

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	XI
Abbildungs- und Tabellenverzeichnis	XIII
Literaturhinweise	XV
1. Bedeutung und Aufgaben der Klimatisierung	1
1.1 Notwendigkeit und Anwendung – Entscheidungskriterien	1
1.2 Entwicklung und Probleme	4
1.2.1 Historie und Tendenzen	4
1.2.2 Die Klimatisierung im Kreuzfeuer der Kritik – Gegenmaßnahmen	7
2. Raumklima und Behaglichkeit	13
2.1 Behaglichkeitskomponenten	13
2.1.1 Thermische Einflussgrößen	14
2.1.2 Chemische Einflussgrößen	14
2.1.3 Physikalische Einflussgrößen	14
2.1.4 Optische Einflussgrößen	15
2.1.5 Sonstige Einflussgrößen	16
2.2 Grundlagen der Wärmephysiologie	17
2.2.1 Temperaturregelung des menschlichen Körpers	17
2.2.2 Wärmeabgabe des Menschen	19
2.3 Thermische Behaglichkeitskomponenten	21
2.3.1 Raumlufttemperatur	22
2.3.2 Raumluftfeuchte	24
2.3.3 Raumumschließungsflächentemperatur (Strahlungsasymmetrie)	26
2.3.4 Einfluss der Luftbewegung auf die Behaglichkeit – Zugerscheinung	28
2.4 Luftqualität – „Sick-Building-Syndrome“ (SBS)	32
3. Die Klimaanlage – Systeme und Bauteile – Bauteilkühlung	35
3.1 Technikzentrale	36
3.2 Kammerzentrale (Klimazentrale) – Bauteile	38
3.3 Wärmeübertrager	45
3.3.1 Lufterwärmer (Heizregister)	45
3.3.2 Luftkühler	48
3.4 Luftbefeuchter in der Zentrale	49
3.4.1 Verdunstungsbefeuchter	50
3.4.2 Luftwäscher (Sprühdüsenbefeuchter)	51
3.4.3 Wasserprobleme – Wasserbehandlung – Hygiene	55
3.4.4 Dampf-Luftbefeuchter	61
3.4.4.1 Elektrischer Dampf-Luftbefeuchter	62
3.4.4.2 Dampf-befeuchtung mit Fremddampf	69
3.5 Übersicht von Klimaanlage und Klimageräte	72
3.6 NUR-Luft-Systeme	75
3.6.1 Einkanal-Klimaanlagen	75

3.6.2	Zweikanal-Klimaanlagen	77
3.6.3	VVS-Anlagen –Volumenstromregler	78
3.7	LUFT-WASSER-Systeme	80
3.7.1	Ventilatorkonvektoren (Klimatruhen)	80
3.7.2	Induktionsklimaanlagen	82
3.7.3	Quellluft-Induktionsgeräte	84
3.8	Kühldecken – Bauteilkühlung	86
3.8.1	Deckenkühlkonvektoren (Kühlbalken), Kühlsegel	92
3.8.1.1	Passive Kühlbalken	93
3.8.1.2	Aktive Kühlbalken - Dimensionierung	95
3.8.2	Flächenkühldecken	99
3.8.3	Betonkernaktivierung	106
4.	Die Luftfeuchtigkeit in der Raumlufttechnik	114
4.1	Zustandsgrößen und Gesetze feuchter Luft	114
4.1.1	Wasserdampfdruck – Absolute Feuchte	114
4.1.2	Relative Feuchtigkeit	117
4.1.3	Taupunkttemperatur – Schwitzwasserbildung	118
4.1.4	Wasserdampfdiffusion	120
4.1.5	Enthalpie feuchter Luft	122
4.1.6	Feuchtkugelttemperatur – Psychrometer	124
4.1.7	Übungsaufgaben zur Feuchtluft	126
4.2	Bedeutung der Luftfeuchte – Einfluss falscher Luftfeuchtigkeit	130
4.2.1	Folgen von zu hoher Luftfeuchtigkeit	130
4.2.2	Folgen von zu geringer Luftfeuchtigkeit	131
4.2.3	Maßnahmen zur Änderung der Luftfeuchtigkeit	133
4.3	Messung der Luftfeuchtigkeit – Messgeräte	133
5.	Reinhaltung der Luft – Luftfiltrierung – Hygienerichtlinien	138
5.1	Verunreinigung in der Luft	138
