

# Die Energiezukunft steht unter Strom

**Energie ist sein Leben. Ulf Bossel, Energiespezialist und Gründer des European Fuel Cell Forums, glaubt an den Durchbruch der mit Erd- und Biogas betriebenen Brennstoffzelle. Den Bau neuer Kernkraftwerke hält er aus wirtschaftlicher, energiepolitischer und ökologischer Sicht für unüberlegt. Stattdessen sollen die erneuerbaren Energien konsequent und mit höchster Effizienz genutzt werden, sagt er im Gespräch mit der «Elektrotechnik».**

**Interview: Erich Schwaninger**

**Herr Bossel, wie heizen Sie Ihr Haus?**

*Ulf Bossel:* Unser Haus mit Baujahr 1983 verfügt über einen Elektro-Nachtspeicher. Die Gebäudehülle ist sehr gut isoliert, die Fenster sind dreifach verglast. So benötigen wir recht wenig Energie.

**Sie sind also ein überzeugter Stromkonsument?**

*Bossel:* Nein, das nicht unbedingt. Doch mit Ausnahme von Biomasse wird erneuerbare Energie als Nutzwärme und Strom geerntet. Das bedeutet, dass wir uns auf eine Stromwirtschaft einstellen müssen. Heizöl wird immer stärker durch Wärmedämmung, Energiesparen und den Einsatz von Wärmepumpen ersetzt. Das ist der Weg in die Zukunft und nicht die Substitution von Erdöl durch Erdgas oder Wasserstoff. Erdöl und Erdgas versiegen, und Wasserstoff müssen wir mit anderer Energie herstellen.

**Mit Wasserstoff und Brennstoffzellen könnten Sie Ihren Strom produzieren.**

*Bossel:* Wasserstoff ist nicht in der Form verfügbar, in der man ihn braucht. Wasserstoff ist im Wasser chemisch gebunden. Im Grunde genom-

**Ulf Bossel, ein Mann der Tat: «Wir müssen alle geeigneten erneuerbaren Energien konsequent nutzen, auch das Holz.»**

men ist Wasser verbrannter Wasserstoff, die Asche vom Wasserstoff. Mit viel elektrischem Strom müssen wir diesen Verbrennungsvorgang rückgängig machen, um Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff zu spalten. Man muss dafür immer mehr elektrische Energie investieren, als man durch Verbrennung des Wasserstoffs jemals wieder zurückgewinnen kann. In der Tat brauchen die Wasserstoffherstellung, dessen Verteilung und Rückwandlung in der Brennstoffzelle zu elektrischem Strom etwa viermal mehr Energie, als wenn der Strom direkt genutzt würde. Wasserstoff steht deshalb nie zu einem vernünftigen Preis zur Verfügung. Strom aus der Steckdose wird immer billiger sein als

Strom von einer Wasserstoff-Brennstoffzelle.

**Weltweit wird an der Brennstoffzelle geforscht. Täuschen sich diese Forscher alle?**

*Bossel:* Man muss zwischen den verschiedenen Brennstoffzellentypen unterscheiden. Für die Hochtemperatur-Brennstoffzelle sehe ich eine Zukunft. Diese Festoxyd-Brennstoffzelle gibt

**«Atomenergie macht im Moment 2,5 Prozent der weltweiten Energieproduktion aus. Das Problem sind die übrigen 97,5 Prozent.»**

noch Wärme zum Heizen ab und kann mit Erdgas oder Biogas betrieben werden, das macht Sinn. Aus Erd- oder Biogas Wasserstoff erzeugen zu wollen, ist hingegen unvernünftig, denn man kann beide Gase ja auch direkt verwenden.

