

# Inhaltsverzeichnis

<b>Vorwort</b> .....	7
<b>1 Einführung in das Fachgebiet der Klimatisierung von Schienenfahrzeugen</b> ..	13
1.1 Historischer Rückblick .....	13
1.2 Klimaanlage für Schienenfahrzeuge .....	15
1.3 Grundlegende Aufgaben und Konzeptionen .....	16
1.4 Besondere Anforderungen an Klimaanlage für Schienenfahrzeuge .....	18
<b>2 Randbedingungen und Anforderungen</b> .....	21
2.1 Komfort und Diskomfort .....	21
2.2 Thermische Behaglichkeit .....	23
2.2.1 Wärmephysiologie des Menschen .....	23
2.2.2 Behaglichkeitskriterien .....	25
2.2.3 Bewertung der thermischen Behaglichkeit .....	26
2.2.4 Einflussgrößen auf die thermische Behaglichkeit .....	27
2.2.5 Normative Vorgaben für Einflussgrößen auf die thermische Behaglichkeit in Schienenfahrzeugen .....	30
2.2.6 Anforderungen an die Raumluftqualität .....	34
2.3 Meteorologische Randbedingungen .....	37
<b>3 Thermodynamische Grundlagen der Klimatisierung</b> .....	43
3.1 Das Modell der feuchten Luft .....	43
3.2 Quantifizierung der Gemischzusammensetzung feuchter Luft .....	45
3.3 Dichte und spezifisches Volumen feuchter Luft .....	47
3.4 Spezifische Enthalpie der feuchten Luft .....	51
3.5 Das Mollier-h,x-Diagramm .....	56
3.6 Die spezifische Entropie feuchter Luft .....	59
3.7 Zustandsänderungen in Klimaanlage .....	61
3.7.1 Mischen feuchter Luftströme .....	61
3.7.2 Aufheizen feuchter Luft .....	62
3.7.3 Kühlung ohne Entfeuchtung .....	63
3.7.4 Kühlung mit Entfeuchtung .....	64
3.7.5 Befeuchtung .....	65
3.7.6 Fördern feuchter Luft .....	68
3.7.7 Verdichten/Entspannen feuchter Luft .....	69

<b>4</b>	<b>Grundlagen der Kälteerzeugung in Fahrzeugklimaanlagen</b> .....	71
4.1	Überblick .....	71
4.2	Thermodynamische Grundfunktion .....	73
4.3	Kaldampf-Kompressor-Kältemaschine .....	74
4.3.1	Funktionsprinzip und Hauptkomponenten .....	74
4.3.2	Grundlagen der Berechnung und Auslegung .....	78
4.3.3	Auswahlkriterien für Kältemittel .....	84
4.3.4	Besonderheiten bei Kältemittelgemischen .....	87
4.3.5	Abweichende Prozessführung beim Kältemittel Kohlendioxid R744 .....	88
4.4	Kaltluft-Kältemaschine .....	92
4.4.1	Vorbemerkungen .....	92
4.4.2	Einfacher Grundprozess der Kaltluft-Kältemaschine .....	92
4.4.3	KLKM mit mechanischer und thermischer Regeneration .....	95
4.4.4	Ausgeführte Anlagen .....	98
4.4.5	Fazit .....	100
4.5	Weitere Verfahren zur Kälteerzeugung .....	100
4.5.1	Thermoelektrische Kälteerzeugung .....	100
4.5.2	Absorptionskältemaschine .....	102
4.5.3	Magnetokalorische Kälteerzeugung .....	103
<b>5</b>	<b>Ausgewählte fahrzeugtypische Probleme der Wärmeübertragung</b> .....	105
5.1	Mechanismen des Wärmetransports .....	105
5.1.1	Einordnung .....	105
5.1.2	Eindimensionale, stationäre Wärmeleitung .....	106
5.1.3	Konvektiver Wärmeübergang .....	107
5.1.4	Wärmestrahlung .....	111
5.1.5	Vereinfachte Berücksichtigung der Strahlung im konvektiven Wärmeübergang .....	114
5.1.6	Berücksichtigung der Sonneneinstrahlung im konvektiven Wärmeübergang .....	116
5.1.7	Stationärer Wärmedurchgang .....	117
5.2	Wärmedurchgang an Fahrzeugaußenwänden .....	119
5.2.1	Berechnungsweg .....	119
5.2.2	Einfluss der Fahrgeschwindigkeit .....	123
5.2.3	Wärmebrücken .....	126
5.2.4	Fehleranfälligkeit der Wärmedurchgangsberechnung .....	129
5.2.5	Anmerkungen zur messtechnischen k-Wert-Ermittlung .....	133
5.3	Wärmeübertrager/Rekuperatoren .....	136
5.3.1	Abgrenzung und Charakterisierung der Rekuperatoren .....	136
5.3.2	Berechnung über die mittlere Temperaturdifferenz .....	139
5.3.3	Betriebscharakteristik und Wirkungsgrad eines Rekuperators .....	141
5.3.4	Bestimmung des k-Werts von Rekuperatoren .....	145

