
Inhaltsverzeichnis

Erklärung..... i

Vorwort ii

Kurzfassung..... iii

Abstractiv

Inhaltsverzeichnis..... v

Abbildungsverzeichnis.....x

Tabellenverzeichnisxvi

Formelverzeichnisxvii

Abkürzungsverzeichnis.....xviii

Verzeichnis der Formelzeichen und Indizesxxi

1 Einleitung 1

1.1 Technischer Hintergrund und Motivation 1

1.2 Gliederung der Arbeit 4

2 Grundlagen..... 5

2.1 Politische Rahmenbedingungen 5

2.2 Grundlagen der Thermodynamik..... 6

2.2.1 Der erste Hauptsatz der Thermodynamik für offene Systeme 6

2.2.2 Wärmeübertragung..... 8

2.3 Antriebsstrangkomponenten und -systeme im Fahrzeug..... 10

2.3.1 Verbrennungskraftmaschine 11

2.3.2 Elektrische Maschinen 26

2.3.3 Leistungselektronik..... 30

2.3.4 Traktionsbatterie 32

2.3.5 Antriebsstrangtopologien hybridisierter Fahrzeuge..... 35

2.4	Thermalkreislaufkomponenten und thermische Systeme im Fahrzeug	36
2.4.1	Anforderungen an Thermomanagementsysteme	36
2.4.2	Thermalkreislaufkomponenten.....	37
2.4.3	Thermalkreislaufsysteme unterschiedlicher Antriebsarchitekturen.....	39
3	Zielsetzung der Arbeit.....	44
3.1	Konzeptionierung eines ganzheitlichen Thermomanagementsystems zur Bewältigung kritischer, instationärer Fahrscenarien.....	44
3.2	Forschungsfragen im Kontext öffentlicher Förderprojekte.....	47
4	Konzeptionierung eines hochintegrierten PHEV-Thermalkreislaufsystems..	49
4.1	Anforderungen an den Konzeptionsprozess.....	49
4.1.1	Thematische Differenzierung der Teilaufgaben für die Konzeptionierung eines Thermalkreislaufsystems	49
4.1.2	Thermalkreislauf des Vergleichsfahrzeugs – Ausgangszustand	51
4.2	Konzeptionierung eines Thermalkreislaufmodells für ein PHEV	52
4.2.1	Effizienzpotenziale eines innovativen Thermalkreislaufsystems am Beispiel der Traktionsbatterie	53
4.2.2	Direkte Verbindung von Thermalkreisläufen zum situationsbasierten Wärmetransfer.....	54
4.2.3	3D Modellierung des Thermalkreislaufkonzepts für prototypische Umsetzung am PST.....	59
4.3	Modellbildung und Analyse eines thermisch repräsentativen Fahrzeugmodells	60
4.3.1	Architektur des echtzeitfähigen Fahrzeugmodells	61
4.3.2	Potenzialabschätzung zur Steigerung des Fahrzeugwirkungsgrads durch eine Thermalkreislaufintegration in ausgewählten Szenarien.....	68
4.3.3	Schnittstellen zum Co-Simulationsbetrieb am Hardware-in-the-Loop-Prüfstand.....	71
4.4	Thermalkreislaufkomponentenentwicklung.....	71
4.4.1	Thermohydraulischer Komponentenprüfstand – ThermoLab EVO 1	72