**Wie weit sind Brennstoffzellen schon entwickelt?**

*Bossel:* Es gibt vier bis fünf Ausführungen von Brennstoffzellen, die



mit unterschiedlichen Elektrolyten arbeiten. Die Brennstoffzellen, die mit Erdgas betrieben werden können, sind weitgehend entwickelt und bewähren sich in der Praxis. Zwischendurch kam jedoch die Euphorie mit der Polymer-Brennstoffzelle, die nur mit Wasserstoff betrieben werden kann. Dieser Zellentyp ist technisch ebenfalls weitgehend entwickelt. Er scheitert jedoch in der praktischen Anwendung wegen des Fehlens von Wasserstoff. Infolge der hohen Brennstoffkosten ist die Wirtschaftlichkeit von Wasserstoff-Brennstoffzellen heute und in Zukunft nicht gegeben. Zum Aufbau einer Wasserstoff-Infrastruktur gibt es deshalb bis heute keinen Finanzentscheid. Niemand will in eine unsichere Zukunft investieren. Man hat sich von falschen Versprechungen der Wasserstoff-Befürworter irritieren lassen. Investoren kehren reumütig zur Festoxyd-Hochtemperaturzelle zurück.

### **Macht es Sinn, mit Biogas eine Brennstoffzelle zu betreiben? Man könnte das Gas auch direkt verbrennen und ein Kraftwerk betreiben.**

*Bossel:* Brennstoffzellen haben gegenüber Gasturbinen gewisse Vorteile. Sie sind um den Faktor 100 sauberer, es entsteht kein  $\text{NO}_x$ , und wegen der höheren Effizienz ist auch der  $\text{CO}_2$ -Ausstoss geringer. Ihr Systemwirkungsgrad liegt bei rund 50 Prozent. Grosse Gas-Kombikraftwerke haben wohl einen höheren Wirkungsgrad, doch für die Stromerzeugung in regionalen Anlagen bis 200 Kilowatt, wo der Gasmotor typischerweise eingesetzt wird, arbeitet dieser mit einem Wirkungsgrad von lediglich 38 Prozent.

**«Mit Photovoltaik kann man von einer bestimmten Landfläche etwa 200-mal mehr Nutzenergie ernten als mit dem Anbau von Energiepflanzen.»**

### **Können Sie der Idee, mit Photovoltaik Wasserstoff zu erzeugen, etwas abgewinnen?**

*Bossel:* Auch wenn der Strom von der Photovoltaik-Anlage kommt, sollte man ihn direkt nutzen, das ist am sinnvollsten. Geht das nicht, muss eine Batterie dazwischengeschaltet

## **Die Brennstoffzelle – eine alte Technik**

Das Prinzip der Brennstoffzelle wurde bereits 1838 vom deutsch-schweizerischen Chemiker *Christian Friedrich Schoenbein* entdeckt. 1842 legte dann der britische Naturwissenschaftler *Sir William Robert Grove* den Grundstein für die heutige Brennstoffzellentechnik. Der Vorgang: Sauerstoff und Wasserstoff vereinigen sich mit explosiver Gewalt zu Wasserdampf, wenn ein Gemisch der beiden Gase gezündet wird. In der Brennstoffzelle wird diese Reaktion – allerdings ohne Knall und Flamme – über eine elektrochemische Reaktion zur Produktion von Strom und Wärme genutzt.

Brennstoffzellen sind effiziente und saubere Energiewandler, aber keine Energiequellen. Mit reinem Wasserstoff betrieben scheiden sie direkt praktisch nur Wasserdampf aus. Als Energielieferanten kommen neben Wasserstoff auch wasserstoffhaltige Gase wie *Erdgas*, *Deponiegas*, *Biogas* und *Methan*, in Kombination mit einem vorgeschalteten Reformier auch *Benzin* oder *Methanol* in Frage. Der Stromwirkungsgrad liegt bei gut 50 Prozent.

