



# NANO-ENERGIE

Ausgabe 3/2010

Newsletter

## Energieeffizienz erhöhen

Wir befinden uns mitten in der kalten Jahreszeit und gerade jetzt wird uns die Bedeutung von Energie noch eher bewusst. Mit der Ihnen nun vorliegenden dritten Ausgabe des Nano-Energie-Newsletters möchten wir Ihnen unter anderem näher bringen, wie die Nanotechnologie helfen kann, die Energieeffizienz im Bereich Filtration zu erhöhen. Zudem finden Sie wieder interessante Artikel aus dem Bereich der Brennstoffzellen. Hier beschreibt Prof. Dr.-Ing. Ellen Ivers-Tiffée vom KIT den Einsatz in SOFC-Brennstoffzellen.

Auch wird, vertreten durch den Staatssekretär Thomas Rachel, das BMBF seinen Standpunkt zum Thema Nano und Energie darstellen.

Zurücksehend auf das Jahr 2010, welches nicht nur für NRW durch die Bewilligung und den Bau mehrerer

Zentren im Bereich Energieforschung, sondern für ganz Deutschland sehr erfolgreich war, hoffen wir gemeinsam, dass 2011 entsprechend weiter voranschreitet.

Wir wünschen Ihnen einen erfolgreichen Start ins Jahr 2011 und viele interessante Forschungs- und Entwicklungsprojekte, über die wir in den nächsten Ausgaben gerne berichten.

Eine anregende Lektüre der letzten Ausgabe 2010 wünscht Ihnen,

**Prof. Dr. Christof Schulz**  
**Wissenschaftlicher Direktor**  
**NanoEnergieTechnikZentrum**

.....  
**CeNiDE**  
CENTER FOR NANOINTEGRATION  
DUISBURG-ESSEN

UNIVERSITÄT  
**DUISBURG**  
**ESSEN**



EDITORIAL

Energieeffizienz erhöhen

1

KURZNACHRICHTEN

3

FORSCHUNG & WIRTSCHAFT

Grenzkonflikte

Wie lassen sich Oberflächendefekte vermeiden?

5

Funktionalisierte Oberflächen

Nutzung von Nanomaterialien für die Filtrationsforschung

6

Nanotechnologie für Festelektrolyt-Brennstoffzellen

Hohe Leistungsfähigkeit schon ab 500°C

7

Lithium-Ionen-Batterien: längere Zyklenleben

Verstehen der Alterung mittels Nanoanalytik XPS

8

Ohne heterogene Katalyse keine Energiespeicherung

Voraussetzung sind nanoskalige Materialien

9

Effizientere Fotozellen durch Nanodrähte

Nano-„Seeigel“ vergrößern Oberflächen um ein Vielfaches

10

Neue Materialien überwinden Grenzen der Physik

Nanokomposite machen Thermoelektrik ökonomisch rentabel

11

POLITIK

Umweltauswirkungen von Nanotechnologien

Herausforderungen bei der Analyse von Umweltfolgen

12

Energieproduktivität verdoppeln

Staatssekretär Rachel im Interview über Förderstrategien des BMBF

14

AUSBLICK

Nanotechnologie reduziert Energieverbrauch

Studie der Universität Stuttgart analysiert Anwendungspotenzial

15

TERMINE

Veranstaltungen

Kontakt

16

IMPRESSUM

Herausgeber: CeNIDE

Projektleitung: Dr. Alina Leson

Redaktion: Kristin Mosch, Lemmens Medien GmbH, Bonn

Verlag: Lemmens Medien GmbH, Matthias-Grünewald-Str. 1-3, 53175 Bonn

Bildnachweis: Universität Duisburg-Essen (S. 1), CeNIDE (S. 2 links, 5, 6), Zentrum für BrennstoffzellenTechnik ZBT GmbH (S. 2 zweites von links, 7), R. Fischer (S. 2 drittes von links, 9 oben), wikipedia (S. 3 oben, 9 unten, 10 oben, 13 unten, 16 zweites und viertes von links), Jan-Peter Kasper/Friedrich-Schiller-

