

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	iii
Abstract	iv
Inhaltsverzeichnis	v
Symbolverzeichnis	vii
1 Einleitung	1
1.1 Problemstellung	3
1.2 Zielstellung	6
1.3 Methodischer Ansatz	7
1.4 Struktur der Arbeit	8
2 SOFC-Systeme	11
2.1 Brennstoffzellentechnik	11
2.2 Anwendungen von SOFC-Systemen	15
2.3 Thermodynamische Grundlagen von SOFC-Stacks	17
2.4 Aufbau von SOFC-Stacks	22
2.5 Aufbau von SOFC-Systemen	23
3 Dynamische SOFC-Systemsimulation	29
3.1 Die dynamische Systemsimulation	29
3.2 Abgrenzung zu bestehenden dynamischen Systemsimulationen	31
4 Methoden	37
4.1 Modellierungsspektrum	37
4.1.1 Vereinfachung durch räumliche Aspekte (Punktmodelle)	38
4.1.2 Vereinfachungen durch zeitliche Aspekte (Zeitkonstanten)	39
4.2 Resultierende Modellannahmen	41
4.3 Entwicklung der Methodik zur SOFC-Systemsimulation	43
4.3.1 Modellierungswerkzeuge	44
4.3.2 Anforderungen an die Modellierung	46
4.3.3 Modellierung mit <i>Modelica</i>	48
4.3.4 Weitere Tools	51
4.4 Parametrierung und Validierung	53
5 Verfahrenstechnische Prozessuntersuchung	55
5.1 Einführung zu den SOFC-Systemen	55
5.1.1 System A	55

5.1.2	System B	58
5.2	Erstellung der Komponentenmodelle	63
5.3	Komponentenmodelle	64
5.3.1	SOFC-Stack	64
5.3.2	Reformer	71
5.3.3	Kathodenluft-Wärmeübertrager	76
5.3.4	Verdampfer	77
5.4	Systemmodelle	79
5.4.1	Systemmodell A	79
5.4.2	Systemmodell B – Verwendung der virtuellen Wärmekapazität	81
6	Analyse des SOFC-Systemverhaltens	91
6.1	Untersuchung der Anfahrprozedur des Systems A	91
6.2	Verbrauchsoptimiertes Anfahren des Systems A	95
6.3	Verbesserung der Aufheizung des Systems B	99
6.4	Vergleich des Aufheizverhaltens von System A und B	104
6.5	Teillastbetrieb des Systems B	107
6.6	Anwendungssimulation zum Einsatz des Hot Standbys	114
6.7	Auswirkung der Stack-Degradation auf das Verhalten des Systems B	126
7	Diskussion der Methodik	133
8	Zusammenfassung und Ausblick	137
8.1	Ausblick	141
	Literaturverzeichnis	145
	Abbildungsverzeichnis	159
	Tabellenverzeichnis	161
	Dank	163
A	Anhang	A 1
A.1	<i>Modelica</i>	A 1
A.2	Stackmodellierung	A 2
A.2.1	Schema der sofc.DLL	A 2
A.2.2	Formelapparat zur Berechnung der Zellwiderstände mit der sofc.dll	A 4
A.2.3	Parameter-Datei der sofc.dll, System A	A 5
A.2.4	Parameter-Datei der sofc.dll, System B	A 8
A.3	Prozessauslegung	A 12
A.3.1	<i>Excel</i> -Berechnungsblatt für das System A beim Nennbetriebspunkt	A 12
A.3.2	<i>Excel</i> -Berechnungsblatt für das System B beim max. Betriebspunkt	A 14
A.3.3	<i>Excel</i> -Berechnungsblatt für das System B mit degradiertem Stack	A 14
A.3.4	System B, Hotbox-Parameter	A 17