

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	7
Abstract.....	9
Kurzfassung	11
Inhaltsverzeichnis.....	i
Abbildungsverzeichnis.....	v
Tabellenverzeichnis	ix
Formelverzeichnis	xi
Abkürzungsverzeichnis.....	xiii
Verzeichnis der Formelzeichen und Indizes	xvii
1 Einleitung	1
1.1 Motivation	1
1.2 Konkretisierung der Problemstellung	2
1.3 Gliederung der Arbeit	3
2 Stand der Technik für die Entwicklung vernetzter Betriebsstrategien.....	5
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
3	Durchgängiger Entwicklungsprozess für vernetzte Betriebsstrategien	46
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	Entwicklungsgeräte	60
4	Modellbasierte Entwicklungsmethodik für vernetzte Betriebsstrategien	61
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	Implementierung und Umsetzung der Methodik.....	92
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	Validierung der Methodik	123
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	Zusammenfassung und Ausblick	164
Anhang	169
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
Literaturverzeichnis	175