Seit den 50er-Jahren ist die Brennstoffzelle der Stromlieferant für die bemannte Raumfahrt. Für stationäre Anwendungen sind einige 200-kW-Anlagen bereits seit über 60 000 Stunden mit Erdgas und immer noch mit dem ersten Stapel in Betrieb. Von solchen Laufzeiten ist

die mit reinem Wasserstoff betriebene Polymer-Brennstoffzelle noch weit entfernt. Diese werden deshalb für den wesentlich kurzlebigeren Einsatz in Automobilen entwickelt. Allerdings erfordert diese Technik den Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft.

### **Wasserstoff – Energieträger wie elektrischer Strom**

Wasserstoff ist das chemische Element mit der Ordnungszahl 1 und wird durch das Elementsymbol H abgekürzt (für lateinisch *hydrogenium* «Wassererzeuger»). Im Periodensystem steht es in der 1. Periode und der 1. Gruppe. Wasserstoff, das häufigste chemische Element des Universums, ist jedoch nur in chemischer Bindung mit anderen Elementen vorhanden. Es ist Bestandteil des Wassers und der meisten organischen Verbindungen. Wasserstoff lässt sich also nicht irgendwo abbauen oder aus der Erde fördern. Wasserstoff ist deshalb keine Energie, sondern lediglich ein Energieträger, ähnlich wie der elektrische Strom. Dieser lässt sich auch nicht irgendwo einsammeln. Aus energetischer Sicht lässt sich Wasserstoff nur mit hohen Verlusten speichern. Das oft genannte breite Anwendungsspektrum wie Antreiben von Fahrzeugen, Heizen oder Stromerzeugung lässt sich deshalb kaum wirtschaftlich nutzen. (es)

werden. Wasserstoff ist der absolut schlechteste Weg, um Strom zu speichern; vor und hinter dem Speicher entstehen riesige Verluste. Vom Energetischen her gesehen macht ein Wasserstoffspeicher keinen Sinn. Man muss dreimal mehr Photovoltaik installieren, also dreimal mehr Strom erzeugen, als letztlich elektrische Energie zur Nutzung zur Verfügung steht. Auch grosstechnologisch ist das nicht möglich. Die grösste Brennstoffzelle, die es heute gibt, leistet 100 Kilowatt, ein Windrad liefert drei Megawatt. Wasserstoff eignet sich nicht als Stromspeicher.

### **Ein Kernkraftwerk leistet sogar 1000 Megawatt. Ist die Nutzung der Kernkraft die Zukunft?**

*Bossel:* Mit Atomkraftwerken können wir das Energieproblem nicht lösen. Atomenergie macht im Moment 2,5 Prozent der weltweiten Energieproduktion aus. Das Problem sind die übrigen 97,5 Prozent. Um diese Grösse müssen wir uns kümmern. Man müsste 40-mal mehr Kernkraftwerke haben, um den heutigen Energiehun-

ger zu stillen. So viel Uran steht nicht zur Verfügung.

### **Was schlagen Sie vor?**

*Bossel:* Erstens einmal eine effiziente Energienutzung. Zweitens die erneuerbaren Energien konsequent nutzen, und zwar alle, die sich eignen. Das ist der Warmwasserkollektor auf dem Dach, die Wärmepumpe zur Nutzung von Erdwärme, die bessere Wärmeisolation, die Holzheizung, Biogas, Photovoltaik, Windenergie. Alle zusammen leisten einen Beitrag, sodass wir die 97,5 Prozent abbauen können. Einen Energiemangel müssen wir mit allen Mitteln verhindern.

### **Der aktuelle Anteil erneuerbarer Energie am Gesamtverbrauch ist marginal. Die von Ihnen vorgeschlagenen Lösungen vermögen das Problem nicht zu lösen.**

*Bossel:* Wir stehen erst am Anfang der erneuerbaren Energie. 1970 hat die Kernenergie auch nur einen bescheidenen Beitrag zur Energieversorgung geleistet. Wir kommen nicht darum herum, unseren Energiebedarf aus er-

erneuerbaren Quellen zu decken. Auch müssen wir mehr aus Energie machen, also für die Erhaltung unseres Lebensstandards weniger Energie verbrauchen. Langfristig gesehen gibt es keine andere Energiequelle als die erneuerbare Energie.

