

# Inhaltsverzeichnis

|                                                                  |           |
|------------------------------------------------------------------|-----------|
| Abkürzungen und Formelzeichen . . . . .                          | III       |
| <b>1 Einleitung . . . . .</b>                                    | <b>1</b>  |
| 1.1 Motivation und Zielsetzung . . . . .                         | 2         |
| 1.2 Methodisches Vorgehen . . . . .                              | 3         |
| <b>2 Theoretische Grundlagen und Stand der Technik . . . . .</b> | <b>5</b>  |
| 2.1 Betriebsstrategien für Hybridfahrzeuge . . . . .             | 5         |
| 2.1.1 Klassifikation von Hybrid-Betriebsstrategien . . . . .     | 6         |
| 2.1.2 Optimierungsbasierte Betriebsstrategien . . . . .          | 7         |
| 2.1.3 Regelbasierte Betriebsstrategien . . . . .                 | 18        |
| 2.1.4 Implementierung optimierter Strategien . . . . .           | 26        |
| 2.2 Optimierungsverfahren . . . . .                              | 29        |
| 2.2.1 Partikelschwarmoptimierung . . . . .                       | 31        |
| 2.2.2 Nelder-Mead-Simplex-Verfahren . . . . .                    | 32        |
| 2.3 Psychoakustik . . . . .                                      | 33        |
| <b>3 Modellbildung und -validierung . . . . .</b>                | <b>35</b> |
| 3.1 Modellbildung . . . . .                                      | 35        |
| 3.1.1 Paralleler Hybridantrieb . . . . .                         | 38        |
| 3.1.2 Dedizierter Hybridantrieb . . . . .                        | 40        |
| 3.2 Modellvalidierung . . . . .                                  | 42        |
| 3.2.1 Charge-Depleting-Test . . . . .                            | 43        |
| 3.2.2 Charge-Sustaining-Test . . . . .                           | 45        |
| 3.2.3 Diskussion . . . . .                                       | 46        |
| <b>4 Betriebsstrategie-Optimierung . . . . .</b>                 | <b>49</b> |
| 4.1 A-priori-Effizienzanalyse . . . . .                          | 49        |
| 4.1.1 Analyse des parallelen Hybridantriebs . . . . .            | 50        |
| 4.1.2 Analyse des dedizierten Hybridantriebs . . . . .           | 55        |
| 4.1.3 Validierung . . . . .                                      | 58        |
| 4.2 Modularer Strategieansatz . . . . .                          | 61        |
| 4.2.1 Parallelhybrid-Betriebsstrategie . . . . .                 | 63        |
| 4.2.2 Dedizierte Hybrid-Betriebsstrategie . . . . .              | 64        |
| 4.2.3 Energiebasierte Phlegmatisierung . . . . .                 | 65        |
| 4.2.4 Regelbasierte Restriktionen und Nebenaufgaben . . . . .    | 73        |
| 4.3 Mehrkriterieller Optimierungsansatz . . . . .                | 75        |
| 4.3.1 Problemformulierung . . . . .                              | 79        |
| 4.3.2 Globale Zielfunktion . . . . .                             | 81        |

---

|          |                                                          |            |
|----------|----------------------------------------------------------|------------|
| 4.3.3    | Lokale Zielfunktion . . . . .                            | 83         |
| <b>5</b> | <b>Ergebnisse . . . . .</b>                              | <b>85</b>  |
| 5.1      | Ergebnisse im Parallelhybridantrieb . . . . .            | 85         |
| 5.1.1    | Effizienzoptimierter Betrieb . . . . .                   | 85         |
| 5.1.2    | Mehrkriteriell optimierter Betrieb . . . . .             | 91         |
| 5.2      | Ergebnisse im dedizierten Hybridantrieb . . . . .        | 99         |
| 5.2.1    | Effizienzoptimierter Betrieb . . . . .                   | 99         |
| 5.2.2    | Mehrkriteriell optimierter Betrieb . . . . .             | 101        |
| 5.3      | Zwischenfazit . . . . .                                  | 108        |
| <b>6</b> | <b>Implementierungsansatz . . . . .</b>                  | <b>111</b> |
| 6.1      | Virtuelle Getriebeapplikation . . . . .                  | 111        |
| 6.2      | Kausale und kennfeldbasierte Betriebsstrategie . . . . . | 113        |
| <b>7</b> | <b>Zusammenfassung . . . . .</b>                         | <b>119</b> |
|          | <b>Literaturverzeichnis . . . . .</b>                    | <b>121</b> |
|          | <b>Anhang . . . . .</b>                                  | <b>139</b> |