

Brennstoffzellen – aber nicht fürs Auto

Ganz kleine Brennstoffzellen sollen Laptops, Handys oder Navigationsgeräte mit Strom versorgen. Entwickelt wird die neue Technik in den USA, in Fernost und in der Schweiz.

Von Christian Bernhart

Der Markt ist reif. Spätestens seit Apple letzten Sommer 1,8 Millionen, Dell kurz darauf 4,1 Millionen Lithium-Ionen-Akkus zurückrufen musste. Die Gefahr bestand, dass die von Sony hergestellten Akkus in den Laptops explodierten. Der Markt ist jetzt reif für eine neue Generation von Batterien, die Mikrobrennstoffzellen, die bei gleichem Volumen mit einer viermal so hohen Energiedichte gut viermal länger Strom liefert als bisher gebräuchliche Akkus. Und erst noch preisgünstig, wie Ludwig Gauckler, Keramikforscher an der ETH Zürich, erklärt, denn die Mikrobrennstoffzelle lasse sich «dank Technologien, die seit langem in der Mikrochipproduktion erprobt sind, etwa zu Kosten eines Lithium-Akkus günstig produzieren.»

Internationaler Wettlauf im Gang

Für die Mikrobrennstoffzelle, die Wasserstoff oder Gas mit einem hohem Wirkungsgrad von 70 Prozent direkt in Strom umwandelt (siehe Kasten), ist die Entwicklung weltweit in einer heissen Phase. Es rivalisieren das Korean Institute of Science and Technology in Seoul, das Caltech und das Stanford Research Institute in Kalifornien sowie Lilliputian Systems, eine von Investoren mit 60 Millionen Dollar bestückte Start-up-Firma von 50 Leuten, die weltweit Forscher um Wissen anzupfen, ihre Entwicklung aber geheim halten.

Ludwig Gauckler ist mit seinem Team One-Bat in dem Rennen ganz vorne dabei. Sollte One-Bat erfolgreich sein, sind Gründe massgebend, die mit der Entwicklung direkt gar nichts zu tun haben. «Wir sind einige der seltenen bunten Vögel, die parallel arbeiten», sagt Gauckler und meint damit, dass sein ETH-Institut für nicht metallische und anorganische Werkstoffe sehr breit forscht. Das Institut hat unter anderem ein Verfahren zur Herstellung von vollkeramischen Zahnbrücken entwickelt, Werkstoffe für supraleitende Schalter oder dünne Keramikmembrane erprobt, die als Sensoren, z.B. als Rauchmelder, eingesetzt werden.

Es waren die Eigenschaften dieser Sensoren, die das Tor zur Mikrobrennstoffzelle öffneten. Eine Keramikmembran vom Durchmesser eines Ameisenkopfes (0,3 mm) ist über einen Trägerchip aus Silizium gespannt. In die Unterseite des Chips ist ein Loch geätzt. Bei einem Brand verändert das heisse Gas die elektrische Leitfähigkeit der Membran und deren Beschichtung und löst so Feueralarm aus.

Die Grundlagenforschung brachte Gauckler folgende Erkenntnis: «Die dünnen Membranen sind erstaunlich stabil, heizen schnell auf, brauchen wenig Strom für eine konstante Temperatur und leiten ihre Wärme auf den dicken Siliziumträgern kaum ab, weil ihre Kontaktfläche sehr klein ist.» Diese Eigenschaften sind geradezu ideal für eine Mikrobrennstoffzelle aus Oxidkeramik. Oxidkeramik-Brennstoffzellen sind jene mit dem besten Wirkungsgrad, haben sich bis jetzt jedoch nicht durchgesetzt, weil in den gängigen Modellen der Energieaufwand für die Betriebstemperatur von über 900 °C so gross ist, dass die Zelle permanent laufen muss.

