

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 DROSSELVERHALTENS VON KÄLTEMITTEL/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 | |