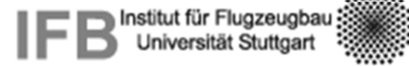




**Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt e.V.**
in der Helmholtz-Gemeinschaft



Entwicklung von Verschaltungskonzepten modularer Brennstoffzellensysteme für luftfahrtrelevante Anwendungen

Diplomarbeit

von

Herrn cand. aer. Torben Burberg

Matrikelnummer 2088855

31.07.2014

angefertigt am:

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.

Institut für Technische Thermodynamik

betreut durch:

Prof. Dr. rer. nat. K. Andreas Friedrich

Dipl. Ing. Oliver Thalau

Betreuung seitens der Universität Stuttgart:

Prof. Dr.-Ing Peter Middendorf

Dipl. Ing. Len Schumann

Institut für Flugzeugbau

Sperrvermerk

Der Inhalt der vorliegenden Arbeit

„Entwicklung von Verschaltungskonzepten modularer Brennstoffzellensysteme für luftfahrtrelevante Anwendungen“

enthält vertrauliche Informationen des Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt, DLR. Aus diesem Grund darf die vorliegende Arbeit nicht veröffentlicht oder vervielfältigt werden. Sie darf ausschließlich von den Betreuern der Universität Stuttgart, den Mitgliedern des Prüfungsausschusses und den dazu befugten Mitarbeitern des DLR eingesehen werden. Eine Weitergabe der Arbeit oder der enthaltenen Informationen an Dritte bedarf ausdrücklich der Zustimmung des

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Stuttgart

Professor Dr. K.A. Friedrich
Pfaffenwaldring 38-40
70569 Stuttgart

Andreas.Friedrich@dlr.de

Kurzfassung

Gegenstand der vorliegenden Arbeit ist die Entwicklung von Verschaltungskonzepten für ein modulares Brennstoffzellensystem für Luftfahrtanwendungen. Im Fokus stehen hierbei die elektrische Kopplung und Steuerung der Systeme in einem Verbund für die Bereitstellung elektrischer Leistung sowie sauerstoffabgereicherter Luft (ODA) durch Reduzierung der Kathodenstöchiometrie der Brennstoffzellen.

Aus Luftfahrtregularien und Dokumentationen vorangegangener Studien werden die Randbedingungen und eine Referenzflugmission abgeleitet, die als Grundlage zur Erstellung zweier Anforderungsprofile dienen, eines für elektrische Leistungsbereitstellung und eines für die ODA-Erzeugung.

Um die relevanten Betriebsbereiche der Brennstoffzellen zu identifizieren, wird ein Teststands-aufbau samt anforderungsgerechter Steuerung und Regelung entwickelt und in Betrieb genommen. Die nachfolgende Charakterisierung der einzelnen Systeme und des Systemverbunds im Hinblick auf Funktionalität, Leistung und ODA-Erzeugung bildet gemeinsam mit den erstellten Anforderungsprofilen die Basis für die Entwicklung von möglichen Betriebskonzepten.

Zwei vorteilhafte Strategien wurden herausgearbeitet und dargestellt. Die angestrebte Redundanz innerhalb des Verbunds begründet die Wahl einer Strategie zur Erfüllung der Anforderungen während des Referenzflugzyklus und wird durch einen entsprechenden Laborversuch experimentell nachgewiesen.

Abstract

Aim of the diploma thesis in hand is to develop concepts for interconnection of modular fuel cell systems for airborne applications. The focus is set on electrical interconnection and control of the combined systems for the provision of both, electrical power and oxygen depleted air (ODA) by reducing the cathode stoichiometry.

Boundary conditions and a reference flight mission are extracted for aviation authority regulations and preceding studies made therefore, which form the basis for two sets of requirements, one for electric power supply and one for ODA-production.

In order to identify the relevant operating range a test-bench with a tailored control system is developed and put into operation. The subsequent characterizations of the systems separately and in combination concerning functionality, power- and ODA-generation with the requirements set the fundament for developing possible strategies of operation.

Two advantageous strategies were worked out and shown. Due to the requested redundancy with in the combined system, one strategy fulfilling the requirements during the reference mission is chosen and verified experimentally in laboratory trial.

