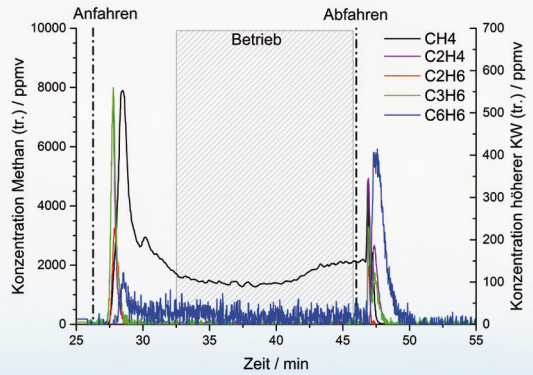


# Betriebsstrategien für Brenngaserzeugungssysteme zur Anwendung in HT-PEFC-Hilfsstromaggregaten

Daniel Krekel



Energie & Umwelt /  
Energy & Environment  
Band / Volume 356  
ISBN 978-3-95806-203-0

Forschungszentrum Jülich GmbH  
Institut für Energie- und Klimaforschung  
Elektrochemische Verfahrenstechnik (IEK-3)

# **Betriebsstrategien für Brenngas- erzeugungssysteme zur Anwendung in HT-PEFC-Hilfsstromaggregaten**

Daniel Krekel

Schriften des Forschungszentrums Jülich  
Reihe Energie & Umwelt / Energy & Environment

Band / Volume 356

---

ISSN 1866-1793

ISBN 978-3-95806-203-0

# 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

**Energie & Umwelt /  
Energy & Environment  
Band / Volume 356  
ISBN 978-3-95806-203-0**

