

## Die Hochtemperatur-Brennstoffzelle bei Siemens

### Vom Funktionsprinzip zum Blockheizkraftwerk

Harald Landes, Siemens AG, Erlangen

Die Brennstoffzelle wurde zwar schon 1839 also 27 Jahre **vor der Dynamomaschine erfunden**. Aber erst seit wenigen Jahren nähert sich die Technik einem Entwicklungsstand, der schließlich dem Dynamo in einigen Anwendungsfeldern ernsthaft Konkurrenz machen könnte.

Was einerseits als Vorteil der Brennstoffzelle erscheint, die Erzeugung elektrischer Energie direkt aus der Oxidation eines Brenngases ohne Umweg über eine Flamme, eine Gas- oder Dampfturbine und einen Generator, entpuppt sich bei der Realisierung als große Hürde. Die aggressiven chemischen Bedingungen um den Verbrennungsvorgang herrschen nämlich in der Brennstoffzelle unweigerlich auch dort, wo z.B. elektrischer Strom über korrosionsanfällige Kontakte zwischen verschiedenen Materialien fließen muss.

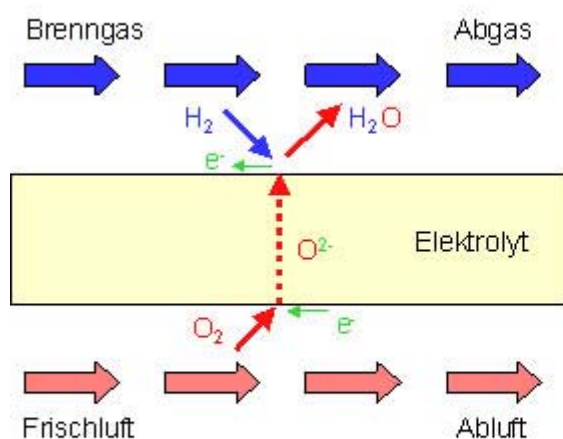
Die konventionelle Stromerzeugung, bei der die Energiewandlung in chemisch-thermische, thermisch-mechanische und mechanisch-elektrische Schritte separiert ist, erleichterte und beschleunigte die Entwicklung einer Gesamtlösung offensichtlich entscheidend.

Nur **High-Tech-Werkstoffe**, die dementsprechend teuer sind, halten den Anforderungen des Brennstoffzellen-Betriebes stand. Und diese **hohen Kosten** sind es, die, wenn die technischen Probleme gelöst sind, einem wirtschaftlich konkurrenzfähigen Produkt immer noch im Wege stehen.

Damit sind schon die typischen Hindernisse charakterisiert, die einer raschen Verbreitung dieser Technik im Wege stehen und an deren Überwindung die Entwickler weltweit arbeiten.

### Aber wie funktioniert nun so eine Brennstoffzelle eigentlich?

Ihr wichtigstes Bauteil ist der sogenannte Elektrolyt, ein Material, das elektrischen Strom ausschließlich in Form von Ionen, also geladenen Atomen oder Atomgruppen leitet. Der Elektrolyt trennt in Form einer dünnen, gasdichten Wand zwei flache Kammern. Die eine Kammer wird mit dem Brenngas, z.B. Wasserstoff, gespült, die andere mit Luft.



Das Prinzip der Brennstoffzelle



Röhrenförmige keramische Brennstoffzellen für ein Blockheizkraftwerk

Leitet der Elektrolyt z.B. Sauerstoffionen ( $O^{2-}$ ), so saugt die sauerstoffverzehrende Oxidation des Wasserstoffs den Sauerstoff von der Luftseite durch den Elektrolyten auf die Brenngasseite. Da der Elektrolyt aber eben nur Ionen leitet, wird der Sauerstoff gezwungen, dabei Ladung zu transportieren. Er muss Elektronen auf der luftseitigen Elektrolytoberfläche aufnehmen, sich dadurch in ein Ion verwandeln, den Elektrolyten durchqueren und auf der brenngasseitigen Elektrolytoberfläche diese Elektronen wieder abgeben, wenn er das Brenngas oxidiert.

