
Inhaltsverzeichnis

1 Grundlagen	1
1.1 Historie	1
1.2 Weltweite Klimate	3
1.2.1 Lufttemperatur, Wasserdampfgehalt und Sonnenstrahlung	3
1.2.2 Luftdruck	5
1.2.3 Regen	6
1.3 Vorschriften, Normen und Richtlinien	7
Literatur	11
2 Klimaphysiologie	13
2.1 Abgrenzung zur Klimatisierung von Gebäuden	13
2.2 Thermodynamisches System „Mensch-Fahrgastraum“	14
2.3 Bewertungen	15
2.3.1 Behaglichkeitsmodell nach P. O. Fanger	15
2.3.2 Einfluss der Sonneneinstrahlung	17
2.3.3 Einfluss der Wasserdampf- und Schweißabgabe	19
2.3.4 Maximal zulässiger Wasserdampfgehalt der Luft	23
2.3.5 Kontakttemperatur	23
2.4 Messungen in einem Pkw	24
2.4.1 Einfluss der Sonneneinstrahlung auf die Regelung einer Klimaanlage	24
2.4.2 Einfluss der Temperatur auf die Herzfrequenz	25
2.5 Klimamess-Puppen	26
2.6 Beispiele	27
Literatur	30
3 Luftstrom durch den Fahrgastraum	33
3.1 Zu- und Abluftöffnungen	34
3.2 Gebläsekennlinien	35
3.2.1 Gebläsetypen	35
3.2.2 Kennlinien eines Radialgebläses	36

3.2.3	Differenz des Schalldrucks	44
3.2.4	Beispiele	45
3.3	Durchströmung der Komponenten	50
3.3.1	Abhängigkeit von der Reynolds Zahl	51
3.3.2	Rohrreibungszahlen aus der Literatur	52
3.3.3	Umrechnung der Messergebnisse auf eine andere Luftdichte und Viskosität	53
3.3.4	Beispiele	55
3.4	Ermittlung des Belüftungsstroms	57
3.4.1	Messmethoden	57
3.4.2	Abluftlinien	58
3.4.3	Belüftungsstrom	59
3.5	Luftaustausch der Karosserie mit der Umgebung	59
3.5.1	Gemessene Leckagelinien (Druckverlustlinien)	60
3.5.2	Dimensionslose Darstellung	61
3.5.3	Anwendungen der dimensionslosen Leckagelinie	62
3.5.4	Ableitung der Leckzu- und Abluftströme	63
3.5.5	Ergebnisse	65
3.5.6	Beispiele	66
	Literatur	67
4	Wärmestrom durch den Fahrgastraum	69
4.1	Definition der mittleren Innenraumlufttemperatur	69
4.2	Wärmebilanz	70
4.2.1	Winterbetrieb	70
4.2.2	Sommerbetrieb	71
4.3	Ansätze zur Abschätzung der Ablufttemperatur	71
4.3.1	Methode nach Frank	72
4.3.2	Methode nach Nitz und Hucho	72
4.4	Mittlere Innenraumlufttemperatur	72
4.5	Wärmedurchgang der Karosserie	73
4.5.1	Ermittlung der Wärmedurchgangszahl	74
	Literatur	79
5	Winterbetrieb	81
5.1	Messergebnisse an einer Heizung im Klimawindkanal	82
5.1.1	Instationäre Aufheizung im Außenluftbetrieb	82
5.1.2	Stationäre Aufheizung im Außen- und Umluftbetrieb	83
5.2	Erforderliche stationäre Heizleistung	83
5.2.1	Außenluftbetrieb	84
5.2.2	Umluftbetrieb	84
5.2.3	Beispiele	85
5.3	Wärmebilanz am Motor	86
5.3.1	Instationärer Betrieb	88
5.3.2	Stationärer Betrieb	88

5.4	Zusatzheizungen	89
5.4.1	Elektrische Zusatzheizung	89
5.4.2	Wärmepumpe mit dem Kältemittel R744 (CO ₂)	90
5.4.3	Standheizung	91
5.4.4	Wärmespeicher	92
5.4.5	Elektrische Vorerwärmung des Kühlmittels	92
5.4.6	Nutzung der Motor-Restwärme, Speicherheizung	92
5.5	Scheibenbeschlag	92
5.5.1	Vorschriften	93
5.5.2	Strömungswalze an der Schalttafel	94
5.5.3	Coanda-Effekt an der Schalttafel	94
5.6	Elektrisch beheizte Scheiben	95
5.6.1	Strömungs- und Temperaturfelder	96
5.6.2	Verschiedene Anordnungen	97
	Literatur	102
6	Sommerbetrieb	103
6.1	Sonneneinstrahlung	103
6.1.1	Tagesgang der Sonne	103
6.1.2	Winkel zwischen der Flächennormalen und der Richtung zur Sonne	110
6.1.3	Eigenschaften verschiedener Gläser	113
6.1.4	Einfluss der Farben auf die Aufheizung lackierter Bleche in der Sonne	120
6.2	Aufheizung geparkter Pkw in der Sonne	124
6.2.1	Treibhauseffekt	125
6.3	Aufheizung der Luft an der Motorhaube und im Belüftungssystem	127
6.3.1	Versuche auf der Straße	128
6.3.2	Versuche im Klimawindkanal	128
6.3.3	Sonderversuche	130
6.3.4	Analysen	131
6.3.5	Aufheizung an der Motorhaube	132
6.3.6	Beispiele	134
6.4	Vergleich eines weißen und schwarzen Pkw ohne Kälteanlage im Klimawindkanal	136
6.4.1	Aufheizung der geparkten Pkw	137
6.4.2	Abkühlung	137
6.5	Messungen an einer Kälteanlage in einem Klimawindkanal im Außen- und im Umluftbetrieb	139
6.5.1	Instationäre Abkühlung im Umluftbetrieb	139
6.5.2	Stationäre Abkühlung im Außen- und Umluftbetrieb	140
6.6	Erforderliche stationäre Verdampferleistung	140
6.6.1	Umluftbetrieb	140
6.6.2	Außenluftbetrieb	142
6.6.3	Beispiele	143

6.7	Standbelüftung mit Solartechnik	146
6.8	Entstehung von Scheibenbeschlag im Sommer	148
	Literatur	148
7	Stofftransport	151
7.1	Wasserabscheidung	151
7.1.1	Lufteintrittssystem und Wasserkasten	151
7.1.2	Verdampfer	152
7.1.3	Speicherung von Wasser im Verdampfer	153
7.1.4	Kondensation an Bauteilen	154
7.2	Filterung	154
7.3	Wasserdampf im Fahrgastraum	155
7.4	Gaskonzentration im Fahrgastraum	156
7.4.1	Stationäre Gaskonzentration	156
7.4.2	Instationäre Gaskonzentration im Fahrgastraum	157
7.5	Praktische Grenzwerte einer Kältemittelfüllung	160
	Literatur	161
8	Wärmeübertrager	163
8.1	Theoretische Wärmeströme verschiedener Wärmeübertrager	163
8.2	Kennlinien eines Heizungswärmeübertragers	169
8.2.1	Wärmestromfelder	169
8.2.2	Druckverlustlinien	177
8.3	Kennlinien eines Verdampfers	187
8.3.1	Gemessene Enthalpieströme	187
8.3.2	Druckverlustlinien, luftseitig	190
8.3.3	Luftseitige Wärmebilanz, sensible und latente Wärme	190
	Literatur	199
9	Kältemittelkreislauf	201
9.1	Kompressionskälteanlage mit R134a	202
9.2	Kompressionskälteanlage mit R744	204
9.3	Kompressionskälteanlage mit R1234yf	206
	Literatur	207
10	Komforterhöhung und Energieersparnis	209
10.1	Karosserie	209
10.1.1	Geometrie und Ausführung der Scheiben	209
10.1.2	Wärmedämmung der Karosserie	210
10.1.3	Farbe der Lackierung	211
10.1.4	Wärmekapazitäten im Fahrgastraum	211
10.1.5	Lage und Ausführung der Luftansaugung	212
10.1.6	Solartechnik	212

10.2 Klimagerät	213
10.2.1 Regelung des Außenluft- und Umluftbetriebs	213
10.2.2 Regelung der Lufttemperatur mit dem Saugdruck	215
10.2.3 Einsatz eines Wasserabsperrventils bei luftseitig geregelten Klimageräten	216
10.3 Kältemittelkreislauf	217
10.3.1 Drosselorgane	217
10.3.2 Innerer Wärmeübertrager	218
10.3.3 Geregelte Luftmassenströme durch den Kondensator	218
10.3.4 Ölabscheider	219
Literatur	220
11 Prüfstände	221
11.1 Klimawindkanäle	221
11.1.1 Aufgaben	222
11.1.2 Beschreibung	223
11.2 Prüfstand für Komponenten der Heizung, Lüftung und Klimaanlage	224
11.2.1 Aufgaben	226
11.2.2 Beschreibung	226
11.2.3 Auswertung der Messungen	228
11.3 Prüfstand für komplette Kältemittel-Kreisläufe	240
11.3.1 Aufgaben	240
11.3.2 Beschreibung	240
11.4 Prüfstand zur Messung der Luftströme durch den Fahrgastraum	241
11.4.1 Aufgaben	243
11.4.2 Beschreibung	244
11.4.3 Typische Versuche	244
11.5 Beregnungsanlage mit schwenkbarer Hebebühne	245
11.5.1 Aufgaben	245
11.5.2 Beschreibung	245
11.5.3 Prüfvorschriften	246
Literatur	247
12 Straßenversuche	249
12.1 Messungen der Temperaturen im Fahrgastraum	250
12.2 Messung luftseitiger Differenzdrücke	251
12.2.1 Anwendung eines Prandtl-Rohres	251
12.2.2 Anwendung eines kalibrierten Bezugspunktes an der Karosserie	254
Literatur	254
13 Elektrisch betriebene Pkw	255
13.1 Antriebsarten	255

13.2 Reichweiten	256
13.2.1 Auswertung von Pressemitteilungen und Angaben aus der Literatur	256
13.3 Einfluss der Klimatisierung auf die Reichweite	257
13.4 Besonderheiten bei der Auslegung einer Klimaanlage	258
13.5 Technische Potenziale	260
Literatur	262
14 Anhang A bis E	263
14.1 Anhang A: Diagramme	263
14.1.1 Mollier-h, x-Diagramm für feuchte Luft	263
14.1.2 Äthylenglykol-Wassermischungen: Dichte, spez. Wärmekapazität, Viskosität und Prandtl-Zahlen	264
14.1.3 lg p, h-Diagramm des Kältemittels R134a	268
14.1.4 lg p, h-Diagramm des Kältemittels R744	268
14.2 Anhang B: Häufig verwendete Formeln	269
14.2.1 Strömungsmechanik	269
14.2.2 Wärmeübertragung	270
14.2.3 Mechanik	273
14.2.4 Mathematik	273
14.2.5 Umrechnung angelsächsischer Einheiten in SI-Einheiten	274
14.3 Anhang C: Darstellung der Kennlinien mit empirischen Formeln	274
14.3.1 Theoretische Grundlagen	274
14.3.2 Beispiele	276
14.4 Anhang D: Approximation des Wärmestromfelds eines Heizungswärmeübertragers	283
14.4.1 Modell: $k_A = \dot{Q}_{100}/100$	284
14.4.2 Modell: Gegenstromwärmeübertrager	286
14.4.3 Modell: Kreuzstromwärmeübertrager	288
14.5 Anhang E: Luftaustausch der Karosserie mit der Umgebung, Lösung der Integrale und Bestimmung der Streuung aus Messungen	290
14.5.1 Symmetrieeigenschaften	291
14.5.2 Umformung und Reihenentwicklung	292
14.5.3 Integration durch Reihenentwicklung	294
14.5.4 Modifikation der integrierten Reihenentwicklung	295
14.5.5 Ermittlung der Streuung aus gemessenen Leckagelinien	298
14.5.6 Sonderfälle im Wendepunkt einer dimensionslosen Leckagelinie	299
14.5.7 Bezeichnungen	300
Literatur	301
Sachverzeichnis	303