



Martin Dellner (Autor)

# Modellbasierte Applikation Thermomanagement

Herausgeber: Prof. Dr. Kai Peter Birke

**ENERGIE & NACHHALTIGKEIT**  
Elektrische Energiespeichersysteme

Martin Dellner

## Modellbasierte Applikation Thermomanagement

Elektrische  
Energiespeichersysteme



Nachhaltige  
CO<sub>2</sub>-Kreisläufe



Elektromobilität &  
Batterietechnologie



Cuvillier Verlag Göttingen  
Internationaler wissenschaftlicher Fachverlag

<https://cuvillier.de/de/shop/publications/8871>

Copyright:

Cuvillier Verlag, Inhaberin Annette Jentsch-Cuvillier, Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen,  
Germany

Telefon: +49 (0)551 54724-0, E-Mail: [info@cuvillier.de](mailto:info@cuvillier.de), Website: <https://cuvillier.de>

# Inhalt

<b>1</b>	<b>Modellbasierte Applikation Thermomanagement</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Relevante Grundlagen</b>	<b>5</b>
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
<b>3</b>	<b>Stand der Technik</b>	<b>29</b>
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
<b>4</b>	<b>Modellbasiertes Luftmassenstrommanagement</b>	<b>53</b>
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 Verdichtermodells auf dem Steuergerät . . . . .	75
4.3.6	Kältemittelverdichtermmodell auf dem Steuergerät . . . . .	78
4.4	Umsetzung des modellbasierten Luftmassenstrommanagements in einer Steuererätelfunktion . . . . .	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
<b>5</b>	<b>Thermomanagement-Prüfstand gekoppelt an virtuelles Gesamtfahrzeug</b>	<b>91</b>
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 Berechnung 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 Gesamtfahrzeugmodell . . . . .	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
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>123</b>
	<b>Formelzeichen</b>	<b>125</b>
	<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>127</b>
	<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>130</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>131</b>