



**Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt e.V.**
in der Helmholtz-Gemeinschaft



**FACHHOCHSCHULE
NORDHAUSEN**
University of Applied Sciences

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.
Institut für Technische Thermodynamik
Abteilung Elektrochemische Energietechnik

Fachhochschule Nordhausen
Fachbereich Ingenieurwissenschaften
Studiengang Regenerative Energietechnik

Ortsaufgelöste Charakterisierung von Festoxid-Brennstoffzellen (SOFC)

Bachelorarbeit

zur Erlangung des akademischen Grades

Bachelor of Engineering (B.Eng.)

| | |
|-----------------|--|
| Verfasser: | Alexander Herzog |
| Matrikelnummer: | 18506 |
| Erstgutachter: | Prof. Dr.-Ing. Joachim Fischer (FH Nordhausen) |
| Zweitgutachter: | Dipl.-Ing. Caroline Willich (DLR Stuttgart) |
| vorgelegt am: | 01.07.2010 |

Vorwort und Danksagung

Die vorliegende Arbeit entstand im Rahmen meiner Tätigkeit von Oktober 2009 bis April 2010 am Institut für Technische Thermodynamik des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR) in Stuttgart.

Zuallererst danke ich Frau Dipl.-Ing. Caroline Willich (DLR), die mich während des Verfassens der Bachelor-Thesis betreute und stets fachlich hervorragend unterstützte. Fragen und Anregungen stand sie durchweg offen gegenüber und trug somit maßgeblich zum Gelingen dieser Arbeit bei.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr.-Ing. Fischer, der mir als Dozent der Fachhochschule Nordhausen das Erstellen dieser Bachelor-Thesis ermöglichte und durch Anregungen zum Gelingen der Arbeit beitrug.

Dem Lehrstuhlinhaber des Institutes für Technische Thermodynamik Herrn Prof. Dr. Dr.-Ing. Müller-Steinhagen sowie dem Gruppenleiter Analytik und Methodik Herrn Dr. Schiller danke ich für die Ermöglichung dieser Arbeit am DLR in Stuttgart.

Weiterhin möchte ich den Mitarbeitern des DLR Stuttgart und besonders der SOFC-Gruppe danken, die stets für Fragen zur Verfügung standen und für ein gutes Arbeitsklima sorgten.

Der größte Dank gilt meiner Familie, die mich während des gesamten Studiums uneingeschränkt unterstützte und ohne deren Engagement mein Studium nicht möglich gewesen wäre.

Kurzfassung

In der vorliegenden Arbeit wurde eine anodengetragene Festoxid-Brennstoffzelle (SOFC) entlang des Brenngasströmungsweges orts aufgelöst elektrisch und chemisch analysiert. Die Zelle mit segmentierter Kathode wurde unter realistischen Bedingungen, wie sie auch beim Betrieb eines Stacks auftreten können, betrieben. Dies erfolgte bei einer Betriebstemperatur von 800 °C mit verschiedenen Flussraten eines Wasserstoff-Stickstoff-Gemisches und eines synthetischen Reformatgases. Zur Charakterisierung wurden sowohl integrale Zellkennlinien, als auch lokale Spannungs-Stromdichte-Kennlinien aufgenommen und die Anodengaszusammensetzung bei variierender elektrischer Belastung entlang des Strömungsweges an einer repräsentativen Segmentreihe analysiert. Mit Hilfe dieser Daten wurde die Verarmung des Brenngases entlang des Strömungsweges mit den lokalen U-i-Kennlinien korreliert, um kritische Bereiche und Betriebsbedingungen dieses Designs zu identifizieren.

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre hiermit, dass ich die vorliegende Arbeit ohne unzulässige Hilfe Dritter und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe; die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als solche kenntlich gemacht.

Insbesondere habe ich nicht die Hilfe einer kommerziellen Beratung in Anspruch genommen. Dritte haben von mir weder unmittelbar noch mittelbar geldwerte Leistungen für Tätigkeiten erhalten, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Arbeit stehen.

Die Arbeit wurde bisher weder im Inland noch im Ausland in gleicher oder ähnlicher Form eingereicht und ist als Ganzes auch noch nicht veröffentlicht.

