

Inhaltsverzeichnis

Vorwort zur 6. 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	23
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	26
1.4 Normen, Richtlinien, Literatur, Adressen	27
Literatur	31
2 Meteorologische Grundlagen	35
2.1 Einleitung	36
2.2 Wetter, Witterung, Klima	38
2.2.1 Wetter	38
2.2.2 Witterung	38
2.2.3 Klima	39
2.2.4 Klimaänderung	40
2.3 Technische Aufbereitung meteorologischer Daten	41
2.3.1 Mittelwertklimatologie	41
2.3.2 Häufigkeitsangaben	42
2.4 Meteorologische Elemente	45
2.4.1 Barometrischer Luftdruck und Dichte der Außenluft.....	45
2.4.2 Wind	47
2.4.3 Außenlufttemperatur.....	52
2.4.4 Außenluftfeuchte	58
2.4.5 Sonnenstrahlungsintensität	59
2.5 Technisch aufbereitete meteorologische Daten.....	72
2.5.1 Korrelation von meteorologischen Elementen	72

2.5.2	Zeitintegrale meteorologischer Elemente	73
2.5.3	Testreferenzjahre	78
2.5.4	Praxisrelevante Klimadaten	79
	Literatur	80
3	Physiologische Grundlagen	83
3.1	Einführung	84
3.2	Wärmehaushalt des Menschen	85
3.2.1	Energiestoffwechsel	85
3.2.2	Regelung der Körpertemperatur	86
3.2.3	Wärmeproduktion	87
3.2.4	Wärmeabgabe	88
3.2.5	Bekleidung	95
3.3	Thermisches Raumklima und Behaglichkeit	96
3.3.1	Der menschliche Temperatursinn	96
3.3.2	Behaglichkeit	97
3.3.3	Kategorien der Umgebungsklimas	99
3.3.4	Einflussgrößen auf die Behaglichkeit	100
3.3.5	Messverfahren	109
3.4	Luftbedarf des Menschen	110
3.4.1	Atmung	111
3.4.2	Luftbedarf und Mindestaußenluftvolumenstrom	112
3.4.3	Verunreinigungen der Raumluft durch Gas, Dämpfe, Stäube und Mikroorganismen	117
3.5	Sonstige raumklimatische Einflussgrößen wie Geräusche, Beleuchtung und elektrische Einflüsse	120
3.6	Hygienische Anforderung an Raumluftechnische Anlagen und Geräte	122
3.6.1	Anforderungen an Planung, Herstellung und Ausführung	122
3.6.2	Anforderungen an Betrieb und Instandhaltung	126
	Literatur	128
4	Wärmeübertragung	131
4.1	Einleitung	135
4.1.1	Anwendungsgebiete und Zielstellung	135
4.1.2	Wärme und Wärmeübertragung	135
4.1.3	Die Mechanismen der Wärmeübertragung	136
4.2	Wärmeleitung	137
4.2.1	Temperaturfeld und Bilanzierung des Energiestroms	137
4.2.2	Das Fourier'sche Wärmeleitgesetz	139
4.2.3	Die Fourier'sche Differenzialgleichung	141
4.2.4	Randbedingungen	143