Universität Jena (S. 3 unten), wikimedia (S. 4, 12 unten, 16 erstes und drittes von links), Jochen Bruckbauer/TU München (S. 5), Münster Electrochemical Energy Technology-MEET (S. 8), Laboratory for Mechanics of Materials and Nanostructures EMPA/Jamil Elias (S. 10 unten), Fraunhofer-Institut für Physikalische Messtechnik IPM/Christian Lampe (S. 11 oben), Fraunhofer IPM (S. 11 unten), Institut für Energie- und Umwelttechnik e.V. IUTA (S. 12 und 13 oben, 15), BMBF (S. 14).

Gestaltung und Satz: Regina Fischer, Berlin

Druck: Courir Print Media GmbH, Bonn

Kontakt: leson@cenide.de

# Nano-Material hält Oberflächen frostfrei



Enteisung eines Flugzeugs am Syracuse Hancock International Airport, New York, USA

**Ingenieure an der Universität Harvard haben nanostrukturierte Materialien entwickelt, die Wassertropfen gar keine Chance lassen, anzufrieren.** Selbst deutlich unter dem Gefrierpunkt bleiben Oberflächen somit eisfrei. Anwendungspotenzial sehen die Forscher unter anderem bei Flugzeugflügeln, Stromleitungen und Autobahnen. Es handelt sich also um eine Anti-Eis-Technologie, die bei winterlichen Temperaturen eine klassische Enteisung mit Chemikalien, Heizsystemen oder Streusalz überflüssig machen könnte. „Wir wollten Materialien finden, die das Entstehen von Eis durch Abstoßen von Wassertropfen verhindern“, sagt Joanna Aizenberg, Professorin für Materialwissenschaften in Harvard. Um eine Eisbildung

zu verhindern, haben die Forscher Anleihen bei der Natur genommen – speziell dem Prinzip, wie Wasserläufer dank vieler winziger Borsten ihre Füße trocken halten. Nach diesem Vorbild sind nanostrukturierte Materialien entstanden, die Eis keine Chance geben. Bei Temperaturen bis hinab auf minus 30 Grad schaffen Wassertropfen nicht, an den speziellen Anti-Eis-Oberflächen tatsächlich anzufrieren. Veröffentlicht wurden die Forschungsergebnisse im November 2010 in „ACS Nano“. ■

Quelle: Presstext; [www.heise.de](http://www.heise.de)

## Wirtschaftlichkeit und Klimaschutz

**Die EnBW Energie Baden-Württemberg AG und die Universität Stuttgart** haben eine gemeinsame Forschungsinitiative „Effiziente Energienutzung“ am Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung der Universität Stuttgart gestartet (der entsprechende Vertrag wurde im Juli 2010 unterzeichnet). Vor dem Hintergrund steigen der Energiepreise und der intensiv geführten Klimaschutzdiskussion soll die Forschungsinitiative wichtige Beiträge zur Entwicklung effizienter Energienutzungstechniken, energie- und ressourcensparender Verfahrens- und Fertigungsprozesse sowie optimierter Energienutzungskonzepte leisten. In den kommenden zehn Jahren stellt die EnBW dafür insgesamt 3,5 Millionen Euro zur Verfügung. Unter anderem soll erforscht werden, welche Möglichkeiten zur Steigerung der Effizienz von Energiewandlungs- und -anwendungstechniken sowie von Prozessinnovationen sich aus den Fortschritten in Schlüsseltechnologiebereichen wie

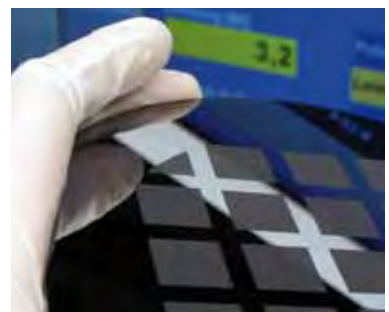
der Nanotechnologie ergeben ■

Quelle: [www.uni-stuttgart.de](http://www.uni-stuttgart.de); [www.enbw.com](http://www.enbw.com)

