

# Inhaltsverzeichnis

<b>Vorwort</b>	5
<b>Autoren der Beiträge dieses Bands</b>	17
<b>Ehemalige Autoren dieses Bands</b>	19
<b>Aufgaben</b>	
<b>1 Meteorologie</b>	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
<b>2 Physiologie, Zuluftparameter</b>	27
2.1 Druckabhängigkeit der relativen Feuchte	27
2.2 Mindest-Außenluftvolumenstrom	27
2.3 Kältemittelemision	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
<b>3 Berechnung der thermischen Lasten und Raumtemperaturen – Auslegung Kühllast und Jahressimulation</b>	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 Khlsystemtemperatur 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
<b>4</b>	<b>Freie Lüftung</b> .....	<b>39</b>
4.1	Ermittlung des Zeitpunkts des Maximums der Raumlufthemperatur .....	39
4.2	Ermittlung charakteristischer Werte der Raumlufthemperatur bei einer gut speichernden Raumumschlieungskonstruktion .....	39
4.3	Ermittlung des Einflusses des Auenluftwechsels .....	40
4.4	Ermittlung eines optimalen Außenluftvolumenstroms .....	41
<b>5</b>	<b>Feuchte Luft</b> .....	<b>43</b>
5.1	Zustandsänderungen in einer Mischkammer .....	43
5.2	Zustandsänderungen in einem Lufterhitzer .....	43
5.3	Temperaturerhöhung durch einen Ventilator .....	43
5.4	Luftabkühlung in einem Khler .....	44
5.5	Entfeuchtung in einem Khler .....	44
5.6	Zustandsänderung in einem Dampfbefeuchter .....	44
5.7	Zustandsänderung in einem Wäscher .....	45
<b>6</b>	<b>Luftbefeuchtung</b> .....	<b>47</b>
6.1	Theorie .....	47
6.2	Befeuchtung mit Wasser .....	47
6.3	Befeuchtung mit Wasserdampf .....	47
<b>7</b>	<b>Wärmerückgewinnung</b> .....	<b>49</b>
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 Gegenstromwrme-Übertrager .....	51

<b>8</b>	<b>Kältetechnik</b> .....	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 <sub>3</sub> (R717) zur Solekühlung .....	61
<b>9</b>	<b>Sorptionsgestützte Klimatisierung</b> .....	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
<b>10</b>	<b>Kältespeicher</b> .....	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

<b>11</b>	<b>Strömungstechnik, Kanalnetz</b>	<b>75</b>
11.1	Theorie	75
11.2	Luftleitung	76
11.3	Abzweigung	76
11.4	Zuluftleitung	77
11.5	Kanalnetz	78
<b>12</b>	<b>Raumluftströmung, Luftdurchlässe – Anlagenbeispiele</b>	<b>83</b>
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
<b>13</b>	<b>Ventilatoren</b>	<b>89</b>
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
<b>14</b>	<b>Strömungsakustik, akustische Auslegung von RLT-Anlagen</b>	<b>95</b>
14.1	Theorie	95
14.2	Addition gleicher Pegel	95
14.3	Addition unterschiedlicher Pegel	95
14.4	Fremdpegeleinfluss	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
<b>15</b>	<b>Luftfilter</b> .....	101
15.1	Aufbereitung der Luft für einen Reinraum der Reinraumklasse ISO 4 nach DIN EN ISO 14644-1.....	101
<b>16</b>	<b>RLT-Anlagen</b> .....	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
<b>17</b>	<b>Regelungstechnik</b> .....	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 geregelter Luftwäscher.....	113
17.5	Regelung – Klimaanlage mit Dampfbefeuchter und neutraler Feuchtezone.....	114
<b>18</b>	<b>Hydraulische Schaltungen</b> .....	115
18.1	Hydraulische Schaltungen – Ventilbemessung Lufterhitzer.....	115
18.2	Hydraulische Schaltungen – Ventilbemessung Luftkühler.....	115
<b>19</b>	<b>Brandschutz in Lüftungsanlagen und Rauch- und Wärmeableitung in Gebäuden im Brandfall</b> .....	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
<b>20</b>	<b>Arbeitsunterlagen: Tabellen und Diagramme</b> .....	129

