

# Inhaltsverzeichnis

<b>Symbole und Abkürzungen</b>	<b>xix</b>
<b>1. Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1. Stand der Technik . . . . .	2
1.1.1. Der Kaltdampfkalteprozess . . . . .	2
1.1.2. Regelungsstrategien für elektronische Expansionsventile . . . . .	4
1.2. Zielsetzung der Arbeit . . . . .	6
1.3. Veröffentlichungen . . . . .	7
<b>2. Vorteile eines gering überhitzten oder zweiphasigen Austrittszustands</b>	<b>9</b>
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
<b>3. Versuchsanlage und Messmethoden</b>	<b>27</b>
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

<b>4. Modell und Messung von Verdampfer und Zweiphasenströmung</b>	<b>77</b>
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
<b>5. Flüssigkeitstoleranz des Verdichters und Modellierung</b>	<b>119</b>
5.1. Wirkung von Flüssigkeit im Sauggas auf den Verdichter . . . . .	119
5.2. Modellierung des Verdichters . . . . .	125
5.3. Zusammenfassung . . . . .	132
<b>6. Verdampferregelung auf Basis des Flüssigkeitsanteils am Austritt</b>	<b>135</b>
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
<b>7. Anwendungsbeispiel: Regelung unter netzdienlichen Aspekten</b>	<b>161</b>
7.1. Dezentrales Lastmanagement . . . . .	161
7.2. Bereitstellung von Regelennergie . . . . .	163
<b>8. Zusammenfassung der Arbeit</b>	<b>167</b>
<b>A. Anhang 1</b>	<b>171</b>
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>173</b>
<b>Betreute Abschlussarbeiten</b>	<b>189</b>