

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung und Zielsetzung	1
1.1	Motivation.....	2
1.2	Problematik und Zielsetzung.....	3
1.3	Methodik	4
1.4	Gliederung der Arbeit.....	5
2	Grundlagen der Synthesegaserzeugung für Brennstoffzellensysteme.....	7
2.1	Technische Möglichkeiten der Synthesegasproduktion	7
2.2	Brenngaserzeugung aus Mitteldestillaten für die Brennstoffzellenanwendung	10
2.2.1	Chemische Reaktionen bei der Brenngaserzeugung.....	10
2.2.2	Mitteldestillate zur Reformierung.....	15
2.3	Das Brennstoffzellensystem als Hilfsstromaggregat	18
2.3.1	Funktionsweise einer Brennstoffzelle.....	18
2.3.2	Funktions- und Betriebsweise des integrierten Brennstoffzellensystems.....	20
3	Stand der Forschung und Technik.....	27
3.1	Stand der Forschung und Technik am Institut für Elektrochemische Verfahrenstechnik.....	27
3.1.1	Der Wassergas-Shift-Reaktor	27
3.1.2	Beobachtete Problematik beim Betrieb des Wassergas-Shift-Reaktors	29
3.2	Wassergas-Shift-Katalysatoren.....	30
3.2.1	Deaktivierung von Wassergas-Shift-Katalysatoren.....	32
3.2.1.1	Diskussion über den Wassergas-Shift-Reaktionsmechanismus	32
3.2.1.2	Deaktivierung im stationären Betrieb	34
3.2.1.3	Deaktivierung während des Abschaltens des Systems	39
3.2.1.4	Einfluss höherer Kohlenwasserstoffe auf die Katalysatoraktivität	40
3.2.1.5	Einfluss der Raumgeschwindigkeit auf die Katalysatoraktivität und -stabilität	41
3.2.2	Katalysatorregeneration.....	43
3.2.3	Wassergas-Shift-Reaktion mit zusätzlicher Sauerstoffzugabe.....	45
3.3	Möglichkeiten zum Abfahren des Wassergas-Shift-Reaktors	47
4	Methodik der Versuchsdurchführung und der Modellierung	51
4.1	Methodik der Versuchsdurchführung	51
4.1.1	Teststände	51
4.1.1.1	Der Katalysator-Testreaktor-Teststand	51
4.1.1.2	Der Brenngaserzeugungssystem-Teststand	53
4.1.1.3	Analytik.....	55
4.1.2	Methodik der Versuchsauswertung.....	56

4.1.2.1	KTR-Tests: Katalysatoraktivität und -stabilität.....	56
4.1.2.2	Fehleranalyse.....	57
4.2	Methodik der dynamischen Modellierung.....	62
4.2.1	Reaktormodellierung.....	62
4.2.2	Berechnung der Wandtemperatur.....	65
4.2.3	Komponentenmodellierung.....	66
4.2.3.1	Autothermer Reformier.....	67
4.2.3.2	Wassergas-Shift-Reaktor.....	72
4.2.3.3	Wärmeübertrager.....	73
4.2.3.4	Hochtemperatur-Polymerelektrolyt-Brennstoffzelle.....	74
4.2.3.5	Katalytbrenner.....	74
4.2.3.6	Gesamtsystemmodell.....	76
5	Identifikation kritischer Betriebsparameter.....	77
5.1	Kritische Zustände im stationären Betrieb.....	77
5.2	Kritische Zustände im transienten Betrieb.....	86
5.3	Diskussion der Erkenntnisse.....	94
6	Spezifische Betriebsparameteranalyse und Katalysatorselektion.....	97
6.1	Stationärer Zustand.....	97
6.1.1	Methodik.....	97
6.1.2	Ergebnisse.....	99
6.2	Abfahrverhalten.....	104
6.2.1	Methodik.....	104
6.2.2	Ergebnisse.....	106
6.3	Kritische Reformatkomponenten.....	113
6.3.1	Methodik.....	113
6.3.2	Ergebnisse.....	115
6.4	Weitere kritische Betriebsbedingungen.....	121
6.4.1	Raumgeschwindigkeit.....	122
6.4.2	Temperaturspitzen.....	123
6.5	Diskussion der Ergebnisse.....	125
7	Ausarbeitung von Teilkonzepten für die Betriebsstrategie.....	129
7.1	Ausarbeitung neuer An-/ Abfahrstrategien.....	129
7.2	Katalysatorregeneration.....	138
7.3	Wassergas-Shift-Reaktion mit Sauerstoffzugabe.....	142
7.4	Diskussion der Ergebnisse.....	145
8	Ableitung der Betriebsstrategie.....	147
8.1	Charakterisierung von Katalysator B auf Systemebene.....	147

8.2	Betriebsstrategie für APU-Lastprofile	158
8.3	Betriebsstrategie für das Brennstoffzellensystem	167
9	Verbesserte Systemverschaltung	169
9.1	Variation Spülmedium	170
9.2	Verkürzte Abfahrdauer	173
9.3	Energierückgewinnung	175
9.4	Diskussion der Ergebnisse	176
10	Zusammenfassung	179
11	Nomenklatur	185
12	Abbildungsverzeichnis	193
13	Tabellenverzeichnis	201
14	Literaturverzeichnis	203
15	Anhang	215
16	Vermerk zu Veröffentlichungen und studentischen Arbeiten im Rahmen der Dissertation	263
17	Danksagung	265