

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1	Motivation . . . . .	1
1.2	Einordnung und Zielsetzung der Arbeit . . . . .	2
1.3	Aufbau der Arbeit . . . . .	4
<b>2</b>	<b>Bordnetzsysteme und elektrifizierte Antriebe im Nutzfahrzeug</b>	<b>7</b>
2.1	Energiebordnetze im schweren Nutzfahrzeug . . . . .	7
2.1.1	Energiespeicher im Bordnetz . . . . .	8
2.1.2	Quellen elektrischer Energie im Bordnetz . . . . .	11
2.2	Mehrspannungsbordnetze . . . . .	12
2.2.1	Das 48-V-Bordnetz . . . . .	14
2.2.2	Hochvoltsysteme . . . . .	15
2.3	Elektrifizierung von Nebenverbrauchern . . . . .	16
2.3.1	Nebenverbraucher im Nutzfahrzeug . . . . .	17
2.3.2	Vorteile elektrifizierter Nebenverbraucher . . . . .	22
2.4	Energieversorgung im Stand . . . . .	27
2.5	Elektrifizierung im Antriebsstrang . . . . .	28
2.5.1	Topologien der Hybridantriebe . . . . .	30
2.5.1.1	Serieller Hybrid . . . . .	31
2.5.1.2	Paralleler Hybrid . . . . .	31
2.5.1.3	Leistungsverzweigter Hybrid . . . . .	36
2.5.2	Hybridisierungsgrade . . . . .	37
<b>3</b>	<b>Fahrzeugmodell</b>	<b>41</b>
3.1	Betrachtete Konfiguration . . . . .	41
3.2	Ansatz zur Kraftstoffverbrauchsberechnung . . . . .	44
3.3	Modell des Mehrspannungsbordnetzes . . . . .	47
3.3.1	Modell der elektrischen Maschine . . . . .	49
3.3.2	Batteriemodell . . . . .	51
3.4	Modell der Fahrzeugklimatisierung . . . . .	53
3.5	Modell des Druckluftsystems . . . . .	56
3.5.1	Grundlagen der Gase . . . . .	56
3.5.2	Modellbildung für den Luftpresse . . . . .	58

3.6	Zusammenfassung des Gesamtmodells . . . . .	59
<b>4</b>	<b>Entwicklung einer optimalen Betriebsstrategie</b>	<b>61</b>
4.1	Stand der Technik bei Betriebsstrategien teilelektrifizierter Fahrzeuge . . . . .	61
4.1.1	Regelbasierte Betriebsstrategien für Hybridfahrzeuge . .	62
4.1.2	Optimierungs-basierte Betriebsstrategien für Hybridfahrzeuge . . . . .	62
4.1.3	Betriebsstrategien für elektrifizierte Nebenverbraucher .	71
4.2	Reaktive Basisbetriebsstrategie . . . . .	73
4.3	Diskrete Dynamische Programmierung . . . . .	76
4.3.1	Nicht äquidistante Diskretisierung der Stellgrößen . . .	81
4.3.2	Nicht äquidistante Diskretisierung der Zeit . . . . .	85
4.4	Heuristische Klassifikation der Strecke . . . . .	86
4.5	Definition des Optimalsteuerungsproblems . . . . .	91
4.5.1	Zustandsraumbeschränkungen . . . . .	93
4.5.2	Stellgrößenbeschränkungen . . . . .	94
4.6	Prädiktive Betriebsstrategie . . . . .	98
4.6.1	Global optimale Betriebsstrategie . . . . .	99
4.6.2	Betriebsstrategie mit gleitendem Horizont . . . . .	99
<b>5</b>	<b>Simulative Auswertung der optimalen Strategie</b>	<b>103</b>
5.1	Umsetzung der Simulationen . . . . .	104
5.2	Wahl der Diskretisierung der Optimierungsvariablen . . . . .	106
5.3	Vergleich der unterschiedlichen Hybridkonfigurationen . . . . .	108
5.3.1	Use Cases bei unterschiedlichen Konfigurationen . . . . .	109
5.3.2	Einfluss der Systemkonfiguration auf das Einsparungspotenzial . . . . .	113
5.4	Vergleich mit reaktiver Basisstrategie . . . . .	119
5.5	Auswertung der Berechnungsdauern der Optimierungen . . . . .	129
5.6	Vergleich mit klassischer Hybridstrategie . . . . .	131
5.7	Vergleich mit prädiktiver Strategie mit gleitendem Horizont . .	133
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>139</b>
<b>A</b>	<b>Anhang</b>	<b>143</b>
A.1	Batterieparameter . . . . .	143
A.2	Fahrzyklen . . . . .	144
A.3	Technische Daten des simulierten Lkw . . . . .	148
A.4	Parameter und Randbedingungen der Optimierung . . . . .	149

<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>153</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>155</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>159</b>
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>161</b>