4.4.2	Entwicklung von Thermomanagementmodulen.....	73
4.4.3	Batteriekühlmodul.....	74
4.5	Teilsystemvalidierung am dynamischen thermohydraulischen Prüfstand – ThermoLab EVO 2	77
4.5.1	Der thermische Emulator als dynamisches Substitut von Komponenten und Antriebssystemen am thermohydraulischen Prüfstand	77
4.5.2	Teilsystemvalidierung des integrierten Thermalkreislaufsystems für instationäre Szenarien am ThermoLab EVO 2	85
4.6	Zusammenfassung der methodischen Konzeptionierung eines hochintegrierten Thermalkreislaufkonzepts.....	93
4.6.1	Der ThermoLab-Ansatz zur methodischen Entwicklung für effiziente Thermomanagementsysteme.....	93
4.6.2	Hochintegriertes Thermalkreislaufsystem zur Bewältigung kritischer Fahrscenarien	94
4.6.3	Ausblick.....	95
5	Potenzialanalyse eines Niedrigstemissionssystems für Diesel-Pkw.....	96
5.1	Motivation und Herausforderungen bei der Entwicklung eines Abgasnachbehandlungssystems mit Pre-Turbo-Katalysator.....	96
5.2	Effektive Nutzung der thermischen Randbedingungen vor Turbolader zur NO _x -Minderung durch Positionierung eines SCR-Systems vor der Turbine	98
5.2.1	Anforderungen an ein ganzheitliches Abgasnachbehandlungskonzept für einen Dieselhybrid-Pkw mit 48 V P1-Architektur.....	98
5.2.2	Konzept des ganzheitlichen Abgasnachbehandlungssystems für ein optimiertes Aufwärmverhalten.....	99
5.2.3	Herausforderungen und Forschungsfragen zur Analyse des Abgasnachbehandlungssystems.....	102
5.3	Versuchsumgebung und methodisches Vorgehen.....	103
5.3.1	Engine-in-the-Loop Motorprüfstand.....	103
5.3.2	Messtechnik und Messketten	104

5.3.3	Versuchsmotor	104
5.3.4	Abgasnachbehandlungssysteme für die Anwendung vor dem Abgasturbolader	105
5.3.5	Fahrscenarien.....	107
5.4	Einfluss des Pre-Turbo-Abgasnachbehandlungssystems auf den Motorprozess und das NO _x -Emissionsverhalten.....	108
5.4.1	Einfluss des PT-SCR auf die Zylinderfüllungsparameter	109
5.4.2	Einfluss des PT-SCR auf die NO _x -Rohemissionen.....	112
5.4.3	Zusammenfassung der Auswirkungen des PT-SCR auf den Motorprozess 114	
5.5	Auswahl einer SCR-Technologie vor dem Abgasturbolader	115
5.5.1	Vergleich chemischer Eigenschaften von Kupfer- und Eisenzeolithkatalysatoren	115
5.5.2	Entwicklung einer flexiblen HWL-Dosierstrategie für verschiedene SCR- Technologien und Randbedingungen	117
5.5.3	Vergleich des Umsatzverhaltens von Kupfer- und Eisenzeolithkatalysator vor Abgasturbolader	120
5.5.4	Schlussfolgerungen zur Auswahl einer SCR-Technologie vor Abgasturbolader	126
5.6	Analyse des Emissionsminderungspotenzials des ganzheitlichen Abgasnachbehandlungssystems.....	127
5.6.1	Inbetriebnahme der Bypassklappenstrategie	127
5.6.2	Ermittlung der Massenstromaufteilung zwischen Bypass und Pre-Turbo- SCR bei geöffneter Bypassklappe	128
5.6.3	Umsetzung der DPF-Regeneration am Motorprüfstand	130
5.6.4	Analyse des NO _x -Minderungspotenzials des Pre- und Post-Turbo- Abgasnachbehandlungssystems	133
5.7	Zusammenfassung der Ergebnisse und weitere Potenziale	138
5.7.1	Zusammenfassung der Konzeptionierung eines Emissionsminderungssystems für Diesel-Pkw	139

5.7.2	Emissionsminderungspotenzial des AGN mit PT-SCR unter Berücksichtigung zukünftiger Motortechnologien	140
5.7.3	Ausblick.....	142
6	Zusammenfassung und Ausblick.....	144
6.1	Zusammenfassung	144
6.2	Ausblick.....	146
Anhang	148
A	Anhänge zu Einleitung und Grundlagen	148
B	Thermalkreislaufsystem	152
C	Lebenslauf Michael Conin.....	153
Literaturverzeichnis.....		154
Verzeichnis studentischer Arbeiten im Rahmen dieser Dissertation.....		163
Wissenschaftliche Veröffentlichungen		166