<b>6</b>	<b>Lastberechnung</b> .....	165
6.1	Begriffsabgrenzung und Überblick .....	165
6.1.1	Störgrößen und Lasten. ....	165
6.1.2	Trockene und feuchte Lasten bzw. Lastanteile .....	167
6.2	Ermittlung der Wärmelasten. ....	168
6.2.1	Transmissionswärmeströme .....	168
6.2.2	Sonneneinstrahlung durch transparente Flächen (Fenster, Verglasungen) .....	172
6.2.3	Ungewollter Luftwechsel (Fugenlüftung) .....	172
6.2.4	Türöffnungsvorgänge .....	174
6.2.5	Wärmeabgabe der Personen .....	177
6.2.6	Weitere innere Wärmequellen .....	180
6.3	Ermittlung der Feuchtelasten .....	180
6.3.1	Ungewollter Luftwechsel und Türöffnungsvorgänge .....	180
6.3.2	Wasserdampfabgabe der Personen. ....	181
6.3.3	Weitere Feuchtequellen, feuchte Bekleidung .....	183
6.4	Schadstoffströme. ....	184
6.5	Lastkompensation .....	185
6.5.1	Zusammenfassung der Lasten .....	185
6.5.2	Lastabbau im Innenraum .....	187
6.5.3	Ermittlung des Zuluftzustands mittels der Kompensationsgeraden .....	192
6.5.4	Lastfälle und Betriebsarten .....	195
6.5.5	Anmerkungen zum Sonderfall freie Lüftung bzw. Fensterlüftung .....	197
6.6	Erforderliche Mindest-Heiz- und -Kühlleistung .....	198
6.7	Abschätzung des Aufheiz- und Abkühlverhaltens. ....	201
<b>7</b>	<b>Konfiguration von Klimaanlage für Schienenfahrzeuge</b> .....	207
7.1	Aufgabe und Definition. ....	207
7.2	Anordnung im Fahrzeug .....	208
7.3	Allgemeiner Aufbau einer Klimaanlage .....	210
7.4	Hinweise zum Luftaufbereitungsprozess. ....	213
7.5	Druckschutz .....	215
<b>8</b>	<b>Energiebedarf für die Klimatisierung</b> .....	225
8.1	Einflussfaktoren, Strategien zur Verbrauchsreduzierung .....	225
8.1.1	Problemstellung und Überblick .....	225
8.1.2	Gestaltung des Wagenkastens. ....	225
8.1.3	Sollwerte der Raumluftparameter .....	226
8.1.4	Anlageneffizienz .....	227
8.1.5	Erweiterte Anlagenkonzepte. ....	229
8.1.6	Ausgewählte weitere Maßnahmen .....	230

8.1.7	Fazit .....	231
8.2	Methoden zur Ermittlung des Jahresenergiebedarfs .....	232
8.2.1	Zielstellung, Randbedingungen und grundlegende Methodik .....	232
8.2.2	Messtechnische Ermittlung .....	235
8.2.3	Simulationsrechnungen .....	236
<b>9</b>	<b>Test- und Prüfeinrichtungen</b> .....	<b>239</b>
9.1	Test der Klimaanlage .....	239
9.1.1	Funktions- und Leistungstest (Kühlbetrieb) .....	239
9.1.2	Schock- und Rütteltests .....	240
9.1.3	Prüfung auf Wasserdichtheit .....	240
9.2	Systemtest mit dem Gesamtfahrzeug .....	241
9.3	Klimatechnische Versuche .....	244
<b>10</b>	<b>Anwendungsbeispiele und Entwicklungstendenzen</b> .....	<b>251</b>
<b>11</b>	<b>Tabellen und Anlagen</b> .....	<b>255</b>
<b>12</b>	<b>Formelzeichen, Symbole und Abkürzungen</b> .....	<b>271</b>
<b>13</b>	<b>Literatur</b> .....	<b>285</b>