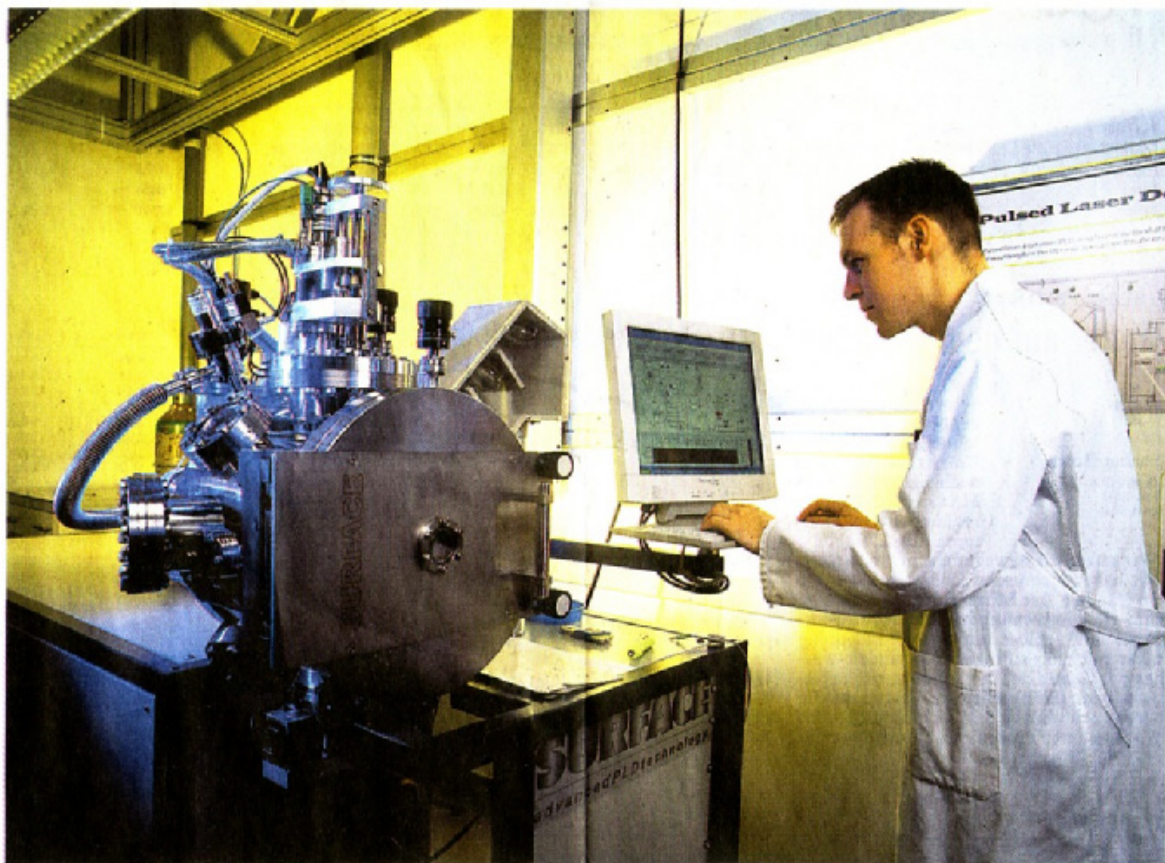


BILD H.R. DRAMAZ

Bauteile im Nanomassstab werden an der ETH entwickelt, damit Brennstoffzellen künftig unsere Handys speisen.

Im Mikromassstab gibt es dieses Problem nicht. 20 Mikrosekunden und 0,06 Watt genügen, um die dünne Keramikmembran auf 500 °C aufzuheizen. Ein schwacher Stromstoss genügt, um die winzige Zellmembran auf Betriebstemperatur zu bringen. Der Träger aus Silizium lässt sich zur Brennstoffzeleinheit umfunktionieren: An der Oberseite strömt Luft vorbei, unten Wasserstoff, und in der Mitte sorgt die Zellmembran mit Kathode, Elektrolyt und Anode für den katalytischen Prozess.

Ziel: Gerät mit Körpertemperatur

Der zweite Grund, der One-Bat im Wettlauf vorne platziert, liegt darin, dass Gauckler ein produktorientiertes Forschungsteam aus Instituten der ETH in Zürich und in Lausanne sowie zweier Fachhochschulen zusammenstellte. Grundlagenforschung war weiter nötig, nun aber auf Zielvorgaben ausgerichtet: Die Betriebstemperatur musste von 900 °C auf maximal 550 °C reduziert und die Zelle so verpackt werden, dass sie inklusive Butangastank nicht mehr als 30 Kubikzentimeter, die Grösse eines herkömmlichen Lithium-Akkus für grössere Handymodelle, beansprucht. Und sie musste effizient isoliert sein, damit sie die Elektronik des Laptops oder Handys nicht versengt – oder die Finger des Benützers. Das Gehäuse darf die Temperatur von 36 °C nicht übersteigen.

