

Einsichten

Die „gläserne“ Brennstoffzelle

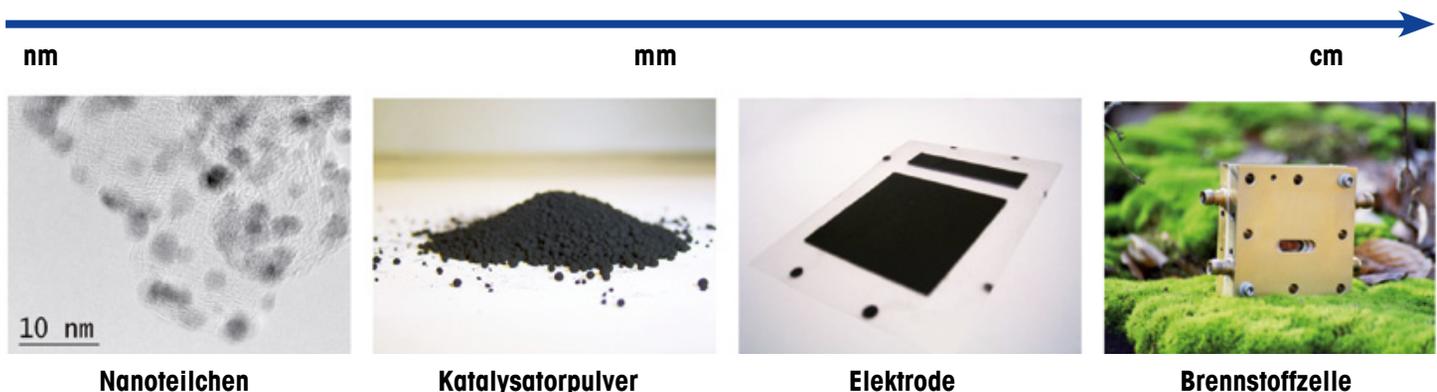
Dr. Christina Roth, Institut für Materialwissenschaft,
 Fachgebiet Erneuerbare Energien, Technische Universität Darmstadt

Eigentlich ist die Brennstoffzellentechnik schon „ein alter Hut“. Die erste Brennstoffzelle wurde von Sir William Grove 1839 entwickelt, der erste Brennstoffzellenstapel bereits 1842 der Öffentlichkeit präsentiert. Trotzdem verstaubte das innovative elektrochemische Konzept vorerst in der Schublade – es konnte sich gegen den ebenfalls gerade erfundenen Ottomotor nicht durchsetzen. Zwar war die Wissenschaft im 19. Jahrhundert schon weit genug fortgeschritten, um Probleme bei der Umwandlung von chemischer in mechanische Energie zu lösen. Der Grundstein für ein Verständnis der elektrochemischen Prozesse auf atomarer Ebene, wie es für die Brennstoffzellentechnik erforderlich ist, wurde jedoch erst mit der Entwicklung des ersten Elektronenmikroskops gelegt. In den letzten drei Jahrzehnten hat sich die Brennstoffzelle nun zu einer ernst zu nehmenden Technologie entwickelt, die als ein wichtiger Baustein in einer erneuerbaren Energieversorgung des 21. Jahrhunderts gehandelt wird.

Grundsätzlich ist eine Brennstoffzelle wie eine Batterie aufgebaut, d.h., sie besteht aus zwei Elektroden – Anode und Kathode – sowie dem Elektrolyten. Dieser trennt die Reaktionen räumlich voneinander und erzwingt den Stromfluss durch einen externen Leiter. Im Unterschied zur Batterie, die sich im Betrieb verbraucht, werden in der Brennstoffzelle die Brennstoffe jedoch kontinuierlich zugeführt. Im einfachsten Fall wird an der Anode Wasserstoff zu Protonen oxidiert. Diese wandern durch die protonenleitende Membran zur Kathodenseite, während die Elektronen durch den äußeren Stromkreis fließen. An der Kathode wird Sauerstoff reduziert und verbindet sich mit den Elektronen und Protonen. Als Produkte entstehen Wasser und Elektrizität.

Die beschriebenen Elektrodenreaktionen laufen jedoch nicht freiwillig ab, dazu wird ein so genannter Katalysator benötigt. Im einfachsten Fall ist dies Platin. Leider ist Platin nicht nur katalytisch aktiv und langzeitstabil, sondern auch ein Edelmetall mit einem entsprechend hohen Preis. Deshalb wird es auch nicht als massives Metallblech eingesetzt, sondern in Form geträgerter und ungeträgerter Nanoteilchen verwendet. Diese haben bei gleicher Menge eine um ein Vielfaches höhere Oberfläche, die zur Reaktion beitragen kann. Beispielsweise haben 25 Gramm eines rußgeträgerten Katalysators dieselbe Oberfläche wie ein Fußballfeld, nämlich 7140 m^2 Gesamtoberfläche bzw. 300 m^2 pro Gramm (Abb. 1).

