

WASSERGENERIERUNG AUS DER BRENNSTOFFZELLE

T. Otto

Airbus Operations GmbH, 21129 Hamburg, Deutschland

Zusammenfassung

Im Rahmen eines Forschungsprojektes zur multifunktionalen Brennstoffzellenanwendung im Flugzeug wird ein Wassergenerierungssystem entwickelt, um das Produktwasser der Brennstoffzelle als Trinkwasser nutzbar zu machen. Die Hauptkomponenten des Systems wurden im Labormaßstab aufgebaut und unter verschiedenen Betriebsbedingungen getestet. Dabei konnte gezeigt werden, dass das System in der Lage ist, Wasser in geforderter Menge und Qualität bereitzustellen.

1. EINLEITUNG

Polymerelektrolytmembran-Brennstoffzellen (PEM-FC) erzeugen neben elektrischer Energie einen Abgasstrom aus sauerstoffarmer feuchter Luft, aus dem die Nebenprodukte Wasser und Inertgas gewonnen werden können. Für einen wirtschaftlichen Einsatz der Brennstoffzellentechnologie an Bord von Verkehrsflugzeugen ist es sinnvoll, diese Nebenprodukte im Rahmen eines multifunktionalen Systemansatzes nutzbar zu machen. Durch die Verwendung des von der Brennstoffzelle produzierten Wassers zur Versorgung des Flugzeug-Frischwassersystems ergeben sich Vorteile, wie eine Gewichtsreduzierung durch geringeren Wassertankfüllstand beim Start und eine gleichbleibend hohe Wasserqualität sowie Kosteneinsparungen durch Vermeidung der Betankung aus Wasserwagen. Die Idee, Produktwasser einer Brennstoffzelle zur Trinkwasserversorgung zu verwenden, stammt ursprünglich aus der Raumfahrt und wurde erfolgreich in den Apollo- und Space-Shuttle-Missionen umgesetzt. Eine kommerzielle Anwendung dieser Technologie in anderen Bereichen steht allerdings bis heute aus.

2. SYSTEMARCHITEKTUR

Die prinzipielle Systemarchitektur geht aus BILD 1 hervor. Das System besteht im Wesentlichen aus den Komponenten Kondensator, Wasserabscheider, Speichertank, Pumpe und Wasseraufbereitungseinheit. Das feuchte Abgas der Brennstoffzelle wird im Kondensator, der an ein Kühlsystem angeschlossen ist, abgekühlt und das auskondensierte Wasser anschließend im Wasserabscheider vom Inertgas getrennt. Da das im Tank zwischengespeicherte Wasser deionisiert ist, wird es anschließend mit Hilfe der Pumpe durch die Wasseraufbereitungseinheit geleitet, die Mineralien in definierter Menge und Zusammensetzung zudosiert, um die Anforderungen der Trinkwasserverordnung einhalten zu können. Der für die Versuche verwendete Brennstoffzellentyp weist eine Evaporationskühlung auf. Dabei wird ein Teil des auskondensierten Wassers aus dem Speichertank zum kathodenseitigen Lufteingang der Brennstoffzelle zurückgeführt. Durch die Erwärmung und Verdampfung des Wassers wird die Brennstoffzelle gekühlt und die Luft befeuchtet.

3. EXPERIMENTELLE UNTERSUCHUNGEN

3.1. Aufbau des Laborsystems

Im Labormaßstab wurde ein Versuchssystem aufgebaut (BILD 2). Es besteht aus zwei Brennstoffzellenstapeln mit Evaporationskühlung, die eine maximale elektrische Leistung von jeweils 15 kW bereitstellen, einem Kondensator mit Wasserabscheider und einem Speichertank. Alle wesentlichen wasserführenden Komponenten sind aus Edelstahl ausgeführt. Die Anordnung der Komponenten erfolgte in vertikaler Richtung, so dass das System durch Schwerkraft drainierbar ist. Zur Untersuchung des Einflusses unterschiedlicher Kühltemperaturen wurde der Kondensator an einen temperaturgeregelten Kaltwassersatz angeschlossen. Zur Desinfektion kann das System über einen Dampfgenerator mit Heißdampf beaufschlagt werden.

