

Inhaltsverzeichnis

I Wärmeschutz

1 Baulicher Wärmeschutz	3
1.1 Bedeutung des baulichen Wärmeschutzes für das energieeffiziente Bauen	4
1.2 Wärmeschutztechnische Maßnahmen im Gebäudebestand	5
1.3 Planungskriterien/Planungsansätze für die energetische Gestaltung der Gebäudehülle	6
2 Wärmetransport	7
2.1 Grundbegriffe	7
2.1.1 Temperatur	7
2.1.2 Wärme und spezifische Wärmekapazität	7
2.2 Mechanismen des Wärmetransports	8
2.2.1 Wärmeleitung	8
2.2.2 Konvektion	14
2.2.3 Strahlung	21
2.3 Wärmetechnische Kenngrößen für Bauteile	26
2.3.1 Wärmeübergangswiderstand	26
2.3.2 Wärmedurchlasswiderstand	27
2.3.3 Wärmedurchgangswiderstand	28
2.3.4 Wärmedurchgangskoeffizient	29
2.4 Stationärer Temperaturverlauf in einem mehrschichtigen Bauteil	31
2.4.1 Berechnung	31
2.4.2 Grafisches Verfahren	32
3 Wärmebrücken	34
3.1 Begriffsbestimmung	35
3.2 Raumseitige Oberflächentemperaturen	36
3.3 Wärmeverluste	39
3.3.1 Negative Ψ -Werte	41
3.3.2 Bilanz der Transmissionswärmeverluste	42
3.4 Beispiele	43
3.4.1 Innenwandanschluss – geneigtes Dach	43
3.4.2 Dachanschluss – Ortgang	44
3.4.3 Sockelanschluss	45
3.4.4 Balkonplatte	46
3.4.5 Fenster	47
3.4.6 Befestigungselemente	49
4 Lüftung	51
4.1 Infiltration	52
4.2 Fensterlüftung	54
4.2.1 Einseitige Fensterlüftung	55

4.2.2	Querlüftung	57
4.3	Mechanische Lüftung	58
4.3.1	Abluftanlagen	58
4.3.2	Zu-/Abluftanlagen	59
5	Wärme- und Energiebilanzen	61
5.1	Bauteilbilanzen	61
5.1.1	Strahlungsbilanz für Fensterglas	61
5.1.2	Strahlungsbilanz für opake Bauteile	63
5.1.3	Äquivalenter Wärmedurchgangskoeffizient	64
5.1.4	Wärmetransport in Hohlräumen	65
5.2	Raumbilanzen	69
5.3	Zonen-/Gebäudebilanzen	71
5.3.1	Endenergiebedarf	71
5.3.2	Primärenergiebedarf	72
5.3.3	Berechnung des Heizwärmebedarfs	73
5.3.4	Wärmespeicherfähigkeit	78
5.3.5	Anlagenaufwandszahl	79
5.3.6	Energetische Bewertung von Anlagensystemen gemäß DIN V 18599 ...	83
5.3.7	Einflussgrößen auf den Primärenergiebedarf von Wohngebäuden	84
5.4	Gebäudebilanzen für Nichtwohngebäude	86
5.4.1	Energiebedarf des Gebäudes	88
5.4.2	Nutzenergiebilanz einer Gebäudezone	89
5.4.3	Nutzenergiebilanz der Luftaufbereitung	89
5.4.4	Beleuchtung	90
5.4.5	Heizung und Warmwasserbereitung	92
5.4.6	Raumluftechnik- und Klimakältesysteme	92
5.4.7	Nutzungsrandbedingungen	92
6	Instationäres Wärmeverhalten von Bauteilen und Gebäuden	93
6.1	Instationäres Wärmeverhalten von Bauteilen	93
6.1.1	Wärmespeicherung	93
6.2	Instationäres Heizen und Überheizungseffekte	102
6.3	Sommerliches Wärmeverhalten	106
6.3.1	Einschwingvorgang	106
6.3.2	Auswirkung von Einflussgrößen auf die Raumtemperatur im Sommer	109
7	Bewertung von Maßnahmen zur Heizenergieeinsparung	117
7.1	Bauliche Maßnahmen	117
7.2	Anlagentechnische Maßnahmen	118
7.3	Heizenergiebedarf und Heizenergieeinsparung	118
7.4	Brennstoffeinsparung ΔB	119
7.5	Energiekosteneinsparung ΔK	119
7.6	Wirtschaftlichkeit	120
7.7	Beispiele	121