**Möglichkeiten sind also vorhanden. Um diese gezielt zu fördern, bedarf es einer schlagkräftigen, klaren Energiepolitik. Wie nehmen Sie diese wahr?**

*Bossel:* Das Bundesamt für Energie hat sich für mich erkennbar geändert und sich in jüngster Zeit immer wieder für erneuerbare Energien und Energieeffizienz ausgesprochen. Das sind die zwei Pfeiler für die neue Energiepolitik. Die lange Zeit verfolgte Strategie «alle Optionen offen halten» ist natürlich keine Energiepolitik, sondern die Angst vor einem konkreten Entscheid. Wenn alle zusammenarbeiten, die Politik, Energiewirtschaft, Energienutzer, die Installateure usw., ist es möglich, innerhalb von 50 Jahren auf eine nachhaltige Energieversorgung umzustellen.

**Die Schweiz muss ihre Kernkraftwerke jedoch schon in 20 Jahren abschalten. Ihre Strategie wird den drohenden Stromengpass nicht verhindern können.**

*Bossel:* Man muss natürlich die sich bietenden Möglichkeiten auch ausschöpfen wollen. Nehmen wir die Windenergie. Die wird systematisch verhindert, indem man sagt, bei uns wehe kein Wind, was natürlich nicht stimmt. Im Tal, wo die Menschen wohnen, weht der Wind nur schwach. Doch auf dem Berg bläst der Wind viel stärker und regelmässiger. Es ist wichtig, dass man die Windenergie in der Schweiz endlich ernst nimmt. In Deutschland werden bereits rund acht Prozent der Elektrizität mit Wind erzeugt, und die Anlagen stehen nicht nur an der Nordseeküste, sondern überall im Land. Nur in der Schweiz geht das nicht. Für die Windenergie spricht zudem die industrielle Logik. Windanlagen sind guter Maschinenbau, die Schweiz beherrscht diese Technologie und ist ein Exportland. Eine günstige Kombination mit interessanten wirtschaftlichen Perspektiven. Langfristig wird die Photovoltaik aber den wichtigsten Beitrag leisten.

**Treibstoff kann auch aus Pflanzen wie etwa Raps gewonnen werden. Ist solcher Biodiesel eine Option?**

*Bossel:* Diese Art der Energienutzung ist schon bezüglich Gesamtwirkungsgrads fragwürdig. Aus energetischer Sicht ist die Nutzung der Sonnenenergie viel intelligenter. Die Sonne bringt so viel Energie auf die Oberfläche der Erde, dass es überhaupt kein Problem sein sollte, mit Solar etwas zu machen, auch in der Schweiz. Eine Hektar Land empfängt pro Jahr 16 bis 18 Millionen kWh Solarenergie. Wenn wir die mit zehn Prozent nutzen, dann sind das 1,6 Mio. kWh. Die Biomasse, die auf dieser Fläche erzeugt werden könnte, hätte einen Energieinhalt von lediglich 60 000 kWh. Solarenergie kann direkt genutzt werden, Biomasse muss man zuerst umwandeln. Mit Photovoltaik kann man von einer bestimmten Landfläche etwa 200-mal mehr Nutzenergie ernten als mit dem Anbau von Energiepflanzen.

**Ist es nicht auch etwa zynisch, Lebensmittel für die Energieproduktion zu verwenden?**

*Bossel:* Diese Praxis ist absolut zynisch und effektiv falsch. Ein Teil der Welt hungert. Wenn man in Europa den in Drittweltländern billig produzierten



**Ulf Bossel: «Wenn alle zusammenarbeiten, ist es möglich, innerhalb von 50 Jahren auf eine nachhaltige Energieversorgung umzustellen.» (Bilder: Erich Schwaninger)**

Mais importiert und hier zu Alkohol verarbeitet, um günstig Auto fahren zu können, dann muss der in Europa teuer und mit hohen Subventionen erzeugte Mais an die hungernde Bevölkerung Afrikas verschenkt werden. Der europäische Steuerzahler zahlt indirekt für den billigen Treibstoff. Das kann ich nicht vertreten.

