.3.5	Evakuierungsberechnungen.....	228
6.4	Zusammenfassung.....	229
6.5	Literatur zum Kapitel 6.....	229

7 Muster-Industriebaurichtlinie 2000 - Baulicher Brandschutz im Industriebau.....232

7.1	Grundsätzliche Sicherheitsbetrachtungen und Ziele.....	232
-----	--	-----

7.1.1	Grundsätzliche Sicherheitsbetrachtungen.....	232
7.1.2	Ziel.....	234
7.2	Geltungsbereich.....	235
7.3	Begriffe.....	236
7.4	Verfahren.....	240
7.5	Allgemeine Anforderungen.....	241
7.6	Anforderungen an Baustoffe und Bauteile sowie an die Größe der Brandabschnitte im Verfahren ohne Brandlastermittlung.....	255
7.7	Anforderungen an Baustoffe und Bauteile sowie an die Größe der Brandbekämpfungsabschnitte unter Verwendung des Rechenverfahrens nach DIN 18230-1.....	259
7.8	Zusätzliche Bauvorlagen und Pflichten des Betreibers.....	273
7.9	Grundsätze für die Aufstellung von Nachweisen mit Methoden des Brandschutzingenieurwesens.....	275
8	Inhalte und Erläuterung der DIN 18230-1.....	277
8.1	Einleitung.....	277
8.2	Anwendungsbereich.....	282
8.3	Ermittlung der rechnerischen Brandbelastung.....	282
8.3.1	Brandlasten.....	282
8.3.2	Brandbelastung q	283
8.3.3	Rechnerische Brandbelastung q_R und Abbrandfaktor m	284
8.3.4	Brandlasten, die unberücksichtigt bleiben.....	285
8.3.5	Brandlasten, die berücksichtigt werden müssen.....	286
8.3.6	Geschützte Brandlasten.....	287
8.3.7	Ungeschützte Brandlasten.....	288
8.3.8	Berücksichtigung der Lagerguthöhen beim Abbrandfaktor m	288
8.3.9	Offene Fragen bei der Ermittlung des Abbrandfaktors m	290
8.4	Wärmebilanzrechnungen für die Bestimmung von Brandwirkungen.....	291
8.4.1	Ermittlung der Wärmeabzugsfaktoren w nach DIN 18230-1, Ausgabe Mai 1998.....	291
8.4.2	Wärmebilanzrechnungen als Ersatz für das Näherungsverfahren.....	293
8.5	Näherungsverfahren für die Ermittlung des Wärmeabzugsfaktors w	296
8.5.1	Ermittlung nach DIN 18230-1.....	296
8.5.2	Näherungsverfahren für Teilflächen und Teilabschnitte.....	304
8.5.3	Näherungsverfahren für mehrgeschossige Brandbekämpfungsabschnitte	305
8.5.3.1	Mehrgeschossige Brandbekämpfungsabschnitte bei Geschossflächen mit horizontalen Öffnungen von $< 2\%$	307

8.5.3.2	Mehrgeschossige Brandbekämpfungsabschnitte bei Geschossflächen mit horizontalen Öffnungen von > 20 %.....	308
8.6	Umrechnungsfaktor c.....	310
8.7	Grundlagen der Sicherheitsbetrachtungen.....	313
8.7.1.1	Brandsicherheitsklassen.....	316
8.7.1.2	Die Sicherheitsbeiwerte γ und die Beiwerte δ	317
8.7.1.3	Anbindung an die Industriebaurichtlinie.....	318
8.8	Zusammenfassung.....	320
8.9	Literatur zum Kapitel 8.....	323
9	Praktische Beispiele für die Anwendung von DIN 18230-1 und der MIndBauRL.....	324
9.1	Einleitung und Problemstellung.....	324
9.2	Beispiel einer Hallenerweiterung (Produktion).....	325
9.2.1	Einleitung.....	325
9.2.2	Beschreibung des Objektes-Sachstandsfeststellung.....	325
9.2.2.1	Ausgangsdaten.....	325
9.2.3	Berechnung nach DIN 18230-1.....	328
9.2.4	Anforderungen nach der neuen Industriebaurichtlinie 03/2000.....	332
9.3	Beispiel für ein Lagergebäude.....	335
9.3.1	Rechnerische Brandbelastung.....	336
9.3.1.1	Ermittlung des Umrechnungsfaktors c.....	337
9.3.1.2	Wärmeabzugsfaktor w	338
9.3.1.3	Erforderliche Feuerwiderstandsdauer.....	339
9.3.2	Maximal zulässige Flächen.....	342
9.4	Literatur zum Kapitel 9.....	344
10	Rauch- und Wärmeabzug nach DIN 18232 - Grundlagen, Normung, Prüfung.....	345
10.1	Einleitung.....	345
10.2	Eigenschaften, Entstehung und Ausbreitung von Rauch.....	345
10.3	Prinzipien der Rauchbeherrschung.....	348
10.4	Rauch- und Wärmeabzug nach deutscher und europäischer Normung.....	350
10.5	Entrauchung von Räumen und Brandabschnitten.....	353
10.5.1	Schutzziele und Methoden.....	353
10.5.2	Bildung einer raucharmen Schicht.....	353
10.5.3	Ausspülung von Rauchgasen.....	355

