

# Inhaltsverzeichnis

<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>xi</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>xiii</b>
<b>Symbolverzeichnis</b>	<b>xv</b>
<b>1 Einleitung und Motivation</b>	<b>1</b>
1.1 Struktur der Arbeit . . . . .	3
<b>2 Systemtechnische Verfahrensentwicklung</b>	<b>5</b>
2.1 Grundlagen der Systemtechnik . . . . .	6
2.1.1 Elemente der Prozesssynthese . . . . .	8
2.2 Systemverfahrenstechnische Prozesssynthese . . . . .	14
2.2.1 Evolutionäre Vorgehensweise . . . . .	15
2.2.2 Systematische Methoden . . . . .	15
2.2.3 Überstrukturbasierte, mathematische Methoden . . . . .	17
2.3 Zusammenfassung . . . . .	21
<b>3 Prozesssynthese in der Brennstoffzellenanwendung</b>	<b>23</b>
3.1 Aufbau eines Brennstoffzellensystems . . . . .	24
3.1.1 Verfahrenstechnische Prozesseinheiten . . . . .	26
3.2 Publikationen zur Synthese und Optimierung von Brennstoffzellen . . . . .	33
3.2.1 Prozesssyntheseprobleme . . . . .	36
3.2.2 Parametersynthese für einzelne Zellen und Systeme . . . . .	39
3.3 Diskussion der Aufgabenstellung . . . . .	45
3.3.1 Ableitung der Aufgabenstellung . . . . .	47
<b>4 Prozessmodellierung</b>	<b>49</b>

4.1	Thermochemische Stoffdatenbibliothek . . . . .	51
4.2	Funktionsmodellierung der Prozesseinheiten . . . . .	51
4.2.1	Gaskonditionierungsmodelle . . . . .	51
4.2.2	Modellierung des SOFC-Stapels . . . . .	59
4.2.3	Hilfsaggregate für den Systembetrieb . . . . .	64
4.3	Validierung der Hauptkomponenten . . . . .	66
4.4	Energetische Bewertung von SOFC-Prozessen . . . . .	69
4.4.1	Komponentenwirkungsgrade . . . . .	70
4.4.2	Systemwirkungsgrade . . . . .	71
<b>5</b>	<b>Analyse von SOFC-Konzepten mittels Variantenvergleich</b>	<b>73</b>
5.1	Entwurf und Auslegung eines Batterieladers . . . . .	74
5.1.1	Technologieauswahl und Systemkonzept . . . . .	74
5.1.2	Variantenvergleich und Bewertung . . . . .	80
5.2	Konzeption eines hocheffizienten Systems mit Abwärmenutzung . . . . .	82
5.2.1	Beschreibung der Systemkonzepte . . . . .	83
5.2.2	Allgemeine Vergleichsgrundlage . . . . .	87
5.2.3	Analyse und Bewertung der Prozessvarianten . . . . .	87
5.3	Weiterführende Anforderungen an die Prozessentwicklung . . . . .	99
<b>6</b>	<b>Der Optimierungsansatz am energietechnischen Beispiel</b>	<b>101</b>
6.1	Gesamtmodells zur Betriebsoptimierung . . . . .	103
6.1.1	Systematik der Variablen und Parameter . . . . .	105
6.1.2	Bilanzierung der Flussgrößen . . . . .	107
6.2	Das Strukturmodell der Bilanzgleichungen . . . . .	109
6.2.1	Darstellung als gerichteter Graph . . . . .	110
6.3	Ableitung des Verflechtungsmodells . . . . .	113
6.4	Prozessoptimierung des Beispiels . . . . .	118
<b>7</b>	<b>Ein- und multikriterielle Parametersynthese am Beispiel</b>	<b>123</b>
7.1	Verflechtungs- und Funktionsmodell . . . . .	125
7.1.1	Visualisierung der Zielfunktion . . . . .	129
7.2	Bewertung der Systemkosten . . . . .	132
7.2.1	Zielfunktion der Gesamtkosten . . . . .	132
7.2.2	Sensitivität der Kostenparameter . . . . .	136

7.2.3	Kostenanalyse bei veränderlicher Zellfläche . . . . .	138
7.3	Programmtechnische Umsetzung . . . . .	141
7.4	Einkriterielle Betriebsoptimierung . . . . .	144
7.4.1	Evolutionäre Optimierungsalgorithmen (EA) . . . . .	145
7.4.2	Maximierung des Systemwirkungsgrades . . . . .	146
7.4.3	Minimierung der Investitionskosten . . . . .	153
7.5	Multikriterielle Betriebsoptimierung . . . . .	156
7.5.1	Multikriterielle Optimierungsverfahren . . . . .	156
7.5.2	Pareto-Optimierung der Prozesskonzepte . . . . .	159
<b>8</b>	<b>Kurzbeschreibung der Methodik</b>	<b>165</b>
<b>9</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>167</b>
<b>Literaturverzeichnis</b>		<b>171</b>
<b>A Anhang</b>		<b>185</b>
A.1	Ansätze zur Prozessbewertung . . . . .	185
A.1.1	Ökonomische Bewertung . . . . .	185
A.1.2	Thermodynamische Bewertung . . . . .	186
A.2	Mathematische Methoden zur Prozesssynthese . . . . .	187
A.2.1	B&B-Verfahren für MILPs / MINLPs . . . . .	187
A.2.2	Deterministische Verfahren für konvexe MINLPs . . . . .	187
A.2.3	B&B-Verfahren für nicht-konvexe MINLPs . . . . .	188
A.2.4	Kombinatorische Algorithmen für MINLPs . . . . .	189
A.3	PROP.DLL - Die IKTS-Stoffdatenbibliothek . . . . .	190
A.4	LAGRANGE-Verfahren zur Minimierung der freien Enthalpie . . . . .	193
A.5	Optimierung mittels FIBUNACCI-Suche . . . . .	197
A.6	Analytische Ableitung des Verflechtungsmodells . . . . .	199
A.7	Detaillierte Ergebnisse des Variantenvergleiches . . . . .	202
A.7.1	Prozesssimulation der Batterie-Lade-Einheit . . . . .	202
A.7.2	Prozesssimulation des SOFC-KWK-Systems . . . . .	204
A.8	Förderung der Kraft-Wärme-Kopplung . . . . .	208
A.9	Kostenminimierung der KWK-Konzepte . . . . .	209