Abb. 1 Die Komponenten einer Brennstoffzelle auf verschiedenen Längenskalen





Christina Roth, geboren 1974 in Jugenheim an der Bergstraße, studierte in einem der ersten Jahrgänge Materialwissenschaft an der TU Darmstadt. Von 1998 bis 2002 fertigte sie ihre Doktorarbeit im Fachgebiet Strukturforschung bei Prof. Hartmut Fieß an. Nach Auslandsaufenthalten in Poitiers und Liverpool erhielt sie 2004 den Ruf auf eine Juniorprofessur im Fachbereich Materialwissenschaft und habilitierte sich 2008. Für ihre Forschungsarbeiten zur detaillierten strukturellen und elektrochemischen Charakterisierung nanoskaliger Katalysatorsysteme sowie zur *in-situ* Röntgenabsorptionsspektroskopie erhielt sie 2010 den Adolf-Messer-Preis der TU Darmstadt.

Hineinschauen, lernen und verstehen

Die Arbeiten im Fachgebiet erneuerbare Energien an der TU Darmstadt haben die Herstellung eines optimalen Katalysatorsystems zum Ziel. Dieses sollte nicht nur effizient und stabil, sondern auch nicht toxisch und natürlich preiswert sein. „Hineinschauen, lernen und verstehen“ spielt dabei für die Entwicklung maßgeschneiderter Katalysatoren eine besondere Rolle. Um beispielsweise die Wirkweise eines Katalysators im Betrieb (*in-situ*) zu verstehen, wird eine Methode benötigt, die diese Information liefert, ohne den Reaktionsablauf zu beeinflussen. So wurde in unserer Gruppe eine Methode entwickelt, mit der man den Katalysator während des Betriebs in der Brennstoffzelle untersuchen kann. Diese basiert auf der Röntgenabsorptionsspektroskopie (EXAFS) und eignet sich besonders gut für *in-situ*-Untersuchungen, weil weder Ultrahochvakuum während der Messung noch eine Nahordnung innerhalb der Probe benötigt werden. D.h., Messungen können auch an Nanoteilchen während

der Anwendung in der Brennstoffzelle ohne Probleme durchgeführt werden. Einziger Nachteil dieser Methode ist, dass sie nicht im Labor aufgebaut werden kann, sondern nur an speziellen Großforschungseinrichtungen, den so genannten Synchrotronlabors, die Nutzern aus aller Welt zur Verfügung stehen (Abb. 2).

Für die Messung wird durchstimmbare Röntgenstrahlung benötigt, deren Energie im Bereich der Absorptionskanten des zu untersuchenden Elements liegt. Gehen wir einmal davon aus, dass der in der Brennstoffzelle verwendete Katalysator ein rußgetragertes Platinsystem ist. Dann muss die verwendete Strahlung eine Energie von mehr als 11 000 eV haben, damit sie vom Platinmetall an dessen Absorptionskante absorbiert wird. Aus der Messung der Absorption in Abhängigkeit von der Energie der eingestrahlten Röntgenstrahlung lassen sich Informationen zur Struktur der Platinnanoteilchen erhalten, z. B. zu deren Größe und ob sie stark oxidiert sind. Damit die Messung im Betrieb durchgeführt werden kann, muss das Röntgenlicht die Zelle durchstrahlen können.

Bei der Besprechung des *in-situ*-Zelldesigns: Dr. Christina Roth und Miriam Botros.

