

Inhaltsverzeichnis

Vorwort zur 7. Auflage	5
Beiträge der Autoren dieses Bands	15
1 Einführung	17
1.1 Klima, Raumklima, Klimatechnik	17
1.2 Anforderungen an die Klimatechnik	20
1.2.1 Behaglichkeit und Raumluftqualität	20
1.2.1.1 Thermische Behaglichkeit	20
1.2.1.2 Nichtthermische Behaglichkeit	21
1.2.2 Energieeffizienz und Wirtschaftlichkeit	22
1.3 Anforderungen an die Anlagensysteme	24
1.3.1 Luftaufbereitung	24
1.3.2 Gestaltung der Raumluftströmung	24
1.3.3 Anforderungen an die Akustik	25
1.3.4 Anforderungen an die Luftreinheit	26
1.3.5 Anforderungen an die Regelung	27
1.4 Normen, Richtlinien, Literatur, Adressen	27
Literatur	29
2 Meteorologie	31
2.1 Einleitung	32
2.2 Wetter, Witterung, Klima	34
2.2.1 Wetter	34
2.2.2 Witterung	35
2.2.3 Klima	35
2.2.4 Klimaänderung	36
2.3 Technische Aufbereitung meteorologischer Daten	37
2.3.1 Mittelwertklimatologie	37
2.3.2 Häufigkeitsangaben	38
2.4 Meteorologische Elemente	41
2.4.1 Barometrischer Luftdruck und Dichte der Außenluft	41
2.4.2 Wind	43
2.4.3 Außenlufttemperatur	49
2.4.4 Außenluftfeuchte	55
2.4.5 Sonnenstrahlungsintensität	56
2.5 Technisch aufbereitete meteorologische Daten	70
2.5.1 Korrelation von meteorologischen Elementen	70

2.5.2	Zeitintegrale meteorologischer Elemente.....	71
2.5.3	Testreferenzjahre.....	76
2.5.4	Praxisrelevante Klimadaten.....	78
	Literatur.....	78
3	Physiologie.....	81
3.1	Einführung.....	82
3.2	Wärmehaushalt des Menschen.....	83
3.2.1	Energiestoffwechsel.....	83
3.2.2	Regelung der Körpertemperatur.....	84
3.2.3	Wärmeproduktion.....	85
3.2.4	Wärmeabgabe.....	86
3.2.5	Bekleidung.....	93
3.3	Thermisches Raumklima und Behaglichkeit.....	94
3.3.1	Der menschliche Temperatursinn.....	94
3.3.2	Behaglichkeit.....	95
3.3.3	Kategorien der Umgebungsklimas.....	97
3.3.4	Einflussgrößen auf die Behaglichkeit.....	98
3.3.5	Messverfahren.....	107
3.4	Luftbedarf des Menschen.....	108
3.4.1	Atmung.....	109
3.4.2	Luftbedarf und Mindestaußenluftvolumenstrom.....	110
3.4.3	Verunreinigungen der Raumluft durch Gas, Dämpfe, Stäube und Mikroorganismen.....	115
3.5	Sonstige raumklimatische Einflussgrößen wie Geräusche, Beleuchtung und elektrische Einflüsse.....	118
3.6	Hygienische Anforderung an Raumluftechnische Anlagen und Geräte.....	120
3.6.1	Anforderungen an Planung, Herstellung und Ausführung.....	120
3.6.2	Anforderungen an Betrieb und Instandhaltung.....	124
	Literatur.....	126
4	Wärmeübertragung.....	129
4.1	Einleitung.....	133
4.1.1	Anwendungsgebiete und Zielstellung.....	133
4.1.2	Wärme und Wärmeübertragung.....	133
4.1.3	Die Mechanismen der Wärmeübertragung.....	134
4.2	Wärmeleitung.....	135
4.2.1	Temperaturfeld und Bilanzierung des Energiestroms.....	135
4.2.2	Das Fourier'sche Wärmeleitgesetz.....	137
4.2.3	Die Fourier'sche Differenzialgleichung.....	139
4.2.4	Randbedingungen.....	141

