

Inhalt

1 Modellbasierte Applikation Thermomanagement	1
2 Relevante Grundlagen	5
2.1 Kühlluftdurchströmung	5
2.1.1 Aerodynamische Wechselwirkungen	6
2.1.2 Beeinflussbarkeit der Motorraumdurchströmung	11
2.2 Grundlagen der Kälteerzeugung in Kraftfahrzeugen	15
2.2.1 Kompressionskältemaschine mit Axialkolbenverdichter	15
2.2.2 Auswirkungen einer Luftmassenstromveränderung durch den Kältemittelkondensator auf Verdichterleistung	18
2.3 Design of Experiments zur Versuchsplanung und zur Generierung datengetriebener Modelle	22
2.3.1 Versuchsplanerstellung	22
2.3.2 Modellbildung	24
3 Stand der Technik	29
3.1 Steuergerätesoftware zur Thermomanagement-Regelung	29
3.1.1 Software im Steuergerät	30
3.1.2 Regelung der Kühlerlüfter	32
3.1.3 Regelung von Luftklappen im Kühlluftstrom	33
3.1.4 Regelung von Kühlmittelpumpen und -ventilen	34
3.2 Prüfstandsmessungen am Kaltkreislaufprüfstand	34
3.3 Modellierung von Kühlmittelkreisläufen mittels eindimensionaler Simulationswerkzeuge	37
3.3.1 Modellierung des hydraulischen Verhaltens	37
3.3.2 Modellierung des thermischen Verhaltens	40
3.3.3 Gekoppelte Simulation	41
3.4 Fahrzyklus und Umgebungsbedingungen	42
3.4.1 Zulassungszyklen	44
3.4.2 Kundennaher Fahrzyklus: Artemis	46
3.4.3 Verteilungsfunktion der Umgebungsbedingungen	49
4 Modellbasiertes Luftmassenstrommanagement	53
4.1 Kühlluftbedingte Fahrwiderstandsleistung	55
4.2 Leistungsaufnahme der elektrischen Kühlerlüfter	57
4.3 Mechanische Kältemittelverdichterleistung	57
4.3.1 Einflussparameter	57
4.3.2 Sensitivitätsanalyse	60
4.3.3 Luftmassenstrom durch den Kältemittelkondensator	63
4.3.4 Verdampfer-Wärmestrom	74

4.3.5	Eindimensionales Simulationsmodell zur Bedatung des Verdicht- termodells auf dem Steuergerät	75
4.3.6	Kältemittelverdichttermodell auf dem Steuergerät	78
4.4	Umsetzung des modellbasierten Luftmassenstrommanagements in einer Steuergerätefunktion	81
4.4.1	Aufbau der Regelungsfunktion	82
4.4.2	Routine zur Berechnung des energieoptimierten Schaltzustandes	83
4.5	Ergebnisse	85
4.5.1	Randbedingungen der Vergleichsmessungen	85
4.5.2	Potential der Leistungsbilanzierung	86
4.6	Weiterentwicklungsmöglichkeiten der Funktion	89
5	Thermomanagement-Prüfstand gekoppelt an virtuelles Gesamtfahrzeug	91
5.1	Modellbasierte Funktionsentwicklung am Thermomanagement-Prüfstand	91
5.2	Aufbau, Funktionsweise und Vernetzung des Prüfstandes	93
5.2.1	Beschreibung der Einrichtung	93
5.2.2	Druck- und Temperatursimulationsmodule	95
5.2.3	Vernetzung und Kommunikation der Subsysteme	100
5.2.4	Einfache Anwendungsbeispiele	102
5.3	Gekoppelte Echtzeitsimulation der Thermomanagement-Systeme eines hybridisierten Sechszylinder-Dieselmotors	103
5.3.1	Modell der Fahrstrecke, des Fahrers und des Fahrzeuges zur Be- rechnung der Eingangsdaten der gekoppelten Simulation	104
5.3.2	Betriebsstrategie und Fahrleistungsberechnung	105
5.3.3	Modellierung der Kühlluftdurchströmung	105
5.3.4	Echtzeitfähige Modellierung der hydraulischen und thermischen Eigenschaften der Kühlkreisläufe	107
5.3.5	Datengetriebenes Modell des Kältemittelkreises in der Funktion Wärmepumpe	110
5.3.6	Modell zur Berechnung der Fahrzeuginnenraumtemperatur	111
5.3.7	Integration des Prüfstandes in das echtzeitfähige thermische Ge- samtfahrzeugmodell	114
5.4	Messungen am Prüfstand Thermomanagement gekoppelt an virtuelles Gesamtfahrzeug	114
5.4.1	Funktionsentwicklung und Vorapplikation am Prüfstand	114
5.4.2	Prüfstandsmessungen von Aufheizmessungen mit exemplarischen Applikationsvarianten	115
6	Zusammenfassung	123
	Formelzeichen	125
	Abkürzungsverzeichnis	127
	Abbildungsverzeichnis	130
	Literaturverzeichnis	131