

# Das Solar-Wasserstoff-Projekt in Neunburg vorm Wald

**SWB**  
Ein Unternehmen der  
Bayernwerk-Gruppe



## Stromerzeugung in Brennstoffzellen

**Betrieb eines Elektro-Gabelstaplers  
mit Brennstoffzellenanlage demonstriert**



Drei unterschiedliche Arten von Brennstoffzellenanlagen wurden in der SWB-Anlage in Neunburg vorm Wald getestet. Die Erfahrungen mit einer stationären phosphorsauren Brennstoffzellenanlage sind nach großen Anfangsproblemen im Großen und Ganzen positiv.

Der Betrieb eines Elektro-Gabelstaplers mit einer Festpolymer-Brennstoffzellenanlage erfolgt derzeit. Trotz der knapp bemessenen Leistung kann der Stapler auch vernünftig als Arbeitsgerät verwendet werden. Eine alkalische Brennstoffzellenanlage erwies sich als empfindlich.

### **Erzeugung von Elektrizität aus Wasserstoff**

Aus Wasserstoff läßt sich nicht nur Wärme, Kälte und Kraft, sondern auch Elektrizität erzeugen. Dies geschieht in einer sogenannten Brennstoffzelle, in der auf elektrochemischem Wege Wasserstoff mit Sauerstoff zu Wasser umgesetzt wird, wobei gleichzeitig Strom und Wärme entstehen, theoretisch dem Umkehrprozeß zur Wasser-Elektrolyse.

Im Jahr 1839 demonstrierte der Walliser Richter William Grove, ein Freund von Michael Faraday, zum ersten Mal das Prinzip der Brennstoffzelle. Es beruht darauf, daß sich in einer elektrochemischen Reaktion, also nicht durch Verbrennung, Wasserstoff und Sauerstoff zu Wasser verbinden. Bei diesem Prozeß, der durch einen Katalysator in Gang gebracht wird, entsteht elektrischer Strom, gleichzeitig als Nebenprodukt Wärme. Da jedoch die Entdeckung der elektrischen Induktion durch Michael Faraday die Stromerzeugung mit Dynamomaschinen ermöglichte, trat die Entwicklung von Brennstoffzellen damals zunächst wieder in den Hintergrund.

Die systematische Erforschung begann in Deutschland in den fünfziger Jahren mit der alkalischen Brennstoffzelle. Dies bildete die Grundlage für den Aufbau funktionsfähiger Systeme mit Anlagen bis 100 Kilowatt elektrischer Leistung. Ein wesentlicher An Schub für die weitere Entwicklung kam in den sechziger und siebziger Jahren durch die Raumfahrt, für die die Brennstoffzelle eine optimale Energiequelle darstellt. Die Entwicklung wurde erst wieder in den letzten Jahrzehnten intensiviert und wesentlich durch Fortschritte in der Materialforschung beschleunigt. Einen technischen Durchbruch mit breiter kommerzieller Anwendung gibt es bis heute für diese Technologie noch nicht, jedoch sind von allen Brennstoffzellentypen bereits Demonstrationsanlagen in größerem Maßstab realisiert worden. Mit einem Markteintritt der einen oder anderen Technologie ist wohl in den kommenden Jahren zu rechnen.

### **Das Grundprinzip der Brennstoffzelle**

Vereinfacht gesagt, könnte man sich eine Brennstoffzelle wie eine Batterie vorstellen, die ununterbrochen nachgeladen wird. Normalerweise sind die Kammern einer Batterie oder eines Akkumulators dann entladen, wenn die in ihrem "Brennstoff" gebundene chemische Energie aufgebraucht ist. Führt man jedoch ständig neue chemische Energie zu, so läßt sich kontinuierlich elektrische Energie entnehmen. In der Brennstoffzelle geschieht dies durch die Zufuhr von Wasserstoff und Sauerstoff. Die Zellen können prinzipiell mit unterschiedlichen Brennstoffen betrieben werden, zum Beispiel auch mit Erdgas, Methanol, Propan, Butan oder Benzin. Der letztlich für die Energiefreisetzung notwendige Wasserstoff wird in einem vorgeschalteten "Reformer" so aus den Brennstoffen erzeugt, daß er in der Zelle reagieren kann. Bei einigen Typen liefert die Umgebungsluft den nötigen Sauerstoff, er kann aber auch direkt zugeführt werden. Die chemische Reaktion in der Brennstoffzelle selbst ist weitgehend schadstofffrei, lediglich bei der Reformierung des Brennstoffs werden geringe Mengen an Emissionen erzeugt, die somit in Summe weit unter den vergleichbaren Werten anderer Energiewandler liegen.

