



Fachbereich Maschinenbau



Institut für Technische Thermodynamik
Abteilung für Elektrochemische Energietechnik
70569 Stuttgart

Bachelor-Thesis

Experimentelle Analyse einer Strahlpumpe für den Einsatz in einer Anodengasrezirkulation an Festoxidbrennstoffzellen

eingereicht am: 28. August 2014
von: Wadim Siebert
Geboren in: Krasnodar
Matrikelnummer: 517264
Betreuer Prof. Dr. Willi Nieratschker
Dipl.-Ing. (FH) Moritz Henke M.Sc.

Kurzfassung

Mit dem Ziel, chemische Energieträger effizient in elektrische Energie umzuwandeln, entsteht am Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V. (DLR) in Stuttgart ein Hybridkraftwerk, das eine Festoxidbrennstoffzelle (solid oxide fuel cell = SOFC) und eine Mikrogasturbine (MGT) kombiniert. Auf diese Weise wird die Enthalpie und der enthaltene Restbrennstoff im Abgas der SOFC genutzt und ein zusätzlicher Generator in der MGT angetrieben. Der Verdichter stellt die Druckluft bereit, die den benötigten Sauerstoff für die chemische Reaktion in der SOFC liefert. Die Versorgung mit Wasserstoff wird durch den Einsatz von Methan als Brenngas (BG) sichergestellt. Damit wird eine Vorreformierung notwendig, die in einem Reformer katalytisch unter einer kontinuierlichen Zufuhr von Wärmeenergie und Wasserdampf abläuft. Ein ausreichend hoher Wasserdampfanteil im BG verhindert gleichzeitig Kohlenstoffablagerungen, die bei der hohen Betriebstemperatur von 850 °C entstehen und zum Verstopfen von Engstellen im System führen. Wird die benötigte Energie für die Vorwärmung und Wasserdampfanreicherung des BG extern zugeführt, wirkt sich das maßgeblich auf den Systemwirkungsgrad aus und hat ein entsprechendes Absinken zur Folge. Die aufgeführten Gründe machen deutlich, dass die angestrebte Effizienz des Hybridkraftwerks mit einer externen Wasserdampfbereitstellung nicht realisiert werden kann.

In diesem Zusammenhang beschäftigt sich diese Arbeit mit der Möglichkeit einen Teil des energiereichen Anodenabgases für die Vorwärmung und Wasserdampfanreicherung des BG zu nutzen, um damit auf die externe Energiequelle zu verzichten. Möglich wird das durch die exotherme chemische Reaktion der SOFC, bei der Wasser in ausreichender Menge als Produkt anfällt. Die Rezirkulation des Abgases führt gleichzeitig zu einer Erhöhung der Brenngasausnutzung (*fuel utilization* = FU) im System, die aufgrund der überstöchiometrischen BG-Versorgung der SOFC niedrig ausfällt und zu einem geringen Systemwirkungsgrad führt.

Die Möglichkeiten einer technischen Umsetzung dieses Konzeptes werden durch die hohe Betriebstemperatur begrenzt. Gleichzeitig muss ein erforderliches Rezirkulationsverhältnis erreicht werden, um einen ausreichend hohen Wasserdampfanteil im BG sicherzustellen. Eine vielversprechende Lösung ist der Einsatz einer Strahlpumpe, die ohne bewegliche Bauteile auskommt und damit einen einfachen Aufbau aufweist. Um den möglichen Einsatz dieses Pumpentyps in der Anodengasrezirkulation experimentell analysieren zu können, wurde am Institut für Technische Thermodynamik (TT) des DLR in Stuttgart ein Teststand konzipiert und aufgebaut. Durch Messungen unter verschiedenen Betriebsbedingungen wird der Einfluss der Betriebsparameter im Hybridkraftwerk auf das wichtige Rezirkulationsverhältnis bestimmt. Die Messergebnisse werden im Anschluss an die Sensitivitätsanalyse, bei der die maximale Versuchstemperatur $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ beträgt, auf die Betriebstemperatur von $850\text{ }^{\circ}\text{C}$ skaliert.

Die Ergebnisse der Untersuchungen zeigen, dass der Betriebsdruck des Systems und der Brenngasmassenstrom einen vernachlässigbar kleinen Einfluss auf das Rezirkulationsverhältnis haben. Dies ist eine wichtige Erkenntnis im Hinblick auf die verschiedenen Betriebsphasen des Kraftwerks, in denen sich diese Parameter in Abhängigkeit der Leistung ändern. Der Druckabfall an der SOFC stellt sich dagegen als sehr einflussreich heraus. Die untersuchte Strahlpumpe erreicht mit den geometrischen Abmessungen bei keiner Messung das geforderte Rezirkulationsverhältnis. Die anschließende Skalierung der Messergebnisse auf die Betriebstemperatur im Hybridkraftwerk belegt deutlich, dass die untersuchte Pumpe für einen Einsatz in der Anodengasrezirkulation ungeeignet ist.