8 Wärmeschutztechnische Anforderungen	123
8.1 Wärmeschutztechnische Vorschriften – DIN 4108	123
8.1.1 Wärmedurchlasswiderstand nichttransparenter und transparenter Bauteile	123
8.1.2 Maßnahmen zur Vermeidung von Schimmelpilzbildung	125
8.2 Mindestanforderung an den sommerlichen Wärmeschutz	126
8.2.1 Allgemeines	126
8.2.2 Nachweisführung	126
8.2.3 Verfahren Sonneneintragskennwerte	129
8.3 Energieeinsparverordnung 2014 und Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz	136
8.3.1 Einführung	136
8.3.2 Das Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz	137
8.3.3 Wohngebäude – Neubau	138
8.3.4 Anforderungen im Gebäudebestand	142
8.3.5 Heizungstechnische Anlagen, Warmwasseranlagen und Wärmeverteilung, Anrechnung von Strom aus erneuerbaren Energien	147
8.3.6 Energieausweise	148
8.3.7 Nichtwohngebäude – Neubau	150
8.3.8 Gebäudestandards	153
 II Feuchteschutz	
1 Ziele und Strategien des Feuchteschutzes	157
1.1 Ziele	157
1.2 Strategien	158
2 Feuchtespeicherung	161
2.1 Feuchtespeicherung in Luft	161
2.1.1 Wasserdampfgehalt der Luft	161
2.1.2 Abkühlung und Erwärmung feuchter Luft	166
2.1.3 Die Raumluftfeuchte als Gleichgewichtszustand	168
2.2 Feuchtespeicherung in Baustoffen	172
2.2.1 Charakteristische Werte der Baustoff-Feuchte	172
2.2.2 Hygroskopische Wassergehalte	177
2.2.3 Überhygroskopische Wassergehalte	181
2.2.4 Feuchtetechnische Eigenschaften einiger Baustoffklassen	185
2.2.5 Mögliche Folgen hoher Wassergehalte in Baustoffen	189
2.3 Tauwasser- und Schimmelpilzbildung an Bauteiloberflächen	190
2.3.1 Die raumseitige Oberflächentemperatur θ_{si} und der Temperaturfaktor f_{Rsi}	190
2.3.2 Tauwasserschutz für Bauteiloberflächen	193
3 Feuchtetransport	196
3.1 Diffusion der Wassermoleküle	196
3.1.1 Varianten der Diffusion	196
3.1.2 Transportgesetz der Wasserdampfdiffusion	198
3.1.3 Diffusionswiderstandszahl μ und wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke s_d	200

