

Inhalt

Übersicht.....	xiii
Nomenklatur.....	xix
1 Grundlagen	1
1.1 Historie	1
1.2 Weltweite Klimate	2
1.2.1 Lufttemperatur, Wasserdampfgehalt und Sonnenstrahlung ...	3
1.2.2 Luftdruck	4
1.2.3 Regen	5
1.3 Vorschriften, Normen und Richtlinien	6
Literatur.....	9
2 Klimaphysiologie	11
2.1 Abgrenzung zur Klimatisierung von Gebäuden	11
2.2 Thermodynamisches System „Mensch-Fahrgastraum“	12
2.3 Bewertungen	13
2.3.1 Behaglichkeitsmodell nach P. O. Fanger	13
2.3.2 Einfluss der Sonneneinstrahlung	15
2.3.3 Einfluss der Wasserdampf- und Schweißabgabe	17
2.3.4 Maximal zulässiger Wasserdampfgehalt der Luft	20
2.3.5 Kontakttemperatur	21
2.4 Messungen in einem Pkw	22
2.4.1 Einfluss der Sonneneinstrahlung auf die Regelung einer Klimaanlage	22
2.4.2 Einfluss der Temperatur auf die Herzfrequenz	23
2.5 Klimamess-Puppen	24
2.6 Beispiele	26
Literatur	27
3 Luftstrom durch den Fahrgastraum	29
3.1 Zu- und Abluftöffnungen	29
3.2 Gebläsekennlinien	31
	vii

3.2.1	Gebläsetypen	31
3.2.2	Kennlinien eines Radialgebläses	32
3.2.3	Differenz des Schalldrucks	40
3.2.4	Beispiele	41
3.3	Durchströmung der Komponenten	46
3.3.1	Abhängigkeit von der Reynolds Zahl	47
3.3.2	Rohrreibungszahlen aus der Literatur	48
3.3.3	Umrechnung der Messergebnisse auf eine andere Luftdichte und Viskosität	49
3.3.4	Beispiele	51
3.4	Ermittlung des Belüftungsstroms	52
3.4.1	Messmethoden	52
3.4.2	Abluftlinien	54
3.4.3	Belüftungsstrom	54
3.5	Luftaustausch der Karosserie mit der Umgebung	55
3.5.1	Gemessene Leckagelinien (Druckverlustlinien)	55
3.5.2	Dimensionslose Darstellung	57
3.5.3	Anwendungen der dimensionslosen Leckagelinie	58
3.5.4	Ableitung der Leckzu- und Abluftströme	59
3.5.5	Ergebnisse	60
3.5.6	Beispiele	62
	Literatur	63
4	Wärmestrom durch den Fahrgastraum	65
4.1	Definition der mittleren Innenraumlufttemperatur	65
4.2	Wärmebilanz	66
4.2.1	Winterbetrieb	66
4.2.2	Sommerbetrieb	67
4.3	Ansätze zur Abschätzung der Ablufttemperatur	67
4.3.1	Methode nach Frank	68
4.3.2	Methode nach Nitz und Hucho	68
4.4	Mittlere Innenraumlufttemperatur	69
4.5	Wärmedurchgang der Karosserie	69
4.5.1	Ermittlung der Wärmedurchgangszahl	70
	Literatur	75
5	Winterbetrieb	77
5.1	Messergebnisse an einer Heizung im Klimawindkanal	78
5.1.1	Instationäre Aufheizung im Außenluftbetrieb	78
5.1.2	Stationäre Aufheizung im Außen- und Umluftbetrieb	79
5.2	Erforderliche stationäre Heizleistung	79
5.2.1	Außenluftbetrieb	80
5.2.2	Umluftbetrieb	80
5.2.3	Beispiele	81