Angel- und Drehpunkt war die Membran: je dünner, desto kleiner der Widerstand, desto niedriger die Betriebstemperatur. Doch wie dünn darf sie sein, ohne dass sie reisst oder birst? Sehr dünn, erbrachte die Forschung. Die Membran mit Anode, Elektrolyt und Kathode ist nun kaum ein Tausendstel Millimeter dick, überspannt aber eine Fläche von 0,5 Millimeter Durchmesser. «Das ist», illustriert Gauckler, «wie wenn man den Zürichsee von Wollishofen nach Küsnacht mit einer

vier Meter dicken Betondecke ohne Stütze überspannen würde.»

Für eine solche Membran musste zunächst die richtige Aufdampftechnik gefunden werden. Dies gelang Jennifer Rupp in ihrer Doktorarbeit: Herkömmliche Zellmembranen sind instabil, weil sich bei Keramikkörnern bei hohen Temperaturen Kannibalismus breit macht. Die grösseren Körner verreiben sich die kleineren ein, bis sie so dick sind wie die ganze Membran. Dann bekommt diese sehr leicht Risse. «Unter 1000 Grad Celsius findet jedoch dieser Kannibalismus bei nanometerdünnen Elektrolytschichten nicht statt», sagt Rupp. «Im Nanobereich sind nicht alle Atome auf Gitterplätzen angeordnet. Es gibt leere Gitterstellen, die das Kornwachstum verhindern.» So bleiben Stabilität und Leitfähigkeit erhalten. Die Brennstoffzelle funktioniert dauerhaft.

Jetzt kommt der Industrietest

Das One-Bat-Team hat nach eineinhalb Jahren Forschung und Entwicklung die Zielvorgaben für die Mikrobrennstoffzelle in fast allen Punkten erreicht. Im Dezember wurde erstmals aus diesen winzigen Zellen Strom gezapft.

Das Rennen ist offen. Während eine geheim gehaltene Jury Lilliputian Systems als Technologie-Pioniere nach Davos zum World Economic Forum einlud, setzt Swisselectric, die Organisation der Schweizerischen Stromverbundunternehmen, zusammen mit dem Kompetenzzentrum für Energie und Mobilität (CEM-CH) der ETH und der Kommission für Technologie und Innovation (KTI) auf One-Bat. Mitte Januar wurde beschlossen, die Entwicklung weiterhin pro Jahr mit 1 Million Franken zu unterstützen. Ludwig Gauckler denkt schon an die Produktion: «Nach unseren letzten Fortschritten suchen wir aktiv einen Industriepartner.»

STICHWORT

Brennstoffzellen

Brennstoffzellen gelten als Energiequellen der Zukunft: leistungsfähig, leise, abgasarm, mit grosser Autonomie. Bereits werden sie eingesetzt für den Antrieb von Unterseebooten, auch erste Autos mit elektrischem Antrieb und Brennstoffzellen sind unterwegs. Industrie und Militär haben grosses Interesse an miniaturisierten Brennstoffzellen, welche die konventionellen Batterien und Akkus der vielen mobilen Technikanwendungen ablösen sollen.

Brennstoffzellen wandeln die chemische Energie des Brennstoffs ohne Verbrennungsprozess direkt in Strom, Wärme und Wasser um. Zentral bei allen Typen der Brennstoffzellen ist, dass ein Elektrolyt das Brenngas von der Luft trennt, dass Ionen aber durch diesen Elektrolyten wandern können. Sauerstoffionen entstehen an der luftseitigen Kathode der Zelle, indem das Sauerstoffatom mit zwei zusätzlichen Elektronen beladen wird. Die so entstandenen Sauerstoffionen wandern durch den Elektrolyt zur Anode, die mit gasförmigem Brennstoff (z.B. Wasserstoff oder Butan) versorgt wird. In der Anode trennen sich diese Elektronen vom Sauerstoff, die Sauerstoffionen werden wieder zu Sauerstoff, der das Brenngas zu Wasserdampf und Kohlendioxid oxidiert. Die frei gewordenen Elektronen fliessen als Strom über eine Leitung zur Kathode zurück, um sich dort wieder mit Sauerstoff zu Sauerstoffionen zu verbinden. (chb/jä)