7 Zusammenfassung und Ausblick

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurden Verschaltungskonzepte für ein Brennstoffzellensystem mit einem modularen Aufbau, bestehend aus vier Systemen, zur Darstellung von Luftfahrtanwendungen entwickelt. Neben der Bereitstellung elektrischer Leistung zur Ablösung der APU in Verkehrsflugzeugen, steht die Erzeugung von sauerstoffabgereicherter Luft (ODA) für die Inertisierung der Treibstofftanks im Fokus. Aus entsprechenden Luftfahrtregulativen und vorangegangenen Studien ließen sich hierfür die Randbedingungen recherchieren und zu einem Anforderungsprofil zusammenstellen. Die Absenkung des Sauerstoffgehalts im Kathodenabgas der Brennstoffzelle auf 12 Gew.-% und weniger erfolgt in dieser Arbeit durch Anpassung der Kathodenstöchiometrie. Die Erfüllbarkeit der beiden Aufgaben, elektrische Leistung und ODA-Erzeugung, wurde anhand einer Referenzmission für einen typischen Kurzstreckenflug einer Verkehrsmaschine dargestellt.

Für den experimentellen Nachweis kommen insgesamt vier Brennstoffzellensysteme zum Einsatz, deren zwei unterschiedliche Leistungsklassen im Verhältnis 3:1 zueinander stehen. Der so entstandene symmetrisch-asymmetrische Aufbau stellt zum einen eine einfache Redundanz bezogen auf die zwei Seiten der Symmetrieachse dar, zum anderen wird durch die asymmetrische Zusammenstellung die individuelle Auslastung und somit die Effizienz der Systeme bei unterschiedlichen Szenarien in optimierte Betriebsbereiche gebracht.

Um das gesamte Spektrum möglicher Verschaltungskonzepte der Systeme untereinander im Hinblick auf Leistungsbereitstellung und ODA-Erzeugung zu erfassen, wurde eine Systemarchitektur entwickelt, die den gleichzeitigen Betrieb der Module in individuellen Betriebszuständen zulässt. Ein elektrisch paralleler Aufbau bietet dazu die notwendige Flexibilität. Zur Einspeisung in ein gemeinsames Bordstromnetz im Flugzeug müssen die last- und zellzahlabhängigen Spannungen der Brennstoffzellenmodule auf ein einheitliches Niveau angehoben werden. Diese Aufgabe kommt Gleichspannungswandlern zu, die zusätzlich die Regulierung der elektrischen Ströme an ihrer Ein- und Ausgangsseite ermöglichen. Sie bilden somit das erforderliche Stellglied in der parallelen Verschaltung der Module, um elektrische Ströme zwischen den Systemen zu verteilen. Zur Ansteuerung und Regelung der Gleichspannungswandler wurden mehrere Konzepte erarbeitet, implementiert und durch experimentelle Vorgehensweise selektiert. Das hieraus ausgewählte Verfahren bildet, zusammen mit den Steuer- und Regelementen für die Brennstoffzellenmodule, elektrische sowie verfahrenstechnische Peripherie, eine systemübergreifende Testplattform zur Durchführung des Versuchsprogramms.

Aus den durchgeführten Charakterisierungen der Brennstoffzellensysteme einzeln und im Verbund konnten Grenzwerte und Betriebsfelder ermittelt werden, welche die Entwicklung von geeigneten Betriebsszenarien ermöglichten. In einem Ausschlussverfahren konnte die Vielzahl möglicher System-Kombinationen und Betriebszustände auf zwei im Hinblick auf die Referenzmission vorteilhafte Verschaltungskonzepte reduziert werden. Eines davon erwies sich zusätzlich durch die vollständige Wahrung der Redundanz im Gesamtverbund als besonders geeignet und wurde im Laborversuch verifiziert. Die Vorteile eines asymmetrischen Aufbaus in Bezug auf die Erfüllung unterschiedlicher ODA-Massenstromanforderungen konnten hierbei durch eine einfache symmetrische Verteilung der Belastung auf die Systeme ebenfalls nachgewiesen werden.

Um das Potenzial einer abgesenkten Kathodenstöchiometrie für die Erzeugung von ODA in vollem Umfang darzustellen, sind weitere Versuche zur Verifizierung der berechneten Lambda-Werte erforderlich.

Eine weitere Methode zur Sauerstoffverarmung der Brennstoffzellenabluft ist die serielle Kopplung der Kathodengasströme. Versuche, die diese Variante der verfahrenstechnischen Verschaltung in Relation zur Stöchiometrieabsenkung setzen, sind geplant und werden vorbereitet.

Die Lebensdauer der Zellen stellt ein wichtiges Bewertungskriterium für die Betriebsstrategie dar. In Langzeitversuchen sollten daher die Auswirkungen der jeweiligen Methode zur Abreicherung der Luft herausgearbeitet werden. Die Grundlagen sind durch erste Messungen im Verlauf dieser Arbeit gelegt.