5.1.1	Außenluftbelastung – Umweltschutz	138
5.1.2	Verunreinigungen in der Raumluft	139
5.2	Grundlagen der Filtertechnik	142
5.2.1	Staubarten – Staubgehalt – Staubabscheidung	142
5.2.2	Aufgaben – Auswahlkriterien – Anforderungen an Luftfilter	144
5.2.3	Filterklassen und Einsatzgebiete	149
5.2.4	Filter-Prüfverfahren	150
5.2.5	Investitions- und Betriebskosten	150
5.2.6	Wartung von Filteranlagen	151
5.3	Filterarten – Filterbetrieb	152
5.3.1	Metallfilter	153
5.3.2	„Trockenschichtfilter“ aus Faserstoffen – Filterbauarten (Filterzellen, Kompakt-, Taschen-, Rollband-, Kanalfilter)	153
5.3.3	Schwebstoff-Filter	162
5.3.4	Elektrofilter (Elektrostatische Abscheider)	164
5.3.5	Aktivkohlefilter (Gasadsorptionsfilter)	166
5.3.6	Mehrstuufenfilter	168
5.3.7	Spezielle Filter – Sonderbauarten	169
5.4	Reinraumtechnik	170
5.5	Luftqualität – Hygienische Anforderungen – VDI 6022	172
5.5.1	Anforderungen an Planung, Ausführung und Betrieb nach VDI 6022 Blatt 1	174

5.5.2	Hygienekontrollen – Hygieneinspektionen – Hygieneschulungen VDI 6022 Bl. 1	181
5.5.3	Hinweise zu VDI 6022 Blatt 2 (E)	184
6.	Dezentrale Klimatisierung (Direktverdampfungs- und Hydrosysteme)	
	Raumklimageräte – Be- und Entfeuchtungsgeräte	185
6.1	Kompaktklimageräte für Fenster- und Wandeinbau (Direktverdampfung)	188
6.1.1	Aufbau und Wirkungsweise	189
6.1.2	Hinweise für die Planung, Montage und Betrieb	190
6.1.3	Mobile Raumklimageräte	196
6.2	Kompaktklimageräte als Standgerät (Direktverdampfung)	196
6.2.1	Klimatruhen	197
6.2.2	Schrankgeräte	198
6.3	Klimageräte im Splitsystem (Direktverdampfung)	204
6.3.1	Split-Innenteil – Bauarten (Wand-, Truhen-, Schrank-, Decken-, Kassetten- und Kanaleinbaugeräte)	206
6.3.2	Split-Außenteil – Verbindung von Innen- und Außenteil	213
6.3.3	Mobile Splitgeräte	217
6.3.4	VRF-Multisplitsysteme	218
6.4	Hydro-Systeme – Ventilatorkonvektoren	221
6.4.1	Hydro-Multisplitgeräte (Wand-, Kassetten-, Decken- und Zwischendeckengeräte)	223
6.4.2	Ventilatorkonvektoren als Truhengeräte	228
6.4.2.1	Gerätebeschreibung – Bauteile	229
6.4.2.2	Geräteauswahl und Montage	230
6.4.2.3	Hinweise zur Regelung von „Klimatruhen“	238
6.4.3	Kaltwassererzeuger	240
6.5	Befeuchtungsgeräte	242
6.5.1	Verdunstungsgeräte	243
6.5.2	Befeuchtung durch Wasserzerstäubung	244
6.5.3	Verdampfungsgeräte	249
6.6	Entfeuchtungsgeräte – Raumtrockner	250
6.7	Klimageräte, die keine sind	253
7.	Kühllastberechnung – VDI 2078	254
7.1	Begriffe – Raumbelastungen – Wärmespeicherung	255
7.2	Innere Kühllast	258
7.2.1	Kühllast durch Personen $\dot{Q}_P$	258
7.2.2	Kühllast durch Beleuchtung $\dot{Q}_B$	259
7.2.3	Kühllast durch Maschinen und Geräte $\dot{Q}_M$	269
7.2.4	Kühllast durch Stoffdurchsatz $\dot{Q}_G$	271
7.2.5	Sonstige Wärmezu- und -abfuhr $\dot{Q}_C$	271
7.2.6	Kühllast über Innenflächen aus Nachbarräume $\dot{Q}_R$	271
7.3	Äußere Kühllast	272
7.3.1	Außenklima – Sonnenstrahlung	272