4.2.5	Eindimensionale stationäre Wärmeleitung	141
4.2.5.1	Eindimensionales Temperaturfeld in einschichtigen Wänden	141
4.2.5.2	Resultierender Wärmestrom in der einschichtigen Wand	143
4.2.5.3	Analogie zum Ohm'schen Gesetz.	145
4.2.5.4	Wärmeleitung in mehrschichtigen Wänden	147
4.2.5.5	Parallelschichtige ebene Wände	149
4.2.5.6	Allgemeiner Ansatz für nichtebene Wände	152
4.2.6	Mehrdimensionale stationäre Wärmeleitung – ausgewählte Beispiele	154
4.2.7	Instationäre Wärmeleitung	156
4.2.7.1	Modellabgrenzung	156
4.2.7.2	Quasistatische Betrachtungsweise, Blockkapazitäten	156
4.2.7.3	Instationäre eindimensionale Wärmeleitung – Temperaturnausgleich in einfachen Körpern.	160
4.2.7.4	Ergänzende Anmerkungen	164
4.2.8	Kontakt zweier Festkörper	165
4.3	Konvektion	169
4.3.1	Der konvektive Wärmeübergang – Sachverhalt, Einflussgrößen	169
4.3.2	Empirische Berechnungsmodelle und Näherungsgleichungen	173
4.3.3	Anwendung von Ähnlichkeitsmodellen – Nußelt-Beziehungen	176
4.3.4	Ausgewählte Nußelt-Beziehungen für häufige Berechnungsaufgaben	179
4.3.5	Wärmeübergang an berippten Flächen	184
4.3.6	Wärmeübergang mit Phasenübergang	189
4.3.6.1	Vorbemerkungen	189
4.3.6.2	Verdampfung von Wasser in Behältern	189
4.3.6.3	Verflüssigung von Wasserdampf – Filmkondensation von ruhendem Satttdampf	192
4.3.7	Weiterführende Hinweise.	195
4.4	Wärmestrahlung	196
4.4.1	Gegenstand und inhaltliche Abgrenzung	196
4.4.2	Charakterisierung der Wärmestrahlung	198
4.4.3	Emission von Wärmestrahlung durch nicht-schwarze Körper	202
4.4.4	Absorption von Wärmestrahlung, Kirchhoff'sches Gesetz	204
4.4.5	Berechnung einfacher Strahlungsvorgänge	207
4.4.6	Strahlung und konvektiver Wärmeübergang	209
4.4.7	Sonneneinstrahlung	212
4.4.8	Weiterführende Hinweise.	214
4.5	Wärmedurchgang	214
4.5.1	Stationärer eindimensionaler Wärmedurchgang	214
4.5.2	Stationärer eindimensionaler Wärmedurchgang durch ebene Wände	217
4.5.3	Stationärer eindimensionaler Wärmedurchgang durch nichtebene Wände	221
4.5.4	Kritisches Durchmesser Verhältnis bei Rohr- und Zylinderwänden	224
4.5.5	Beeinflussung des Wärmedurchgangs, berippte Flächen	227
4.6	Anmerkungen zur Stoffübertragung	230
4.6.1	Stoffübergang von Wasserdampf an die umgebende Luft	230

4.6.2	Analogie zum Wärmetransport	233
4.6.3	Wasserdampfdiffusion durch Feststoffe	234
4.7	Ausgewählte Stoffwerte	235
	Literatur	238
5	Feuchte Luft	241
5.1	Einleitung	244
5.2	Zustandsgrößen feuchter Luft	244
5.3	h_{1+x} - x -Diagramm für feuchte Luft nach Mollier	252
5.4	Massenerhaltungssatz und 1. Hauptsatz der Thermodynamik in der Raumlufttechnik	255
5.4.1	Massenerhaltungssatz	255
5.4.2	1. Hauptsatz für offene Systeme	256
5.5	Verdunstung	257
5.6	t,x -Diagramm nach Carrier	261
5.7	Zustandsänderungen feuchter Luft in den Geräten raumlufttechnischer Anlagen	262
5.7.1	Mischkammer	262
5.7.2	Erhitzer	265
5.7.3	Ventilator	267
5.7.4	Oberflächenkühler	268
5.7.5	Dampfbefeuchter	273
5.7.6	Düsenbefeuchter	276
5.7.7	Wärmerückgewinner	279
5.7.8	Filter	282
	Literatur	283
6	Kältetechnik	285
6.1	Einführung	287
6.2	Verdichterkältemaschinen	287
6.2.1	Einleitung	287
6.2.2	Funktionsübersicht	289
6.2.3	Der CARNOT-Prozess	291
6.2.4	Realer Prozess	295
6.2.4.1	Kreisprozess	296
6.2.4.2	Anlagenkomponenten	298
6.2.5	Kältemittel	300
6.2.5.1	Ursprung und Entwicklung	300
6.2.5.2	Eigenschaften	301
6.2.5.3	Nomenklatur	305