**Ein grosses Energievorkommen liegt unter der Erdoberfläche. Die tiefe Geothermie hat ein praktisch unerschöpfliches Potenzial.**

*Bossel:* Wenn man in vernünftiger Tiefe heisse Regionen findet, ist das grundsätzlich eine gute Sache. Doch eine Bohrtiefe von 5000 Metern wie bei der Pilotanlage in Basel ist schon aufwändig. Nur schon der Druck von 500 bar im Leitungssystem ist eindrücklich und benötigt entsprechend starke Leitungen. Zudem müssen immer wieder neue Zonen angebohrt werden, denn diese kühlen sich im Laufe der Zeit ab. Man soll das Machbare realisieren, also die oberen Schichten der Erdkruste für Wärmepumpen nutzen. Da genügt eine Bohrtiefe von maximal 200 Metern. Entsprechend zurückhaltend wäre ich in der Erforschung der Geothermie. Das, was es braucht, um das Energieproblem insgesamt zu lösen, ist bekannt und verfügbar. Man muss die vorhan-

#### European Fuel Cell Forum

Ziel des European Fuel Cell Forums (EFCF) ist die sachliche Information über Brennstoffzellen auf der Basis der Physik und machbarer Technik. Zu diesem Zweck wird jährlich Anfang Juli im KKL Luzern das internationale «Lucerne Fuel Cell Forum» veranstaltet, das inzwischen zu den drei wichtigsten Tagungen zu diesem Thema gezählt wird. Jährlich abwechselnd werden die Festoxid-Brennstoffzelle und die Polymer-Brennstoffzelle behandelt. Wegen der ungelösten Frage der Wasserstoff-Bereitstellung wird die Tagungsserie zur Polymer-Zelle nicht weitergeführt. Im Juli 2007 wird erstmals das «World Sustainable Energy Forum» durchgeführt, auf dem die Schaffung einer nachhaltig gestalteten Energiezukunft, also die Kombination von Energie aus erneuerbaren Quellen und deren effiziente Nutzung, im internationalen Rahmen behandelt wird. (es)

**Kontakt:**  
European Fuel Cell Forum  
Dr. Ulf Bossel, 5452 Oberrohrdorf  
Tel. 056 496 72 92, Fax 056 496 44 12  
www.efcf.com, forum@efcf.com



### Zur Person

Ulf Bossel (geboren 1936) hat an der Technischen Hochschule Darmstadt Maschinenbau studiert, an der ETH Zürich das Diplom erhalten und an der University of California in Berkeley dissertiert. Danach war er Professor und in der Wirtschaft in diversen leitenden Funktionen tätig. Seit 1991 ist Bossel selbstständiger Unternehmer: Innovationsberater für Brennstoffzellentechnik, Gründer und Leiter des European Fuel Cell Forum EFCE, Organisator der Luzerner Tagungen des EFCE und seit dem Jahr 2000 Geschäftsführer der Brennstoffzellen-Entwicklungsfirma Fucellco AG. Auf den Gebieten Brennstoffzelle, Molekularstrahltechnik, Sonnenenergie, Windenergie, Biomasse und rationelle Energienutzung ist Ulf Bossel Besitzer zahlreicher Patente und Autor vieler Publikationen. Er ist verheiratet, hat zwei erwachsene Töchter und wohnt im aargauischen Oberrohrdorf. (es)

dene Technik nur einsetzen. Aber es fehlt der Wille, das zur Verfügung stehende Geld in die Umsetzung zu investieren und nicht für die Finanzierung weiterer Studien und Pilotanlagen zu verwenden.

