

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	1
1.1	Klima, Raumklima, Klimatechnik	1
1.2	Anforderungen an die Klimatechnik	1
1.2.1	Behaglichkeit und Raumlufqualität	2
1.2.2	Thermische Behaglichkeit	3
1.2.3	Nichtthermische Behaglichkeit	3
1.3	Auswirkungen auf die Konzepte von raumluftechnischen Anlagen	4
1.3.1	Reduzierung der äußeren Lasten bzw. Luftmengen	5
1.3.2	Gestaltung der Raumlufströmung	5
1.3.3	Anforderungen an die Luftaufbereitung	6
1.3.4	Anforderungen an die Regelung	7
1.4	Normen, Richtlinien, Literatur, Adressen	7
	Literatur	8
2	Meteorologische Grundlagen	9
2.1	Einleitung	10
2.2	Wetter, Witterung, Klima	12
2.2.1	Wetter	12
2.2.2	Witterung	12
2.2.3	Klima	13
2.3	Technische Aufbereitung meteorologischer Daten	14
2.3.1	Mittelwertklimatologie	14
2.3.2	Häufigkeitsangaben	15
2.4	Meteorologische Elemente	17
2.4.1	Barometrischer Luftdruck und Dichte der Außenluft	17
2.4.2	Wind	18
2.4.3	Außenlufttemperatur	22
2.4.4	Außenluftfeuchte	27
2.4.5	Sonnenstrahlungsintensität	30

2.5	Technisch aufbereitete meteorologische Daten	41
2.5.1	Korrelation von meteorologischen Elementen	41
2.5.2	Gradtage, Gradstunden, Grammtage und Grammstunden	41
2.5.3	Testreferenzjahr	45
2.5.4	Praxisrelevante Klimadaten	46
	Literatur	47
3	Physiologische Grundlagen	49
3.1	Einführung	50
3.2	Wärmehaushalt des Menschen	50
3.2.1	Energiestoffwechsel	51
3.2.2	Regelung der Körpertemperatur	51
3.2.3	Wärmeproduktion	53
3.2.4	Wärmeabgabe	53
3.2.5	Bekleidung	59
3.3	Thermisches Raumklima und Behaglichkeit	60
3.3.1	Der menschliche Temperatursinn	60
3.3.2	Behaglichkeit	60
3.3.3	Einflussgrößen auf die Behaglichkeit	63
3.3.4	Messverfahren	75
3.4	Qualitativer und quantitativer Luftbedarf des Menschen	76
3.4.1	Atmung	77
3.4.2	Luftbedarf und Mindestaußenluftvolumenstrom	78
3.4.3	Verunreinigungen der Raumluft durch Gas, Dämpfe, Stäube und Mikroorganismen	82
3.5	Sonstige raumklimatische Einflussgrößen wie Geräusche, Beleuchtung und elektrische Einflüsse	88
3.6	Hygienische Anforderung an Raumlufttechnische Anlagen und Geräte	91
3.6.1	Anforderungen an Planung, Herstellung und Ausführung – Außenluftansaugung	91
3.6.2	Anforderungen an Betrieb und Instandhaltung	93
3.6.3	Hygienekontrollen	94
3.6.4	Hygieneinspektionen	94
3.6.5	Hygieneschulung	95
	Literatur	96
4	Wärmeübertragung	99
	Einleitung	104
4.1	Wärmeleitung	105
4.1.1	Wärmeleitfähigkeit	105

