

Teil I Wärmeschutz

1 Baulicher Wärmeschutz	3
Anton Maas	
1.1 Bedeutung des baulichen Wärmeschutzes für das energieeffiziente Bauen	4
1.2 Wärmeschutztechnische Maßnahmen im Gebäudebestand	6
1.3 Planungskriterien/Planungsansätze für die energetische Gestaltung der Gebäudehülle	6
2 Wärmetransport	9
Anton Maas	
2.1 Grundbegriffe	9
2.1.1 Temperatur	9
2.1.2 Wärme und spezifische Wärmekapazität	9
2.2 Mechanismen des Wärmetransports	10
2.2.1 Wärmeleitung	11
2.2.2 Konvektion	17
2.2.3 Strahlung	27
2.3 Wärmetechnische Kenngrößen für Bauteile	33
2.3.1 Wärmeübergangswiderstand	33
2.3.2 Wärmedurchlasswiderstand	34
2.3.3 Wärmedurchgangswiderstand	35
2.3.4 Wärmedurchgangskoeffizient	35
2.4 Stationärer Temperaturverlauf in einem mehrschichtigen Bauteil	38
2.4.1 Berechnung	38
2.4.2 Grafisches Verfahren	40
Literatur	41

3	Wärmebrücken	43
	Anton Maas	
3.1	Begriffsbestimmung	44
3.2	Raumseitige Oberflächentemperaturen	46
3.3	Wärmeverluste	50
3.3.1	Negative Ψ -Werte	51
3.3.2	Bilanz der Transmissionswärmeverluste	53
3.4	Beispiele	54
3.4.1	Innenwandanschluss – geneigtes Dach	54
3.4.2	Dachanschluss – Ortgang	56
3.4.3	Sockelanschluss	57
3.4.4	Balkonplatte	58
3.4.5	Fenster	59
3.4.6	Befestigungselemente	62
	Literatur	63
4	Lüftung	65
	Anton Maas	
4.1	Infiltration	66
4.2	Fensterlüftung	70
4.2.1	Einseitige Fensterlüftung	70
4.2.2	Querlüftung	73
4.3	Mechanische Lüftung	74
4.3.1	Abluftanlagen	74
4.3.2	Zu-/Abluftanlagen	76
	Literatur	78
5	Wärme- und Energiebilanzen	79
	Anton Maas	
5.1	Bauteilbilanzen	79
5.1.1	Strahlungsbilanz für Fensterglas	79
5.1.2	Strahlungsbilanz für opake Bauteile	82
5.1.3	Äquivalenter Wärmedurchgangskoeffizient	83
5.1.4	Wärmetransport in Hohlräumen	85
5.2	Raumbilanzen	90
5.3	Zonen-/Gebäudebilanzen	92
5.3.1	Endenergiebedarf	93
5.3.2	Primärenergiebedarf	94
5.3.3	Berechnung des Heizwärmebedarfs	95
5.3.4	Wärmespeicherfähigkeit	100
5.3.5	Anlagenaufwandszahl	101
5.3.6	Energetische Bewertung von Anlagensystemen gemäß DIN V 18599	106

