
Inhaltsverzeichnis

Vorwort	5
Autoren der Beiträge dieses Bands	17
Ehemalige Autoren dieses Bands	19

Aufgaben

1 Meteorologie	23
1.1 Theorie	23
1.2 Höhenabhängigkeit von Luftdruck, Temperatur und Dichte	23
1.3 Sonnenstandsberechnung	23
1.4 Berechnung von Strahlungsintensitäten	24
1.5 Gradtage	24
1.6 Befeuchtungsgrammstunden	25
2 Physiologie, Zuluftparameter	27
2.1 Druckabhängigkeit der relativen Feuchte	27
2.2 Mindest-Außenluftvolumenstrom	27
2.3 Kältemittelemission	28
2.4 CO-Emission in einer Garage	28
2.5 Zuluftparameter eines Hörsaals	28
2.6 Zuluftparameter eines Lokomotiv-Führerhauses	29
2.7 Zuluftparameter eines Druckraums	29
3 Berechnung der thermischen Lasten und Raumtemperaturen – Auslegung Kühllast und Jahressimulation	31
3.1 Theorie	31
3.2 Äquivalente Außentemperatur	32
3.3 Berechnung des Gesamtenergiedurchlassgrads von Fenstern	33
3.4 Strahlungswärmestrom durch ein Fenster	33
3.5 Zusätzlicher Wärmeeintrag bei Fensterlüftung	35
3.6 Strahlungsanteil für innere Lasten	35

3.7	Gemeinsame Kühlsystemtemperatur und spezifische Leistung eines kombinierten Kühlsystems	36
3.8	Überschlägige Ermittlung der Kühllast mittels Abschätzverfahren	36
3.9	Erforderlicher Zuluftmassenstrom zur Entfernung von Feuchtelasten durch Ventilation	37
3.10	Personenwasserdampfabgabe	37
3.11	Feuchtelast in einem Schwimmbad	38
4	Freie Lüftung	39
4.1	Ermittlung des Zeitpunkts des Maximums der Raumlufttemperatur	39
4.2	Ermittlung charakteristischer Werte der Raumlufttemperatur bei einer gut speichernden Raumumschließungskonstruktion	39
4.3	Ermittlung des Einflusses des Außenluftwechsels	40
4.4	Ermittlung eines optimalen Außenluftvolumenstroms	41
5	Feuchte Luft	43
5.1	Zustandsänderungen in einer Mischkammer	43
5.2	Zustandsänderungen in einem Luftheritzer	43
5.3	Temperaturerhöhung durch einen Ventilator	43
5.4	Luftabkühlung in einem Kühler	44
5.5	Entfeuchtung in einem Kühler	44
5.6	Zustandsänderung in einem Dampfbefeuchter	44
5.7	Zustandsänderung in einem Wäscher	45
6	Luftbefeuchtung	47
6.1	Theorie	47
6.2	Befeuchtung mit Wasser	47
6.3	Befeuchtung mit Wasserdampf	47
7	Wärmerückgewinnung	49
7.1	Berechnung der Austrittsenthalpien und der rückgewonnenen Energie	49
7.2	Ermittlung des Temperaturänderungsgrads in Abhängigkeit des Verhältnisses Zuluft/Fortluft und des Einflusses der Baugröße	49
7.3	Einfrierbedingungen	51
7.4	Ermittlung des Temperaturänderungsgrads für einen Gegenstromwärmeübertrager	51

8	Kältetechnik	55
8.1	Theorie	55
8.2	Vergleich des Carnot-Prozesses mit dem Plank-Prozess für das Kältemittel R134a	55
8.3	Darstellung eines Plank-Prozesses im log p,h-Diagramm von R290, Ermittlung der Zustandsgrößen und Einfluss der Verflüssigungstemperatur auf Anlagen-effizienz	56
8.4	Prozessdatenbestimmung anhand eines R290-Verdichter-Datenblatts	57
8.5	Berechnung eines Kreisprozesses mit dem zeotropen Kältemittel R407C	57
8.6	Temperaturverhalten („Temperaturgleit“) bei der Verdampfung und Verflüssigung bei einem Kreisprozess mit dem zeotropen Kältemittel R407C	58
8.7	Prozessanalyse eines Kreislaufs mit R134a und innerem Wärmeübertrager anhand von Messergebnissen	59
8.8	Kreisprozesses mit NH ₃ (R717) zur Solekühlung	61
9	Sorptionsgestützte Klimatisierung	63
9.1	Theorie	63
9.2	Enthalpie-Rückgewinnung an einem Sorptionsrad im Winterbetrieb	63
9.3	Entfeuchtung über ein Sorptionsrad im Sommerbetrieb	65
9.4	Entfeuchtung über ein Sorptionsrad im Sommerbetrieb bei ungünstiger Außenluftfeuchte	65
9.5	Auslegung eines Klimasystems der sorptionsgestützten Klimatisierung mit festen Adsorbentien	66
9.6	Auswirkung einer reduzierten Regenerierlufttemperatur auf den Zuluftzustand eines Klimasystems der sorptionsgestützten Klimatisierung mit festen Adsorbentien	67
10	Kältespeicher	69
10.1	Theorie	69
10.2	Eis-Energiespeicher	69
10.3	Latent-Energiespeicher, Bemessung Speichergröße Milchkühlung	70
10.4	Latent-Energiespeicher, Bemessung Speichergröße Bierkühlung	70
10.5	Wärmeübertrager im Eisspeicher	71
10.6	Mischung von Eis und Wasser	71
10.7	Erstbemessung des Eisspeichers für ein Verwaltungsgebäude	72