## Solarzellen mit ForMaT

**Um die Energie der Sonne effizienter zu nutzen,** arbeitet der Direktor des Uni-Instituts für Angewandte Physik und des Fraunhofer Instituts für Angewandte Optik und Feinmechanik (IOF) Prof. Dr. Andreas Tünnermann gemeinsam mit Fachkollegen sowie Wirtschaftswissenschaftlern der Jenaer Universität an einem neuartigen Konzept zur kostengünstigen Herstellung hocheffizienter Solarzellen. Das interdisziplinäre Forschungsprojekt „Nano-SIS“ wird vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmen des Programms „Forschung für den Markt im Team“ (ForMaT) in den kommenden zwei Jahren mit rund 1,7 Millionen Euro unterstützt. „Wir kombinieren nanotechnologische Methoden zur Effizienzsteigerung von Solarzellen mit einem einfachen Zelldesign“, erläutert Projektkoordinator Tünnermann den

neuen Jenaer Ansatz. Als Grundlage für ihre leistungsstarken Solarzellen nutzen die Physiker der Uni Jena nanostrukturiertes, schwarzes Silizium. „Mit Hilfe eines Trockenätzverfahrens kann man die Oberfläche von Siliziumwafern so strukturieren, dass sich ihre Oberfläche winkelnunabhängig und über einen breiten Wellenlängenbereich entspiegeln lässt. Dadurch wird die einfallende Strahlung des Sonnenspektrums zu einem viel geringeren Teil reflektiert, was eine deutlich höhere Energieausbeute verspricht.“ ■ Quelle: Friedrich-Schiller-Universität Jena



Nanostrukturierte Siliziumwafer bilden die Grundlage für leistungsstarke und kostengünstige Solarzellen, die die Forscher der Universität Jena im Projekt „Nano-SIS“ entwickeln.



# Biotreibstoff



**Treibstoff aus der Biomasse von Pflanzen** wird umso hochwertiger, je besser sich deren Zellwände in ihre Bestandteile zerlegen lassen. Anders als bei Biotreibstoffen der ersten Stunde, bei denen nur die ölhaltigen Pflanzensamen – etwa von Raps – zum Einsatz kamen, lassen sich heute auch Zellulose und Lignin aus den Zellen und damit die gesamte Pflanze nutzen. Also griffen US-Physiker jetzt zu verschiedenen Bildgebungstechniken, um die innere Struktur von Blättern bis hinunter zum Nanometer-Maßstab zu betrachten. Mit ihrem dreidimensionalen Strukturmodell schließen sie Wissenslücken zur Feinstruktur von Pflanzenzellen (veröffentlicht in „Plant Physiology“, September 2010). Zudem legen sie die Grundlage für neue Ansätze, Biomasse zu Flüssigtreibstoffen umzuwandeln – etwa mithilfe von Enzymen oder Mikroben. „Die Grundidee ist, dass Zellulose ein Zuckerpolymer ist, das sich – über Enzyme freigesetzt – zu Alkoholen und anderen chemischen Substanzen wandeln lässt, die in alternativer Treibstoffproduktion genutzt werden“, erklärt Michael Thelen vom Lawrence Livermore National Laboratory, „doch damit das effizient geschehen kann, müssen wir Wege finden, zu sehen, wie sich dies in unterschiedlichen Größenmaßstäben abspielt“. Gemeinsam mit Kollegen vom Lawrence Berkeley National Lab und dem National Renewable Energy Laboratory untersuchte Thelens Team die Blätter von Zinnien (*Zinnia elegans*), einer Blütenpflanze, die vor allem als einjähriger Gartenschmuck bekannt ist. ■

