
Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	i
Abbildungsverzeichnis.....	v
Tabellenverzeichnis.....	ix
Abkürzungsverzeichnis.....	x
Formelzeichen- und Indizeverzeichnis.....	xii
1 Einleitung	1
1.1 Motivation	1
1.2 Gliederung der Arbeit	2
2 Rahmenbedingungen.....	5
2.1 Gesetzgebung	5
2.1.1 Klimaschutz	6
2.1.2 Luftreinhaltung.....	9
2.2 Marktentwicklung.....	18
2.3 Diskussion	21
2.4 Zusammenfassung	25
3 Stand der Technik.....	27
3.1 Ottomotoren	27
3.1.1 Entwicklung und Trends	28
3.1.2 Emissionen und Abgasnachbehandlung	32
3.1.3 Hybridisierung	37
3.2 Hybride Fahrzeugantriebe	38
3.2.1 Terminologie und Klassifikationen.....	38
3.2.2 Topologien.....	39
3.2.3 Betriebsarten und Betriebszustände.....	41
3.2.4 Betriebsstrategien	43
3.3 Strategien und Werkzeuge in der Antriebsentwicklung	49

3.3.1	V-Modell	50
3.3.2	Entwicklungsumgebungen	51
3.3.3	RDE Entwicklungsmethoden	57
3.3.4	Optimierung in der Antriebsentwicklung.....	65
4	Zielsetzung der Arbeit und Methodik des Vorgehens	79
4.1	Konkretisierung der Problemstellung	79
4.2	Wissenschaftliche Fragestellung	80
4.3	Methodik des Vorgehens	82
5	RDE-Entwicklungsmethodik: Most-Relevant-Test-Prozedur	85
5.1	Anforderungen	85
5.2	Funktionsbeschreibung	86
5.2.1	Hilfsmodule.....	88
5.2.2	Hauptmodule	91
6	Implementierung der Methodik.....	101
6.1	Toolkette.....	101
6.2	Testgenerator	102
6.2.1	Hauptprogramm.....	103
6.2.2	Segmentanzahlbestimmung	104
6.2.3	Streckengenerierung	104
6.2.4	Segmentanordnung und Verstetigung	108
6.2.5	Bewertung der Realitätsnähe eines synthetischen Test.....	109
6.2.6	Quantifizierung des Entwicklungsstatus und -fortschritts.....	118
7	Anwendung und Validierung der Methodik	121
7.1	Use-Case 1: Fahrzeug mit Ottomotor	121
7.1.1	Fahrzeug und Antrieb.....	122
7.1.2	Anwendung MRTP	123
7.1.3	Diskussion	134
7.2	Use-Case 2: Fahrzeug mit Dieselmotor	136
7.2.1	Fahrzeug und Antrieb.....	136

7.2.2	Anwendung MRTP.....	137
7.2.3	Diskussion	140
7.3	Use-Case 3: Hybridfahrzeug.....	141
7.3.1	Fahrzeug und Antrieb	141
7.3.2	Anwendung MRTP.....	147
7.3.3	Diskussion	155
8	Integrierte, emissionsoptimale Betriebsstrategie für Hybridfahrzeuge	157
8.1	Emissionsmodellierung	157
8.1.1	Vorgehen	158
8.1.2	Datenbasis	159
8.1.3	Netzwerkaufbau	161
8.1.4	Modellvalidierung.....	164
8.2	Integration in die Betriebsstrategie	166
8.3	Validierung.....	170
8.4	Diskussion	173
9	Zusammenfassung und Ausblick.....	175
Anhang.....		179
A	Versuchsparameter	179
A.1	Versuchsfahrzeuge.....	179
A.2	Versuchsmotoren	179
B	Messtechnik.....	180
B.1	Temperatur und Druck	180
B.2	Motorbetriebspunkt	180
B.3	Abgas.....	180
C	Most-Relevant-Test-Prozedur.....	181
C.1	Signifikanzniveaus	181
C.2	Systemzustandsstruktur	181
C.3	Datenbanksegment	182
C.4	Dynamische Validierung	183



- C.5 Sensitivitäts- und Robustheitsanalyse 183
- C.6 Most-Relevant-Test-Generator 184
- C.6.1 GUI 184
- C.6.2 Ablaufschema der genetischen Algorithmen 185
- C.6.3 RDE-Randbedingungen 186
- D Messergebnisse..... 187
- D.1 RDP-Bewertung innerhalb des MRTG..... 187
- D.2 Use-Case 1..... 188
- D.3 Use-Case 2..... 191
- D.4 Integrierte Hybridstrategie 192
- E LSTM-Netzwerkeinstellungen..... 192
- Literaturverzeichnis 193**
- Curriculum Vitae..... 217**