

Das Fraunhofer-Institut für Naturwissenschaftlich-Technische
Trendanalysen berichtet über Neue Technologien

Festoxid-Brennstoffzellen für mobile Systeme

Bei der Elektrifizierung des Antriebs mobiler Systeme spielt das für die geforderten Leistungen nötige Gewicht der verwendeten Energiespeicher und -wandler eine entscheidende Rolle. Besonders dort, wo rein batterieelektrische Antriebe wegen der verhältnismäßig geringen Speicherdichten von Batterien nicht eingesetzt werden können, werden Brennstoffzellen als Stromlieferanten für Elektromotoren eine immer größere Rolle spielen. Dies ist z. B. bei Langstreckenflugzeugen, Überseeschiffen oder im Schwerlastverkehr der Fall. Hierfür sind Festoxid-Brennstoffzellen (Solid Oxide Fuel Cells, SOFC) prinzipiell besonders gut geeignet, da in ihnen die elektrochemische Energiewandlung von Treibstoffen in Elektrizität mit besonders hoher Effizienz stattfindet. Allerdings sind bis zur marktfähigen Einsetzbarkeit von SOFC in mobilen Anwendungen noch einige Probleme zu lösen. Namensgebend für diesen Brennstoffzellentyp ist der aus einem festen keramischen Werkstoff bestehende Elektrolyt (Ionenleiter), der bei hohen Temperaturen (typischerweise ca. 600 bis 1.000 °C) in der Lage ist, Sauerstoff-Ionen zu leiten, dabei aber für Elektronen isolierend wirkt. Damit unterscheidet sich die SOFC von der derzeit im mobilen Bereich dominierenden Polymerelektrolyt-Brennstoffzelle (Proton Exchange Membrane Fuel Cell, PEMFC), die wegen der geringeren benötigten Betriebstemperaturen von etwa 60 bis 120 °C für die Leitung von Wasserstoff-Ionen (Protonen) durch eine Polymermembran zu den Niedertemperatur-Brennstoffzellen gezählt wird. Die besonderen Vorteile der SOFC liegen in ihren im Vergleich höheren Wirkungsgraden und der temperaturbedingt größeren Flexibilität bezüglich der verwendbaren Treibstoffe.

Der Einsatz von SOFC erscheint dort am sinnvollsten, wo Systeme für lange Zeiträume bzw. permanent betrieben werden, da dann ihre längeren Anlaufzeiten nicht ins Gewicht fallen. Da SOFC am besten mit möglichst konstanter Last betrieben werden sollten, wird für Systeme mit Lastwechseln typischerweise die Kombination mit einer wiederaufladbaren Batterie vorgesehen, die die Startphase überbrückt und Spitzenlasten ausgleicht.

In der stationären Energieversorgung werden große SOFC schon seit längerem z. B. als Blockheizkraftwerke zur Strom- und Wärmeversorgung eingesetzt, wo sie ihre höheren Wirkungsgrade voll ausspielen können (Wirkungsgrad elektrisch > 60 Prozent, gesamt > 85 Prozent) und Nachteile wie die langen Anlaufzeiten im Minutenbereich oder die mechanische Empfindlichkeit nicht ins Gewicht fallen. Auch zur Energieversorgung kleinerer Haushalte verbreiten sie sich immer mehr. In mobilen Anwendungen werden sie aber erst vereinzelt getestet. Von Interesse wären sie hier für spezifische Antriebslösungen sowohl in den Bereichen Land und See als auch in der Luft. Allerdings bringen die Betriebsbedingungen in Mobilitätsanwendungen teils spezielle Herausforderungen mit sich.

So gibt es Forschungsbedarf bei der Lebensdauer der verwendeten Materialien. Z. B. kommt es im Wechselbetrieb zu Veränderungen ihrer Mikrostruktur als Folge der unterschiedlichen Temperaturschwankungen der verwendeten Werkstoffe. Auch im Dauerbetrieb entstehen Veränderungen der Struktur durch die bei hohen Temperaturen ablaufenden Oberflächenreaktionen zwischen den verschiedenen Werkstoffen bzw. zwischen den Werkstoffen an der Oberfläche und der Luft. Darüber hinaus wird bei den keramischen Elektrolyten an der Verbesserung der Ionenleitung und niedrigeren Betriebstemperaturen gearbeitet, was nicht nur generell die Leistungsdichte erhöht, sondern auch die praktische Eignung für mobile Anwendungen, da dadurch die Anlaufzeiten verkürzt würden.

Ziel vieler Entwicklungsarbeiten sind außerdem eine hohe Treibstoffflexibilität und Toleranz gegenüber Kraftstoff- und Luftverunreinigungen bei möglichst geringer Systemkomplexität. Die meisten SOFC benötigen derzeit, wenn sie nicht mit reinem Wasserstoff, Methan, Methanol oder auch Ammoniak betrieben werden, einen zusätzlichen externen Reformier, der Treibstoffe auf Basis von Kohlenwasserstoffen in Wasserstoff und Kohlenmonoxid aufspaltet. Dieses Reformat genannte Gemisch reagiert dann mit dem Sauerstoff in der Brennstoff-

zelle zu Wasser und Kohlendioxid. Vor allem bei längerkeittigen Kohlenwasserstoffen wie Kerosin, Diesel oder Schweröl stellt der Gehalt an aromatischen Verbindungen ein Problem dar. Aromaten können z. B. an der Anode zu Kohlenstoffablagerungen führen, die die Leistung beeinträchtigen. Ziel der Entwicklung ist es daher, für den Reformier die Umwandlungseffizienz und Zuverlässigkeit zu erhöhen. Im Idealfall könnte zukünftig die komplette Reformierung innerhalb der Brennstoffzelle ablaufen und auf einen vorgeschalteten Reformier verzichtet werden. Für Propan und Butan, die die Hauptbestandteile von Flüssiggas sind (Liquified Petroleum Gas, LPG), konnte dieses Ziel auch schon erreicht werden.

Eine weitere Entwicklungsrichtung zielt auf die Miniaturisierung von SOFC, um diese auch für die Stromversorgung besonders kleiner bzw. miniaturisierter mobiler Systeme nutzbar zu machen. So könnten Mikro-SOFC auf Basis von Mikrostrukturierungstechniken und Dünnschichtabscheidung kleine mobile Systeme mit Strom versorgen. Wegen der dünnen Membranen konnten inzwischen gute Wirkungsgrade im Temperaturbereich von 300 bis 700 °C nachgewiesen werden. Darüber hinaus wird aufbauend auf den Erfahrungen mit Mikro-SOFC bereits an nanostrukturierten SOFC gearbeitet, womit Baugrößen bis in den Submillimeterbereich denkbar wären.

Die Durchsetzung von SOFC im Markt bei mobilen Anwendungen wird ganz wesentlich davon abhängen, dass die Zellen eine ausreichende Robustheit demonstrieren können, als Folge moderner Fertigungsverfahren preislich konkurrenzfähig werden und leicht verfügbare flüssige Kraftstoffe wie Flüssiggas möglichst direkt nutzen können. Längerfristig könnten die Fortschritte im Bereich der Fertigung und der Senkung der Betriebstemperatur auch zur Energieversorgung von Mikrosystemen führen. Insgesamt ist zu erwarten, dass die Festoxid-Brennstoffzelle mit einem zunehmend breiter werdenden Anwendungsspektrum einen großen Beitrag zur effizienten Stromerzeugung leisten wird.

Dr. Ulrik Neupert