*Quelle: Wissenschaft aktuell; www.llnl.gov*

## Vision: Batterien im Staubkorn

„Würde man eine handelsübliche Batterie aufschneiden, so könnte man sehen, dass diese aus aufgewickelten Schichten besteht“, sagt Prof. Dr. Oliver G. Schmidt, Inhaber der Professur Materialsysteme der Nanoelektronik an der Technischen Universität Chemnitz, und erklärt: „Dadurch lassen sich bisher Batterien nur begrenzt verkleinern, denn das Aufwickeln der Lagen funktioniert lediglich auf makroskopischer Ebene.“ Seine Forschergruppe an der TU Chemnitz und am Leibniz-Institut für Festkörper- und Werkstoffforschung Dresden hat eine Lösung entwickelt, diese Begrenzung in der Miniaturisierung aufzuheben. Durch das abwechselnde Aufbringen von dünnen Lagen aus metallischen und dielektrischen Materialien auf einer flachen Unterlage entsteht ein Schichtsystem, das in sich hoch gespannt ist. Diese mechanische Verspannung kann durch das gezielte Ablösen der dünnen Lagen freigesetzt werden, so dass sich die Schichten von selbst zu einem ultrakompakten Energiespeicher aufrollen. „Dadurch lassen sich extrem kompakte Energieeinheiten fertigen, die eine

enorme Energie pro Fläche auf einem Chip speichern können, mehr als zweimal so groß wie mit herkömmlichen Technologien“, so Schmidt. Das Forschungsergebnis wurde in der Zeitschrift *Nano Letters* (Juli 2010) veröffentlicht. ■ *Quelle: Technische Universität Chemnitz*

## Selbstheilende Solarzellen vorgestellt

**Forscher des Massachusetts Institute of Technology (MIT)** haben mikroskopisch kleine Solarzellen entwickelt, die über erstaunliche Fähigkeiten verfügen. Sie können sich sowohl selbst zusammenbauen als auch selbst reparieren. Als Vorbild diente – wie so oft bei wissenschaftlichen Durchbrüchen – die Natur. „Ich war beeindruckt von den effizienten Selbstreparaturmechanismen von Pflanzenzellen“, erzählt Michael Strano, Professor für Chemieingenieurwesen am MIT und Leiter des Projekts. Die mikroskopischen Solarzellen basieren im Wesentlichen auf einem Chemiecocktail mit Nanokomponenten. Synthetische, von den Forschern „Phospholipide“ genannte Moleküle bilden mikroskopisch klei-

ne Scheiben, an denen Moleküle mit der Fähigkeit, Sonnenlicht in Elektrizität umzuwandeln, andocken. Die Kombination aus Phospholipiden und Licht umwandelnden Molekülen werden als Reaktionszentren bezeichnet. Die Reaktionszentren befinden sich in einer Lösung, wo sie sich an hohle Kohlenstoff-Nanoröhren heften, welche die Strom produzierenden Teilchen einheitlich ausrichten, wodurch alle gleichzeitig dem Sonnenlicht ausgesetzt werden. Über die Kohlenstoff-Nanoröhren werden die in der Lösung frei werdenden Elektronen schließlich kanalisiert. Um die Selbstreparaturfähigkeiten der winzigen Solarzellen zu aktivieren, muss der Lösung mit den Nanoröhren schließlich noch eine Chemikalie beigemischt werden. Strano und sein Team verwendeten sogenannte Tenside, um die winzigen Solarzellen zu zerlegen und wieder zusammenzusetzen. Werden sie der Lösung hinzugefügt, spalten sich die winzigen Solarzellen in ihre Einzelteile auf. Werden die Tenside wieder aus dem Cocktail entfernt, so bauen sie sich selbsttätig wieder zusammen. (Veröffentlicht im September 2010 in *Nature Chemistry*). ■