3.2	Wassertransport in ungesättigten Poren	204
3.2.1	Grenzflächenspannung σ , Randwinkel θ und Kapillardruck P_K	204
3.2.2	Der Flüssigkeitsleitkoeffizient κ	209
3.2.3	Der Wasseraufnahmekoeffizient W_w	212
3.3	Feuchtetransport durch strömende Luft	215
3.3.1	Schlagregenbelastung von Fassaden	215
3.3.2	Maßnahmen gegen Schlagregen	219
3.3.3	Luftströmungen in Kanälen und Luftschichten	224
3.3.4	Fugenspaltströmungen und Raumdurchlüftung	227
3.3.5	Tauwasserschutz für Luftschichten und Luftkanäle	228
3.4	Strömung von Wasser in gesättigten Poren und in Rissen	230
3.5	Elektrokinese	234
3.6	Abführen der Baufeuchte	236
4	Feuchteübergang	240
4.1	Stoffübergangskoeffizienten β_p und β_v	240
4.2	Stoffübergang im konkreten Fall	241
4.3	Schätzung der Wasserverdunstung von Wasseroberflächen	245
5	Stationärer Feuchtetransport in Bauteilen	246
5.1	Formeln für s_d -Werte zusammengesetzter Schichten	246
5.2	Das Glaser-Verfahren	249
5.2.1	Beschreibung des Verfahrens	249
5.2.2	Wahl der Randbedingungen	256
5.2.3	Beispiele typischer Glaserdiagramme	258
5.2.4	Unbedenkliche Bauteile	260
5.2.5	Berechnungsbeispiele zum Nachweis des Tauwasserausfalls im Bauteilinneren	267
5.3	Maßnahmen gegen Tauwasserausfall im Bauteilinneren	273
5.4	Feuchtetransport bei einseitiger Wasserbelastung	275
5.4.1	Der zugehörige Flüssigwassertransport	275
5.4.2	Flüssigwassertransport und Diffusion in Serienschaltung	277
6	Instationärer Feuchtetransport in Bauteilen	280
6.1	Wasserdampfspeicherung in Baustoffoberflächen	280
6.2	Kapillares Saugen bei begrenztem Wasserangebot	283
6.3	Austrocknungs- und Befeuchtungsvorgänge	284
6.4	Instationäre Feuchtebewegungen in Bauteilen	286
7	Hygrische Beanspruchung von Bauteilen	292
7.1	Quellen und Schwinden der Baustoffe	292
7.2	Verformungen und Risse in Mauerwerk zwischen Betondecken	296
7.3	Verformungen und Risse in Estrichen und Betonbodenplatten	298
7.4	Verformungen und Risse in Holzbauteilen	301

III Klima	305
Einführung, Definitionen und bauklimatische Relevanz	307
1 Komponenten des Außenklimas	310
1.1 Außenlufttemperatur	311
1.1.1 Jahresgang der Außenlufttemperatur	311
1.1.2 Analytische Simulation des tatsächlichen Temperaturganges	314
1.1.3 Tagesgang der Außenlufttemperatur	317
1.1.4 Summenhäufigkeit der Außenlufttemperatur	318
1.2 Kurzweilige und langweilige Wärmestrahlungsbelastung	320
1.2.1 Kurzweilige Strahlungswärmestromdichte auf eine Horizontalfläche	320
1.2.2 Strahlungswärmestromdichte auf beliebig orientierte und geneigte Flächen	323
1.2.3 Langweilige Abstrahlung	334
1.3 Wasserdampfdruck und relative Luftfeuchtigkeit	338
1.3.1 Wasserdampf-sättigungsdruck	338
1.3.2 Relative Luftfeuchtigkeit	339
1.3.3 Tatsächlicher Wasserdampfdruck	340
1.4 Niederschlag und Wind	343
1.4.1 Regenstromdichte	343
1.4.2 Windgeschwindigkeit und Windrichtung	345
1.5 Gebäudeumströmung und Schlagregenbelastung	348
1.6 Testreferenzjahr	356
1.7 Klimagenerator	358
2 Charakterisierung des Raumklimas	361
2.1 Raumtemperaturen	361
2.1.1 Energieumsatz des Menschen	361
2.1.2 Raumlufttemperatur, Umschließungsflächen- und Empfindungstemperatur	363
2.2 Raumluftfeuchte	365
2.2.1 Relative Luftfeuchtigkeit	365
2.2.2 Enthalpie und Wasserdampfgehalt – h-x-Diagramm	369
2.2.3 Taupunkttemperatur	371
2.3 Raumklimaklassen	373
2.4 Einfluss der Raumluftparameter auf die Behaglichkeit	376
3 Raumklima bei quasifreier Klimatisierung	379
3.1 Vorbemerkung	379
3.2 Modellierung der Energiebilanzen in einem ausgewählten Raum zur Ermittlung der Raumlufttemperatur im Jahresverlauf	380
3.2.1 Wärmestrombilanz für die äußere Oberfläche der opaken Bauteile	381
3.2.2 Wärmestrombilanz für den Raum	382
3.2.3 Wärmestrombilanz für die innere Raumumschließungsfläche	383
3.3 Modellierung der Feuchtebilanz-Tages- und Jahresgang der Raumluftfeuchte	386
3.4 Beispielrechnung für einen wärme- und feuchteträgen Archivraum	390
3.4.1 Raum und Bauteilparameter: Speicherwirksame Massen und spezifische Transmissionswärmeströme	390