### **Eine chemische Umsetzung erzeugt freie Elektronen**

Ein Kernstück jeder Brennstoffzelle ist der Elektrolyt, der die beiden Elektroden, also den Plus- und den Minuspol, und damit die beiden Einsatzgase voneinander trennt. Die Bezeichnung der unterschiedlichen Brennstoffzellentypen leitet sich meist vom verwendeten Elektrolyten ab. Die beiden Elektroden sind mit einem Katalysator belegt. Nun wird der Brennstoff - also beispielsweise Wasserstoff - an den Minuspol und das Oxidans - also Sauerstoff oder Luft - an den Pluspol geleitet. Im daraufhin ablaufenden Prozeß werden durch die katalytische Wirkung der Elektroden Ionen, also geladene Teilchen, und Elektronen gebildet. Über einen externen Stromverbraucher wird der Stromkreis geschlossen, es fließt elektrischer Strom. Außerdem wird zusätzlich Reaktionswärme frei, die genutzt werden kann. Es entsteht, sofern Wasserstoff als Brenngas verwendet wird, in der Reaktion reines Wasser. Die Brennstoffzelle ist somit ein Energiewandler, der einerseits Gleichstrom und andererseits Wärme erzeugt.

## **Unterschiedliche Typen von Brennstoffzellen**

Je nach Materialkombination gibt es unterschiedliche Arten von Brennstoffzellen. Ein wesentliches Unterscheidungsmerkmal, auch in Hinblick auf die Einsatzmöglichkeiten, ist die Betriebstemperatur. Man unterscheidet üblicherweise zwischen Niedertemperatur- (80 bis 200 Grad) und Hochtemperatur-(650 bis 1000 Grad) Brennstoffzellen. Niedertemperatur-Brennstoffzellenanlagen sind besonders gut geeignet für Anwendungen im mobilen Bereich, während sich die anderen Systeme mehr für den stationären Betrieb empfehlen.

Mit ansteigender Temperatur sinken im allgemeinen die Anforderungen an die Qualität der eingesetzten Brennstoffe. Andererseits werden bei hohen Temperaturen zusätzliche Anforderungen an die Werkstoffe gestellt. Die technische Reife ist bei den Niedertemperatursystemen im allgemeinen weiter fortgeschritten als bei den Hochtemperatursystemen.

## **Eine Anlage umfaßt viele Zellen**

Die Brennstoffzelle ist der aktive Teil der Stromquelle. Da eine einzelne Zelle aber nur eine Gleichspannung von typischerweise 0,5 bis 0,8 Volt liefert, werden viele Zellen in Reihe geschaltet, um eine brauchbare Ausgangsspannung zu erzeugen. Die einfachste Anordnung ergibt die Schichtung zu einem Brennstoffzellenstapel, auch "Stack" genannt. Um die Ausgangsleistung weiter zu erhöhen, werden diese Stacks dann parallel oder seriell verschaltet, so daß insgesamt ein modularer Aufbau entsteht. Einrichtungen zur Stromabnahme und zur Abfuhr der Reaktionswärme sind notwendig. Gleichzeitig muß für die Zu- bzw. Abfuhr von Brennstoff/Oxidans bzw. Reaktionsprodukten gesorgt werden. Die Anlagenperipherie sorgt auch für die Steuerung der Anlage und für die Umwandlung des Gleichstroms zu Wechselstrom.

## **Betriebserfahrungen im SWB-Projekt**

In Neunburg vorm Wald wurden drei verschiedene Brennstoffzellenanlagen getestet und verglichen. Die einzelnen Typen sind für unterschiedliche Anwendungen geeignet. Als stationäre Anlage zur Erzeugung von Strom bei gleichzeitiger Abwärmenutzung schnitt eine "Phosphorsaure Brennstoffzellenanlage" günstig ab, die bei rund 190 Grad Celsius arbeitet und bei 165 Grad Celsius die erzeugte Wärme auskoppelt. Eine "Alkalische Brennstoffzellenanlage", die als Oxidans Sauerstoff erfordert, erwies sich als empfindlich und wurde nach 1994 nicht weiter betrieben.

Eine "Festpolymer-Brennstoffzellenanlage", deren Betriebstemperatur bei 60 Grad liegt, hat sich in Neunburg als geeignet erwiesen für den Einsatz in mobilen Anwendungen. Ein derartiges System mit zehn Kilowatt Leistung treibt dort einen modifizierten Serien-Elektro-Gabelstapler an. Gespeist wird die Brennstoffzellenanlage mit Wasserstoff aus einem Metall-Hydridspeicher, dessen Füllung für etwa acht Stunden Betriebszeit ausreicht.

In einer Simulationsanlage für Fahrzyklen wird diese Anlage mit beliebig vorprogrammierbaren Leistungskurven belastet und getestet. Generell ergab sich, daß diese Art von Brennstoffzellen-Technologie als elektrochemische Stromquelle insbesondere für den zukünftigen Einsatz in Elektrofahrzeugen prädestiniert ist.