7.3.2	Kühllast durch Außenwände und Dächer	279
7.3.3	Kühllast durch Fenster – Sonnenschutz	285
7.3.3.1	Transmissionswärme durch Fenster	285
7.3.3.2	Kühllast infolge Sonnenstrahlung durch Fenster – Sonnenschutzmaßnahmen	285
7.3.3.3	Kühllastberechnungen infolge Sonnenstrahlung durch Fenster (Beispiele)	291

7.3.4	Kühllast und Infiltration	293
7.4	Überschlägliche Kühllastberechnung – Geräteauswahl	294
7.5	Kühllastberechnungssoftware	298
8.	Volumenstrombestimmung für Klimaanlage	300
8.1	Volumenstrombestimmung vorwiegend nach der Lüftungs- forderung – Außenluftvolumenstrom	300
8.2	Zuluftvolumenstrombestimmung nach den thermischen Lasten	305
8.3	Übungsaufgaben zur Volumenstrombestimmung	308
8.4	Volumenstromregelung	310
9.	h,x-Diagramm und Berechnungsbeispiele	312
9.1	h,x-Diagramm – Zustandsgrößen	312
9.2	Zustandsänderungen – Lasten und Leistungen – Berechnungen anhand des h,x-Diagramms	315
9.2.1	Luftmischung – Mischluftzustand	315
9.2.2	Lufterwärmung – Wärmeübertragerleistung	318
9.2.3	Luftbefeuchtung durch Verdunstung und Zerstäubung	320
9.2.4	Luftbefeuchtung mittels Dampf – Randmaßstab	327
9.2.5	Luftkühlung und Luftentfeuchtung – Kühlerleistung	329
9.2.6	Entfeuchtung mit Adsorptionsstoffen	337
9.3	Taupunktgeregelte Klimaanlage im h,x-Diagramm	337
9.4	Zusammenfassung aller vorstehenden Zustandsänderungen – Richtungsverlauf im h,x-Diagramm	341
9.5	Sorptionsgestützte Klimatisierung (SGK)	346
10.	Luftführung in Räumen – Planungsbeispiele	349
10.1	Mischströmung – Merkmale – Anwendung	350
10.2	Verdrängungsströmung – Bauarten	353
10.3	Schichtenströmung – Quellluftsysteme	356
10.3.1	Merkmale – Bauarten – Auswahl	356
10.3.2	Quellluft-Induktionsgeräte	364
10.4	Auswahl- und Planungsbeispiele	366
11.	Planungsgrundlagen – Betrieb – Wirtschaftlichkeit	375
11.1	Allgemeine Planungsanforderungen	375
11.2	Kostenfragen und Wirtschaftlichkeit	377
11.2.1	Berechnung der Wirtschaftlichkeit	378
11.2.2	Kostenarten	381
11.3	Planung und Energieeinsparung	383
11.4	Gebäudeplanung und Klimatechnik	388
11.5	Wärmerückgewinnung (WRG) bei RLT-Anlagen	391
11.5.1	Regeneratoren mit drehendem Wärmeübertrager	393
11.5.2	Rekuperatoren – Plattenwärmeübertrager	396
11.5.3	Kreislaufverbundsystem (KVS)	396
11.5.4	Wärmerohr	397
11.5.5	Wärmepumpe	398
11.5.6	Hinweise zur Planung und Betriebsweise von WRG-Anlagen (Zusammenfassung)	398
11.6	Abnahme von Klimaanlage	401
11.7	Wartung und Instandhaltungsmaßnahmen bei Klimaanlage	402
11.7.1	Wartung	403
11.7.2	Instandhaltung	406
11.7.3	Instandsetzung	408

12. Hinweise zur Klimatisierung verschiedener Gebäude	409
12.1 Wohngebäude	409
12.2 Bürogebäude	411
12.3 Datenverarbeitungsräume	417
12.4 Hotelgebäude	420
12.5 Versammlungsräume	421
12.6 Verkaufsstätten – VDI 2082	422
12.7 Museen	426
12.8 Krankenhäuser	428
12.9 Fertigungsstätten – Produktionshallen	432
12.10 Schwimmhallen	436
13. Kältetechnik	440