5.3.7	Einflussgrößen auf den Primärenergiebedarf von Wohngebäuden	106
5.4	Gebäudebilanzen für Nichtwohngebäude	108
5.4.1	Energiebedarf des Gebäudes	111
5.4.2	Nutzenergiebilanz einer Gebäudezone	112
5.4.3	Nutzenergiebilanz der Luftaufbereitung	112
5.4.4	Beleuchtung	113
5.4.5	Heizung und Warmwasserbereitung	114
5.4.6	Raumlufttechnik- und Klimakältesysteme	115
5.4.7	Nutzungsrandbedingungen	116
5.4.8	Gebäudeautomation	116
5.4.9	Tabellenverfahren	116
	Literatur	117
6	Instationäres Wärmeverhalten von Bauteilen und Gebäuden	119
	Anton Maas	
6.1	Instationäres Wärmeverhalten von Bauteilen	119
6.1.1	Wärmespeicherung	120
6.2	Instationäres Heizen und Überheizungseffekte	129
6.3	Sommerliches Wärmeverhalten	133
6.3.1	Einschwingvorgang	133
6.3.2	Auswirkung von Einflussgrößen auf die Raumtemperatur im Sommer	136
	Literatur	145
7	Bewertung von Maßnahmen zur Heizenergieeinsparung	147
	Anton Maas	
7.1	Bauliche Maßnahmen	147
7.2	Anlagentechnische Maßnahmen	149
7.3	Heizenergiebedarf und Heizenergieeinsparung	149
7.4	Brennstoffeinsparung ΔB	150
7.5	Energiekosteneinsparung ΔK	150
7.6	Wirtschaftlichkeit	151
7.7	Beispiele	152
	Literatur	154
8	Wärmeschutztechnische Anforderungen	155
	Anton Maas	
8.1	Wärmeschutztechnische Vorschriften – DIN 4108	155
8.1.1	Wärmedurchlasswiderstand nichttransparenter und transparenter Bauteile	155
8.1.2	Maßnahmen zur Vermeidung von Schimmelpilzbildung	158
8.2	Mindestanforderung an den sommerlichen Wärmeschutz	159
8.2.1	Allgemeines	159

8.2.2 Nachweisführung 161

8.2.3 Verfahren Sonneneintragskennwerte 163

8.3 Gebäudeenergiegesetz 2020 171

8.3.1 Einführung 171

8.3.2 Wohngebäude – Neubau 172

8.3.3 Nichtwohngebäude – Neubau 180

8.3.4 Das Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz 182

8.3.5 Anforderungen im Gebäudebestand 184

8.3.6 Heizungstechnische Anlagen, Warmwasseranlagen und
Wärmeverteilung, Anrechnung von Strom aus erneuerbaren
Energien 185

8.3.7 Energieausweise 187

8.3.8 Gebäudestandards 188

Literatur 190

Teil II Feuchteschutz

9 Ziele und Strategien des Feuchteschutzes 195

Martin Homann

9.1 Ziele 195

9.2 Strategien 196

Literatur 199

10 Feuchtespeicherung 201

Martin Homann

10.1 Feuchtespeicherung in Luft 201

10.1.1 Wasserdampfgehalt der Luft 201

10.1.2 Abkühlung und Erwärmung feuchter Luft 207

10.1.3 Die Raumluftfeuchte als Gleichgewichtszustand 210

10.2 Feuchtespeicherung in Baustoffen 214

10.2.1 Charakteristische Werte der Baustoff-Feuchte 214

10.2.2 Hygroskopische Wassergehalte 220

10.2.3 Überhygroskopische Wassergehalte 226

10.2.4 Feuchtetechnische Eigenschaften einiger Baustoffklassen 231

10.2.5 Mögliche Folgen hoher Wassergehalte in Baustoffen 234

10.3 Tauwasser- und Schimmelpilzbildung an Bauteiloberflächen 236

10.3.1 Die raumseitige Oberflächentemperatur θ_{si} und der
Temperaturfaktor f_{Rsi} 236

10.3.2 Tauwasserschutz für Bauteiloberflächen 239

Literatur 242

11 Feuchtetransport	245
Martin Homann	
11.1 Diffusion der Wassermoleküle	245
11.1.1 Varianten der Diffusion	245
11.1.2 Transportgesetz der Wasserdampfdiffusion	248
11.1.3 Diffusionswiderstandszahl μ und wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke s_d	251
11.2 Wassertransport in ungesättigten Poren	254
11.2.1 Grenzflächenspannung σ , Randwinkel θ und Kapillardruck P_K	254
11.2.2 Der Flüssigkeitsleitkoeffizient κ	261
11.2.3 Der Wasseraufnahmekoeffizient W_w	264
11.3 Feuchtetransport durch strömende Luft	268
11.3.1 Schlagregenbelastung von Fassaden	268
11.3.2 Maßnahmen gegen Schlagregen	271
11.3.3 Luftströmungen in Kanälen und Luftschichten	278
11.3.4 Fugenspaltströmungen und Raumdurchlüftung	281
11.3.5 Tauwasserschutz für Luftschichten und Luftkanäle	284
11.4 Strömung von Wasser in gesättigten Poren und in Rissen	286
11.5 Elektrokinese	290
11.6 Abführen der Baufeuchte	292
Literatur	296
12 Feuchteübergang	299
Martin Homann	
12.1 Stoffübergangskoeffizienten β_p und β_v	299
12.2 Stoffübergang im konkreten Fall	301
12.3 Schätzung der Wasserverdunstung von Wasseroberflächen	305
Literatur	306
13 Stationärer Feuchtetransport in Bauteilen	307
Martin Homann	
13.1 Formeln für s_d -Werte zusammengesetzter Schichten	307
13.2 Das Glaser-Verfahren	311
13.2.1 Beschreibung des Verfahrens	311
13.2.2 Wahl der Randbedingungen	319
13.2.3 Beispiele typischer Glaserdiagramme	322
13.2.4 Unbedenkliche Bauteile	324
13.2.5 Berechnungsbeispiele zum Nachweis des Tauwasserausfalls im Bauteilinneren	331
13.3 Maßnahmen gegen Tauwasserausfall im Bauteilinneren	336
13.4 Feuchtetransport bei einseitiger Wasserbelastung	340