3.4.2	Außenklimatische Belastung des Raumes	393
3.4.3	Berechnung der Raumtemperaturen	398
3.4.4	Berechnung der relativen Luftfeuchtigkeit im Raum	400
3.5	Nutzerfreundliche Umsetzung des Raumklimamodells Programm CLIMT (CLimate-Indoor-Moisture-Temperature)	402
3.5.1	Programmbeschreibung CLIMT	402
3.5.2	Ermittlung des Raumklimas in zwei Testgebäuden	406
4	Klimagerechtes Bauen	411
4.1	Klimazonen der Erde	411
4.2	Autochthone Bauweisen und Architektur	413
4.3	Kalt	414
4.4	Gemäßigt	417
4.5	Arid	420
4.6	Tropisch	423

IV Schall

1	Einführung in die Akustik	429
1.1	Physikalische Grundlagen	429
1.1.1	Wellen	429
1.1.2	Schallfeldgrößen	432
1.2	Hören	435
1.2.1	Frequenzbewertungsverfahren	437
1.2.2	Psychoakustik	437
1.2.3	Lärm	437
1.3	Schallfelder	439
1.3.1	Schallfelder im Freien	439
1.3.2	Schallfelder in Räumen	440
2	Raumakustik	443
2.1	Nachhallzeit	443
2.2	Schallabsorber	444
2.2.1	Poröse Absorber	445
2.2.2	Plattenresonatoren	449
2.2.3	Helmholtzresonatoren	452
2.2.4	Mikroperforierte Absorber	453
2.3	Schallreflektoren	460
2.3.1	Reflektoren für geometrische Reflexionen	460
2.3.2	Reflektoren für diffuse Reflexionen	461
2.3.3	Schallschirme in Räumen	462
2.4	Schallausbreitung in Räumen	463
2.4.1	Raumimpulsantwort	464
2.4.2	Raumakustische Parameter	464
2.5	Raumformen	465
2.5.1	Günstige Raumformen	465
2.5.2	Gekrümmte Flächen	466
2.6	Raumakustische Anforderungen	467

