

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	1
1.1 Motivation	1
1.2 Einordnung und Zielsetzung der Arbeit	2
1.3 Aufbau der Arbeit	4
2 Bordnetzsysteme und elektrifizierte Antriebe im Nutzfahrzeug	7
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 Mehrspannungs'bordnetze	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
3 Fahrzeugmodell	41
3.1 Betrachtete Konfiguration	41
3.2 Ansatz zur Kraftstoffverbrauchsberechnung	44
3.3 Modell des Mehrspannungs'bordnetzes	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 Luftpresser	58

3.6 Zusammenfassung des Gesamtmodells	59
4 Entwicklung einer optimalen Betriebsstrategie	61
4.1 Stand der Technik bei Betriebsstrategien teilelektrifizierter Fahrzeuge	61
4.1.1 Regelbasierte Betriebsstrategien für Hybridfahrzeuge	62
4.1.2 Optimierungsbasierte 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
5 Simulative Auswertung der optimalen Strategie	103
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
6 Zusammenfassung und Ausblick	139
A Anhang	143
A.1 Batterieparameter	143
A.2 Fahrzyklen	144
A.3 Technische Daten des simulierten Lkw	148
A.4 Parameter und Randbedingungen der Optimierung	149

Abkürzungsverzeichnis	153
Abbildungsverzeichnis	155
Tabellenverzeichnis	159
Literaturverzeichnis	161