4.2.5	Eindimensionale stationäre Wärmeleitung	143
4.2.5.1	Eindimensionales Temperaturfeld in einschichtigen Wänden	143
4.2.5.2	Resultierender Wärmestrom in der einschichtigen Wand	145
4.2.5.3	Analogie zum Ohm'schen Gesetz	147
4.2.5.4	Wärmeleitung in mehrschichtigen Wänden	149
4.2.5.5	Parallelschichtige ebene Wände	151
4.2.5.6	Allgemeiner Ansatz für nichtebene Wände	154
4.2.6	Mehrdimensionale stationäre Wärmeleitung – ausgewählte Beispiele	156
4.2.7	Instationäre Wärmeleitung	158
4.2.7.1	Modellabgrenzung	158
4.2.7.2	Quasistatische Betrachtungsweise, Blockkapazitäten	158
4.2.7.3	Instationäre eindimensionale Wärmeleitung – Temperaturausgleich in einfachen Körpern	162
4.2.7.4	Ergänzende Anmerkungen	166
4.2.8	Kontakt zweier Festkörper	167
4.3	Konvektion	171
4.3.1	Der konvektive Wärmeübergang – Sachverhalt, Einflussgrößen	171
4.3.2	Empirische Berechnungsmodelle und Näherungsgleichungen	175
4.3.3	Anwendung von Ähnlichkeitsmodellen – Nußeltbeziehungen	178
4.3.4	Ausgewählte Nußeltbeziehungen für häufige Berechnungsaufgaben	181
4.3.5	Wärmeübergang an berippten Flächen	186
4.3.6	Wärmeübergang mit Phasenübergang	191
4.3.6.1	Vorbemerkungen	191
4.3.6.2	Verdampfung von Wasser in Behältern	191
4.3.6.3	Verflüssigung von Wasserdampf – Filmkondensation von ruhendem Sattdampf	194
4.3.7	Weiterführende Hinweise	197
4.4	Wärmestrahlung	198
4.4.1	Gegenstand und inhaltliche Abgrenzung	198
4.4.2	Charakterisierung der Wärmestrahlung	200
4.4.3	Emission von Wärmestrahlung durch nicht-schwarze Körper	204
4.4.4	Absorption von Wärmestrahlung, Kirchhoff'sches Gesetz	206
4.4.5	Berechnung einfacher Strahlungsvorgänge	209
4.4.6	Strahlung und konvektiver Wärmeübergang	211
4.4.7	Sonneneinstrahlung	214
4.4.8	Weiterführende Hinweise	216
4.5	Wärmedurchgang	216
4.5.1	Stationärer eindimensionaler Wärmedurchgang	216
4.5.2	Stationärer eindimensionaler Wärmedurchgang durch ebene Wände	219
4.5.3	Stationärer eindimensionaler Wärmedurchgang durch nichtebene Wände	223
4.5.4	Kritisches Durchmesserverhältnis bei Rohr- und Zylinderwänden	226
4.5.5	Beeinflussung des Wärmedurchgangs, berippte Flächen	229

Inhaltsverzeichnis

4.6	Anmerkungen zur Stoffübertragung.....	232
4.6.1	Stoffübergang von Wasserdampf an die umgebende Luft	232
4.6.2	Analogie zum Wärmetransport	235
4.6.3	Wasserdampfdiffusion durch Feststoffe	236
4.7	Ausgewählte Stoffwerte.....	237
	Literatur	240
5	Die Gesetze der feuchten Luft	243
5.1	Einleitung.....	246
5.2	Die Zustandsgrößen feuchter Luft.....	246
5.3	Das $h_{1+x}x$ -Diagramm für feuchte Luft nach Mollier.....	254
5.4	Der Massenerhaltungssatz und der 1. Hauptsatz der Thermodynamik in der Raumlufttechnik.....	256
5.4.1	Massenerhaltungssatz	256
5.4.2	Der 1. Hauptsatz für offene Systeme	257
5.5	Die Verdunstung.....	258
5.6	Das t,x -Diagramm nach Carrier.....	262
5.7	Zustandsänderungen feuchter Luft in den Geräten raumlufttechnischer Anlagen	263
5.7.1	Die Mischkammer	263
5.7.2	Der Erhitzer	265
5.7.3	Der Ventilator	267
5.7.4	Der Oberflächenkühler.....	268
5.7.5	Der Dampfbefeuchter	272
5.7.6	Düsenbefeuhter.....	275
5.7.7	Der Wärmerückgewinner.....	278
5.7.8	Der Filter	281
	Literatur	281
6	Grundlagen der Kälteerzeugung	283
6.1	Einführung.....	285
6.2	Verdichterkältemaschinen	285
6.2.1	Einleitung.....	285
6.2.2	Funktionsübersicht	287
6.2.3	Der CARNOT-Prozess.....	289
6.2.4	Realer Prozess	292
6.2.4.1	Kreisprozess	293
6.2.4.2	Anlagenkomponenten.....	295