Ort, Datum

Unterschrift

Inhaltsverzeichnis

| | |
|---|-------------|
| Inhaltsverzeichnis | I |
| Abkürzungsverzeichnis | III |
| Abbildungsverzeichnis | V |
| Tabellenverzeichnis | XII |
| Formelzeichen und Einheiten..... | XIII |
| 1 Einleitung | 1 |
| 1.1 Motivation | 1 |
| 1.2 Aufgabenstellung..... | 1 |
| 1.3 Überblick | 2 |
| 2 Grundlagen | 4 |
| 2.1 Grundlagen der Brennstoffzellentechnik..... | 4 |
| 2.1.1 Historie der Brennstoffzellen | 4 |
| 2.1.2 Wirkprinzip der Brennstoffzellen | 4 |
| 2.1.3 Brennstoffzellentypen | 7 |
| 2.2 Die Festoxid-Brennstoffzelle SOFC..... | 12 |
| 2.2.1 Allgemeine Aspekte..... | 12 |
| 2.2.2 Aufbau und prinzipielle Funktionsweise..... | 13 |
| 2.2.3 Elektroden- und Zellreaktionen..... | 14 |
| 2.2.4 Funktionsschichten..... | 16 |
| 2.2.5 Bauformen..... | 23 |
| 2.3 Thermodynamische und elektrochemische Grundlagen..... | 25 |
| 2.3.1 Kenngrößen der Brennstoffzelle | 25 |
| 2.3.2 Verlustmechanismen innerhalb der Brennstoffzelle..... | 27 |
| 2.3.3 Wirkungsgrade | 29 |
| 3 Experimentelle Untersuchungen..... | 32 |
| 3.1 Teststand für orts aufgelöste Brennstoffzellencharakterisierung | 32 |
| 3.1.1 Kammerofen N150/H..... | 33 |
| 3.1.2 Ofeninterner segmentierter Messaufbau | 33 |
| 3.1.3 Steuerschrank | 36 |
| 3.2 Charakterisierung der Brennstoffzellen | 37 |
| 3.2.1 Untersuchte Zellen | 37 |
| 3.2.2 Präparieren der segmentierten Zelle | 38 |

| | | |
|----------|---|------------|
| 3.2.3 | Modifikation des Messaufbaus und Zelleinbau | 38 |
| 3.2.4 | Inbetriebnahme der Zelle..... | 39 |
| 3.3 | Untersuchungsmethoden zur Zellcharakterisierung | 41 |
| 3.3.1 | Spannungs-Stromdichte-Kennlinien | 41 |
| 3.3.2 | Gaschromatographie | 42 |
| 3.4 | Versuchsdurchführung | 44 |
| 3.4.1 | Messprogramm | 44 |
| 3.4.2 | Notwendigkeit der Brenngasbefeuchtung..... | 45 |
| 3.4.3 | Referenzbedingungen | 45 |
| 4 | Ergebnisse und Diskussion | 46 |
| 4.1 | Wasserstoff-Versuchsreihe | 48 |
| 4.1.1 | Integrale Lastkennlinien..... | 48 |
| 4.1.2 | Lokale Lastkennlinien | 51 |
| 4.1.3 | Lokale Anodengasanalyse und Spannungsverteilung | 55 |
| 4.1.4 | Lokale Stromdichteverteilung | 61 |
| 4.1.5 | Lokale OCV-Verteilung..... | 64 |
| 4.1.6 | Veränderung des Lastverhaltens..... | 65 |
| 4.1.7 | Fazit..... | 66 |
| 4.2 | Reformatgas-Versuchsreihe | 67 |
| 4.2.1 | Integrale Lastkennlinien..... | 67 |
| 4.2.2 | Lokale Lastkennlinien | 70 |
| 4.2.3 | Lokale Anodengasanalyse und Spannungsverteilung | 73 |
| 4.2.4 | Lokale Stromdichteverteilung | 79 |
| 4.2.5 | Lokale OCV-Verteilung..... | 82 |
| 4.2.6 | Veränderung des Lastverhaltens..... | 83 |
| 4.2.7 | Fazit..... | 85 |
| 5 | Zusammenfassung und Ausblick | 86 |
| A | Anhang | 90 |
| A.1 | Komponenten des segmentierten Messaufbaus | 90 |
| A.2 | Lokale Anodengasanalyse und Spannungsverteilung der Wasserstoff- Versuchsreihe | 94 |
| A.3 | Lokale Anodengasanalyse und Spannungsverteilung der Reformatgas- Versuchsreihe | 98 |
| | Literaturverzeichnis | 102 |