

Optimale Betriebsstrategien für ein Parallel-Hybridfahrzeug (HEV) bei konstanter Fahrt

Von der Fakultät für Maschinenwesen der
Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen
zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktors der
Ingenieurwissenschaften genehmigte Dissertation

vorgelegt von

André Marques Gomes

Berichter:

Universitätsprofessor Dr.-Ing. Henning Wallentowitz
Universitätsprofessor Dr.-Ing. Dieter Bohn

Inhalt

1	Einleitung	9
1.1	Zielsetzung	11
1.2	Eigene Beiträge	12
1.3	System-Konfiguration	12
1.3.1	Konventioneller P2-Hybrid.....	17
1.3.2	Duty-Cycle P2-Hybrid.....	20
1.3.3	Autark-EUATL P2-Hybrid	23
2	Modellierung des Verbrennungsmotors	26
2.1	Modellbeschreibung	26
2.2	Grundlagen der Abgasturboaufladung.....	28
2.3	Parametrisierung des Dieselmotormodells	29
2.4	Modellverbesserungen/Kalibrierung	30
2.4.1	Liefergrad des Verbrennungsmotors	31
2.4.2	Druckabfall im Ladeluftkühler	31
2.4.3	Druck nach der Turbine.....	31
2.4.4	Verdichter- und Turbinenfitting	32
2.4.5	AGR-Modell.....	35
2.4.6	Neue Regelung der LTR-Stellung	36
2.4.7	Verbessertes Gegendruckmodell	36
2.4.8	Umstrukturierung des Modells.....	39
2.5	Validierung des verbesserten Modells.....	40
2.6	Ergebnisse des Motormodells	45
2.6.1	Ergebnisse des konventionellen Dieselmotors.....	45
2.6.2	Ergebnisse des Dieselmotors mit EUATL	49
3	Betriebsstrategie I: Duty-Cycle HEV	54
3.1	Beschreibung der Betriebsstrategie.....	54
3.2	Mathematische Modellierung.....	56

3.2.1	Modellierung des Hybridantriebsstranges	56
3.2.1.1	Mathematisches Modell des Verbrennungsmotors	56
3.2.1.2	Mathematisches Modell der Batterie	58
3.2.1.3	Modell der Elektromaschine (P2-Maschine)	60
3.2.2	Ableitung der Variablen der Duty-Cycle-Betriebsstrategie	61
3.2.2.1	Herleitung von μ	61
3.2.2.2	Ableitung der Funktion des Gesamtzykluskraftstoffverbrauchs	66
3.3	Analytische Ergebnisse	67
4	Betriebsstrategie II: Autark-EUATL HEV	74
4.1	Beschreibung der Betriebsstrategie	74
4.1.1	Autark-EUATL im Motorbetrieb	74
4.1.2	Autark-EUATL im Generatorbetrieb	76
4.2	Mathematische Modellierung	78
4.2.1	Algorithmus des Autark-EUATL	78
4.2.1.1	Block self_motor	83
4.2.1.2	Block self_generator	94
4.2.2	Autonomer Block zur Ermittlung des Autark-EUATL-Betriebspunktes	101
5	Optimierung des Kraftstoffverbrauches	105
5.1	Duty-Cycle Kraftstoffoptimierung	105
5.1.1	Einzelbetriebspunktoptimierung	106
5.1.1.1	Algorithmus der autonomen Duty-Cycle-Optimierung	107
5.1.1.1.1	Block „Calculate power required to drive the car“	111
5.1.1.1.2	Block „Calculate maximum ICE-power“	111
5.1.1.1.3	Block „Calculate total fuel with ICE only“	111
5.1.1.1.4	Block „Calculate Battery and EMM violations“	112
5.1.1.1.5	Block „Calculate duty-cycle optimal variables“	114
5.1.1.1.6	Block „Calculate min. μ so that $SOC(\mu_{min} \cdot \Delta) < SOC_{max}$ “	118

5.1.1.1.7	Block „Recalculate duty-cycle optimal variables w/ new μ “	119
5.1.1.1.8	Block „caseA1“	122
5.1.1.1.9	Block „caseA3“	124
5.1.1.1.10	Block „caseB2“	126
5.1.1.2	Fallstudie	132
5.1.2	Vollbereichsoptimierung	134
5.2	Autark-EUATL-Kraftstoffoptimierung	139
5.2.1	Optimierung der LTR-Stellung in Einzelbetriebspunkten	140
5.2.2	Optimierung der LTR-Stellung im Vollbereich	142
5.2.2.1	Wirtschaftliche Betrachtung des Autark-EUATL	147
6	Zusammenfassung	153
7	Formelzeichen und Indizes	158
8	Literatur	164
9	Anhang	176
9.1	Längsdynamik des Kraftfahrzeuges	176
9.2	EUATL-Beispiele	179
9.3	Stationäre Ergebnisse anderer LTR-Stellungen	180
9.4	Kraftstoffoptimierter Autark-EUATL Extra	184