

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 Mikro- organismen.	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 – Temperatúrausgleich 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 Sattdampf	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 Raumluftechnik.....	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 raumluftechnischer 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,1/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	Geräuschminderung 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	Feinheitstgradbestimmung	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