

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Aufgabenstellung	6
3	Stand der Forschung	8
3.1	Substitute für die Kältemittel R22 und R502	8
3.1.1	Einstoffkältemittel	8
3.1.2	Kältemittelgemische	16
3.2	Leckageuntersuchungen mit Kältemittelgemischen	19
3.3	Konzentrationsbestimmung von Kältemittelgemischen	22
3.4	Expansionsventile für Kältemittelgemische	23
3.4.1	Konventionelle Expansionsventile	23
3.4.2	Elektronische Expansionsventile	23
4	Theoretische Untersuchungen	26
4.1	Stoffdatenprogramm	26
4.2	Leckagen aus einem Behälter	27
4.3	Leckagen nach dem Expansionsventil	33

4.4	Kreislaufsimulationsprogramm für Gemische	35
4.5	Anlagensimulationsprogramm PKW-Klimaanlage	39
4.5.1	Anlagenschema	39
4.5.2	Verdichter	42
4.5.3	Verflüssiger	43
4.5.4	Expansionsventil	46
4.5.5	Verdampfer	47
4.5.6	Gleichungssystem	50
4.5.7	Ergebnisse	52
5	Experimentelle Untersuchungen	54
5.1	Versuchsanlagen	54
5.1.1	PKW-Klimaanlage	55
5.1.2	Supermarktkälteanlage	61
5.2	Messung der Gemischzusammensetzung	66
5.3	Leckageuntersuchungen mit binären Gemischen	66
5.3.1	Leckageversuche PKW-Klimaanlage mit R23/R152a	67
5.3.2	Konzentrationsverschiebungen in der Versuchsanlage	75
5.3.3	Analyse der Öl-Kältemittel-Zusammensetzung	81
5.3.4	Mögliche Ursachen für die Konzentrationsverschiebung	87
5.3.5	Leckageversuche aus einem Behälter mit R23/R152a	90
5.4	Leckageuntersuchungen mit ternären Kältemittelgemischen	92
5.5	Konzentrationsbestimmungen	95

5.5.1	Definitionen	103
5.5.2	Verfahren 'Massenbestimmung'	105
5.5.3	Verfahren 'Volumenbestimmung'	108
5.5.4	Verfahren 'isenthalpe Drosselung'	109
5.5.5	Messung der Brechungsindizes	113
5.6	Expansionsventile für Kältemittelgemische	116
5.6.1	Thermostatische Expansionsventile	116
5.6.2	Elektronische Expansionsventile	118
5.7	Untersuchungen mit R502/R22 Ersatzstoffen	124
5.7.1	Versuchsdurchführung	124
5.7.2	Leistungsmessung	126
5.7.3	Verdichterverhalten	128
6	Vergleich Messung - Rechnung	130
6.1	Leckageuntersuchungen	130
6.2	Konzentrationsbestimmung	130
6.3	Betriebsverhalten PKW-Klimaanlage	133
7	Zusammenfassung	135
	Literaturverzeichnis	137
A	Bildanhang	146