6.2.6	Das log p,h-Diagramm	305
6.2.6.1	Aufbau	305
6.2.6.2	Der PLANK-Prozess im log p,h-Diagramm	307
6.2.7	Kältemitteldiagramme, Dampftafeln	312
6.3	Absorptionskältemaschinen	335
6.3.1	Einleitung	335
6.3.2	Funktion	336
6.3.3	Der CARNOT-Prozess	339
6.3.4	Realer Prozess	341
6.3.5	Das log p,l/T-Diagramm	342
6.4	Offene Sorptionskältemaschinen	345
6.4.1	Funktion und Geräteaufbau	345
6.4.2	Rechengrößen	347
6.5	Kühltürme	350
6.5.1	Funktion und Aufbau	350
6.5.2	Zustandsänderungen von Luft und Wasser	353
	Literatur	354
7	Strömungstechnik	357
7.1	Allgemeines	360
7.2	Reibungsfreie Strömung	361
7.2.1	Kontinuitätsgleichung	361
7.2.2	Energiegleichung (Gleichung von Bernoulli)	363
7.2.3	Gesamtdruck, statischer und dynamischer Druck	365
7.3	Impulssatz	369
7.4	Reibungsbehaftete Strömung	371
7.4.1	Energiegleichung für die reibungsbehaftete Strömung	371
7.4.2	Viskosität von Fluiden	372
7.4.3	Ähnlichkeitsgesetz	373
7.4.4	Strömungsformen	375
7.4.5	Turbulenzgrad	379
7.4.6	Rohreinlaufströmung und Grenzschicht	380
7.5	Strömungswiderstände in Kanälen	382
7.5.1	Strömungswiderstände im geraden Rohr	383
7.5.1.1	Rohrreibungszahl λ bei laminarer Strömung	383
7.5.1.2	Rohrreibungszahl λ bei turbulenter Strömung	384
7.5.1.3	Rauigkeitshöhe k	386
7.5.2	Hydraulischer Durchmesser	388
7.5.3	Gleichwertiger Durchmesser	389
7.6	Einzelwiderstände	390
7.6.1	Querschnittserweiterung	391

7.6.2	Querschnittsverengung.....	394
7.6.3	Umlenkungen.....	396
7.6.4	Rohrverzweigungen.....	399
7.7	Durchflussmessung.....	401
7.8	Raumluftströmung – freie und mechanische Lüftung.....	403
7.8.1	Mischlüftung.....	406
7.8.1.1	Einteilung und charakteristische Eigenschaften von Luftstrahlen.....	407
7.8.1.2	Zusammenstellung der empirischen Gleichungen für den Freistrahle.....	419
7.8.1.3	Der Coanda-Effekt.....	419
7.8.1.4	Versperrungen und deckenmontierte Hindernisse.....	420
7.8.1.5	Abluftöffnungen (Senken).....	420
7.8.1.6	Strömung im geschlossenen Raum.....	422
7.8.2	Verdrängungslüftung.....	428
7.8.3	Quelllüftung.....	429
7.8.4	Lüftungswirksamkeit.....	438
7.8.4.1	Luftaustauschwirkungsgrad.....	439
7.8.4.2	Lüftungseffektivität.....	441
7.8.4.3	Messmethoden.....	442
7.9	Numerische Berechnung der Raumströmung.....	443
7.9.1	Kontinuitätsgleichung.....	444
7.9.2	Impulserhaltungsgleichung.....	445
7.9.3	Bilanzgleichung für Transportgrößen.....	451
7.9.4	Energiebilanzgleichung.....	451
7.9.5	Lösung des Gleichungssystems.....	452
	Literatur.....	455
8	Strömungsakustik.....	459
8.1	Einführung.....	461
8.2	Grundlegende Begriffe.....	462
8.2.1	Schalldruck.....	462
8.2.2	Schallgeschwindigkeit.....	464
8.2.3	Schallschnelle.....	465
8.2.4	Schallkennimpedanz.....	466
8.2.5	Schallleistung.....	467
8.2.6	Schallintensität.....	468
8.3	Pegelbildung und Pegeladdition.....	469
8.3.1	Schalldruckpegel, Schallintensitätspegel.....	469
8.3.2	Schallleistungspegel.....	470
8.3.3	Pegeladdition.....	471
8.4	Geräuschanalyse.....	474
8.4.1	Oktav- und Terzbänder.....	474
8.4.2	Lautstärke.....	476