*Quelle: Presstext; www.mit.edu*

## GRUNDLAGENFORSCHUNG

# Grenzkonflikte

## Wie lassen sich Oberflächendefekte vermeiden?

**Nanomaterialien haben für viele Anwendungen einen inhärenten Vorteil: Sie besitzen eine große effektive Oberfläche, die für gewünschte grundlegende Prozesse wie Ladungstransfer, Katalyse oder die Manipulation von Photonen, Phononen und Elektronen eine zentrale Rolle spielt. Gleichzeitig haben Nanomaterialien aber auch einen großen Nachteil: Selbst geringste Konzentrationen von strukturellen und elektronischen Defekten in oder auf einzelnen Nanopartikeln können zu drastischen Konsequenzen führen.**

Ein Paradebeispiel für diese Problematik sind Solarzellen, bei denen solche elektronisch aktiven Defekte signifikante Einbußen bei den erreichbaren Wirkungsgraden zur Folge haben können. Ähnliche Limitierungen sind auch bei photokatalytischen Nanostrukturen zu erwarten. Unerwünschte und bisher unvermeidbare Grenzflächendefekte sind fast immer der Grund für die experimentell beobachtete verminderte Leistungsfähigkeit von

nanostrukturierten Bauelementen in der optoelektronischen Energiewandlung verglichen mit konventionellen Ansätzen.

Hier besteht aber Hoffnung und damit gleichzeitig ein großer Anreiz – und eine große Herausforderung – für die anwendungsrelevante Grundlagenforschung. Um die negativen Auswirkungen von Defekten an der Oberfläche von Nanostrukturen zu vermeiden, gibt es eigentlich nur zwei Möglichkeiten. Ideal wäre es, wenn durch eine geeignete Prozessführung bei der Herstellung der Nanomaterialien die Entstehung solcher Defekte unterdrückt werden könnte. Diesem Ansatz steht aber im Allgemeinen das Prinzip der Minimierung der Energie und der Maximierung der Entropie entgegen. Als zweiter Ansatz bleibt daher nur der Versuch der Passivierung von Grenzflächendefekten durch eine entsprechende physikalische oder chemische Nachbehandlung der Nanostrukturen. Erste erfolgreiche Beispiele für beide Ansätze existieren bereits, wie zum Beispiel die Passivierung von „dangling bond“-Defekten in nanokristallinem Silizium durch Wasserstoff oder durch Funktionalisierung mit organischen Molekülen. Für viele andere nanostrukturierte Materialien muss allerdings erst noch die mikroskopische Struktur relevanter elektronischer Grenzflächendefekte aufgeklärt werden, um anschließend geeignete Strategien zu deren Passivierung zu entwickeln.

Die systematische Untersuchung von Grenzflächen-defekten in Nanostrukturen und geeigneten Methoden zu deren Vermeidung ist also eine wichtige grundlegende Aufgabe im Bereich der Nanowissenschaften, an der absehbar kein Weg vorbeiführen wird. ■

**Prof. Dr. Martin Stutzmann**

**Walter Schottky Institut und Physik-Department,  
Technische Universität München**



## ANWENDUNGSFORSCHUNG

# Funktionalisierte Oberflächen

## Nutzung von Nanomaterialien für die Filtrationsforschung

**Die gezielte Modifikation von kommerziell verfügbaren Filtermedien zur Verbesserung der Abscheidung von toxischen Komponenten beziehungsweise Partikeln aus der Gasphase hat allgemein große Bedeutung für die Aufbereitung technischer Gase und Luft. Die Anwendungspotenziale reichen von der Geruchseliminierung, beispielsweise in KFZ-Innenräumen über die Ölnebelabscheidung in Druckluft bis hin zur Abtrennung von toxischen Industriechemikalien und -materialien in industriellen Produktionsprozessen.**

