

Inhaltsverzeichnis

Symbolen und Abkürzungen	xix
1. Einleitung	1
1.1. Stand der Technik	2
1.1.1. Der Kalt dampfkälteprozess	2
1.1.2. Regelungsstrategien für elektronische Expansionsventile	4
1.2. Zielsetzung der Arbeit	6
1.3. Veröffentlichungen	7
2. Vorteile eines gering überhitzten oder zweiphasigen Austrittszustands	9
2.1. Plank-Prozess für verschiedene Kältemittel und Überhitzungsgrade	9
2.2. Verdampferleistung in Abhängigkeit vom Überhitzungsgrad	17
2.3. Interne Wärmeübertrager	23
2.4. Zusammenfassung	26
3. Versuchsanlage und Messmethoden	27
3.1. Optische Messstrecke	33
3.2. Zweiphasenströmung am Verdampferaustritt	35
3.3. Möglichkeiten zur Bestimmung des Flüssigkeitsanteils am Verdampferaustritt	40
3.3.1. Methoden der Thermodynamik und elektrischen Messtechnik	41
3.3.2. Optische Verfahren	46
3.3.3. Diskussion der verfügbaren Verfahren	51
3.4. Entwicklung einer geeigneten Sensorik für den Flüssigkeitsanteil als Regelgröße	54
3.4.1. Optoelektronischer Sensor	54
3.4.1.1. Grundlagen	54
3.4.1.2. Aufbau des Sensors	58
3.4.1.3. Kalibrierung des Sensors	62
3.4.1.4. Simulationsmodell des Sensors zur Messwertinterpretation	67
3.4.2. Graustufen	68
3.4.3. Vergleich der Verfahren	71
3.5. Zusammenfassung	75

4. Modell und Messung von Verdampfer und Zweiphasenströmung	77
4.1. Modellierung des Verdampfers	77
4.1.1. Druckverluste	80
4.1.2. Wärmeübergang	83
4.1.3. Modellierung von Ungleichverteilung	88
4.2. Ungleichgewicht von unterkühlter Flüssigkeit und überhitztem Gas am Verdampferaustritt	93
4.2.1. Finites Volumenmodell einer Tröpfchenströmung im Rundrohr	97
4.3. Abgleich der Verdampfermodelle mit Messdaten	101
4.3.1. Verdampferaustritt im Nassdampfgebiet	103
4.3.2. Überhitzter Austrittszustand am Verdampfer	109
4.3.3. Instabiles Verdampferverhalten	110
4.3.4. Bewertung von Ungleichverteilungseffekten in Modell und Experiment	114
4.4. Zusammenfassung	117
5. Flüssigkeitstoleranz des Verdichters und Modellierung	119
5.1. Wirkung von Flüssigkeit im Sauggas auf den Verdichter	119
5.2. Modellierung des Verdichters	125
5.3. Zusammenfassung	132
6. Verdampferregelung auf Basis des Flüssigkeitsanteils am Austritt	135
6.1. Grenzen der Verdampferregelung mit Druck- und Temperatursignal	135
6.2. Entwurf einer geeigneten Regelung	141
6.3. Bewertung der Regelungskonzepte	143
6.4. Bewertung der Regelungskonzepte im Versuch	144
6.5. Regelung nach dem Flüssigkeitsanteil ohne IHX	150
6.6. Ausregelung von Schwingungen	152
6.7. Regelung nach dem Flüssigkeitsanteil im Kältekreis mit IHX	154
6.8. Zusammenfassung	159
7. Anwendungsbeispiel: Regelung unter netzdienlichen Aspekten	161
7.1. Dezentrales Lastmanagement	161
7.2. Bereitstellung von Regelenergie	163
8. Zusammenfassung der Arbeit	167
A. Anhang 1	171
Literaturverzeichnis	173
Betreute Abschlussarbeiten	189