

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	7
1 Einführung in das Fachgebiet der Klimatisierung von Schienenfahrzeugen.	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
2 Randbedingungen und Anforderungen	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
3 Thermodynamische Grundlagen der Klimatisierung	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

4	Grundlagen der Kälteerzeugung in Fahrzeugklimaanlagen	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
5	Ausgewählte fahrzeugtypische Probleme der Wärmeübertragung	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

6	Lastberechnung	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
7	Konfiguration von Klimaanlage für Schienenfahrzeuge	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
8	Energiebedarf für die Klimatisierung	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
9	Test- und Prüfeinrichtungen	239
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
10	Anwendungsbeispiele und Entwicklungstendenzen	251
11	Tabellen und Anlagen	255
12	Formelzeichen, Symbole und Abkürzungen	271
13	Literatur	285