2.7	Raumakustische Planung	470
2.7.1	Räume mit hohen Schallpegeln	471
2.7.2	Räume für Musik	472
2.7.3	Räume für Sprache	472
2.7.4	Mehrpersonenbüros	473
2.7.5	Kirchen	473
2.7.6	Planungswerkzeuge	474
2.7.7	Unsicherheiten bei der raumakustischen Planung	475
3	Bauakustik	476
3.1	Schallübertragung durch Baukonstruktionen	476
3.1.1	Einschalige Bauteile	476
3.1.2	Zweischalige Bauteile	480
3.1.3	Zusammengesetzte Bauteile	482
3.2	Luftschallübertragung	483
3.2.1	Luftschallübertragung zwischen Räumen	483
3.2.2	Luftschallübertragung im Massivbau	486
3.2.3	Luftschallübertragung im Holz-/Leicht- und Trockenbau	494
3.2.4	Luftschallübertragung von Außenlärm	498
3.2.5	Schalldämmung von Türen	501
3.2.6	Schalldämmung von Fenstern	504
3.3	Trittschallübertragung	507
3.3.1	Trittschallübertragung in Räumen	507
3.3.2	Trittschallübertragung von Massivdecken	510
3.3.3	Trittschallübertragung von Holzbalkendecken	513
3.3.4	Trittschallübertragung von Treppen	518
3.3.5	Gehschall im eigenen Raum	521
3.4	Geräusche aus gebäudetechnischen Anlagen	521
3.5	Bauakustische Anforderungen	521
3.6	Bauakustische Planung	525
3.6.1	Allgemeine Konstruktionshinweise für die bauakustische Planung	526
3.6.2	Wohngebäude	527
3.6.3	Verwaltungsgebäude	527
3.6.4	Gebäude mit hohen bauakustischen Anforderungen	527
3.6.5	Unsicherheiten bei der bauakustischen Planung	528
4	Schall aus Anlagen der Gebäudetechnik	529
4.1	Maschinenlagerung	529
4.2	Schall aus raumlufttechnischen Anlagen	533
5	Schallimmissionsschutz	540
5.1	Berechnung der Schallausbreitung im Freien	540
5.2	Lärmschutzwände	550
5.3	Rechtliche Rahmenbedingungen des Immissionsschutzes	551
5.4	Regelwerke zum Schallimmissionsschutz	552
5.4.1	Gewerbelärm nach TA Lärm	552
5.4.2	Schallschutz im Städtebau	556
5.4.3	Weitere Regelwerke des Schallimmissionsschutzes	559
5.4.4	Maßgeblicher Außenlärmpegel nach DIN 4109	563

V Licht

1 Einführung	567
2 Grundlagen	568
2.1 Elektromagnetische Strahlung	568
2.1.1 Strahlungsintensität – Strahlungsflussdichte	569
2.2 Sonnenspektrum – Temperaturstrahler	569
2.2.1 Minderung der Solarstrahlung – Airmass-Faktor	570
2.2.2 Wiensches Verschiebungsgesetz – Farbtemperatur	571
2.3 Grundgrößen der Lichttechnik	572
2.3.1 Photometrisches Strahlungsäquivalent $K_m - V(\lambda)$ -Kurve	572
2.3.2 Lichtstrom	575
2.3.3 Lichtmenge	575
2.3.4 Lichtstärke	577
2.3.5 Leuchtdichte	577
2.3.6 Spezifische Lichtabstrahlung	580
2.3.7 Beleuchtungsstärke	580
2.3.8 Belichtung	581
2.3.9 Lichtausbeute – Leistungsausbeute	582
2.3.10 Transmission – Reflexion – Absorption	582
2.4 Photometrisches Entfernungsgesetz	583
2.5 Formfaktoren Photometrisches Grundgesetz	584
2.5.1 Reziprozitätsbeziehungen	586
2.5.2 Berechnungsbeispiele	586
2.6 Berechnung der Lichtverteilung im Raum durch Interreflexion	588
2.7 Nicht-analytische Ermittlung von Formfaktoren	590
2.7.1 Graphische Methoden	591
2.7.2 Computergestützte Methode	593
2.8 Computergraphik und lichttechnische Berechnungsverfahren	594
2.9 Wahrnehmung von Licht	597
2.9.1 Helligkeitswahrnehmung Adaptation	597
2.9.2 Weber-Fechnersches Gesetz	597
2.9.3 Blendung	598
2.9.4 Farbmatrik – Farbwiedergabe	599
3 Tageslicht	602
3.1 Qualitative Abschätzungen zum Lichteinfall – Projektionsverfahren	603
3.1.1 Fenster niedrig/hoch angeordnet	604
3.1.2 Vergleich von Seitenlicht und Oberlicht	604
3.1.3 Lichtempfang horizontal / vertikal in Fensternähe und in Raumtiefe	605
3.1.4 Licht von oben in Raummitte und am Rand – horizontal / vertikal	605
3.2 Leuchtdichteverteilung des Himmels	606
3.3 Tageslichtquotient	607
3.3.1 Berechnung des Direktlichtanteils	610
3.3.2 Berechnung des Innenreflexionsanteils	612
3.3.3 Minderungsfaktoren	613
3.4 Richtwerte von Tageslichtquotienten	614
3.5 Verglasungen	615

