



Shaofei Chen (Autor)  
**Simulation eines SOFC-Brennstoffzellensystems mit  
Anodenabgasrückführung**

Schriftenreihe des Energie-Forschungszentrums Niedersachsen

**efzn**

Energie-Forschungszentrum  
Niedersachsen



**Simulation eines SOFC-  
Brennstoffzellensystems  
mit Anodenabgasrückführung**

Shaofei Chen  
Promotion an der Technischen Universität Braunschweig

Band 19



Cuvillier Verlag Göttingen

<https://cuvillier.de/de/shop/publications/6697>

Copyright:

Cuvillier Verlag, Inhaberin Annette Jentsch-Cuvillier, Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen, Germany  
Telefon: +49 (0)551 54724-0, E-Mail: [info@cuvillier.de](mailto:info@cuvillier.de), Website: <https://cuvillier.de>



## Inhaltverzeichnis

<b>1 Einleitung .....</b>	<b>1</b>
<b>2 Stand der Technik .....</b>	<b>3</b>
2.1 Klassifizierung der SOFC-Systeme .....	3
2.2 Modellierungsmethodik .....	10
2.2.1 Literaturüberblick .....	11
2.2.2 Modellaufbau in Matlab/Simulink .....	16
<b>3 Komponentenmodelle und Validierung .....</b>	<b>21</b>
3.1 Reformers-Nachbrenner-Reaktormodell .....	21
3.1.1 Aufgabenbeschreibung .....	21
3.1.2 Modellannahmen .....	26
3.1.3 Modellgleichungen .....	29
3.1.3.1 Stoffbilanz im Reformer .....	29
3.1.3.2 Stoffbilanz im Nachbrenner .....	35
3.1.3.3 Energiebilanz des gesamten Reaktors .....	37
3.1.4 Implementierung in Matlab/Simulink .....	40
3.1.5 Validierung .....	41
3.1.5.1 Gaszusammensetzung des Reformates .....	41
3.1.5.2 Das thermische Verhalten .....	47
3.2 Modell des SOFC-Stacks .....	50
3.2.1 Aufgabenbeschreibung .....	50
3.2.2 Modellannahmen .....	53
3.2.3 Modellgleichungen .....	56
3.2.3.1 Stoffbilanz in den Anodengaskanälen .....	56
3.2.3.2 Stoffbilanz in den Kathodengaskanälen .....	63
3.2.3.3 Energiebilanz .....	64
3.2.3.4 Das elektrochemische Modell .....	69
3.2.4 Implementierung in Matlab/Simulink .....	96
3.2.5 Validierung .....	98
3.2.5.1 Aufheizkurve .....	99
3.2.5.2 Strom-Spannung-Verhalten .....	102
3.2.5.3 Anteil der elektrochemischen CO-Oxidation .....	107
3.3 Injektormodell .....	116
3.3.1 Aufgabenbeschreibung .....	116



3.3.2	Das kennlinienbasierte Rezirkulationsverhältnis .....	119
3.3.3	Rezirkulationsverhältnis eines idealen Injektors .....	120
3.3.4	Energiebilanz .....	122
3.3.5	Implementierung in Matlab/Simulink .....	123
3.4	Wärmeübertragermodell .....	125
3.4.1	Aufgabenbeschreibung .....	125
3.4.2	Modellannahmen .....	129
3.4.3	Modellgleichungen .....	130
3.4.4	Implementierung in Matlab/Simulink .....	133
3.4.5	Modellvalidierung .....	134
<b>4</b>	<b>Simulation des SOFC-Systems .....</b>	<b>137</b>
4.1	Aufgabenbeschreibung der Systemsimulation .....	137
4.2	Stationäres Systemverhalten .....	138
4.2.1	Nennlastbetrieb im Ofen mit einem idealen Injektor .....	138
4.2.2	Nennlastbetrieb in „Hot-Box“ mit einem idealen Injektor .....	143
4.2.3	Teil- und Überlastverhalten im Ofen-Betrieb .....	147
4.2.4	Vergleich mit Messung .....	150
4.3	Dynamisches Systemverhalten .....	153
4.3.1	Konzept der Anfahrprozedur .....	153
4.3.2	Aufheizvorgang .....	155
4.3.3	Elektrochemisches Anfahren .....	157
4.3.4	Umschaltvorgänge von POX- auf AAGR-Betrieb .....	161
4.3.4.1	Umschaltung mit einem idealen Rezirkulationsverhältnis .....	161
4.3.4.2	Umschaltung mit Rezirkulationsverhältnis aus Kennlinie .....	166
4.3.5	Abschaltvorgang .....	168
4.3.5.1	Normaler Abschaltvorgang .....	168
4.3.5.2	Lastabwurf .....	171
4.3.6	Vergleich mit Messung .....	173
<b>5</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick .....</b>	<b>175</b>
5.1	Methodische Erkenntnisse .....	175
5.2	Simulationsergebnisse .....	178
5.3	Ausblick .....	180
	<b>Formelverzeichnis .....</b>	<b>183</b>
	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>191</b>



<b>Anhang</b> .....	<b>197</b>
Anhang 1	Formfaktor für die Wärmeleitung in der Isolierung ..... 197
Anhang 2	Analytische Berechnung der SOFC-Systemwirkungsgrade ..... 198
Anhang 3	Fließbild des AAGR-Systems mit Prüfstand ..... 203
Anhang 4	Fließbild des AAGR-Systemmodells für Hot-Box-Betrieb ..... 204
Anhang 5	Simulink-Systemmodell mit vorgegebenem $O/C_{Ref}$ -Verhältnis ..... 205
Anhang 6	Simulink-Systemmodell mit konstantem Rezirkulationsverhältnis ..... 206
Anhang 7	Simulink-Systemmodell für Hot-Box-Betrieb mit LuVo ..... 207
Anhang 8	Übersicht der verwendeten Kenngrößen für das AAGR-System ..... 208