

# Inhaltsverzeichnis

|  |            |
|--|------------|
| <b>Kurzfassung</b>   | <b>iii</b> |
| <b>Abstract</b>  | <b>v</b>   |
| <b>Formelzeichen</b>   | <b>ix</b>  |
| <b>1 Einleitung</b>  | <b>1</b>   |
| <b>2 SOFC-Brennstoffzelle und -Brennstoffzellensysteme</b>             | <b>7</b>   |
| 2.1 Funktion und Aufbau einer SOFC-Brennstoffzelle . . . . .           | 10         |
| 2.2 Materialien der SOFC . . . . .                                     | 13         |
| 2.3 Thermodynamik der Brennstoffzelle . . . . .                        | 13         |
| 2.3.1 Die Zellspannung im Ruhezustand . . . . .                        | 17         |
| 2.3.2 Die Zellspannung unter Last . . . . .                            | 20         |
| 2.4 Synthesegaserzeugung . . . . .                                     | 26         |
| 2.5 SOFC-Systeme / Stand der Technik . . . . .                         | 30         |
| 2.6 Systementwurf . . . . .  | 32         |
| <b>3 Exergieströme im Brennstoffzellensystem</b>                       | <b>35</b>  |
| 3.1 Exergiebilanzen zur Bewertung thermodynamischer Prozesse . . . . . | 37         |
| 3.2 Implementierung im Systemmodell . . . . .                          | 38         |
| 3.3 Referenzumgebung . . . . .   | 39         |
| <b>4 Modelle der Systemkomponenten</b>                                 | <b>41</b>  |
| 4.1 Einordnung des Modells / Literaturübersicht . . . . .              | 41         |
| 4.2 Modellgrundlagen . . . . .   | 45         |
| 4.2.1 Stoffmodelle . . . . .   | 46         |
| 4.2.2 Wärmeverluste . . . . .  | 47         |
| 4.3 Dielektrikum . . . . .   | 47         |
| 4.4 Adiabater Dampfreformer . . . . .                                  | 49         |
| 4.4.1 Eingangsbetrachtungen . . . . .                                  | 49         |

|          |  |            |
|----------|--|------------|
| 4.4.2    | Reformermodell . . . . .                                 | 52         |
| 4.4.3    | Validierung . . . . .                                    | 55         |
| 4.4.4    | Simulationsergebnisse des Reformermodells . . . . .      | 57         |
| 4.5      | Brennstoffzellenmodul . . . . .                          | 63         |
| 4.5.1    | Eingangsbetrachtungen . . . . .                          | 63         |
| 4.5.2    | Stackmodell . . . . .                                    | 65         |
| 4.5.3    | Validierung . . . . .                                    | 69         |
| 4.5.4    | Simulationsergebnisse . . . . .                          | 73         |
| 4.6      | Peripheriekomponenten . . . . .                          | 77         |
| 4.6.1    | Wärmeübertrager . . . . .                                | 77         |
| 4.6.2    | Oxidationseinheit . . . . .                              | 80         |
| 4.6.3    | Gebläse . . . . .  | 80         |
| 4.7      | Druckverluste . . . . .                                  | 81         |
| 4.7.1    | Druckverlust im Reformer . . . . .                       | 82         |
| 4.7.2    | Druckverluste in der SOFC . . . . .                      | 82         |
| 4.7.3    | Druckverluste in den Peripheriekomponenten . . . . .     | 84         |
| <b>5</b> | <b>Ergebnisse der Systemsimulation</b>                   | <b>85</b>  |
| 5.1      | Variation der Rezirkulationsrate . . . . .               | 85         |
| 5.2      | Exergetische Verlustidentifikation . . . . .             | 90         |
| 5.3      | Operative Systemgrenzen . . . . .                        | 94         |
| 5.4      | Parameterstudie . . . . .                                | 96         |
| 5.5      | Vertrauensbereich . . . . .                              | 100        |
| 5.6      | Simulation alternativer Brennstoffe . . . . .            | 102        |
| <b>6</b> | <b>Zusammenfassung und Ausblick</b>                      | <b>105</b> |
| <b>A</b> | <b>Anhang</b>  | <b>109</b> |
| A.1      | Simulationsparameter Brennstoffzellenmodul . . . . .     | 109        |
| A.2      | Wärme- und Druckverlustparameter . . . . .               | 110        |
| A.3      | Verwendete Stoffwerte . . . . .                          | 110        |
| A.4      | Exergieverluste und exergetische Wirkungsgrade . . . . . | 112        |
|          | <b>Literaturverzeichnis</b>                              | <b>124</b> |
|          | <b>Lebenslauf</b>  | <b>137</b> |