

# Weiterentwicklung des Konzeptes der partiellen Anodenabgas-Rückführung (AAGR) für propanbetriebene SOFC-Brennstoffzellensysteme

16638 N

Ziel dieses Projektes war es, neben der Charakterisierung der eingesetzten Brennstoffzellenstacks und der Entwicklung der Einzelkomponenten (Reformer/Brenner-Reaktor, Injektor), die statische und dynamische Simulation und Regelung zu modellieren und die Einzelaggregate zu einem Gesamtsystem zu koppeln.

Das Gesamtsystem wurde für den Betrieb eines Integrierten Stackmoduls (ISM) mit 1 kW Leistung der Firma sunfire GmbH dimensioniert. Um die Stoff- und Wärmeströme zu ermitteln und die unterschiedlichen Wärmeerschaltungsvarianten zu bewerten, wurden verfahrenstechnische Simulationen mit AspenPlus® durchgeführt. Dies ergab eine Wärmeerschaltungsvariante mit einem elektrischen Bruttowirkungsgradpotential von über 60 %. Die Simulation wurde im laufenden Projekt kontinuierlich auf Basis der Vermessung der Einzelkomponenten angepasst und der Gesamtsystembetrieb anhand der Simulation validiert. Außerdem wurde das Zusammenwirken der kritischen Betriebsparameter Brennstoffnutzungsgrad in der SOFC, Injektor-Rezirkulationsverhältnis und Reformierungstemperatur untersucht. Daraus wurden die Betriebsbedingungen für das Anfahren und den stationären Systembetrieb abgeleitet. Ein Mk200 Stack mit 30 ESC4-Zellen wurde in Ofenumgebung charakterisiert.

Die Simulation und die Katalysator-Screeninguntersuchungen bildeten die Basis für die Konzeption und den Bau der Brenner-Reformer-Einheit. Dabei lag der Schwerpunkt der Auslegung auf niedrigen Druckverlusten in Verbindung mit einem ausreichend hohen Wärmeübergang, um Reformeraustrittstemperaturen von mehr als 725 °C zu gewährleisten. Die Brenner-Reformer-Einheit erzeugte ein Reformat mit einer Zusammensetzung entsprechend dem thermodynamischen Gleichgewicht sowohl im POX- Betrieb als auch im AAGR-Betrieb. Im AAGR-Betrieb wurde ein Synthesegasanteil von bis zu 85 % erreicht. Das O/C-Ref-Verhältnis betrug dabei 1,6. Die Druckverluste lagen unter 5 mbar und die Reformeraustrittstemperaturen über 800 °C. Die Positionierung der Systemkomponenten und die Rohrleitungen wurden optimiert, um möglichst geringe Druck- und Wärmeverluste zu erzielen. Der entwickelte Heißgasinjektor konnte stabil betrieben werden. Die erforderliche Rezirkulationsrate wurde sowohl im Einzeltest als auch im Systembetrieb erreicht.

Das eingesetzte Stack-Modul verstromte das AAGR-Reformat bei einer Brennstoffnutzung FUSOFC von bis zu 88 % mit einer elektrischen Leistung ( $P_{el}$ ) bis zu 870 Watt. Dies entspricht einem Bruttosystemwirkungsgrad ( $P_{el}$  bezogen auf den Heizwert von 1lN/min Propan) von bis zu 56 %.

Mit dem dynamischen Systemmodell ließen sich kritische Betriebszustände erkennen und Betriebsstrategien für das An- und Abfahren bzw. die Umschaltung entwickeln. Die Simulation verschiedener Reglerstrukturen mit dem dynamischen Systemmodell verdeutlichte, dass die unterschiedlichen Betriebszustände stabil regelbar sind und die überprüften Strukturen für das System geeignet sind. Unterschiedliche Teile der Betriebsführung, wie zum Beispiel die Kanalbelegung der Messstellen, wurden mit Hilfe eines dafür entwickelten Software-in-the-Loop-Konzepts validiert. Für die Steuerung und Regelung des Gesamtsystems konnten verschiedene Betriebsarten entwickelt und implementiert werden. Das Aufheizen geschah im automatisierten Betrieb mit definierten Regel- und Stellgrößen.

Die Funktionsfähigkeit des Gesamtsystems wurde in den folgenden Betriebsmodi nachgewiesen: Start im Wasserstoff-Betrieb, stationärer Wasserstoff-Betrieb, Umschalten in den AAGR- Betrieb, stationärer AAGR-Betrieb. In allen Betriebsmodi erzielte der Injektor ausschließlich mit Hilfe der Injektorpropandosierung die erforderliche Anodenabgasrezirkulation.

Bearbeitet wurde das Forschungsthema vom 07/10 bis 01/13 von dem **CUTEC Institut GmbH** (Leibnizstr. 21-23, 38678 Clausthal-Zellerfeld, Tel.: 05323/933201) unter der Leitung von Dipl.-Ing. R.-U. Dietrich (Leiter der Forschungsstelle Prof. Dr. O. Carlowitz), dem **Zentrum für BrennstoffzellenTechnik ZBT GmbH** (Carl-Benz-Str. 201, 47057 Duisburg, Tel.: 0203/75984277) unter der Leitung von Dr. Chr. Spitta (Leiter der Forschungsstelle Prof. Dr. A. Heinzl), der **Technischen Universität Clausthal, Institut für Elektrische**

**Energietechnik** (Leibnizstr. 28, 38678 Clausthal-Zellerfeld, Tel.: 0531739125709 unter der Leitung von Prof. Dr. H.-P. Beck (Leiter der Forschungsstelle Prof. Dr. H.-P. Beck) und der **Technischen Universität Braunschweig, Institut für Wärme- und Brennstofftechnik** (Franz-Liszt-Str. 35, 38106 Braunschweig, Tel. 0531/3913033) unter der Leitung von Dr. H. Müller (Leiter der Forschungsstelle Prof. Dr. R. Leithner)

[--> TIB](#)

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Energie

Das IGF-Vorhaben Nr. 16638 N der Forschungsvereinigung DECHEMA, Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie e.V., Theodor-Heuss-Allee 25, 60486 Frankfurt am Main wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages