

INHALTSVERZEICHNIS

SYMBOLVERZEICHNIS

v

1. EINLEITUNG

1

2. LITERATURRECHERCHE

4

2.1 Klassifizierung der Fluidströmungen	4
2.1.1 Einphasenströmungen	7
2.1.1.1 Reibungsdruckverlust in Einphasenströmungen	7
2.1.2 Zweiphasenströmungen	10
2.1.2.1 Reibungsdruckverlust in Zweiphasenströmungen	13
2.1.2.2 Beschleunigungsdruckabfall	17
2.1.2.3 Mittlerer volumetrischer Dampfgehalt	18
2.2 Drosselströmungen	19
2.2.1 Kritischer Strömungszustand in Drosseln	19
2.2.2 Drosselströmungen in Kapillaren	20
2.2.3 Drosselströmungen in Blenden	23
2.2.4 Drosselströmungen im Ventil	26
2.3 Thermodynamisches Nichtgleichgewicht in Fluidsystemen	27
2.4 Stoffdaten von Kältemitteln und Ölen sowie Kältemittel/Öl-Gemischen	34
2.4.1 Stoffdaten für das reine Kältemittel R134a	35
2.4.2 Stoffdaten für das Polyolester-Kältemaschinenöl RL184	37
2.4.3 Stoffdaten von Kältemittel/Öl-Gemischen aus R134a/RL184	38
2.4.3.1 Messung der Stoffdaten von Gemischen aus R134a/RL184	39
2.4.3.2 Berechnungsansätze für Stoffdaten von Kältemittel/Öl-Gemischen	42
2.5 Wissensstand	44

3. AUFGABENSTELLUNG

46

4. EXPERIMENTELLE UNTERSUCHUNGEN	48
4.1 Physikalisches Modell	48
4.2 Versuchsanlage	54
4.2.1 Versuchskonzept	54
4.2.2 Vereinfachtes Funktionsschema der Versuchsanlage ohne Ölkreislauf	56
4.2.3 Vereinfachtes Funktionsschema der Versuchsanlage mit Ölkreislauf	58
4.2.4 Vollständiges Funktionsschema der Versuchsanlage	59
4.2.5 Beschreibung wichtiger Einzelkomponenten	64
4.2.5.1 Membranpumpen	64
4.2.5.2 Meßkammer	64
4.2.5.3 Filter und Trockenpatrone	65
4.2.6 Meß- und Regelungstechnik sowie Kalibrierung	65
4.2.6.1 Messung der Ölkonzentration	65
4.2.6.2 Messung des Massenstromes	66
4.2.6.3 Druckmessung	66
4.2.6.4 Temperaturmessung	66
4.2.6.5 Meßdatenerfassung	67
4.2.6.6 Regelung der Versuchsanlage	67
4.2.7 Teststrecken	69
4.2.7.1 Rohre	69
4.2.7.2 Kapillaren	70
4.2.7.3 Blenden	72
4.2.7.4 Ventil	73
4.2.8 Verwendete Materialien	74
4.2.9 Vorversuche	74
4.2.9.1 Druckmessungen	75
4.2.9.2 Messung der Temperaturen	75
4.2.9.3 Dichtemessung	80
4.2.9.4 Funktion des Ölkreislaufs	80

5. BETRIEBSBEDINGUNGEN FÜR DIE HAUPTVERSUCHE	82
5.1 Versuchsablauf	82
5.2 Versuche mit reinem R134a und R134a/RL184-Gemischen	83
6. VERSUCHSERGEBNISSE	88
6.1 Einphasenströmungen in Rohren	90
6.2 Zweiphasenströmungen in Rohren	91
6.3 Drosselströmungen	96
6.3.1 Drosselströmungen in Kapillaren	96
6.3.1.1 Kapillarströmungen von reinem Kältemittel R134a	96
6.3.1.2 Einfluß des Öls auf R134a/RL184-Kapillar- strömungen	99
6.3.1.3 Abhängigkeit der Massenstromdichte in Kapillarströmungen von den Randbe- dingungen	102
6.3.2 Untersuchung des Thermodynamischen Nicht- gleichgewichts in Kapillarströmungen	104
6.3.2.1 Verfahren zur Bestimmung des Thermo- dynamischen Nichtgleichgewichts am Verdampfungsbeginn und im Bereich der zweiphasigen Kapillarströmung	105
6.3.2.2 Auswertung der Versuchsergebnisse zum Thermodynamischen Nichtgleichgewicht am Verdampfungsbeginn	120
6.3.2.3 Zusammenhang zwischen Siedeverzugszeit und Massenstromdichte in Kapillarströ- mungen mit reinem R134a	125
6.3.2.4 Einfluß des Öls auf die Siedeverzugszeit in R134a/RL184 Kapillarströmungen	128
6.3.2.5 Entwicklung des Thermodynamischen Nicht- gleichgewichts stromabwärts vom Verdamp- fungsbeginn in reinen R134a- und R134a/RL184-Kapillarströmungen	129
6.3.3 Drosselströmungen in Blenden	130
6.3.4 Drosselströmungen im Ventil	132

7. ENTWICKLUNG UND BEWERTUNG VON MODELLEN ZUR BERECHNUNG DES STRÖMUNGS- UND DROSSLERHALTENS VON KÄLTE-MITTEL/ÖL-GEMISCHEN	136
7.1 Berechnung des Strömungsverhaltens von Einphasenströmungen in geraden Rohren	136
7.2 Berechnung des Strömungsverhaltens von Zweiphasenströmungen in geraden Rohren	138
7.3 Berechnung des Verhaltens von Drosselströmungen	141
7.3.1 Berechnung von Drosselströmungen in Kapillaren	142
7.3.2 Berechnung von Drosselströmungen in Blenden	145
7.3.3 Berechnung von Drosselströmungen im Ventil	147
7.4 Vergleich von Strömungs- und Drosselverhalten der Kältemittel R134a und R12	150
8. ZUSAMMENFASSUNG	154
9. LITERATURVERZEICHNIS	159
10. ANHANG	