10.5.4	Differenzdrucksysteme zur Rauchfreihaltung.....	356
10.6	Erläuterungen zur DIN 18232-2.....	357
10.7	Abweichungen von der Regelbemessung.....	362
10.8	Praktische Überprüfung von Entrauchungskonzepten und Entrauchungsmaßnahmen.....	364
10.9	Anwendung und Ergebnisse eines Prüfrauch-Verfahrens.....	367
10.10	Möglichkeiten und Grenzen praktischer Prüfungen.....	370
10.11	Literatur zum Kapitel 10.....	371
11	Berechnungsgrundlagen mit Beispielen für die Auslegung von Rauchabzugsanlagen nach DIN 18232-2.....	373
11.1	Grundlagen der Berechnung für RA im Dach nach einem Zonenmodell ...	373
11.2	Ermittlung der am Plume eingemischten Luftmenge.....	379
11.3	Flammenhöhe.....	381
11.4	Massenströme nach verschiedenen Theorien.....	383
11.5	Überprüfung des Näherungsverfahrens durch Wärmebilanzrechnung und mit Literaturangaben.....	387
11.6	Gang der Berechnung für verschiedene Plumeformeln.....	394
11.6.1	Allgemeine Festlegungen.....	394
11.6.2	Berechnung für fest vorgegebenes Verhältnis von Zuluft und RWA-Flächen.....	396
11.6.3	Berechnung der Zuluftflächen bei vorgegebenen RWA-Flächen.....	407
11.6.4	Berechnung der RWA-Flächen bei vorgegebenen Zuluftflächen.....	410
11.6.5	Berechnung der RWA-Flächen bei vorgegebener Zuluftgeschwindigkeit ...	414
11.7	Grundlagen der Berechnung für RA in Außenwänden nach Zonenmodell.....	417
11.8	Schlussfolgerungen.....	424
11.9	Literatur zum Kapitel 11.....	426
12	Aspekte der experimentellen Brandmodellierung.....	427
12.1	Einleitung.....	427
12.2	Grundsätzliches zur Modellierung.....	428
12.3	Grundlagen der experimentellen Modelltechnik.....	429
12.3.1	Ähnlichkeitsbedingungen.....	429