6.2.5	Kältemittel	297
6.2.5.1	Ursprung und Entwicklung	297
6.2.5.2	Eigenschaften	297
6.2.5.3	Nomenklatur	301
6.2.6	Das $\log p, h$ -Diagramm	301
6.2.6.1	Aufbau	301
6.2.6.2	Der Kreisprozess im $\log p, h$ -Diagramm	303
6.2.7	Kältemitteldiagramme, Dampftafeln	307
6.3	Absorptionskältemaschinen	330
6.3.1	Einleitung	330
6.3.2	Funktion	331
6.3.3	Der CARNOT-Prozess	334
6.3.4	Realer Prozess	336
6.3.5	Das $\log p, 1/T$ -Diagramm	337
6.4	Offene Sorptionskältemaschinen	340
6.4.1	Funktion und Geräteaufbau	340
6.4.2	Rechengrößen	342
6.5	Kühltürme	345
6.5.1	Funktion und Aufbau	345
6.5.2	Zustandsänderungen von Luft und Wasser	348
	Literatur	349
7	Strömungstechnische Grundlagen	351
7.1	Allgemeines	354
7.2	Reibungsfreie Strömung	355
7.2.1	Kontinuitätsgleichung	355
7.2.2	Energiegleichung (Gleichung von Bernoulli)	357
7.2.3	Gesamtdruck, statischer und dynamischer Druck	359
7.3	Impulssatz	363
7.4	Reibungsbehaftete Strömung	365
7.4.1	Energiegleichung für die reibungsbehaftete Strömung	365
7.4.2	Viskosität von Fluiden	366
7.4.3	Ähnlichkeitgesetz	367
7.4.4	Strömungsformen	369
7.4.5	Turbulenzgrad	373
7.4.6	Rohreinlaufströmung und Grenzschicht	374
7.5	Strömungswiderstände in Kanälen	376
7.5.1	Strömungswiderstände im geraden Rohr	377
7.5.1.1	Rohreibungszahl λ bei laminarer Strömung	377
7.5.1.2	Rohreibungszahl λ bei turbulenter Strömung	378
7.5.1.3	Rauigkeitshöhe k	380

7.5.2	Hydraulischer Durchmesser	382
7.5.3	Gleichwertiger Durchmesser	383
7.6	Einzelwiderstände	384
7.6.1	Querschnittserweiterung (Diffusor)	385
7.6.2	Querschnittsverengung.....	388
7.6.3	Umlenkungen (Krümmer, Knie)	390
7.6.4	Rohrverzweigungen.....	393
7.7	Durchflussmessung	395
7.8	Raumluftströmung – freie und mechanische Lüftung	397
7.8.1	Mischlüftung	400
7.8.1.1	Einteilung und charakteristische Eigenschaften von Luftstrahlen	401
7.8.1.2	Zusammenstellung der empirischen Gleichungen für den Freistrahler	413
7.8.1.3	Der Coanda-Effekt.....	413
7.8.1.4	Versperrungen und deckenmontierte Hindernisse	414
7.8.1.5	Abluftöffnungen (Senken)	414
7.8.1.6	Strömung im geschlossenen Raum	416
7.8.2	Verdränglungslüftung.....	422
7.8.3	Quelllüftung.....	423
7.8.4	Lüftungswirksamkeit.....	432
7.8.4.1	Luftaustauschwirkungsgrad.....	433
7.8.4.2	Lüftungseffektivität	435
7.8.4.3	Messmethoden	436
7.9	Numerische Berechnung der Raumströmung	437
7.9.1	Kontinuitätsgleichung.....	438
7.9.2	Impulserhaltungsgleichung	439
7.9.3	Turbulenz	441
7.9.4	Bilanzgleichung für Transportgrößen	445
7.9.5	Energiebilanzgleichung	445
7.9.6	Lösung des Gleichungssystems	446
	Literatur	449
8	Grundlagen der Strömungsakustik	453
8.1	Einführung.....	455
8.2	Grundlegende Begriffe	456
8.2.1	Schalldruck	456
8.2.2	Schallgeschwindigkeit	458
8.2.3	Schallschnelle	459
8.2.4	Schallwellenwiderstand	460
8.2.5	Schallleistung	461
8.2.6	Schallintensität	462
8.3	Pegelbildung und Pegeladdition	463