Können die Elektronen von der Elektrolytoberfläche nicht abfließen, so baut sich eine elektrische Gegenspannung von etwa 1 V auf, die schließlich Ionenwanderung und Brenngasoxidation zum Stillstand bringt. Erst wenn die Elektronen durch einen äusseren Stromkreis von der Brenngasseite auf die Luftseite zurückfließen können, sinkt diese Gegenspannung, und Ionenfluss und Brenngasoxidation gehen wieder weiter.

Da die Elektrolytoberfläche, so wie der Elektrolyt selbst, nicht elektronenleitend ist, müssen sogenannte „Elektroden“ aufgebracht werden, um die Ladungen in den äusseren Stromkreis abzuleiten. Damit der Umsatz zwischen den Gasmolekülen, den Elektronen und den Ionen erleichtert wird, sind die Elektroden gasdurchlässig, also porös, elektronisch gut leitend und katalytisch wirksam ausgeführt.

Zum Verständnis des Funktionsprinzips einer Brennstoffzelle ist es offensichtlich nebensächlich, ob das Oxidationsmittel, also der Sauerstoff, durch den Elektrolyten wandert oder ob der Elektrolyt nur das Brenngas, wie z.B. den Wasserstoff, als Ion passieren lässt. Für den jeweiligen technischen Anwendungsbereich ist dieser Unterschied allerdings wesentlich.

Natürlich muss der Energieaufwand für den Ladungstransport aus der Verbrennungswärme des Brenngases gespeist werden. Deshalb wird bei dieser elektrochemischen Oxidation wesentlich weniger Wärme frei als bei der gewöhnlichen Verbrennung: statt dessen wird elektrische Energie an den Stromkreis abgegeben.

An die Anwendung des elektrochemischen Grundprinzips dieser Art der Stromerzeugung sind wir eigentlich gewöhnt, seit wir Taschenlampen benutzen. In deren Batterie findet ein vergleichbarer Prozess statt, nur dass dort der Brennstoff und das Oxidationsmittel in den sogenannten Elektrodenmassen gespeichert sind. Die Batterie ist „leer“, wenn die Elektrodenmassen durch die den Strom treibende Oxidationsreaktion aufgebraucht sind. Dem gegenüber werden bei der Brennstoffzelle Brennstoff und Oxidationsmittel den Elektroden kontinuierlich über Leitungen zugeführt, so dass Strom fließen kann, solange diese Versorgung aufrecht erhalten wird.

Warum gilt heute die Brennstoffzelle als Hoffnungsträger einer **umweltfreundlichen Stromerzeugung**? Das ist zunächst gar nicht selbstverständlich. Zwar kann mit Wasserstoff, dem Brenngas, das für die elektrochemische Oxidation am besten geeignet ist, nur Wasserdampf als Abgas entstehen. Aber erstens gilt das auch für einen Wasserstoffmotor, und zweitens hat man so das Problem der CO<sub>2</sub>-Freisetzung nur vom Ort der Stromerzeugung an den Ort der Wasserstoffproduktionsanlage verschoben.

Diese Schwierigkeit kann mit Hilfe der sogenannten Hochtemperatur-Brennstoffzellen, die bei 650 bis 1000°C arbeiten, gelöst werden. Diese Zellen auf Basis eines Elektrolyten aus geschmolzenem Karbonat oder aus ionenleitender Keramik können ihre eigene Abwärme dazu nutzen, den Wasserstoff, den sie „verzehren“, aus Erdgas ohne zusätzlichen Energieaufwand selbst herzustellen. Mit solchen Konzepten konnten die Firmen MTU und Siemens in Anlagen von 100 bis 250 kW bereits Stromerzeugungswirkungsgrade von 46 % nachweisen. Damit kann der CO<sub>2</sub>-Ausstoß pro erzeugter kWh, verglichen mit konventionellen Blockheizkraftwerken gleicher Größe, gesenkt werden.