---

## Lösungen

<b>1</b>	<b>Meteorologie</b> .....	141
1.1	Theorie .....	142
1.2	Höhenabhängigkeit von Luftdruck, Temperatur und Dichte .....	143
1.3	Sonnenstands Berechnung .....	144
1.4	Berechnung von Strahlungsintensitäten .....	146
1.5	Gradtage .....	147
1.6	Befeuchtungsgrammstunden .....	149
<b>2</b>	<b>Physiologie, Zuluftparameter</b> .....	151
2.1	Druckabhängigkeit der relativen Feuchte .....	152
2.2	Mindest-Außenluftvolumenstrom .....	153
2.3	Kältemittlemission .....	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
<b>3</b>	<b>Berechnung der thermischen Lasten und Raumtemperaturen – Auslegung Kühllast und Jahressimulation</b> .....	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 Kühlelementtemperatur und spezifische Leistung eines kombinierten Kühlelements .....	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

<b>4</b>	<b>Freie Lüftung</b> .....	173
4.1	Ermittlung des Zeitpunkts des Maximums der Raumlufthtemperatur. ....	174
4.2	Ermittlung charakteristischer Werte der Raumlufthtemperatur bei einer gut speichernden Raumumschließungskonstruktion .....	175
4.3	Ermittlung des Einflusses des Außenluftwechsels .....	176
4.4	Ermittlung eines optimalen Außenluftvolumenstroms. ....	179
<b>5</b>	<b>Feuchte Luft</b> .....	181
5.1	Zustandsänderungen in einer Mischkammer .....	182
5.2	Zustandsänderungen in einem Lufterhitzer .....	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
<b>6</b>	<b>Luftbefeuchtung</b> .....	187
6.1	Theorie .....	188
6.2	Befeuchtung mit Wasser .....	188
6.3	Befeuchtung mit Wasserdampf. ....	190
<b>7</b>	<b>Wärmerückgewinnung.</b> .....	193
7.1	Berechnung der Austrittsenthalpien und der rückgewonnenen Energie .....	194
7.2	Ermittlung des Temperaturänderungsgrads in Abhängigkeit des Verhältnisses Zuluft/Forluft und des Einflusses der Baugröße .....	196
7.3	Einfrierbedingungen .....	196
7.4	Ermittlung des Temperaturänderungsgrads für einen Gegenstromwärmeübertrager .....	196
<b>8</b>	<b>Kältetechnik</b> .....	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 <sub>3</sub> (R717) zur Solekühlung . . . . .	211
<b>9</b>	<b>Sorptionsgestützte Klimatisierung</b> . . . . .	<b>213</b>
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
<b>10</b>	<b>Kältespeicher</b> . . . . .	<b>233</b>
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
<b>11</b>	<b>Strömungstechnik, Kanalnetz</b> . . . . .	<b>241</b>
11.1	Theorie . . . . .	242
11.2	Luftleitung . . . . .	243
11.3	Abzweigung . . . . .	244
11.4	Zuluftleitung . . . . .	245
11.5	Kanalnetz . . . . .	246



<b>12</b>	<b>Raumluftströmung, Luftdurchlässe – Anlagenbeispiele. ....</b>	<b>249</b>
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
<b>13</b>	<b>Ventilatoren .....</b>	<b>273</b>
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
<b>14</b>	<b>Strömungsakustik, akustische Auslegung von RLT-Anlagen .....</b>	<b>281</b>
14.1	Theorie .....	283
14.2	Addition gleicher Pegel .....	284
14.3	Addition unterschiedlicher Pegel .....	284
14.4	Fremdpegeleinfluss .....	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

<b>15</b>	<b>Luftfilter</b> .....	299
15.1	Aufbereitung der Luft für einen Reinraum der Reinraumklasse ISO 4 nach DIN EN ISO 14644-1 .....	300
<b>16</b>	<b>RLT-Anlagen</b> .....	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
<b>17</b>	<b>Regelungstechnik</b> .....	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 geregelter Luftwäscher .....	327
17.5	Regelung – Klimaanlage mit Dampfbefeuchter und neutraler Feuchtezone .....	329
<b>18</b>	<b>Hydraulische Schaltungen</b> .....	331
18.1	Hydraulische Schaltungen – Ventilbemessung Lufterhitzer .....	331
18.2	Hydraulische Schaltungen – Ventilbemessung Luftkühler .....	333
<b>19</b>	<b>Brandschutz in Lüftungsanlagen und Rauch- und Wärmeableitung in Gebäuden im Brandfall</b> .....	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
	<b>Literaturverzeichnis</b> .....	343