

1	Einleitung	1
1.1	Motivation und Zielsetzung der Arbeit	2
2	Thermomanagement in Kraftfahrzeugen	5
2.1	Topologie von Thermomanagementsystemen in Kraftfahrzeugen	6
2.2	Anforderung an die Innenraumkonditionierung	7
2.3	Aggregate im Traktionssystem	13
2.3.1	Elektrischer Fahrmotor	14
2.3.2	Leistungselektronik	14
2.3.3	Batteriesystem	15
2.4	Bauteile einer Kompressionskältemaschine	16
2.4.1	Verdichter	17
2.4.2	Expansions- und Absperrventile	19
2.4.3	Akkumulator	21
2.4.4	Druck- und Temperatursensoren	22
2.4.5	Wärmeübertrager	23
2.4.6	Ventilator	26
2.4.7	Arbeitsmedien für Kompressionskältemaschinen	27
2.5	Bekannte Ansätze zur Regelung von Kompressionskältemaschinen	28
3	Neuartiges Regelungskonzept für einen Kaltdampfprozess	31
3.1	Hierarchische Regelkreisarchitektur	31
3.2	Grundlagen des Kaltdampfprozesses	33
3.3	Untersuchtes Kältemittelkreislaufsystem	37
3.3.1	Heizbetrieb	38

3.3.2	Kühlbetrieb	40
3.3.3	Kombinierter Kühl- und Heizbetrieb	41
3.4	Einführung von Zustandsgrößen im Kältemittelkreissystem	42
3.4.1	Kältemittelmassenstrom	45
3.4.2	Druckdifferenz	47
3.4.3	Massenstromaufteilung	50
3.4.4	Kältemittelverlagerung	51
3.5	Etablierung eines Kaltdampfprozesses	54
3.6	Regelkreisstruktur	59
3.6.1	Wärmestrom-Regelkreis	60
3.6.2	Druckdifferenz-Regelkreis	62
3.6.3	Massenstromaufteilung-Regelkreis	66
3.6.4	Luftmassenstrom-Regelkreis	67
3.6.5	Unterlagerter Kühlmittel-Volumenstrom-Regelkreis	70
3.6.6	Äußerer Regelkreis zur Innenraumregelung	70
3.7	Stabilitätsbetrachtung der Regelstrecke	72
3.8	Betriebsstrategie	73
3.8.1	Kondensat- und Reifbildung an Luft/Kältemittel-Wärmeübertrager	73
3.8.2	Wahl der Verdampfungsquelle	79
3.8.3	Optimale Ausnutzung der Wärmeübertrager bezüglich der Gesamtsystemeffizienz	80
3.8.4	Wahl der Durchströmung des Wärmeübertragers	80
3.8.5	Einfluss der Innenraumregelung auf die Gesamteffizienz	81
3.9	Untersuchung eines zweiteiligen Umgebungsluftwärmeübertragers	83
3.10	Generische Reglerauslegung	85
3.10.1	Modellgenerierung mit der Simulationsumgebung Dymola	85
3.10.2	Kopplung und Testfälle	86
3.10.3	Vorteile der generischen Entwicklungsumgebung	87
4	Experimentelle Untersuchungen des Regelungskonzepts	89
4.1	Untersuchung an einem Versuchsträger	89
4.2	Untersuchung am Prüfstand	90
4.3	Verwendete Messtechnik	90
4.4	Messergebnisse	91

5 Diskussion	97
5.1 Grenzen des Regelungskonzepts	97
5.2 Potenziale des Regelungskonzepts	98
5.2.1 Übertragbarkeit auf Systeme geringerer Komplexität	98
5.2.2 Validierung von Änderungen im Konzept	98
5.2.3 Robustheit gegenüber Systemparameteränderungen	99
6 Abschließende Betrachtung	101
6.1 Zusammenfassung	101
6.2 Ausblick	101
6.2.1 Selektive Nutzung von Energiespeichern aufgrund von Streckendaten	102
6.2.2 Kontrollierte Vereisung des Umgebungswärmeübertragers	103
Literatur	105