13.4.1	Der zugehörige Flüssigwassertransport	340
13.4.2	Flüssigwassertransport und Diffusion in Serienschaltung	342
	Literatur	345
14	Instationärer Feuchtetransport in Bauteilen	347
	Martin Homann	
14.1	Wasserdampfspeicherung in Baustoffoberflächen	347
14.2	Kapillares Saugen bei begrenztem Wasserangebot	350
14.3	Austrocknungs- und Befeuchtungsvorgänge	352
14.4	Instationäre Feuchtebewegungen in Bauteilen	355
	Literatur	360
15	Hygrische Beanspruchung von Bauteilen	363
	Martin Homann	
15.1	Quellen und Schwinden der Baustoffe	363
15.2	Verformungen und Risse in Mauerwerk zwischen Betondecken	367
15.3	Verformungen und Risse in Estrichen und Betonbodenplatten	371
15.4	Verformungen und Risse in Holzbauteilen	374
	Literatur	377
 Teil III Klima		
16	Komponenten des Außenklimas	385
	Peter Häupl	
16.1	Außenlufttemperatur	387
16.1.1	Jahresgang der Außenlufttemperatur	387
16.1.2	Analytische Simulation des tatsächlichen Temperaturganges ..	389
16.1.3	Tagesgang der Außenlufttemperatur	393
16.1.4	Summenhäufigkeit der Außenlufttemperatur	397
16.2	Kurzwellige und langwellige Wärmestrahlungsbelastung	399
16.2.1	Kurzwellige Strahlungswärmestromdichte auf eine Horizontalfläche	400
16.2.2	Strahlungswärmestromdichte auf beliebig orientierte und geneigte Flächen	404
16.2.3	Langwellige Abstrahlung	426
16.3	Wasserdampfdruck und relative Luftfeuchtigkeit	432
16.3.1	Wasserdampfsättigungsdruck	433
16.3.2	Relative Luftfeuchtigkeit	433
16.3.3	Tatsächlicher Wasserdampfdruck	435
16.4	Niederschlag und Wind	438
16.4.1	Regenstromdichte	438
16.4.2	Windgeschwindigkeit und Windrichtung	442