3.2. Wasserquantität

Die theoretisch maximal erreichbare spezifische Wasserproduktion des Systems beträgt ca. 0,5 l pro Kilowattstunde erzeugter elektrischer Energie der Brennstoffzelle. In der Realität hängt die produzierte Wassermenge von verschiedenen Betriebsparametern ab. Zur Untersuchung dieses Einflusses wurden umfangreiche Versuchsreihen durchgeführt. Dabei wurden die Parameter Kühltemperatur im Kondensator, Luftüberschuss auf der Kathodenseite und Stromstärke der Brennstoffzelle variiert.

Die Abhängigkeit der spezifischen Wasserproduktion von der Kühltemperatur ist in BILD 3 beispielhaft dargestellt. Während bei einer Temperatur von 35°C die Wasserproduktionsrate 0,35 l/kWh beträgt, steigt dieser Wert auf 0,46 l/kWh bei 5°C an.

Die Abhängigkeit der spezifischen Wasserproduktion vom Luftüberschuss geht aus BILD 4 hervor. Unabhängig von der Stromstärke steigt die Wasserproduktion mit niedrigerem Luftüberschuss deutlich an.

Die größte absolute Wasserproduktion ergibt sich bei großer Stromstärke, niedriger Kühltemperatur und kleinem Luftüberschuss.

3.3. Wasserqualität

Da für synthetisch erzeugtes Wasser keine speziellen Gütevorschriften existieren, wurde zur Beurteilung der Wasserqualität die deutsche Trinkwasserverordnung herangezogen. Dort sind chemische und mikrobiologische Grenzwerte definiert. Geprüft wurde die Wasserqualität hauptsächlich im Hinblick auf pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit, organischen Kohlenstoff, Metallionen und koloniebildende Einheiten.

Das Wasser weist eine sehr geringe elektrische Leitfähigkeit von weniger als $10 \mu\text{S}/\text{cm}$ auf. Der pH-Wert liegt im sauren Bereich unterhalb des zulässigen Mindestwertes von 6,5. Teilweise ist eine mit der Zeit abfallende Tendenz festzustellen. Ursache hierfür ist unter anderem die Aufnahme von Kohlendioxid aus der Luft. Die Konzentrationen an Metallionen sind gering und liegen unterhalb der maximal zulässigen Grenzwerte. Der Anteil an organischem Kohlenstoff TOC (Total Organic Carbon) schwankt zwischen 1 und 2 mg/l und liegt damit im üblichen Rahmen für Leitungswasser. Das Vorhandensein von organischem Kohlenstoff im Produktwasser ist vermutlich auf Degradationsmechanismen in der Brennstoffzelle zurückzuführen.

Die mikrobiologische Untersuchung des Produktwassers hat ergeben, dass das Verhalten des Wassergenerierungssystems hinsichtlich der Verkeimung prinzipiell mit dem des herkömmlichen Flugzeug-Frischwassersystems vergleichbar ist. Durch regelmäßige Anwendung einer Desinfektionsprozedur ist eine wirkungsvolle Keimreduktion entsprechend den Vorgaben der Trinkwasserverordnung möglich.

3.4. Wasseraufbereitung

Da das auskondensierte Wasser nicht in vollem Umfang der Trinkwasserverordnung entspricht, ist eine Wasseraufbereitung erforderlich. Im Wesentlichen betrifft dies den pH-Wert, der durch Zugabe von Mineralien innerhalb der gesetzlichen Grenzwerte eingestellt und stabilisiert werden muss. Gleichzeitig wird eine Erhöhung der elektrischen Leitfähigkeit erreicht. Mit Hilfe theoretischer Überlegungen und anschließender Versuche wurde eine geeignete Mineralienzusammensetzung gefunden, mit der eine zuverlässige und reproduzierbare Einstellung des pH-Wertes und der Leitfähigkeit möglich ist. Die Löslichkeit ist bei allen Betriebstemperaturen ausreichend. Eine eventuelle Überdosierung ist unproblematisch, da sich in diesem Falle zwar die Leitfähigkeit erhöht, der pH-Wert aber stabil bleibt.

Im nächsten Schritt sind Möglichkeiten für eine technische Umsetzung der Wasseraufbereitung zu untersuchen. Hierfür ist eine geeignete Dosiereinheit zu entwickeln, die die Mineralien automatisch in der erforderlichen Menge dem Produktwasser zugibt.