5.3	Wärmebilanz am Motor	82
5.3.1	Instationärer Betrieb	84
5.3.2	Stationärer Betrieb	84
5.4	Zusatzheizungen	85
5.4.1	Elektrische Zusatzheizung	85
5.4.2	Wärmepumpe mit dem Kältemittel R744 (CO ₂)	86
5.4.3	Standheizung	87
5.4.4	Wärmespeicher	87
5.4.5	Elektrische Vorwärmung der Kühlflüssigkeit	87
5.4.6	Nutzung der Motor-Restwärme, Speicherheizung	88
5.5	Scheibenbeschlag	88
5.5.1	Vorschriften	89
5.5.2	Strömungswalze an der Schalttafel	90
5.5.3	Coanda-Effekt an der Schalttafel	90
5.6	Elektrisch beheizte Scheiben	91
5.6.1	Strömungs- und Temperaturfelder	91
5.6.2	Verschiedene Anordnungen	92
	Literatur	97
6	Sommerbetrieb	99
6.1	Sonneneinstrahlung	99
6.1.1	Tagesgang der Sonne	99
6.1.2	Winkel zwischen der Flächennormalen und der Richtung zur Sonne	104
6.1.3	Eigenschaften verschiedener Gläser	107
6.1.4	Einfluss der Farben auf die Aufheizung lackierter Bleche in der Sonne	113
6.2	Aufheizung geparkter Pkws in der Sonne	117
6.2.1	Treibhauseffekt	118
6.3	Aufheizung der Luft an der Motorhaube und im Belüftungssystem ...	120
6.3.1	Versuche auf der Straße	121
6.3.2	Versuche im Klimawindkanal	121
6.3.3	Sonderversuche	123
6.3.4	Analysen	124
6.3.5	Aufheizung an der Motorhaube	124
6.3.6	Beispiele	127
6.4	Vergleich eines weißen und schwarzen Pkws ohne Kälteanlage im Klimawindkanal	128
6.4.1	Aufheizung der geparkten Pkws	129
6.4.2	Abkühlung	130
6.5	Messungen an einer Kälteanlage in einem Klimawindkanal im Außen- und im Umluftbetrieb	130
6.5.1	Instationäre Abkühlung im Umluftbetrieb	130
6.5.2	Stationäre Abkühlung im Außen- und Umluftbetrieb	131

6.6	Erforderliche stationäre Verdampferleistung	132
6.6.1	Umluftbetrieb	132
6.6.2	Außenluftbetrieb	134
6.6.3	Beispiele	135
6.7	Standbelüftung mit Solartechnik	137
6.8	Entstehung von Scheibenbeschlag im Sommer	139
	Literatur	139
7	Stofftransport	141
7.1	Wasserabscheidung	141
7.1.1	Lufttrittsystem und Wasserkasten	141
7.1.2	Verdampfer	142
7.1.3	Speicherung von Wasser im Verdampfer	143
7.1.4	Kondensation an Bauteilen	144
7.2	Filterung	144
7.3	Wasserdampf im Fahrgastraum	145
7.4	Gaskonzentration im Fahrgastraum	146
7.4.1	Stationäre Gaskonzentration	146
7.4.2	Instationäre Gaskonzentration im Fahrgastraum	147
7.5	Praktische Grenzwerte einer Kältemittelfüllung	150
	Literatur	150
8	Wärmeübertrager	153
8.1	Theoretische Wärmeströme verschiedener Wärmeübertrager	153
8.2	Kennlinien eines Heizungswärmeübertragers	158
8.2.1	Wärmestromfelder	159
8.2.2	Druckverlustlinien	165
8.3	Kennlinien eines Verdampfers	173
8.3.1	Gemessene Enthalpieströme	173
8.3.2	Druckverlustlinien, luftseitig	175
8.3.3	Luftseitige Wärmebilanz, sensible und latente Wärme	177
	Literatur	184
9	Kältemittelkreislauf	185
9.1	Kompressionskälteanlage mit R134a	186
9.2	Kompressionskälteanlage mit R774	187
	Literatur	190
10	Komforterhöhung und Energieersparnis	191
10.1	Karosserie	191
10.1.1	Geometrie und Ausführung der Scheiben	191
10.1.2	Wärmedämmung der Karosserie	191
10.1.3	Farbe der Lackierung	192
10.1.4	Wärmekapazitäten im Fahrgastraum	192