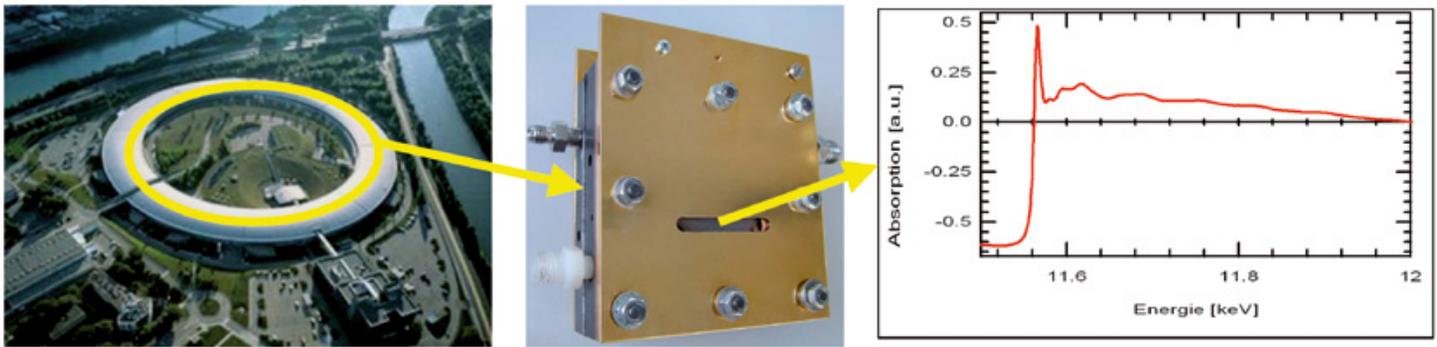


Abb. 2 Aufbau eines *in-situ*-Experiments: Durchstimmbare Röntgenstrahlung wird an einem Synchrotron erhalten (links: ESRF, Grenoble) und auf das Strahlfenster einer Brennstoffzelle fokussiert (Mitte). Als Ergebnis erhält man ein Absorptionsspektrum (rechts).



Abb. 3 Strukturänderung eines bimetallicen Pt-Ru Nanoteilchens im Betrieb

Dazu müssen zuerst zwei Fenster in die *in-situ*-Zelle eingebaut werden. Diese bestehen allerdings gar nicht aus Glas. Im Gegensatz zum sichtbaren Licht sind beispielsweise Kohlenstoff, Beryllium und Polyimid für Röntgenstrahlen weitgehend durchsichtig. Abbildung 2 (Mitte) zeigt die „gläserne“ Brennstoffzelle, in welcher der Katalysator unter Bedingungen untersucht werden kann, wie sie im realen Betrieb vorherrschen.

Im Experiment werden jetzt an verschiedenen Betriebspunkten Absorptionsspektren aufgenommen, um Informationen über das Verhalten des Katalysators in Aktion zu erhalten. Durch eine geeignete Auswertung der Daten über eine Vielzahl komplexer Schritte lassen sich die Art, die Anzahl und der Abstand der nächsten Nachbaratome zu einem Absorberatom ermitteln. Daraus lässt sich ein Strukturmodell für die Nanopartikel ableiten. Eine solche schematische Darstellung ist in Abbildung 3 für einen rußgetragenen bimetallicen Katalysator gezeigt. Blaue Kugeln entsprechen Platinatomen, grüne Kugeln symbolisieren metallische

Rutheniumatome, in Gelb ist oxidiertes Ruthenium dargestellt. Nur ungefähr 200 Atome sind in einem 2 nm (1 nm = 1 milliardstel Meter) großen Nanopartikel enthalten und mehr als 50 % dieser Atome befinden sich an der Oberfläche des Teilchens. Dadurch stehen sie in der Regel auch für die Reaktion zur Verfügung.

Anders als Materialien im alltäglichen Maßstab verändern Nanoteilchen ihre Struktur besonders leicht unter wechselnden Bedingungen. In einem Cartoon lassen sich die Änderungen des Katalysators im Betrieb am besten darstellen (Abb. 3): Vor Einsatz in der Brennstoffzelle ist er stark oxidiert. Das edle Platin bleibt im Kern des Nanoteilchens, während ein Großteil des Rutheniums als Rutheniumoxid die Teilchenoberfläche belegt. Wird der Katalysator in der Brennstoffzelle in Betrieb genommen, tritt eine spontane Strukturänderung des Katalysators schon beim ersten Kontakt mit dem Brenngas auf. Die Rutheniumoxid-Schale wird reduziert und Rutheniumatome wandern langsam in den Platinkern des Teilchens ein. Dementsprechend wird eine homogenere

Verteilung von Platin und Ruthenium innerhalb des Nanoteilchens erhalten.

Auf dem Weg zu nachhaltigen Technologien

Die Ergebnisse der Untersuchung des Katalysators im Betrieb sind ein erster Schritt hin zu maßgeschneiderten Katalysatorsystemen. Denn erst wenn verstanden ist, wie sich der Katalysator in der Brennstoffzelle verhält, kann ein an die Betriebsbedingungen angepasstes System hergestellt werden. Somit stellt die „gläserne“ Brennstoffzelle einen wichtigen Schritt auf dem Weg zu umweltschonenden und nachhaltigen Technologien dar. Mit ihr kann detailliertes Wissen gewonnen werden, das zur Optimierung des eingesetzten Katalysatorsystems dient. Das spart Kosten und trägt letztlich zur Schonung unserer Ressourcen bei.

■ c_roth@tu-darmstadt.de