8.3.1	Schalldruckpegel, Schallintensitätspegel	463
8.3.2	Schalleistungspegel	464
8.3.3	Pegeladdition	465
8.4	Geräuschanalyse	468
8.4.1	Oktav- und Terzbänder	468
8.4.2	Lautstärke	470
8.4.3	Mittelungspiegel	474
8.4.4	Beurteilungspiegel	475
8.5	Zulässige Schallpegel – Anforderungen an „schutzbedürftige Räume“	476
8.6	Schallausbreitung	483
8.6.1	Schallausbreitung in Räumen	483
8.6.1.1	Ermittlung von Direkt- und Diffusfeld	483
8.6.1.2	Pegelminderung im quasi kubischen Raum	486
8.6.1.3	Geräuschminderung in Räumen beliebiger Geometrie	492
8.6.2	Schallausbreitung im Freien	495
8.7	Schalldämmung	510
8.7.1	Schalldämm-Maß R	511
8.7.2	Bau-Schalldämm-Maß R'	512
8.7.3	Bewertetes Bau-Schalldämm-Maß R'_w	514
	Literatur	516
9	Grundlagen der Luftreinigung	519
9.1	Überblick	520
9.2	Staub und sein Verhalten	523
9.2.1	Grundbegriffe	523
9.2.2	Feinheitsgradbestimmung	524
9.2.3	Sedimentationsgeschwindigkeit von Staubteilchen	526
9.3	Staubabscheidung in Luftfiltern	527
9.4	Luftfilter für die allgemeine Raumlufttechnik	530
9.4.1	Anforderungen	530
9.4.2	Filterprüfung und Filterklasseneinteilung nach DIN EN 779	533
9.4.2.1	Aktueller Stand der Normung, Erläuterung der Prüfung	533
9.4.2.2	Größen und ihre Definition	537
9.5	Schwebstofffilter	539
9.5.1	Einleitung	539
9.5.2	Grundlagen der Schwebstofffiltration	540
9.5.3	Filterprüfung und Filterklasseneinteilung nach DIN EN 1822-1	543
9.6	Elektro-Luftfilter	545
9.7	Molekularfilter (Gassorption)	547

Inhaltsverzeichnis

9.7.1	Einleitung	547
9.7.2	Bauformen und Kenngrößen	550
9.7.3	Standzeit	552
9.8	Ausführungsbeispiele	553
9.8.1	Luftfilter für die allgemeine Raumlufttechnik	553
9.8.1.1	Taschenfilter	553
9.8.1.2	Luftfilterelemente	553
9.8.2	Schwebstofffilter	554
9.8.3	Molekularfilter	556
10	Regelungstechnik für RLT-Anlagen	559
10.1	Grundlagen, Definitionen	560
10.2	Regelstrecken	562
10.2.1	Statisches Verhalten	563
10.2.2	Dynamisches Verhalten	565
10.3	Regeleinrichtungen	568
10.3.1	Stetige Regeleinrichtungen	568
10.3.2	Unstetige Regeleinrichtungen	572
10.3.3	Spezielle Anforderungen an Regler für RLT-Anlagen	572
10.3.4	DDC-Technik	576
10.4	Regleroptimierung	579
10.4.1	Einstellregeln nach <i>Chien, Hrones und Reswick</i>	580
10.4.2	Einstellregeln nach <i>Ziegler und Nichols</i>	580
10.5	Stabilität von Regelkreisen	581
10.5.1	Einfluss des dynamischen Verhaltens	583
10.5.2	Einfluss des statischen Verhaltens	584
10.5.3	Ventilauslegung	587
10.5.4	Einfluss des statischen und dynamischen Verhaltens auf die Stabilität des Regelkreises	593
10.6	Beispiele der Temperaturregelung	595
10.6.1	Anlage mit Umluftbeimischung und Kaskadenregelung	598
10.6.2	Anlage im VVS-Betrieb mit stetiger Ventilatoransteuerung	600
10.7	Beispiele der Regelung von Temperatur und Feuchte	601
10.7.1	Anlage mit Luftwäscher	603
10.7.2	Anlage mit Dampfbefeuchter	608
	Literatur	612
11	Tabellen für Wasserdampf und feuchte Luft	613
	Literatur	613
	Stichwortverzeichnis	629