

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|------------|
| Abbildungsverzeichnis | xi |
| Tabellenverzeichnis | xv |
| Nomenklatur | xvi |
| Formelzeichen | xvii |
| Indizes | xx |
| Abkürzungen | xxiv |
| 1 Einleitung | 1 |
| 1.1 Lebenszyklus-orientierte Problemstellung | 2 |
| 1.2 Lösungsansatz und veröffentlichte Entwicklungsmethoden | 6 |
| 1.3 Zielsetzung und Gliederung dieser Arbeit | 7 |
| 2 Hybride Brennstoffzellensysteme für die Luftfahrt | 11 |
| 2.1 Brennstoffzellentechnologie für mobile Anwendungen | 11 |
| 2.2 Die Polymerelektrolytmembran Brennstoffzelle (PEMFC) | 13 |
| 2.2.1 Funktionsweise, Komponenten und Aufbau | 13 |
| 2.2.2 Polarisationskurve | 16 |
| 2.2.3 Degradationsmechanismen | 19 |
| 2.2.4 Kritische Betriebsszenarien und -zustände | 24 |
| 2.2.5 Modellierung der Degradation | 27 |
| 2.3 Hybridisierungsstrategien für PEMFC | 30 |
| 2.3.1 Energiespeichertechnologien zur Hybridisierung | 31 |
| 2.3.2 Hybride Systemarchitekturen | 44 |
| 2.3.3 Energiemanagementstrategien | 49 |
| 3 Robustifizierung durch Hybridisierung | 53 |
| 3.1 Generische Erzeugung dynamischer Lastprofile | 56 |
| 3.2 Analyse- und Definitionsphase | 61 |
| 3.3 Auslegung Energiespeichersystem | 70 |

| | | |
|----------|---|------------|
| 3.4 | Degradationsanalyse ESS | 75 |
| 3.5 | Systemauslegung Brennstoffzellensystem | 79 |
| 3.5.1 | Kurzeinführung <i>SofiS</i> | 79 |
| 3.5.2 | Einbindung von <i>SofiS</i> in <i>SofiS-Hybrid</i> | 82 |
| 3.6 | Degradationsanalyse BZS | 83 |
| 3.7 | Ergebnissynthese und -analyse | 92 |
| 4 | Robustifizierung durch Lebenszyklus-orientierte Optimierung | 95 |
| 4.1 | Theorie: Robuste Optimierung | 95 |
| 4.2 | Quantifizierung der Systemrobustheit | 98 |
| 4.2.1 | Betriebsbereichs-Zuverlässigkeit | 100 |
| 4.2.2 | Operationelle Robustheit | 105 |
| 4.3 | Entwicklungsmethodik <i>SofiS-Robust</i> | 110 |
| 4.4 | Übermaßparameter | 112 |
| 5 | Beispielentwicklung eines robusten, hybriden Brennstoffzellensystems | 115 |
| 5.1 | Anwendung <i>SofiS-Hybrid</i> | 115 |
| 5.1.1 | Erzeugung dynamischer Lastprofile | 117 |
| 5.1.2 | Analyse und Definition | 128 |
| 5.1.3 | Auslegung und Degradationsanalyse ESS | 135 |
| 5.1.4 | Auslegung und Degradationsanalyse BZS | 138 |
| 5.1.5 | Ergebnissynthese | 143 |
| 5.1.6 | Diskussion Methodik | 149 |
| 5.2 | Anwendung <i>SofiS-Robust</i> | 150 |
| 5.2.1 | Definitionsphase | 150 |
| 5.2.2 | Durchführung Robustheitsoptimierung | 157 |
| 5.2.3 | Auswertung und Interpretation | 159 |
| 5.2.4 | Diskussion Methodik | 163 |
| 6 | Zusammenfassung | 165 |
| A | Appendix | 171 |
| A.1 | Erzeugung dynamischer Lastprofile | 171 |
| A.1.1 | Missionsanalyse und -Prädiktion | 171 |

| | |
|--|------------|
| A.1.2 Modellierung Leistungsbedarf eTax-System | 172 |
| A.2 Auslegung des elektrischen Speichersystems | 174 |
| Literaturverzeichnis | 175 |