8.4.3	Mittelungspegel	480
8.4.4	Beurteilungspegel	481
8.5	Zulässige Schallpegel – Anforderungen an „schutzbedürftige Räume“	482
8.6	Schallausbreitung	489
8.6.1	Schallausbreitung in Räumen	489
8.6.1.1	Ermittlung von Direkt- und Diffusfeld	489
8.6.1.2	Pegelminderung im quasi kubischen Raum	492
8.6.1.3	Geräuschkinderung in Räumen beliebiger Geometrie	498
8.6.2	Schallausbreitung im Freien	501
8.7	Schalldämmung	516
8.7.1	Schalldämm-Maß R	517
8.7.2	Bau-Schalldämm-Maß R'	518
8.7.3	Bewertetes Bau-Schalldämm-Maß R'_w	520
	Literatur	522
9	Luftreinigung	525
9.1	Überblick	527
9.2	Staub und Staubeigenschaften	531
9.2.1	Grundbegriffe	531
9.2.2	Feinheitgradbestimmung	532
9.2.3	Sedimentationsgeschwindigkeit von Staubteilchen	533
9.3	Staubabscheidung in Luftfiltern	535
9.4	Luftfilter für die allgemeine Raumluftechnik	538
9.4.1	Anforderungen	538
9.4.2	Filterprüfung und Filterklasseneinteilung nach DIN EN ISO 16890	540
9.4.2.1	Aktueller Stand der Normung, Erläuterung der Prüfung	540
9.4.2.2	Größen und ihre Definition	546
9.5	Schwebstofffilter	548
9.5.1	Einleitung	548
9.5.2	Grundlagen der Schwebstofffiltration	549
9.5.3	Filterprüfung und Filterklasseneinteilung nach DIN EN 1822-1	552
9.6	Elektro-Luftfilter	554
9.7	Molekularfilter (AMC-Filter)	556
9.7.1	Einleitung	556
9.7.2	Bauformen und Kenngrößen	560
9.7.3	Standzeit	562
9.8	Ausführungsbeispiele	563
9.8.1	Luftfilter für die allgemeine Raumluftechnik	563
9.8.1.1	Taschenfilter	563
9.8.1.2	Kompaktfilter	564

9.8.2	Schwebstofffilter	565
9.8.3	Elektro-Luftfilter	566
9.8.4	Molekularfilter	567
10	Regelungstechnik	573
10.1	Grundlagen, Definitionen	574
10.2	Regelstrecken	576
10.2.1	Statisches Verhalten	577
10.2.2	Dynamisches Verhalten	580
10.3	Regeleinrichtungen	582
10.3.1	Stetige Regeleinrichtungen	583
10.3.2	Unstetige Regeleinrichtungen	587
10.3.3	Spezielle Anforderungen an Regler für RLT-Anlagen	587
10.3.4	DDC-Technik	591
10.4	Reglereinstellung	595
10.4.1	Einstellregeln nach Chien, Hrones und Reswick	595
10.4.2	Einstellregeln nach Ziegler und Nichols	596
10.5	Stabilität von Regelkreisen	597
10.5.1	Einfluss des dynamischen Verhaltens	599
10.5.2	Einfluss des statischen Verhaltens	600
10.5.3	Ventilauslegung	602
10.5.4	Einfluss des statischen und dynamischen Verhaltens auf die Stabilität des Regelkreises	609
10.6	Beispiele der Temperaturregelung	611
10.6.1	Anlage mit Umluftbeimischung und Kaskadenregelung	614
10.6.2	Anlage im VVS-Betrieb mit stetiger Ventilatoransteuerung	616
10.7	Beispiele der Regelung von Temperatur und Feuchte	618
10.7.1	Anlage mit Luftwäscher	619
10.7.2	Anlage mit Dampfbefeuchter	624
	Literatur	628
	Stichwortverzeichnis	629