16.5 Gebäudeumströmung und Schlagregenbelastung	446
16.6 Testreferenzjahr	460
16.7 Klimagenerator	465
Literatur	468
17 Charakterisierung des Raumklimas	471
Peter Häupl	
17.1 Raumtemperaturen	471
17.1.1 Energieumsatz des Menschen	471
17.1.2 Raumlufttemperatur, Umschließungsflächen- und Empfindungstemperatur	472
17.2 Raumluftfeuchte	477
17.2.1 Relative Luftfeuchtigkeit	477
17.2.2 Enthalpie und Wasserdampfgehalt – h-x-Diagramm	484
17.2.3 Taupunkttemperatur	487
17.3 Raumklimaklassen	488
17.4 Einfluss der Raumluftparameter auf die Behaglichkeit	491
Literatur	498
18 Raumklima bei quasifreier Klimatisierung	501
Peter Häupl	
18.1 Vorbemerkung	501
18.2 Modellierung der Energiebilanzen in einem ausgewählten Raum zur Ermittlung der Raumlufttemperatur im Jahresverlauf	502
18.2.1 Wärmestrombilanz für die äußere Oberfläche der opaken Bauteile	505
18.2.2 Wärmestrombilanz für den Raum	506
18.2.3 Wärmestrombilanz für die innere Raumumschließungsfläche ...	507
18.3 Modellierung der Feuchtebilanz-Tages- und Jahresgang der Raumluftfeuchte	511
18.4 Beispielrechnung für einen wärme- und feuchteträgen Archivraum	515
18.4.1 Raum und Bauteilparameter: Speicherwirksame Massen und spezifische Transmissionswärmeströme	515
18.4.2 Außenklimatische Belastung des Raumes	518
18.4.3 Berechnung der Raumtemperaturen	527
18.4.4 Berechnung der relativen Luftfeuchtigkeit im Raum	529
18.5 Nutzerfreundliche Umsetzung des Raumklimamodells Programm CLIMT (CLimate-Indoor-Moisture-Temperature)	532
18.5.1 Programmbeschreibung CLIMT	532
18.5.2 Ermittlung des Raumklimas in zwei Testgebäuden	537
Literatur	543

19 Klimagerechtes Bauen	545
Wolfgang M. Willems	
19.1 Klimazonen der Erde	545
19.2 Autochthone Bauweisen und Architektur	549
19.3 Kalt	550
19.4 Gemäßigt	554
19.5 Arid	557
19.6 Tropisch	560
Literatur	563

Teil IV Schall

20 Einführung in die Akustik	567
Gerrit Höfker	
20.1 Physikalische Grundlagen	567
20.1.1 Wellen	567
20.1.2 Schallfeldgrößen	570
20.2 Hören	574
20.2.1 Frequenzbewertungsverfahren	576
20.2.2 Psychoakustik	578
20.2.3 Lärm	578
20.3 Schallfelder	579
20.3.1 Schallfelder im Freien	579
20.3.2 Schallfelder in Räumen	580
Literatur	584
21 Raumakustik	587
Gerrit Höfker	
21.1 Nachhallzeit	587
21.2 Schallabsorber	589
21.2.1 Poröse Absorber	593
21.2.2 Plattenresonatoren	599
21.2.3 Helmholtzresonatoren	600
21.2.4 Mikroperforierte Absorber	604
21.3 Schallreflektoren	608
21.3.1 Reflektoren für geometrische Reflexionen	608
21.3.2 Reflektoren für diffuse Reflexionen	609
21.3.3 Schallschirme in Räumen	611
21.4 Schallausbreitung in Räumen	612
21.4.1 Raumimpulsantwort	612
21.4.2 Raumakustische Parameter	613
21.5 Raumformen	614
21.5.1 Günstige Raumformen	614
21.5.2 Gekrümmte Flächen	616

21.6	Raumakustische Anforderungen	616
21.7	Raumakustische Planung	621
21.7.1	Räume mit hohen Schallpegeln	622
21.7.2	Räume für Musik	623
21.7.3	Räume für Sprache	623
21.7.4	Mehrpersonenbüros	624
21.7.5	Kirchen	625
21.7.6	Planungswerkzeuge	625
21.7.7	Unsicherheiten bei der raumakustischen Planung	627
	Literatur	629
22	Bauakustik	633
	Gerrit Höfker	
22.1	Schallübertragung durch Baukonstruktionen	633
22.1.1	Einschalige Bauteile	633
22.1.2	Zweischalige Bauteile	639
22.1.3	Zusammengesetzte Bauteile	642
22.2	Luftschallübertragung	642
22.2.1	Luftschallübertragung zwischen Räumen	642
22.2.2	Luftschallübertragung im Massivbau	647
22.2.3	Luftschallübertragung im Holz-/Leicht- und Trockenbau	654
22.2.4	Luftschallübertragung von Außenlärm	658
22.2.5	Schalldämmung von Türen	661
22.2.6	Schalldämmung von Fenstern	666
22.3	Trittschallübertragung	670
22.3.1	Trittschallübertragung in Räumen	670
22.3.2	Trittschallübertragung von Massivdecken	672
22.3.3	Trittschallübertragung von Holzbalkendecken	677
22.3.4	Trittschallübertragung von Treppen	680
22.3.5	Gehschall im eigenen Raum	683
22.4	Geräusche aus gebäudetechnischen Anlagen	684
22.5	Bauakustische Anforderungen	685
22.6	Bauakustische Planung	688
22.6.1	Allgemeine Konstruktionshinweise für die bauakustische Planung	689
22.6.2	Wohngebäude	689
22.6.3	Verwaltungsgebäude	692
22.6.4	Gebäude mit hohen bauakustischen Anforderungen	694
22.6.5	Unsicherheiten bei der bauakustischen Planung	695
	Literatur	695

