

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

vii

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