

Schlussbericht (der Forschungsstellen 1 - 4 von 4)

Zusammenfassung der Forschungsarbeiten

Im Rahmen des IGF-Projektes 251 ZN wurden folgende Ergebnisse bei der Entwicklung des Gesamtsystems, der Einzelkomponenten (Reformer/Brenner-Reaktor, Injektor), der Charakterisierung der SOFC, der Modellierung und der Regelung sowie der Kopplung der Einzelaggregate zu einem Gesamtsystem erreicht:

- Das Gesamtsystem wurde für den Betrieb eines 300-W-Stacks mit experimentell ermittelten Kenndaten dimensioniert.
- Der entwickelte kompakte Reformer/Brenner-Reaktor erzeugte Reformat mit einer Zusammensetzung entsprechend dem thermodynamischen Gleichgewicht sowohl im POX-Betrieb als auch im AAGR-Betrieb. Ein Synthesegasanteil von bis zu 86 % wurde im AAGR-Betrieb bei einem O/C_{Ref} -Verhältnis von 2,5 erreicht.
- Als kritischer Parameter zur Gewährleistung eines rußfreien AAGR-Betriebes wurde ein modifiziertes O/C_{Ref} -Verhältnis identifiziert und der reformerspezifische Grenzwert experimentell ermittelt.
- Durch modifizierte Schweißarbeiten am Reformer/Brenner-Reaktor wurde eine signifikante Reduzierung der Druckverluste im Brenner und insbesondere im Reformer ($\Delta p < 10$ mbar) erzielt.
- Der entwickelte Heißgasinjektor wurde stabil betrieben und eine Gasansaugung auch oberhalb eines Systemgedrucks von 25 mbar erfolgreich demonstriert.
- Die eingesetzten Stack-Module (Staxera MK100) verstromen das AAGR-Reformat bei einer Brennstoffnutzung $FU_{SOFC} = 64$ % mit einer elektrischen Leistung $P_{el} = 370$ W.
- Mit dem dynamischen Systemmodell wurden kritische Betriebszustände identifiziert und die entsprechenden Betriebsstrategien für An- und Abfahren bzw. die Umschaltung ermittelt. Das Systemmodell wurde für den Reglerentwurf und die modellbasierte Optimierung verwendet.
- Die Ergebnisse der Simulation verschiedener Reglerstrukturen mit dem dynamischen Systemmodell zeigen, dass die unterschiedlichen Betriebszustände stabil regelbar sind.
- Die Funktionsfähigkeit des Gesamtsystems wurde in den folgenden Betriebsmodi nachgewiesen: Start im POX-Betrieb, stationärer POX-Betrieb, Umschalten in den AAGR-Betrieb, stationärer AAGR-Betrieb, Betrieb mit Anodenabgasrezirkulation mittels Injektor und unterstützender Zudosierung von CO_2 und Wasser.

Unter Verwendung der Versuchsergebnisse aus der Komponentenentwicklung und der Systemuntersuchungen wurde nachgewiesen, dass die Projektziele erreicht wurden. Mit den Ergebnissen des Reformers/Brenners-Reaktors und der SOFC-Stacks:

- Brennstoffzufuhr von 0,46 I_N /min Propan (Reformer/Brenner-Reaktor- & Stack-Tests)
- Reformer-Eintrittstemperatur von 850 °C (Reformer/Brenner-Reaktor-Tests)
- Reformer-Austrittstemperatur von 802 °C (Reformer/Brenner-Reaktor-Tests)
- SOFC-Stack mit elektrochemischem Wirkungsgrad $\eta_{el} = 0,5$ und Brennstoffausnutzung $FU_{SOFC} = 68$ % (Stack-Tests)

ergibt sich aus der Simulation des ursprünglich geplanten Betriebspunktes ein elektrischer System-Wirkungsgrad von $\eta_{el} = 52,3 \%$ bezogen auf den unteren Heizwert H_u des eingesetzten Propanes. Aufgrund von Limitierungen des Injektors konnte allerdings nur ein abweichender Betriebspunkt realisiert werden, der einen elektrischen Wirkungsgrad von $\eta_{el} = 44,8 \%$ ermöglichen sollte.

Praktisch nachgewiesen wurde mit $0,43 \text{ l}_N/\text{min}$ Propan als Brennstoff im Bypass und einem – Injektor-Treibgasstrom von $0,8 \text{ l}_N/\text{min}$ CO_2 zur Ansaugung von Anodenabgas ein elektrischer System-Wirkungsgrad $\eta_{el} = 40 \%$ ($P_{el} = 270 \text{ W}$). Verglichen mit einem elektrischen Wirkungsgrad von $\eta_{el} = 27 \%$ im POX-Betrieb bei gleichem Propaneinsatz ($P_{el} = 190 \text{ W}$) **wurde damit das Ziel des Vorhabens erreicht**, den Wirkungsgradgewinn durch das AAGR-Prinzip praktisch nachzuweisen.

Die Abweichung von 5 Prozentpunkten im Vergleich zu der Simulation erklärt sich durch Degradationseffekte des eingesetzten SOFC-Stacks und des Reformerkatalysators im Verlauf der Messreihen.