23 Schall aus Anlagen der Gebäudetechnik	699
Gerrit Höfker	
23.1 Maschinenlagerung	699
23.2 Schall aus raumlufttechnischen Anlagen	704
Literatur	713
24 Schallimmissionsschutz	715
Christian Nocke	
24.1 Berechnung der Schallausbreitung im Freien	715
24.2 Lärmschutzwände	728
24.3 Rechtliche Rahmenbedingungen des Immissionsschutzes	728
24.4 Regelwerke zum Schallimmissionsschutz	730
24.4.1 Gewerbelärm nach TA Lärm	730
24.4.2 Schallschutz im Städtebau	734
24.4.3 Weitere Regelwerke des Schallimmissionsschutzes	738
24.4.4 Maßgeblicher Außenlärmpegel nach DIN 4109	742
Literatur	744
Teil V Licht	
25 Einführung	749
Christian Kölzow	
26 Grundlagen	751
Christian Kölzow	
26.1 Elektromagnetische Strahlung	751
26.1.1 Strahlungsintensität – Strahlungsflussdichte	752
26.2 Sonnenspektrum – Temperaturstrahler	753
26.2.1 Minderung der Solarstrahlung – Airmass-Faktor	755
26.2.2 Wiensches Verschiebungsgesetz – Farbtemperatur	756
26.3 Grundgrößen der Lichttechnik	757
26.3.1 Photometrisches Strahlungsäquivalent $K_m - V(\lambda)$ -Kurve	757
26.3.2 Lichtstrom	760
26.3.3 Lichtmenge	761
26.3.4 Lichtstärke	763
26.3.5 Leuchtdichte	764
26.3.6 Spezifische Lichtabstrahlung	767
26.3.7 Beleuchtungsstärke	768
26.3.8 Belichtung	770
26.3.9 Lichtausbeute – Leistungsausbeute	770
26.3.10 Transmission – Reflexion – Absorption	771
26.4 Photometrisches Entfernungsgesetz	772
26.5 Formfaktoren Photometrisches Grundgesetz	772

26.5.1	Reziprozitätsbeziehungen	775
26.5.2	Berechnungsbeispiele	776
26.6	Berechnung der Lichtverteilung im Raum durch Interreflexion	779
26.7	Nicht-analytische Ermittlung von Formfaktoren	782
26.7.1	Graphische Methoden	782
26.7.2	Computergestützte Methode	784
26.8	Computergraphik und lichttechnische Berechnungsverfahren	787
26.9	Wahrnehmung von Licht	790
26.9.1	Helligkeitswahrnehmung Adaptation	790
26.9.2	Weber-Fechnersches Gesetz	791
26.9.3	Blendung	792
26.9.4	Farbmetrik – Farbwiedergabe	793
	Literatur	797
27	Tageslicht	799
	Christian Kölzow	
27.1	Qualitative Abschätzungen zum Lichteinfall – Projektionsverfahren	800
27.1.1	Fenster niedrig/hoch angeordnet	801
27.1.2	Vergleich von Seitenlicht und Oberlicht	802
27.1.3	Lichtempfang horizontal/vertikal in Fensternähe und in Raumtiefe	802
27.1.4	Licht von oben in Raummitte und am Rand – horizontal/vertikal	803
27.2	Leuchtdichtevertielung des Himmels	803
27.3	Tageslichtquotient	805
27.3.1	Berechnung des Direktlichtanteil	809
27.3.2	Berechnung des Innenreflexionsanteils	812
27.3.3	Minderungsfaktoren	813
27.4	Richtwerte von Tageslichtquotienten (Tab. 27.5 und 27.6)	814
27.5	Verglasungen	815
27.5.1	Glaskennwerte	819
27.5.2	Lichttransmissionsgrad für nicht-senkrechten Lichteinfall	819
27.5.3	Glasaufbau	820
27.5.4	Verglasungsarten	821
27.6	Besonnung	822
27.6.1	Astronomische Gegebenheiten	823
27.6.2	Sonnenstandsdiagramme/Zeitungrechnung	825
27.6.3	Besonnungsuntersuchungen	829
27.6.4	Blend- und Sonnenschutzmaßnahmen	836
	Literatur	845

28 Kunstlicht	847
Christian Kölzow	
28.1 Einführung	847
28.2 Lichterzeugung	848
28.2.1 Temperaturstrahler	849
28.2.2 Niederdruckentladungslampen	853
28.2.3 Hochdruckentladungslampen	857
28.2.4 Lichtemittierende Dioden – LED	860
28.3 Lichtlenkung von Leuchten	863
28.3.1 Reflektoren	864
28.3.2 Linsen	868
28.3.3 Lichtstärkeverteilungskurven LVK	870
28.3.4 Verteilung des Lichtstroms in Raumbereiche	873
28.3.5 Leuchtenbetriebswirkungsgrad	873
28.3.6 Leuchtentypen	874
28.4 Beleuchtungskriterien	874
28.4.1 Energieeffizienzklassen	874
28.5 Berechnungen	877
28.5.1 Mittlere Beleuchtungsstärke nach dem Wirkungsgradverfahren	877
28.5.2 Lokale Beleuchtungsstärken anhand von Lichtstärken/LVK	880
Literatur	880
29 Lichttechnische Messungen	883
Christian Kölzow	
29.1 Was gemessen wird	883
29.2 Messungen mit der Ulbrichtschen Kugel	883
29.2.1 Messung des Lichtstroms von Lichtquellen	884
29.2.2 Messung des Reflexionsgrades von Proben	885
Literatur	886
30 Lichtregelung	887
Christian Kölzow	
30.1 Vorteile und Prinzip	887
30.2 Optimierte Tageslichtnutzung durch Lichtregelung	888
30.2.1 Regelungsprinzip	890
30.2.2 Schutz vor direkter Besonnung	890
30.2.3 Abstufung der Schließzustände	892
30.2.4 Einbindung des Kunstlichts in eine Tageslichtregelung	893
30.2.5 Position von Photometerköpfen	893
30.2.6 Graphische Datenaufzeichnung	894
30.2.7 Visualisierung und Beispiel	894

Teil VI Brand

31 Einführung	899
Olaf Riese	
32 Ordnungen und Normen	901
Olaf Riese	
32.1 Landesbauordnungen, Verordnungen für bauliche Anlagen besonderer Art und Nutzung	901
32.2 Richtlinien	902
32.3 Normen	903
32.3.1 DIN 4102 „Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen“	903
32.3.2 DIN 18 009 „Brandschutzingenieurwesen“ – Teil 1: Grundsätze und Regeln für die Anwendung	907
32.3.3 DIN 18 230 „Baulicher Brandschutz im Industriebau“; rechnerisch erforderliche Feuerwiderstandsdauer	907
32.3.4 Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen ..	908
32.4 Europäische Brandschutznormung	908
32.4.1 Klassifizierung von Baustoffen	908
32.4.2 Klassifizierung von Bauteilen	911
32.4.3 Eurocodes	914
Literatur	918
33 Grundlagen des Brandes, Verlauf	919
Olaf Riese	
33.1 Pyrolyse und Verbrennung	919
33.2 Brandverlauf und Einflüsse	922
33.3 Normbrand	924
33.4 Äquivalente Branddauer	925
33.5 Bemessungsbrand	927
33.5.1 Standardisierte Bemessungsbrände	928
33.5.2 Ausbreitung	933
33.5.3 Löschung	933
Literatur	934
34 Mechanische und thermische Hochtemperatureigenschaften der Baustoffe	937
Olaf Riese	
34.1 Stahl	938
34.1.1 Festigkeit und Verformung	938
34.1.2 Elastizität	940
34.1.3 Thermische Dehnung	941
34.1.4 Wärmeleitfähigkeit	942
34.1.5 Spezifische Wärmekapazität	942