12.3.2	Dimensionslose Kennzahlen.....	430
12.3.3	Angenäherte Ähnlichkeit.....	431
12.4	Methoden zur Herleitung dimensionsloser Kennzahlen.....	435
12.4.1	Einführung.....	435
12.4.2	Normierung von Differentialgleichungen.....	436
12.4.3	Experimentelle Ermittlung dimensionsloser Kennzahlen.....	441
12.4.4	Verhältnisbildung physikalischer Größen.....	443
12.4.5	Dimensionsanalyse zur Herleitung dimensionsloser Kennzahlen.....	444
12.4.6	Hinweise für die Praxis.....	445
12.4.7	Praxisbeispiel zur Dimensionsanalyse.....	448
12.5	Bedeutung dimensionsloser Kennzahlen für einzelne Brandphänomene ...	450
12.5.1	Einführung.....	450
12.5.2	Beschreibung eines Heißgas-Plumes.....	452
12.5.3	Archimedeszahl eines Heißgas-Plumes.....	453
12.5.4	Umgang mit der Archimedeszahl in einzelnen Literaturstellen.....	455
12.5.5	Reynoldszahl und Froudezahl eines Heißgas-Plumes.....	456
12.5.6	Leichtgasplumes als Ersatz für thermische Plumes?.....	458
12.5.7	Stabilität der Schichtung von Rauch und raucharmer Luft.....	459
12.5.8	Modellierung des Abbrandes.....	460
12.6	Validierung von Ergebnissen.....	462
12.7	Vergleich mit Rechenmodellen und Zusammenfassung.....	464
12.8	Verwendete Formelzeichen.....	466
12.9	Literatur zum Kapitel 12.....	468
13	Gesetzliche Grundlagen des vorbeugenden Brandschutzes.....	470
13.1	Stand und Neuerungen der neuen Musterbauordnung.....	470
13.2	Neues Brandschutzkonzept.....	473
13.3	Neue Brandschutzregelungen.....	475
13.3.1	§ 2 MBO - Begriffe.....	475
13.3.2	§ 14 MBO - Brandschutz.....	478
13.3.3	§ 26 MBO - Allgemeine Anforderungen an das Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen.....	479
13.3.4	§ 27 MBO - Tragende Wände und Stützen.....	481
13.3.5	§ 26 MBO - Außenwände.....	483
13.3.6	§ 29 MBO - Trennwände.....	484
13.3.7	§ 30 MBO - Brandwände.....	486
13.3.8	§ 31 MBO - Decken.....	490
13.3.9	§ 32 MBO - Dächer.....	492
13.3.10	§ 33 MBO - Erster und zweiter Rettungsweg.....	494
13.3.11	§ 34 MBO - Treppen.....	496
13.3.12	§ 35 MBO - Notwendige Treppenräume und Ausgänge.....	497

13.3.13	§ 36 MBO-Notwendige Flure und Gänge.....	502
13.3.14	§ 37 MBO - Fenster, Türen, sonstige Öffnungen.....	505
13.3.15	§ 39 MBO - Aufzüge.....	505
13.3.16	§ 37 MBO - Leitungsanlagen, Installationsschächte und -kanäle.....	508
13.3.17	§ 41 MBO - Lüftungsanlagen.....	509
13.3.18	§ 42 MBO - Feuerungsanlagen, sonstige Anlagen zur Wärmeerzeugung, Brennstoffversorgung.....	510
13.3.19	§ 45 MBO - Aufbewahrung fester Abfallstoffe.....	512
13.3.20	§ 46 MBO - Blitzschutzanlagen.....	512
13.3.21	§ 67 MBO - Abweichungen.....	513
13.4	Ausblick.....	513
13.5	Zusammenfassung.....	516
13.6	Literatur zum Kapitel 13.....	517

**14 Europäische Regelungen zur Bewertung des Brandverhaltens
von Baustoffen und Bauteilen.....518**

14.1	Einführung.....	518
14.2	Europäische Regelungen zur Beurteilung des Brandverhaltens.....	520
14.2.1	Bemessung oder Prüfung der Feuerwiderstandstahigkeit.....	520
14.2.2	Prüfnormen zur Ermittlung des Brandverhaltens von Baustoffen.....	521
14.2.3	Europäische technische Spezifikationen zum Brandverhalten.....	522
14.3	Europäisches Klassifizierungssystem.....	524
14.3.1	Allgemeines.....	524
14.3.2	Klassifizierung der Feuerwiderstandsfähigkeit von Bauteilen.....	525
14.3.3	Klassifizierung des Brandverhaltens von Bauprodukten.....	526
14.3.4	Einbindung des europäischen Klassifizierungssystems in das bauaufsichtliche Verfahren.....	530
14.3.4.1	Allgemeines.....	530
14.3.4.2	Brandverhalten von Bauprodukten.....	530
14.3.4.3	Feuerwiderstandsfähigkeit von Bauteilen.....	534
14.4	Ausblick.....	538
14.5	Literatur zum Kapitel 14.....	540