4.1.2	Stationäre Wärmeleitung	107
4.1.3	Wärmedurchgang	107
4.1.4	Wärmedurchgang durch Rippen	115
4.1.5	Instationäre Wärmeleitung	120
4.2	Konvektion	131
4.2.1	Längs angeströmte Platte	132
4.2.2	Umströmte Körper	136
4.2.3	Durchströmte Haufwerke	137
4.2.4	Freie Konvektion an Einzelkörpern	138
4.2.5	Freie Konvektion in Schichten	141
4.2.6	Durchströmte Kanäle	146
4.3	Wärmeübergang bei Phasenwechsel	154
4.3.1	Wärmeübertragung beim Verdampfen	154
4.3.2	Kondensation	158
4.4	Wärmeübertragung durch Strahlung	161
4.4.1	Strahlung des Schwarzen Körpers	163
4.4.2	Strahlung des realen Körpers	164
4.4.3	Kirchhoffsches Gesetz	165
4.4.4	Strahlung zwischen Oberflächen	166
4.4.5	Strahlungs-Wärmeübergangskoeffizient	168
4.4.6	Empfundene Temperatur	171
4.5	Stoffübertragung	174
4.5.1	Diffusion von Gasen und Stoffübergang	174
4.5.2	Dampfdiffusion durch Feststoffe	179
4.5.3	Tauwasseranfall an innenliegenden Oberflächen	180
4.5.4	Tauwasseranfall in Bauteilen nicht klimatisierter Räume	181
4.5.5	Ermittlung des Tauwasseranfalls für klimatisierte Räume	186
4.6	Stoffdaten	196
	Literatur	207
5	Die Gesetze der feuchten Luft und ihre Anwendung	209
5.1	Einleitung	210
5.2	Die Zustandsgrößen feuchter Luft	211
5.3	Das h_{1+x}, x -Diagramm für feuchte Luft nach <i>Mollier</i>	217
5.4	Der Massenerhaltungssatz und der 1. Hauptsatz der Thermodynamik in der Raumluftechnik	218
5.4.1	Massenerhaltungssatz	218
5.4.2	Der 1. Hauptsatz für offene Systeme	219
5.5	Die Verdunstung	220

5.6	Das t, x -Diagramm nach <i>Carrier</i>	223
5.7	Zustandsänderungen feuchter Luft in den Geräten raumluftechnischer Anlagen	225
5.7.1	Die Mischkammer	225
5.7.2	Der Erhitzer	227
5.7.3	Der Ventilator	228
5.7.4	Der Oberflächenkühler	229
5.7.5	Der Dampfbefeuchter	232
5.7.6	Düsenbefeuchter	234
5.7.7	Der Wärmerückgewinner	237
5.7.8	Der Filter	239
	Literatur	240
6	Kältetechnische Grundlagen	241
6.1	Einführung	242
6.2	Kühltürme	242
6.2.1	Funktion und Aufbau	242
6.2.2	Zustandsänderungen von Luft und Wasser	244
6.3	Offene Sorptionskältemaschinen	246
6.3.1	Funktion und Geräteaufbau	246
6.3.2	Rechengrößen	248
6.4	Verdichterkältemaschinen	250
6.4.1	Einleitung	250
6.4.2	Funktionsübersicht	251
6.4.3	Der <i>Carnot</i> -Prozess	252
6.4.4	Realer Prozess	255
6.4.5	Kältemittel	259
6.4.6	Das $\log p, h$ -Diagramm	263
6.4.7	Kältemitteldiagramme, Dampf tafeln	266
6.5	Absorptionskältemaschinen	292
6.5.1	Einleitung	292
6.5.2	Funktion	293
6.5.3	Der <i>Carnot</i> -Prozess	295
6.5.4	Die wirkliche Kältemaschine	297
6.5.5	Das $\log p, 1/T$ -Diagramm	298
	Literatur	302

7	Strömungstechnische Grundlagen	303
7.1	Allgemeines	304
7.2	Reibungsfreie Strömung	305
7.2.1	Kontinuitätsgleichung	305
7.2.2	Energiegleichung (Gleichung von <i>Bernoulli</i>)	306
7.2.3	Gesamtdruck, statischer und dynamischer Druck	309
7.3	Impulssatz	312
7.4	Reibungsbehaftete Strömung	314
7.4.1	Energiegleichung für die reibungsbehaftete Strömung	314
7.4.2	Viskosität von Fluiden	314
7.4.3	Ähnlichkeitsgesetz	316
7.4.4	Strömungsformen	317
7.4.5	Turbulenzgrad	321
7.4.6	Rohreinlaufströmung und Grenzschicht	322
7.5	Strömungswiderstände in Kanälen	324
7.5.1	Strömungswiderstände im geraden Rohr	324
7.5.2	Hydraulischer Durchmesser	329
7.5.3	Gleichwertiger Durchmesser	330
7.6	Einzelwiderstände	331
7.6.1	Querschnittserweiterung (Diffusor)	332
7.6.2	Querschnittsverengung	335
7.6.3	Umlenkungen (Krümmer, Knie)	337
7.6.4	Rohrverzweigungen	339
7.7	Durchflussmessung	341
7.8	Raumluftströmung – freie und mechanische Lüftung	343
7.8.1	Mischlüftung	346
7.8.2	Verdrängungslüftung	366
7.8.3	Quelllüftung	367
7.8.4	Lüftungswirksamkeit	375
7.8.5	Numerische Berechnung der Raumluftströmung	380
	Literatur	384
8	Grundlagen der Strömungsakustik	388
8.1	Einführung	389
8.2	Physikalische Grundlagen und Begriffe	389
8.2.1	Schallentstehung	389
8.2.2	Frequenz und Amplitude des Schalldrucks	390
8.2.3	Schallleistung und Schallintensität	392
8.3	Pegelbildung und Pegeladdition	395