Aus Anwendersicht definiert sich der technische Fortschritt dabei nicht allein durch eine hohe Trennleistung bei möglichst geringem Einsatz der bereitgestellten Stoffaustausch- beziehungsweise Reaktionsoberflächen, sondern auch durch geringe Investitions- und Betriebskosten. Ziel ist es, durch spezifische Funktionalisierung von Filtermaterialien sowohl die Energieeffizienz als auch die Leistungsfähigkeit der Filter durch Verbesserung der Abscheideeffizienz zu erhöhen und darüber hinaus eine erweiterte Funktionalität, zum Beispiel durch katalytische Eliminierung toxischer organischer Substanzen, zu erzielen. Bei der Modifikation der Stoffaustausch- und Reaktionsoberflächen liefert die Anwendung der Nanotechnologie entscheidende Impulse, da mit ihrer Hilfe beispielsweise textile Filtrationsmedien mit homogen verteilten, katalytisch und/oder biozid wirkenden Aktivzentren auf Basis von nanoskaligen Metallen und Metalloxiden ausgerüstet werden können.

Die benötigten hochspezifischen Nanomaterialien wie zum Beispiel Metalloxide mit enger Größenverteilung werden durch die am Institut für Energie- und Umwelttechnik e.V. (IUTA) zur Verfügung stehenden Reaktoren aus der Gasphase erzeugt. Die Immobilisierung der Nanopartikel erfolgt dabei nicht direkt über die Deposition aus der Gasphase, sondern über Dispersionen. Dieser für die Nutzung der Nanomaterialien wichtige Schritt der Überführung der

Partikel aus der Gasphase in ein prozessierbares Fluid steht aktuell im Vordergrund der Untersuchungen. Die Überführung der Partikel kann auf verschiedenen Wegen erfolgen: Eine Option ist die Abscheidung der Partikel auf Hochleistungsfilterelementen in Form eines losen Aerogels, wobei sich aus vereinzelt Primärpartikeln im unteren Nanometerbereich lose Agglomerate unterschiedlicher Größe und fraktaler Dimension bilden. Der ausgeschleuste, lose Filterkuchen wird in eine geeignete flüssige Matrix überführt und darin deagglomert. Durch Kontrolle von pH-Wert und Einsatz oberflächenaktiver Substanzen lässt sich das Zeta-Potenzial soweit einstellen, dass die Attraktionskräfte minimiert werden und die Größe der dispergierten Partikel über den Zeitraum von Wochen und Monaten nahezu unverändert bleibt.

Neben diesem Batch-Processing wird derzeit eine effizientere und vielversprechende Möglichkeit entwickelt, bei der der Übergang der Nanopartikel in die Flüssigphase im direkten Anschluss an die Gasphasensynthese erfolgt. Eine Art „Waschprozess“ sieht eine „sanfte Deposition“ der Nanopartikel beziehungsweise nanoskaligen Agglomerate in flüssige Dünnschichten vor, wobei der Stoffübergang durch Aufprägen thermophoretischer Gradienten unterstützt wird. Diesem Schritt kann auch das Aufkondensieren von Funktionsschichten in der Gasphase unter Erzeugung von core/shell-Systemen vorgelagert werden.

Die mit diesen Methoden hergestellten neuen Materialien mit verbesserten Eigenschaften werden derzeit unter praxisnahen Bedingungen getestet. Bei Erfolg steht der Umsetzung in die industrielle Anwendung durch Kooperation mit Unternehmen nichts im Wege. ■

**Dr. Stefan Haep**

**Institut für Energie- und Umwelttechnik e.V. (IUTA), Duisburg**

## BRENNSTOFFZELLENTÉCHNIK

# Nanotechnologie für Festelektrolyt-Brennstoffzellen

Hohe Leistungsfähigkeit schon ab 500 °C

**Betriebstemperaturen einer Festelektrolyt-Brennstoffzelle (SOFC: Solid Oxide Fuel Cell) von bis zu 1000 °C stellen hohe Anforderungen an alle Komponenten im System. Jahrzehntlang waren diese hohen Temperaturen jedoch notwendig, um interne Verluste in den Einzelzellen gering zu halten. Dünnschicht-Elektrolyte und nanoskalige Elektroden können die elektrochemischen Verluste deutlich reduzieren und rücken Betriebstemperaturen von 500 bis 600 °C in greifbare Nähe.**