11	Strömungstechnik, Kanalnetz	75
11.1	Theorie	75
11.2	Luftleitung	76
11.3	Abzweigung	76
11.4	Zuluftleitung	77
11.5	Kanalnetz	78
12	Raumluftströmung, Luftdurchlässe – Anlagenbeispiele	83
12.1	Theorie	83
12.2	Weitwurfdüse	84
12.3	Zuluftdurchlass	84
12.4	Wandstrahl	85
12.5	Bodeneinlass	85
12.6	Kühlung eines Kinosaals	86
12.7	Mischluftsystem für ein Bürogebäude	86
12.8	Quelllüftung und Klimadecke	87
12.9	Schichtenströmung in einem Montageraum	88
13	Ventilatoren	89
13.1	Theorie	89
13.2	Möglichkeiten zur Druckerhöhung eines Radialventilators	89
13.3	Elektrische Leistungsaufnahme des Systems: Motor – Antrieb – Ventilator	90
13.4	Auslegung eines Radialventilators	91
13.5	Erhöhung der Förderleistung eines Ventilators	92
13.6	Drehzahlregelung eines Ventilators zur Energieeinsparung	93
14	Strömungsaustik, akustische Auslegung von RLT-Anlagen	95
14.1	Theorie	95
14.2	Addition gleicher Pegel	95
14.3	Addition unterschiedlicher Pegel	95
14.4	Fremdgeleieinfluss	96
14.5	Pegelbewertung	96
14.6	Absorptionsfläche, Absorptionsgrad	96
14.7	Raumdämpfung	96

14.8	Überlagerung mehrerer Schallpegel im Raum	96
14.9	Schallübertragung zwischen zwei Räumen	97
14.10	Körperschalldämmung eines Verdichters	98
14.11	Akustische Auslegung einer Zuluftanlage	99
14.12	Überlagerungsmethode zur Ermittlung der Schalldämpferdaten	100
15	Luftfilter	101
15.1	Aufbereitung der Luft für einen Reinraum der Reinraumklasse ISO 4 nach DIN EN ISO 14644-1	101
16	RLT-Anlagen	103
16.1	Zustandsänderungen in einer Teilklimaanlage	103
16.2	Regelverhalten einer zu gering bemessenen Anlage	104
16.3	Betriebsverhalten einer volumenvariablen Anlage	105
16.4	Bemessung einer Mehrzonen-VV-Anlage	106
16.5	Zustandsänderungen in einer Teilklimaanlage	107
17	Regelungstechnik	109
17.1	Regelung – RLT-Anlage mit Kaskadenregelung	109
17.2	Regelung – RLT-Anlage im VVS-Betrieb	111
17.3	Regelung – RLT-Anlage mit Umluftbeimischung	112
17.4	Regelung – Klimaanlage mit geregeltem Luftwäscher	113
17.5	Regelung – Klimaanlage mit Dampfbefeuchter und neutraler Feuchtezone	114
18	Hydraulische Schaltungen	115
18.1	Hydraulische Schaltungen – Ventilbemessung Luftheritzer	115
18.2	Hydraulische Schaltungen – Ventilbemessung Luftkühler	115
19	Brandschutz in Lüftungsanlagen und Rauch- und Wärmeableitung in Gebäuden im Brandfall	117
19.1	Theorie	117
19.2	Ventilator im Entrauchungsbetrieb	117
19.3	Bemessung einer natürlichen Rauchabzugsanlage (NRA)	118
19.4	Bemessung einer maschinellen Rauchabzugsanlage (MRA)	121
20	Arbeitsunterlagen: Tabellen und Diagramme	129