8.4	Geräuschanalyse	400
8.4.1	Oktav- und Terzbänder	400
8.4.2	Lautstärke	402
8.4.3	Grenzkurven	403
8.4.4	Impulsgeräusche	406
8.4.5	Mittelungspegel (DIN 45 641)	406
8.4.6	Beurteilungspegel (DIN 45 645)	406
8.5	Zulässige Schallpegel (Anforderungen an „schutzbedürftige Räume“)	407
8.6	Raumeinfluss	411
8.6.1	Quasi kubischer Raum	412
8.6.2	Flach- und Langraum	418
8.7	Schalldämmung	419
8.7.1	Luftschalldämmung	420
8.7.2	Bewertetes Schalldämm-Maß R'_W	422
8.7.3	Norm-Schallpegeldifferenz	429
8.7.4	Schachtpegeldifferenz	429
8.8	Schlusswort	430
	Literatur	430
9	Grundlagen der Luftreinigung	433
9.1	Überblick	433
9.2	Staub und sein Verhalten	435
9.2.1	Grundbegriffe	435
9.2.2	Feinheitsbestimmung	436
9.2.3	Fallgesetz von Staubteilchen	438
9.3	Staubabscheidung in Luftfiltern	439
9.4	Luftfilter für die allgemeine Raumlufttechnik	442
9.4.1	Anforderungen	442
9.4.2	Filterprüfung und Klasseneinteilung nach DIN EN 779 [8]	444
9.5	Schwebstofffilter	450
9.5.1	Einleitung	450
9.5.2	Filtertheorie	450
9.5.3	Filterprüfung und Klasseneinteilung nach DIN EN 1822-1	452
9.5.4	Druckdifferenzen	454
9.6	Elektro-Luftfilter	454
9.7	Gasadsorptionsfilter	456
9.7.1	Einleitung	456

9.7.2	Bauformen und Kenngrößen	457
9.7.3	Standzeit	459
9.8	Ausführungsbeispiele	459
9.8.1	Luftfilter für die allgemeine Raumluftechnik	459
9.8.2	Schwebstofffilter	461
9.8.3	Gasadsorptionsfilter	462
	Literatur	462
10	Regelungstechnik für RLT-Anlagen	465
10.1	Grundlagen, Definitionen	465
10.2	Regelstrecken	466
10.2.1	Statisches Verhalten	467
10.2.2	Dynamisches Verhalten	469
10.3	Regeleinrichtungen	470
10.3.1	Stetige Regeleinrichtungen	471
10.3.2	Unstetige Regeleinrichtungen	473
10.3.3	Spezielle Anforderungen an Regler für RLT-Anlagen	474
10.3.4	DDC-Technik	476
10.4	Regleroptimierung	479
10.4.1	Einstellregeln nach <i>Chien, Hrones</i> und <i>Reswick</i>	479
10.4.2	Einstellregeln nach <i>Ziegler</i> und <i>Nichols</i>	480
10.5	Stabilität von Regelkreisen	481
10.5.1	Einfluss des dynamischen Verhaltens	482
10.5.2	Einfluss des statischen Verhaltens	483
10.5.3	Ventilauslegung	485
10.5.4	Einfluss des statischen und dynamischen Verhaltens auf die Stabilität des Regelkreises	490
10.6	Beispiele der Temperaturregelung	491
10.6.1	Anlage mit Umluftbeimischung und Kaskadenregelung	492
10.6.2	Anlage im VVS-Betrieb mit stetiger Ventilatoransteuerung	495
10.7	Beispiele der Regelung von Temperatur und Feuchte	496
10.7.1	Klimaanlage mit Luftwäscher	497
10.7.2	Anlage mit Dampfbefeuchter	501
	Literatur	504
11	Tabellen für Wasserdampf und feuchte Luft	505
	Literatur	505
	Stichwortverzeichnis	521