4. ZUSAMMENFASSUNG

Umfangreiche Versuche mit einem Laborsystem haben gezeigt, dass die Verwendung von Produktwasser aus dem Abgas von Polymerelektrolytmembran-Brennstoffzellen für das Frischwassersystem in Flugzeugen möglich ist. Die Wasserproduktionsrate hängt von verschiedenen

Betriebsparametern ab. Wichtige Einflussfaktoren sind die Kühltemperatur, der kathodenseitige Luftüberschuss und die Stromstärke der Brennstoffzelle. Um die Anforderungen der deutschen Trinkwasserverordnung zu erfüllen, ist eine Wasseraufbereitung und regelmäßige Desinfektion des Systems notwendig.

Die Herausforderung besteht in der Optimierung des Systems für die Anwendung im Flugzeug. Dabei kommt der Entwicklung eines gewichtsminimierten Kondensators sowie einer robusten Wasseraufbereitungseinheit besondere Bedeutung zu.

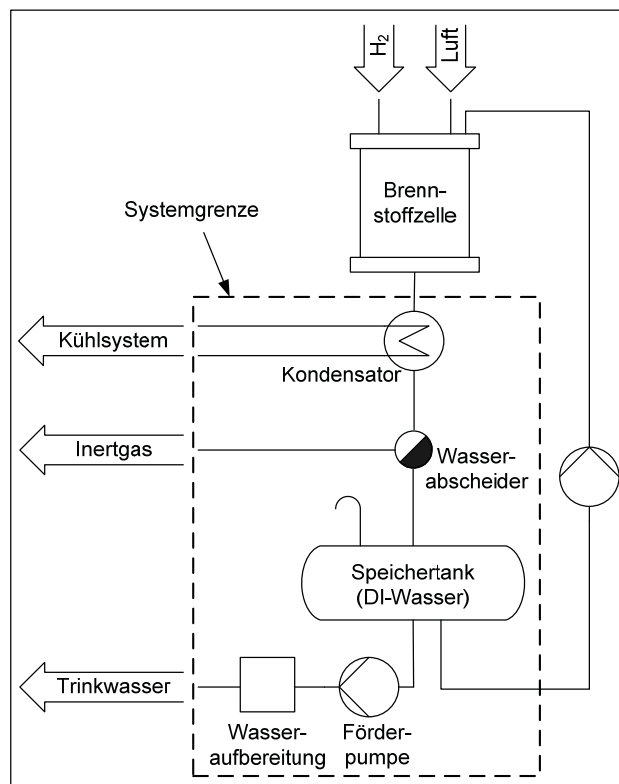


BILD 1. Wassergenerierungssystem



BILD 2. Laborsystem

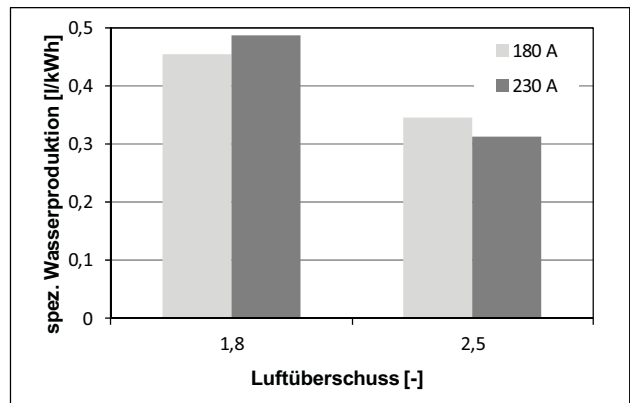


BILD 4. Spezifische Wasserproduktion in Abhängigkeit vom Luftüberschuss

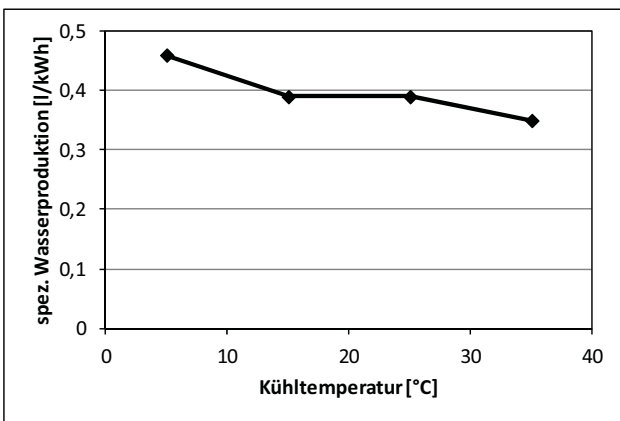


BILD 3. Spezifische Wasserproduktion in Abhängigkeit von der Kühltemperatur