Lösungen

1	Meteorologie	141
1.1	Theorie	142
1.2	Höhenabhängigkeit von Luftdruck, Temperatur und Dichte	143
1.3	Sonnenstandsberechnung	144
1.4	Berechnung von Strahlungsintensitäten	146
1.5	Gradtage	147
1.6	Befeuchtungsgrammstunden	149
2	Physiologie, Zuluftparameter	151
2.1	Druckabhängigkeit der relativen Feuchte	152
2.2	Mindest-Außenluftvolumenstrom	153
2.3	Kältemittelemission	154
2.4	CO-Emission in einer Garage	155
2.5	Zuluftparameter eines Hörsaals	155
2.6	Zuluftparameter eines Lokomotiv-Führerhauses	158
2.7	Zuluftparameter eines Druckraums	160
3	Berechnung der thermischen Lasten und Raumtemperaturen – Auslegung Kühllast und Jahressimulation	163
3.1	Theorie	164
3.2	Äquivalente Außentemperatur	166
3.3	Berechnung des Gesamtenergiedurchlassgrads von Fenstern	167
3.4	Strahlungswärmestrom durch ein Fenster	167
3.5	Zusätzlicher Wärmeeintrag bei Fensterlüftung	168
3.6	Strahlungsanteil für innere Lasten	168
3.7	Gemeinsame Kühlsystemtemperatur und spezifische Leistung eines kombinierten Kühlsystems	169
3.8	Überschlägige Ermittlung der Kühllast mittels Abschätzverfahren	169
3.9	Erforderlicher Zuluftmassenstrom zur Entfernung von Feuchtelasten durch Ventilation	170
3.10	Personenwasserdampfabgabe	171
3.11	Feuchtelast in einem Schwimmbad	172

4	Freie Lüftung	173
4.1	Ermittlung des Zeitpunkts des Maximums der Raumlufttemperatur	174
4.2	Ermittlung charakteristischer Werte der Raumlufttemperatur bei einer gut speichernden Raumumschließungskonstruktion	175
4.3	Ermittlung des Einflusses des Außenluftwechsels	176
4.4	Ermittlung eines optimalen Außenluftvolumenstroms.	179
5	Feuchte Luft	181
5.1	Zustandsänderungen in einer Mischkammer	182
5.2	Zustandsänderungen in einem Luftheritzer	183
5.3	Temperaturerhöhung durch einen Ventilator.	183
5.4	Luftabkühlung in einem Kühler	184
5.5	Entfeuchtung in einem Kühler	185
5.6	Zustandsänderung in einem Dampfbefeuchter	185
5.7	Zustandsänderung in einem Wäscher	186
6	Luftbefeuchtung	187
6.1	Theorie	188
6.2	Befeuchtung mit Wasser	188
6.3	Befeuchtung mit Wasserdampf.	190
7	Wärmerückgewinnung	193
7.1	Berechnung der Austrittsenthalpien und der rückgewonnenen Energie	194
7.2	Ermittlung des Temperaturänderungsgrads in Abhängigkeit des Verhältnisses Zuluft/Fortluft und des Einflusses der Baugröße	196
7.3	Einfrierbedingungen	196
7.4	Ermittlung des Temperaturänderungsgrads für einen Gegenstromwärmeübertrager	196
8	Kältetechnik	197
8.1	Theorie	199
8.2	Vergleich des Carnot-Prozesses mit dem Plank-Prozess für das Kältemittel R134a	201
8.3	Darstellung eines Plank-Prozesses im log p,h-Diagramm für R290, Ermittlung der Zustandsgrößen und Einfluss der Verflüssigungstemperatur auf Anlagen-effizienz	203