3.5.1	Glaskennwerte	618
3.5.2	Lichttransmissionsgrad für nicht-senkrechten Lichteinfall	619
3.5.3	Glasaufbau	619
3.5.4	Verglasungsarten	619
3.6	Besonnung	620
3.6.1	Astronomische Gegebenheiten	621
3.6.2	Sonnenstandsdiagramme / Zeitumrechnung	622
3.6.3	Besonnungsuntersuchungen	625
3.6.4	Blend- und Sonnenschutzmaßnahmen	628
4	Kunstlicht	634
4.1	Einführung	634
4.2	Lichterzeugung	635
4.2.1	Temperaturstrahler	636
4.2.2	Niederdruckentladungslampen	638
4.2.3	Hochdruckentladungslampen	641
4.2.4	Lichtemittierende Dioden – LED	645
4.3	Lichtlenkung – Leuchten	647
4.3.1	Reflektoren	647
4.3.2	Linsen	649
4.3.3	Lichtstärkeverteilungskurven LVK	651
4.3.4	Verteilung des Lichtstroms in Raumbereiche	653
4.3.5	Leuchtenbetriebswirkungsgrad	653
4.3.6	Leuchtentypen	653
4.4	Beleuchtungskriterien	655
4.4.1	Energieeffizienzklassen	656
4.5	Berechnungen	656
4.5.1	Mittlere Beleuchtungsstärke nach dem Wirkungsgradverfahren	657
4.5.2	Lokale Beleuchtungsstärken anhand von Lichtstärken / LVK	658
5	Lichttechnische Messungen	660
5.1	Was gemessen wird	660
5.2	Messungen mit der Ulbrichtschen Kugel	660
5.2.1	Messung des Lichtstroms von Lichtquellen	661
5.2.2	Messung des Reflexionsgrades von Proben	661
6	Lichtregelung	662
6.1	Vorteile und Prinzip	662
6.2	Datenaufzeichnung	663
 VI Brand		
1	Einführung	667
2	Ordnungen und Normen	669
2.1	Landesbauordnungen, Verordnungen für bauliche Anlagen besonderer Art und Nutzung	669
2.2	Richtlinien	670

2.3	Normen	670
2.3.1	DIN 4102 „Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen“	670
2.3.2	DIN 18 009 „Brandschutzingenieurwesen – Teil 1: Grundsätze und Regeln für die Anwendung	673
2.3.3	DIN 18 230 „Baulicher Brandschutz im Industriebau“; rechnerisch erforderliche Feuerwiderstandsdauer	673
2.4	Europäische Brandschutznormung	674
2.4.1	Klassifizierung von Baustoffen	674
2.4.2	Klassifizierung von Bauteilen	676
2.4.3	Eurocodes	679
3	Grundlagen des Brandes, Verlauf	682
3.1	Pyrolyse und Verbrennung	682
3.2	Brandverlauf und Einflüsse	684
3.3	Normbrand	686
3.4	Äquivalente Branddauer	686
3.5	Bemessungsbrand	687
3.5.1	Standardisierte Bemessungsbrände	689
3.5.2	Ausbreitung	691
3.5.3	Löschung	691
4	Mechanische und thermische Hochtemperatureigenschaften der Baustoffe	692
4.1	Stahl	692
4.1.1	Festigkeit und Verformung	692
4.1.2	Elastizität	694
4.1.3	Thermische Dehnung	694
4.1.4	Wärmeleitfähigkeit	695
4.1.5	Spezifische Wärmekapazität	695
4.1.6	Dichte	695
4.1.7	Temperaturleitfähigkeit	695
4.1.8	Temperaturverteilung	696
4.2	Beton	698
4.2.1	Festigkeit	699
4.2.2	Elastizität	700
4.2.3	Gesamtverformung	700
4.2.4	Kritische Temperatur	700
4.2.5	Zwängung	702
4.2.6	Thermische Dehnung	702
4.2.7	Wärmeleitfähigkeit	702
4.2.8	Spezifische Wärmekapazität	703
4.2.9	Dichte	703
4.2.10	Temperaturleitfähigkeit	703
4.2.11	Temperaturverteilung	703
4.2.12	Temperaturverteilung in Stahl-Verbundquerschnitten	706
4.3	Sonderbetone	706
4.4	Mauerwerk	707
4.5	Holz	707
4.5.1	Entzündung, Abbrand	707
4.5.2	Festigkeit	708

