

# Inhaltsverzeichnis

---

Vorwort.....	7
Abstract.....	9
Kurzfassung .....	11
Inhaltsverzeichnis.....	i
Abbildungsverzeichnis.....	v
Tabellenverzeichnis .....	ix
Formelverzeichnis .....	xi
Abkürzungsverzeichnis.....	xiii
Verzeichnis der Formelzeichen und Indizes .....	xvii
<b>1 Einleitung .....</b>	<b>1</b>
1.1 Motivation .....	1
1.2 Konkretisierung der Problemstellung .....	2
1.3 Gliederung der Arbeit .....	3
<b>2 Stand der Technik für die Entwicklung vernetzter Betriebsstrategien .....</b>	<b>5</b>
2.1 Ottomotorische Fahrzeugantriebe .....	5
2.1.1 Trends bei Ottomotoren.....	5
2.1.2 Emissionsverhalten und Abgasnachbehandlung.....	8
2.1.3 Hybridisierung .....	12
2.2 Vernetzung .....	15
2.2.1 Onboardsensorik.....	16
2.2.2 Digitale Karten.....	20
2.2.3 Intelligente Verkehrssysteme .....	21
2.2.4 Umweltmodelle .....	23
2.3 Betriebsstrategien .....	24
2.3.1 Generelle Zielsetzung .....	24

2.3.2	Klassierung nach Berechnungsverfahren .....	25
2.3.3	Interaktionskonzepte.....	27
2.3.4	Prädiktive Optimierungsansätze .....	29
2.4	Grundlegende Strategien und Werkzeuge für die Entwicklung .....	32
2.4.1	Entwicklungsziele der Antriebsentwicklung .....	33
2.4.2	Modellbasierter Entwicklungsprozess.....	33
2.4.3	Prüfumgebungen.....	39
2.4.4	Optimierung, Validierung und Absicherung in der Entwicklung .....	42
<b>3</b>	<b>Durchgängiger Entwicklungsprozess für vernetzte Betriebsstrategien .....</b>	<b>46</b>
3.1	Randbedingungen für die Entwicklung .....	46
3.1.1	Zukünftige Abgasgesetzgebung .....	47
3.1.2	Systemgrenzen für die Entwicklung vernetzter Antriebssysteme .....	49
3.2	Anforderungen bei offenen selbstoptimierenden Systemen .....	55
3.2.1	Regelbasierte vs. selbstoptimierende Betriebsstrategien .....	55
3.2.2	Fahrweise vs. Betriebsweise .....	56
3.2.3	Offline vs. X-in-the-Loop vs. Fahrversuch .....	57
3.3	Notwendige Erweiterungen und Zielsetzungen .....	58
3.3.1	Entwicklungsstrategie .....	58
3.3.2	Optimierung, Validierung und Absicherung von Betriebsstrategien.....	59
3.3.3	Entwicklungswerkzeuge .....	60
<b>4</b>	<b>Modellbasierte Entwicklungsmethodik für vernetzte Betriebsstrategien .....</b>	<b>61</b>
4.1	Durchgängiger modellbasierter Ansatz.....	61
4.1.1	Erweiterte Untersuchung durch domänenübergreifende Modelle.....	61
4.1.2	Modulare Funktionsstrukturen .....	63
4.1.3	Simulation von Umweltrandbedingungen .....	68
4.1.4	Zusammenfassung.....	71
4.2	Skalierbare Definition von Versuchsszenarien .....	71
4.2.1	Anwendungsorientierter Entwurf von Versuchsszenarien.....	72
4.2.2	Parametrierung signifikanter Szenarienrandbedingungen .....	75

4.2.3	Zusammenfassung .....	80
4.3	Durchgängige Optimierungsansätze .....	82
4.3.1	Strukturierung des Funktionsparameterraums.....	82
4.3.2	Systematische Variation von Parametern und Randbedingungen.....	84
4.3.3	Optimierungsansätze .....	85
4.3.4	Zusammenfassung .....	87
4.4	Validierung von Entwicklungszielen .....	87
4.4.1	Bestimmung des globalen Funktionsverhaltens.....	87
4.4.2	Szenarienbezogene Ermittlung der Zielgrößen .....	88
4.4.3	Zusammenfassung .....	89
4.5	Absicherung von Funktionen .....	89
4.5.1	Falsifikation von Fehlerfällen.....	90
4.5.2	Zusammenfassung .....	90
5	<b>Implementierung und Umsetzung der Methodik.....</b>	<b>92</b>
5.1	Simulationsplattform .....	92
5.1.1	Werkzeuge und deren Erweiterungen.....	92
5.1.2	Erweiterungen des Fahrzeugmodells .....	98
5.2	Engine-in-the-Loop Prüfstand .....	104
5.2.1	Grundlegender Prüfstandsaufbau .....	104
5.2.2	Einbindung der Simulationsplattform .....	109
5.3	Versuchsplanung und Optimierung.....	111
5.3.1	Anbindung des erweiterten DoE-Werkzeugs .....	111
5.3.2	Szenariengenerator.....	112
5.4	Basismodule der vernetzten Betriebsstrategien .....	113
5.4.1	Umweltmodell .....	114
5.4.2	Automatisierte Längsregelung .....	116
5.4.3	Effizienzmodell.....	118
6	<b>Validierung der Methodik .....</b>	<b>123</b>
6.1	Auswahl von beispielhaften Anwendungen.....	123

6.2	Effizienzsteigerung durch prädiktives Ampelassistenzsystem .....	126
6.2.1	Entwurf und Implementierung der Ampelassistenz .....	126
6.2.2	Absicherung der robusten Funktionsausführung .....	132
6.2.3	Validierung der Funktionsgüte und des Effizienzpotentials .....	135
6.3	Emissionsreduktion durch prädiktive Lastpunktoptimierung .....	142
6.3.1	Entwurf und Implementierung der Lastpunktoptimierung .....	143
6.3.2	Analyse des Emissionsminderungspotentials .....	145
6.4	Verbesserte Fahrbarkeit durch prädiktive elektrische Zusatzaufladung ..	152
6.4.1	Entwurf und Implementierung der EZV-Ansteuerung.....	152
6.4.2	Validierung der Potentiale zur Steigerung der Fahrbarkeit.....	156
6.4.3	Optimierung der Prädiktionszeit hinsichtlich Bordnetzleistung .....	160
7	<b>Zusammenfassung und Ausblick .....</b>	<b>164</b>
	<b>Anhang .....</b>	<b>169</b>
A	Motoren .....	169
A.1	Versuchsmotor 1 .....	169
A.2	Versuchsmotor 2 .....	170
B	Messtechnik .....	170
B.1	Temperatur und Druck.....	170
B.2	Motorbetriebspunkt.....	172
B.3	Abgas .....	172
C	Echtzeitplattform .....	173
C.1	Hardware .....	173
C.2	I/O-Liste.....	173
	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>175</b>