

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	1
1.1 Ziele und Aufbau der Arbeit	4
1.2 Regelgrößen für Standard-Kältemittelkreisläufe	6
1.3 Regelungskonzepte für Kältemittelkreisläufe	10
1.3.1 Regelungskonzepte in der Literatur	10
1.3.2 Regelungskonzepte in dieser Arbeit	21
2 Kältemittelkreislauf im Elektrofahrzeug	25
2.1 Aufbau des Kältemittelkreislaufes	27
2.1.1 Gesamtsystem des Kältemittelkreislaufes	27
2.1.2 Komponenten des Kältemittelkreislaufes	32
2.2 Überblick über den Prüfstand	40
2.2.1 Sensorik am Prüfstand	42
2.2.2 Limitierungen des Prüfstandes	44
2.3 Kältemittel im Kreislauf	45
3 Modellierung und Identifikation des Kältemittelkreislaufes	49
3.1 Struktur des Gesamtmodells	50
3.2 Modellierung und Identifikation der stationären Komponenten	53
3.2.1 Modellierung des Kompressors	53
3.2.2 Modellierung der Expansionsventile	54
3.2.3 Identifikation und Validierung der stat. Komponenten	56
3.3 Modellierung und Identifikation der dynamischen Komponenten	65
3.3.1 Modellierung eines luftbeaufschlagten Wärmeübertragers	65
3.3.2 Modifikationen am Modell für Chiller und IWT	73
3.3.3 Diskussion der Diskretisierungsmethodik	78
3.3.4 Diskretisierung der Modellgleichungen	80
3.3.5 Identifikation und Validierung der dyn. Komponenten	87
3.4 Verschaltung zum Gesamtsystem	95
4 Mehrgrößenregelung des Kältemittelkreislaufes	103
4.1 Systemanalyse des Kältemittelkreislaufes	105
4.1.1 Regelziele und Abgrenzung der Regelstrecke	105
4.1.2 Steuer- und Beobachtbarkeitsanalyse der Regelstrecke	107
4.1.3 Stabilitätsanalyse der Regelstrecke	111

4.2 Auslegung der Regler	112
4.2.1 Modell zur Regler-Auslegung	114
4.2.2 Optimierungsbasierte Auslegung von PI-Reglern	120
4.2.3 Auslegung von LQI-Reglern mit Beobachter	136
4.2.4 Vergleich der Regelungsansätze	145
4.3 Vorsteuerung mit Störgrößenkompensation	147
4.3.1 Nichtlineare Modellreduktion	147
4.3.2 Inversionsbasierte Vorsteuerung	160
4.3.3 Wahl der Störgrößen	163
4.3.4 Vergleich der Regelungsansätze	165
4.4 Berücksichtigung der Stellgrößenbeschränkungen	175
4.4.1 Struktur zur Kompensation von Stellgrößenbeschränkungen	177
4.4.2 Zustandsraumdarstellung der Regler	179
4.4.3 Hanus-konditionierter Anti-Windup-Mechanismus	182
4.4.4 Beobachterbasierter Anti-Windup-Mechanismus	184
4.4.5 Anwendung der Kompensationsmethoden	189
4.5 Abschließender Vergleich der Regelungsansätze	192
5 Zusammenfassung	197
A Ergänzungen zur Validierung der Komponentenmodelle	199
B Ergänzungen zur Kompensation v. Stellgrößenbeschränkungen	203
B.1 Herleitung der generellen Struktur zur Kompensation	203
B.2 Zustandsraumdarstellungen der Zwei-Freiheitsgrade-Regler	205
B.3 Kompensationsterme für die Zwei-Freiheitsgrade-Regler	207
Abkürzungs- und Symbolverzeichnis	209
Abbildungsverzeichnis	221
Tabellenverzeichnis	223
Literaturverzeichnis	225