4.5.3	Elastizität	709
4.5.4	Thermische Dehnung	709
4.5.5	Wärmeleitfähigkeit	709
4.5.6	Spezifische Wärmekapazität	710
4.5.7	Temperaturleitfähigkeit	710
4.5.8	Temperaturverteilung	710
4.6	Gips	710
4.6.1	Produkte	710
4.6.2	Physiko-chemische Vorgänge bei Einwirkung erhöhter Temperatur	711
4.6.3	Mechanische Eigenschaften	711
4.6.4	Thermische Eigenschaften	712
4.7	Nichteisenmetalle	712
4.8	Kunststoffe	712
4.9	Dämmstoffe	715
4.9.1	Spezialputze	715
4.9.2	Dämmschichtbildner	716
4.9.3	Dämmplatten	716
5	Brandverhalten von Bauteilen	717
6	Ergänzende Maßnahmen	726
6.1	Früherkennungs- und -meldeanlagen	726
6.2	Frühbekämpfungsmaßnahmen	726
6.3	Rettungswege	726
6.4	Rauch- und Wärmeabzugsanlagen	727
6.5	Leitungen, Schächte, Kanäle	727
6.6	Wandöffnungen; Türen und Tore	729
6.7	Brandabschnitte	729
6.8	Definierter Objektschutz	731
7	Brandnebenwirkungen	733
7.1	Temperaturen	733
7.2	Toxische Gase	733
7.3	Rauch	734
7.4	Korrosive Gase	734
7.5	Modellgrößen zur Beschreibung der Personensicherheit	734
7.5.1	Optische Dichte und Erkennungsweite	734
7.5.2	Anhaltswerte zur Beurteilung der Personensicherheit	736
7.5.3	FED-Konzept	737
8	Mathematische Brandmodelle	740
8.1	Handrechenformeln	740
8.1.1	Plume ohne Ausbildung einer Heißgasschicht	743
8.1.2	Rauchgasströmung an der Decke (Ceiling-Jet)	746
8.1.3	Plume mit Ausbildung einer Heißgasschicht	748
8.2	Wärme- und Massenbilanzmodelle	750
8.2.1	Mehrzonenmodelle	751
8.2.2	Mehrraum-Mehrzonenmodelle	755
8.3	Feldmodelle für die Brandsimulation	756

8.3.1	Erhaltungsgleichungen	756
8.3.2	Weitere Annahmen und Vereinfachungen	758
8.3.3	Turbulenzmodellierung	760
8.3.4	Quellterme und Randbedingungen	762
8.3.5	Durchführung von CFD-Berechnungen	765
8.3.6	Beispiele für Berechnungen	765
8.4	Evaluierung von Modellen	768
Anhang		773
	Symbolverzeichnis	775
	Literaturverzeichnis	794
Sachwortverzeichnis		825