

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung und Zielsetzung	1
2	Grundlagen und Stand der Technik	7
2.1	Brenngaserzeugung für Brennstoffzellen	7
2.1.1	Kriterienkatalog für die Verfahrensauswahl.....	8
2.1.2	Brenngaserzeugung aus Kerosin	12
2.1.3	Chancen und Herausforderungen für die Reformierung von Mitteldestillaten	15
2.1.4	Alternative Verfahren.....	19
2.2	Besondere Anwendungen für Brennstoffzellen.....	21
2.2.1	Bordstromversorgung mit Brennstoffzellen	21
2.2.2	Bordstromversorgung mit Brennstoffzellen in der Luftfahrt	23
2.2.3	Antrieb mit Brennstoffzellen in der Luftfahrt	26
2.3	Kerosin.....	30
2.3.1	Kerosinsorten	31
2.3.2	Anforderungen an Jet A-1	32
2.3.3	Zusammensetzung von Jet A-1.....	35
2.3.4	Stoffeigenschaften von Jet A-1	37
2.3.5	Additive im Kerosin.....	39
2.3.6	Vergleich zwischen Kerosin und anderen Kraftstoffen	40
3	Methodik der Modellierung	43
3.1	Beschreibung des Reaktionsmechanismus der autothermen Reformierung..	43
3.1.1	Die Rolle der Vorreaktionen	43
3.1.2	Definition des Reaktionsablaufes	45
3.1.3	Reaktionskinetik	48
3.2	Modellierung chemischer Reaktoren	50
3.2.1	Verweilzeitverteilung	50
3.2.2	Verweilzeitmodelle realer Reaktoren.....	53
3.2.3	Strömungsrohrreaktor	55
3.2.4	Kontinuierlich betriebener Rührkesselreaktor	58
4	Modellierung von Teilkomponenten.....	61
4.1	Autothermer Reformier	62
4.1.1	Adiabater Reformier	62
4.1.2	Reformier mit integriertem Wärmetauscher	64
4.1.3	Reformier ohne integrierten Wärmetauscher.....	72
4.2	Katalytischer Brenner und Nachbrenner	73
4.3	Wasser-Gas-Shift-Reaktor	76
4.4	Reaktor zur präferenziellen CO-Oxidation.....	79

Inhaltsverzeichnis

4.5	Elektrische Heizpatrone	81
4.6	Kerosinbrenner	84
4.7	Wärmetauscher	85
4.8	Zusammenfassung und Schlussfolgerungen	89
5	Statische Systemsimulation	91
5.1	Brenngaserzeugung für eine Festoxidbrennstoffzelle (SOFC).....	91
5.2	Brenngaserzeugung für eine Polymerelektrolytbrennstoffzelle (PEFC).....	93
5.3	Brenngaserzeugung für eine Hochtemperatur- Polymerelektrolytbrennstoffzelle (HT-PEFC)	96
5.4	Schlussfolgerungen	97
6	Experimente	99
6.1	Kriterienkatalog für den Reformer	99
6.2	Charakterisierung	99
6.2.1	Statische Versuchsplanung mit Hydroseal	99
6.2.2	Versuche mit Ersatzstoff für Jet A-1	102
6.2.3	Versuche mit entschwefeltem Kerosin Jet A-1	104
6.3	Alterungsverhalten	107
6.3.1	Langzeitversuch mit ATR 5B: 100 h mit entschwefeltem Kerosin Jet A-1	108
6.3.2	Langzeitversuch mit ATR 7: 500 h mit entschwefeltem Kerosin Jet A-1	111
6.3.3	Langzeitversuch mit ATR 8: 2000 h mit entschwefeltem Kerosin Jet A-1	113
6.4	Dynamisches Verhalten	116
6.4.1	Anfahren des Reformers	117
6.4.2	Lastwechsel.....	119
6.4.2.1	Lastwechselprofil: Alle 45 Minuten	119
6.4.2.2	Lastwechselprofil: Alle 10 Minuten	120
6.4.2.3	Vordefiniertes Lastwechselprofil.....	120
6.5	Schlussfolgerungen	123
7	Dynamische Simulation von Brenngaserzeugungssystemen	127
7.1	Start-up Strategien für Gesamtsysteme	127
7.1.1	SOFC-System	129
7.1.1.1	Anfahren mit Hilfe eines Kerosinbrenners.....	130
7.1.1.2	Anfahren mit Hilfe einer elektrischen Heizpatrone	132
7.1.1.3	Alternative Anfahrvorgänge für das SOFC-System.....	134
7.1.2	PEFC-System.....	136
7.1.3	HT-PEFC-System.....	140
7.2	Lastwechsel.....	143
7.2.1	Lastwechselverhalten des SOFC-Systems	143
7.2.2	Lastwechselverhalten des HT-PEFC-Systems	145

7.2.3 Lastwechselerhalten des PEFC-Systems	147
7.3 Fehleranalyse	149
7.4 Systemanalyse und Bewertung	151
8 Produktionstechnische Aspekte	155
8.1 Fertigungs- und Werkstofftechnik des Reformers	155
8.2 Kostenanalyse	158
8.3 Skalierung in die 50 kW _{el} Klasse	160
8.4 Schlussfolgerungen	163
9 Zusammenfassung	165
10 Ausblick	169
11 Literatur	171
12 Anhang	181