Gemessen an der gewöhnlichen Verbrennung in einer Flamme erzeugt die Brennstoffzellen-Reaktion auch weniger von dem Spurengas NO<sub>x</sub>, da dieses erst bei Temperaturen deutlich über 1000°C nennenswert gebildet wird.

Damit nun aus dem „Grundprinzip Brennstoffzelle“ ein technisch und wirtschaftlich konkurrenzfähiges Produkt zur umweltfreundlichen Stromerzeugung werden kann, muss eine Vielzahl von Effekten und Prozessen beherrscht werden, die zwar im weitesten Sinne dem Fachgebiet der Physikalischen Chemie zugeordnet werden können, in der Regel aber durch andere Disziplinen bearbeitet werden.

Für eine mit Erdgas betriebene Anlage auf Basis der keramischen Solid Oxide Fuel Cell (SOFC) sind das etwa folgende **Problemgebiete**:

- elektronische und ionische Leitungsvorgänge in Metallen, oxidischen Keramiken und ihren Kontakten unter Betriebsbedingungen
- Thermodynamik der Brenngase und Zellmaterialien
- Gasdiffusion und Strömung in porösen Strukturen
- Elektrokatalyse an Elektrodenmaterialien
- Katalyse und Verfahrenstechnik der Brenngasaufbereitung/Wasserstoffherzeugung

- Strömungsmechanik der Gase über den Elektroden, in den Gasverteilungskanälen und Zuleitungen
- Zelldesign und Erkennung kritischer Betriebszustände durch Computersimulation von Gasfluss-, Wärmefluss- und Stromflussverteilungen
- Chemische Wechselwirkung der Zellmaterialien und der Reaktionsgase im Dauerbetrieb („Alterungsverhalten“)
- Bruchfestigkeit der Zellen bei Beanspruchung durch Wärmedehnungseffekte (verursacht durch Temperaturunterschiede im Betrieb und beim Aufheizen und Abkühlen der Zellen)
- Herstellung metallischer und keramischer Ausgangsmaterialien und deren Formgebung
- Beschichtungstechnik zur Herstellung der dünnwandigen Zellstrukturen
- Maschinenbau.

Deshalb arbeiten in einem **Brennstoffzellen-Entwicklungsteam** Physiker, Chemiker, Werkstoffwissenschaftler, Verfahrenstechniker, Fertigungstechniker, Maschinenbauer und Elektrotechniker eng zusammen. Um die Zelle nicht am Markt vorbei zu entwickeln, bedarf es frühzeitig eines Informationsaustausches mit Marketingfachleuten und potentiellen Kunden.

Allgemeine **Informationen** zum Thema Brennstoffzelle findet man im Internet z.B. unter „[www.fuelcells.org](http://www.fuelcells.org)“.

Über das Entwicklungsprogramm von Siemens zur „Hochtemperatur-Brennstoffzelle SOFC für die dezentrale Energieversorgung“ erhält man Auskunft unter „<http://www.pg.siemens.com/en/fuelcells>“.

Ausserdem wird die Brennstoffzellen-Entwicklung von Siemens auf zwei **Veranstaltungen** im Rahmen der „Langen Nacht der Wissenschaften“ in Erlangen am 25. Oktober 2003 von 19:00 bis 01:00 vorgestellt:

- Ausstellung „Brennstoffzelle“ im Computer-Chemie-Centrum, Erlangen, Nägelsbachstraße 25
- Vortrag „Brennstoffzellentechnologie im Überblick und deren Herausforderungen“ im Institut für Organische Chemie der Universität Erlangen, Henkestraße 42.

Für weitere **Fragen** zum Thema Brennstoffzelle wenden Sie sich bitte an Dr. Harald Landes, Siemens AG, E-Mail: [harald.landes@siemens.com](mailto:harald.landes@siemens.com)