### Wenn Sie die Energiepolitik bestimmen könnten: Wie würde die aussehen?

Bossel: Beginnen würde ich ganz massiv mit der rationellen Energienutzung, Stichwort Energieeffizienz. In den Gebäuden müsste der Energieverbrauch wenn immer möglich auf den Minergiestandard gesenkt wer-

den. Das Ganze mit einem Zeithorizont von 50 Jahren und dem Ziel, dass pro Jahr zwei Prozent der Gebäude oder während 30 Jahren jährlich drei Prozent entweder neu gebaut oder auf den Minergiestandard umgerüstet werden. Wenn dies freiwillig nicht gehen würde, müsste der Staat mit Gesetzen nachhelfen. Aber es braucht einmal einen solchen konkreten Beschluss. Diese Massnahmen hätten auch positive Nebeneffekte. Energie sparen im Wohnbereich heisst Häuser isolieren, Fenster auswechseln usw. Das schafft einheimische Arbeitsplätze und reduziert den mit dem Ölimport verbundenen Devisenabfluss.

### Und welche Energiequellen kämen zum Zuge?

Bossel: Alles, was erneuerbar ist, ist gut und langfristig die einzige Möglichkeit. Das heisst Windenergie, Photovoltaik, solare Wassererwärmung, Biomasse, Wasserkraft, Kehrlichtverbrennung, Holz, Erdwärme, all das macht Sinn. Das heisst aber auch Schluss mit der Kompostierung. Stattdessen müsste Kompogas, also Biogas, produziert werden. Im Moment wird die Kompostierung subventioniert, Kompogas hingegen nicht. Da müssen jetzt endlich die richtigen Akzente gesetzt werden. Ferner brauchen wir ein Energie-Einspeisegesetz, das sich in Deutschland hervorragend bewährt hat. Ein solches Gesetz schafft Sicherheit für Investitionen im unsicheren Energiemarkt. Praktisch alle Energie aus erneuerbaren Quellen wird als elektrischer Strom geerntet. Strom wird deshalb zur «Leitwährung» in einer nachhaltig gestalteten Energie-

zukunft werden. Man muss lernen, Strom verantwortungsbewusst zu nutzen. Dazu gehört auch die Entwicklung und Einführung effizienter Elektroautos statt uneffizienter Wasserstoff-Fahrzeuge.

### Energie ist Ihre Leidenschaft...

Bossel: ... und mein Kampf. Als ich vor 30 Jahren angefangen habe, mich intensiv mit dem Thema zu beschäftigen, hat man mich schlecht gemacht, Forschungsaufträge wurden mir gestrichen. Ich hatte in Deutschland die Gesellschaft der Sonnenenergie gegründet, doch ich war für die Gesellschaft damals einfach zu schnell. Deshalb habe ich in der Schweiz das European Fuel Cell Forum gegründet. Das bin ich, da kann ich machen, was aufgrund der physikalischen Zusammenhänge gemacht werden sollte. Damit bin ich erfolgreich. Langsam bekomme ich Recht. Die Leute begreifen, was ich damals wollte.

### Sie sind Ur-Urenkel des deutsch-schweizerischen Wissenschaftlers Christian Friedrich Schoenbein, der 1838 das Prinzip der Brennstoffzelle, 1839 das Ozon und 1848 die Schiessbaumwolle – Basis von Zelluloid – entdeckt hat. Ihre Abstammung hat Sie offensichtlich geprägt.

Bossel: Sieht ganz danach aus (lacht). Die Namen Schoenbein und Grove, der die Brennstoffzelle entscheidend weiterentwickelt hat, wird man noch oft hören, wenn sich diese Technologie etabliert hat. Das dauert etwas länger als vorgesehen, doch der Durchbruch ist absehbar. [ET 19]