10.1.5	Lage und Ausführung der Luftansaugung	193
10.1.6	Solartechnik	193
10.2	Klimagerät	193
10.2.1	Regelungen des Außenluft- und Umluftbetriebs	193
10.2.2	Regelung der Lufttemperatur mit dem Saugdruck	194
10.2.3	Einsatz eines Wasserabsperrentils bei luftseitig geregelten Klimageräten	195
10.3	Kältemittelkreislauf	196
10.3.1	Drosselorgane	196
10.3.2	Innerer Wärmeübertrager	197
10.3.3	Geregelte Luftmassenströme durch den Kondensator	197
10.3.4	Ölabscheider	198
	Literatur	199
11	Prüfstände	201
11.1	Klimawindkanäle	201
11.1.1	Aufgaben	202
11.1.2	Beschreibung	203
11.2	Prüfstand für Komponenten der Heizung, Lüftung und Klimaanlage	205
11.2.1	Aufgaben	206
11.2.2	Beschreibung	206
11.2.3	Auswertung der Messungen	208
11.3	Prüfstand für komplette Kältemittel-Kreisläufe	218
11.3.1	Aufgaben	218
11.3.2	Beschreibung	218
11.4	Prüfstand zur Messung der Luftströme durch den Fahrgastraum ...	219
11.4.1	Aufgaben	221
11.4.2	Beschreibung	222
11.4.3	Typische Versuche	222
11.5	Beregnungsanlage mit schwenkbarer Hebebühne	223
11.5.1	Aufgaben	223
11.5.2	Beschreibung	223
11.5.3	Prüfvorschriften	224
	Literatur	225
12	Straßenversuche	227
12.1	Messungen der Temperaturen im Fahrgastraum	228
12.2	Messung luftseitiger Differenzdrücke	229
12.2.1	Anwendung eines Prandtl-Rohres	229
12.2.2	Anwendung eines kalibrierten Bezugspunktes an der Karosserie	232
	Literatur	232

13	Anhang A bis E	233
13.1	Anhang A: Diagramme	233
13.1.1	Mollier-h, x-Diagramm für feuchte Luft	233
13.1.2	Äthylenglykol-Wassermischungen: Dichte, spez. Wärmekapazität, Viskosität und Prandtl-Zahlen	234
13.1.3	lg p, h-Diagramm des Kältemittels R134a	238
13.1.4	lg p, h-Diagramm des Kältemittels R744	238
13.2	Anhang B: Häufig verwendete Formeln	239
13.2.1	Strömungsmechanik	239
13.2.2	Wärmeübertragung	240
13.2.3	Mechanik	242
13.2.4	Mathematik	242
13.2.5	Umrechnung angelsächsischer Einheiten in SI-Einheiten	243
13.3	Anhang C: Darstellung der Kennlinien mit empirischen Formeln	244
13.3.1	Theoretische Grundlagen	244
13.3.2	Beispiele	246
13.4	Anhang D: Approximation des Wärmestromfelds eines Heizungswärmeübertragers	252
13.4.1	Modell: $k_A = \dot{Q}_{100}/100$	254
13.4.2	Modell: Gegenstromwärmeübertrager	255
13.4.3	Modell: Kreuzstromwärmeübertrager	257
13.5	Luftaustausch der Karosserie mit der Umgebung: Lösung der Integrale und Bestimmung der Streuung aus Messungen	258
13.5.1	Symmetrieeigenschaften	260
13.5.2	Umformung und Reihenentwicklung	261
13.5.3	Integration durch Reihenentwicklung	262
13.5.4	Modifikation der integrierten Reihenentwicklung	264
13.5.5	Ermittlung der Streuung aus gemessenen Leckagelinien	267
13.5.6	Sonderfälle im Wendepunkt einer dimensionslosen Leckagelinie	268
13.5.7	Bezeichnungen	269
	Literatur	270
	Sachverzeichnis	271