34.1.6	Dichte	943
34.1.7	Temperaturleitfähigkeit	943
34.1.8	Temperaturverteilung	944
34.2	Beton	948
34.2.1	Festigkeit	948
34.2.2	Elastizität	950
34.2.3	Gesamtverformung	951
34.2.4	Kritische Temperatur	951
34.2.5	Zwängung	953
34.2.6	Thermische Dehnung	954
34.2.7	Wärmeleitfähigkeit	954
34.2.8	Spezifische Wärmekapazität	955
34.2.9	Dichte	956
34.2.10	Temperaturleitfähigkeit	956
34.2.11	Temperaturverteilung	956
34.2.12	Temperaturverteilung in Stahl-Verbundquerschnitten	961
34.3	Sonderbetone	961
34.4	Mauerwerk	962
34.5	Holz	962
34.5.1	Entzündung, Abbrand	962
34.5.2	Festigkeit	964
34.5.3	Elastizität	964
34.5.4	Thermische Dehnung	964
34.5.5	Wärmeleitfähigkeit	966
34.5.6	Spezifische Wärmekapazität	966
34.5.7	Temperaturleitfähigkeit	967
34.5.8	Temperaturverteilung	967
34.6	Gips	968
34.6.1	Produkte	968
34.6.2	Physikochemische Vorgänge bei Einwirkung erhöhter Temperatur	968
34.6.3	Mechanische Eigenschaften	969
34.6.4	Thermische Eigenschaften	969
34.7	Nichteisenmetalle	971
34.8	Kunststoffe	971
34.9	Dämmstoffe	974
34.9.1	Spezialputze	974
34.9.2	Dämmschichtbildner	974
34.9.3	Dämmplatten	975
Literatur		976

35	Brandverhalten von Bauteilen	977
	Olaf Riese	
	Literatur	987
36	Ergänzende Maßnahmen	989
	Olaf Riese	
	36.1 Früherkennungs- und -meldeanlagen	989
	36.2 Frühbekämpfungsmaßnahmen	990
	36.3 Rettungswege	990
	36.4 Rauch- und Wärmeabzugsanlagen	991
	36.5 Leitungen, Schächte, Kanäle	991
	36.6 Wandöffnungen; Türen und Tore	992
	36.7 Brandabschnitte	994
	36.8 Definierter Objektschutz	996
	Literatur	997
37	Brandnebenwirkungen	999
	Olaf Riese	
	37.1 Temperaturen	999
	37.2 Toxische Gase	999
	37.3 Rauch	1000
	37.4 Korrosive Gase	1001
	37.5 Modellgrößen zur Beschreibung der Personensicherheit	1001
	37.5.1 Optische Dichte und Erkennungsweite	1001
	37.5.2 Anhaltswerte zur Beurteilung der Personensicherheit	1003
	37.5.3 FED-Konzept	1005
	Literatur	1008
38	Mathematische Brandmodelle	1011
	Olaf Riese	
	38.1 Handrechenformeln	1012
	38.1.1 Plume ohne Ausbildung einer Heißgasschicht	1015
	38.1.2 Rauchgasströmung an der Decke (Ceiling-Jet)	1019
	38.1.3 Plume mit Ausbildung einer Heißgasschicht	1021
	38.2 Wärme- und Massenbilanzmodelle	1025
	38.2.1 Mehrzonenmodelle	1025
	38.2.2 Mehrraum-Mehrzonenmodelle	1031
	38.3 Feldmodelle für die Brandsimulation	1032
	38.3.1 Erhaltungsgleichungen	1032
	38.3.2 Weitere Annahmen und Vereinfachungen	1035
	38.3.3 Turbulenzmodellierung	1037
	38.3.4 Quellterme und Randbedingungen	1040

38.3.5	Durchführung von CFD-Berechnungen	1043
38.3.6	Beispiele für Berechnungen	1043
38.4	Evaluierung von Modellen	1046
Literatur		1056
Anhang: Symbolverzeichnis		1059
Literatur		1081
Stichwortverzeichnis		1111