

Holger Großmann

Pkw-Klimatisierung

Physikalische Grundlagen
und technische Umsetzung

fyj Springer

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

3.2.1	Gebälsetypen.....	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 aridere 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
	VVärmestrom 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 Wännedurchgangszahl.....	70
	Literatur.....	75
	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

Inhalt

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 Kühflüssigkeit.....	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	Strömlings- und Temperaturfelder.....	91
5.6.2	Verschiedene Anordnungen.....	92
	Literatur.....	97
	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	Lufttrittssystem 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 Prandti-Rohres.....	229
12.2.2	Anwendung eines kalibrierten Bezugspunktes an der Karosserie.....	232
	Literatur.....	232

13 AnhangA bis E	233
13.1 AnhangA: 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 Ig 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: $k_A = \beta_{100}/100$	254
13.4.2 Modell: Gegenstromwärmeübertrager.....	255
13.4.3 Modell: Kreuzstrom Wärmeübertrager.....	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