8.4	Prozessdatenbestimmung anhand eines R290-Verdichter-Datenblatts	204
8.5	Berechnung eines Kreisprozesses mit dem zeotropen Kältemittel R407C	205
8.6	Temperaturverhalten („Temperaturgleit“) bei der Verdampfung und Verflüssigung bei einem Kreisprozess mit dem zeotropen Kältemittel R407C ..	207
8.7	Prozessanalyse eines Kreislaufs mit R134a und innerem Wärmeübertrager anhand von Messergebnissen	209
8.8	Kreisprozess mit NH ₃ (R717) zur Solekühlung	211
9	Sorptionsgestützte Klimatisierung	213
9.1	Theorie	214
9.2	Enthalpie-Rückgewinnung an einem Sorptionsrad im Winterbetrieb	215
9.3	Entfeuchtung über ein Sorptionsrad im Sommerbetrieb	218
9.4	Entfeuchtung über ein Sorptionsrad im Sommerbetrieb bei ungünstiger Außenluftfeuchte	221
9.5	Auslegung eines Klimasystems der sorptionsgestützten Klimatisierung mit festen Adsorbentien	225
9.6	Auswirkung einer reduzierten Regenerierlufttemperatur auf den Zuluftzustand eines Klimasystems der sorptionsgestützten Klimatisierung mit festen Adsorbentien	229
10	Kältespeicher	233
10.1	Theorie	234
10.2	Eis-Energiespeicher	235
10.3	Latent-Energiespeicher, Bemessung Speichergröße Milchkühlung	236
10.4	Latent-Energiespeicher, Bemessung Speichergröße Bierkühlung	236
10.5	Wärmeübertrager im Eisspeicher	237
10.6	Mischung von Eis und Wasser	238
10.7	Erstbemessung des Eisspeichers für ein Verwaltungsgebäude	239
11	Strömungstechnik, Kanalnetz	241
11.1	Theorie	242
11.2	Luftröhre	243
11.3	Abzweigung	244
11.4	Zuluftleitung	245
11.5	Kanalnetz	246

12	Raumluftströmung, Luftdurchlässe – Anlagenbeispiele	249
12.1	Theorie	250
12.2	Weitwurfdüse	252
12.3	Zuluftdurchlass	253
12.4	Wandstrahl	254
12.5	Bodeneinlass	255
12.6	Kühlung eines Kinosaals	256
12.7	Mischluftsystem für ein Bürogebäude	258
12.8	Quelllüftung und Klimadecke	265
12.9	Schichtenströmung in einem Montageraum	271
13	Ventilatoren	273
13.1	Theorie	273
13.2	Möglichkeiten zur Druckerhöhung eines Radialventilators	274
13.3	Elektrische Leistungsaufnahme des Systems: Motor – Antrieb – Ventilator	275
13.4	Auslegung eines Radialventilators	276
13.5	Erhöhung der Förderleistung eines Ventilators	277
13.6	Drehzahlregelung eines Ventilators zur Energieeinsparung	278
14	Strömungsakustik, akustische Auslegung von RLT-Anlagen	281
14.1	Theorie	283
14.2	Addition gleicher Pegel	284
14.3	Addition unterschiedlicher Pegel	284
14.4	Fremdgeleieinfluss	284
14.5	Pegelbewertung	285
14.6	Absorptionsfläche, Absorptionsgrad	286
14.7	Raumdämpfung	287
14.8	Überlagerung mehrerer Schallpegel im Raum	287
14.9	Schallübertragung zwischen zwei Räumen	289
14.10	Körperschalldämmung eines Verdichters	290
14.11	Akustische Auslegung einer Zuluftanlage	291
14.12	Überlagerungsmethode zur Ermittlung der Schalldämpferdaten	296

15	Luftfilter	299
15.1	Aufbereitung der Luft für einen Reinraum der Reinraumklasse ISO 4 nach DIN EN ISO 14644-1	300
16	RLT-Anlagen	303
16.1	Zustandsänderungen in einer Teilklimaanlage	304
16.2	Regelverhalten einer zu gering bemessenen Anlage	306
16.3	Betriebsverhalten einer volumenvariablen Anlage	309
16.4	Bemessung einer Mehrzonen-VV-Anlage	313
16.5	Zustandsänderungen in einer Teilklimaanlage	315
17	Regelungstechnik	321
17.1	Regelung – RLT-Anlage mit Kaskadenregelung	322
17.2	Regelung – RLT-Anlage im VVS-Betrieb	324
17.3	Regelung – RLT-Anlage mit Umluftbeimischung	326
17.4	Regelung – Klimaanlage mit geregeltem Luftwäscher	327
17.5	Regelung – Klimaanlage mit Dampfbefeuchter und neutraler Feuchtezone	329
18	Hydraulische Schaltungen	331
18.1	Hydraulische Schaltungen – Ventilbemessung Lufterhitzer	331
18.2	Hydraulische Schaltungen – Ventilbemessung Luftkühler	333
19	Brandschutz in Lüftungsanlagen und Rauch- und Wärmeableitung in Gebäuden im Brandfall	335
19.1	Theorie	336
19.2	Ventilator im Entrauchungsbetrieb	337
19.3	Bemessung einer natürlichen Rauchabzugsanlage (NRA)	339
19.4	Bemessung einer maschinellen Rauchabzugsanlage (MRA)	340
	Literaturverzeichnis	343