13.1 Bedeutung und Anwendung	436
13.2 Kühltssysteme ohne Kältemaschine	438
13.2.1 Freie Kühlung – Nachtlüftung	438
13.2.2 Kühlung mit Grundwasser	440
13.2.3 Adiabatische Kühlung („Verdunstung“)	440
13.3 Kältekreislauf und Kälte-Klimasysteme	441
13.3.1 Kreislauf der Kältemaschine	441
13.3.2 Übersicht über Kühlverfahren in RLT-Anlagen	445
13.4 Wärmefaufnahme und -abgabe bei Kälte- und Wärmepumpen- systemen	447
13.4.1 Direkte Kühlung	448
13.4.2 Indirekte Kühlung – Kaltwassererzeugung	449
13.4.3 Luftgekühlte Verflüssiger	452
13.4.4 Wassergekühlte Verflüssiger	453
13.4.5 Rückkühlung durch Kühlturm	454
13.4.6 Wärmepumpe	458
13.5 Temperaturen, Massen- und Wärmeströme	459
13.5.1 Temperaturen bei Klima-Kälte-Systemen	459
13.5.2 Temperaturen bei der Wärmepumpe	462
13.5.3 Massen- und Wärmeströme, Wärmetauscherfläche	463
13.6 Der Kältekreislauf im h,log p-Diagramm	466
13.6.1 Zustandsgrößen im h,log p-Diagramm	466
13.6.2 Zustandsänderungen im h,log p-Diagramm	468
13.6.3 Überhitzung und Unterkühlung	471
13.6.3.1 Sauggasüberhitzung	471
13.6.3.2 Flüssigkeitsunterkühlung	472
13.6.4. Volumenbezogene Kälteleistung – Liefergrad	473
13.7 Leistungszahl – Verdichterleistung	474
13.7.1 Leistungszahl beim Kälteaggregat ε_K	474
13.7.2 Leistungszahl bei der Wärmepumpe ε_W	475
13.7.3 Carnot-Leistungszahl – T,s-Diagramm	476
13.7.4 Verdichterleistung – Klemmleistung	478
13.7.5 Übungsaufgaben (h,logp-Diagramm)	478
13.8 Bauteile der Kälteanlage	480
13.8.1 Verdampferbauarten	480
13.8.2 Verflüssigerbauarten	484
13.8.2.1 Wassergekühlte Verflüssiger	485
13.8.2.2 Luftgekühlte Verflüssiger	486
13.8.2.3 Verdunstungsverflüssiger	487

13.8.3	Verdichterbauarten	488
13.8.3.1	Hubkolbenverdichter	489
13.8.3.2	Rotationskolbenverdichter	490
13.8.3.3	Turboverdichter	492
13.8.4	Expansionsventil (Volumenstromregler)	493
13.8.5	Kühlturmbauarten	495
13.8.6	Kältemittelleitungen, Geräte, Armaturen und Sicherheits- einrichtungen	497
13.9	Kältemittel – Öle – Sole	501
13.9.1	Anforderungen an die Kältemittel	501
13.9.2	Einteilung, Merkmale, Auswahl von Kältemittel	502
13.9.3	Kältemaschinenöle	508
13.9.4	Sole ..	509
13.10	Regelung der Kälteanlage (Luftkühlanlagen)	509
13.10.1	Regelung des Verdichters	510
13.10.2	Regelung des Kältekreislaufs	511
13.10.3	Regelung bei der Kaltwasserkreislaufs	513
13.11	Kälteerzeugungsverfahren	514
13.11.1	Kompressionskältemaschine	514
13.11.2	Absorptionskältemaschine	515
13.11.3	Sonderformen der Kälteerzeugung (Dampfstrahlkältemaschine, Adsorptionskältemaschine, Thermoelektrischer Kälteprozess (Peltierkühlung)	518
13.12	Kältespeicherung	519
13.12.1	Kaltwasserspeicher (Pufferspeicher)	520
13.12.2	Eisspeicher (Latentspeicher)	521
13.13	Schaltschema von Kälteanlagen	524
14.	Wiederholungs- und Prüfungsfragen	528
15.	DIN-Normen und VDI-Richtlinien in der Raumluftechnik (Auswahl)	566
	Sachwortverzeichnis	569