Eine Brennstoffzelle ist ein Verbund aus Kathode/Elektrolyt/Anode, wobei der durch den Festelektrolyten wandernde Ladungsträger ein  $O^{2-}$ -Ion ist. Bei der Kathode (Luftelektrode) sind gesinterte, poröse Strukturen mit Schichtdicken von etwa 40 µm und Korngrößen von etwa 1 µm Stand der Technik. Für abgesenkte Betriebstemperaturen sind gemischt ionisch und elektronisch leitende Kathodenmaterialien wie  $(La,Sr)CoO_{3-\delta}$  unabdingbar. Als herkömmliche Dickschichtstrukturen weisen sie – im Vergleich zu den restlichen Komponenten einer Einzelzelle – aber einen zu großen thermischen Ausdehnungskoeffizienten auf. Hohe Sintertemperaturen bei der Herstellung und Thermozyklen im Betrieb würden zu starken Spannungen zwischen den verschiedenen Schichten des Verbundes führen, die unweigerlich einen mechanisch bedingten Ausfall zur Folge hätten. Kathoden mit wenigen hundert Nanometern Dicke hingegen folgen der thermischen Ausdehnung der anderen Komponenten unbeschadet. Verkleinert man auch noch die Skalen für Korn- und Porendurchmesser in den Nanometerbereich, erreichen solche Kathoden sogar bei Schichtdicken von etwa 200 nm ihre volle Leistungsfähigkeit.

In einer Kathode dominieren zwei Verlustmechanismen: Der Einbau von Sauerstoff in das Kathodenmaterial an der Grenzfläche Kathode/Luft und die Festkörper-

diffusion von  $O^{2-}$ -Ionen im Kathodenmaterial von dieser Grenzfläche hin zum Elektrolyten. Die Verluste skalieren sich somit invers mit der inneren Oberfläche einer Kathode, wobei aufgrund der Diffusionsverluste die Oberfläche mit ansteigender Entfernung vom Elektrolyten immer weniger zur elektrochemischen Reaktion beiträgt. Nanoskalige Kathodenstrukturen sind folglich optimal, da sie interfacenah eine große Oberfläche bieten und somit die Summe der Verluste minimieren. Der Strukturgröße ist jedoch nach unten hin durch das thermisch aktivierte Kornwachstum eine Grenze gesetzt. Folglich existieren für jede Kombination aus Betriebstemperatur und Kathodenmaterial eine optimale, langzeitstabile Strukturgröße und eine daraus resultierende optimale Schichtdicke.

In Kooperation mit dem Fraunhofer-Institut für Silicatforschung in Würzburg ist es nun gelungen, nanoskalige Hochleistungskathoden mittels der Metal-Organic-Deposition Methode als wenige hundert Nanometer dicke, homogene Schichten herzustellen. Durch eine gezielte Wärmebehandlung können diese dann noch in einigen ihrer Eigenschaften wie zum Beispiel Korngröße (15 – 150 nm) und Porosität (0 – 30 Prozent) eingestellt werden. Diese Kathoden zeigten selbst bei Temperaturen unter 600 °C unglaublich niedrige Verluste von wenigen  $m\Omega cm^2$ , fast 10-fach kleiner als berechnet. So konnte mit Nanotechnologie eine Halbierung der Kathodenverluste bei gleichzeitiger Absenkung der Betriebstemperatur von 950 °C auf 600 °C erreicht werden. Dies ist ein wichtiger Schritt zur „Niedertemperatur“-SOFC, um letztlich auch der Markteinführung einer APU (Auxiliary Power Unit) für mobile Anwendungen näherzukommen. ■

**Prof. Dr.-Ing. Ellen Ivers-Tiffée**

**Institut für Werkstoffe der Elektrotechnik,  
Karlsruher Institut für Technologie (KIT)**



# Lithium-Ionen-Batterien: längere Zyklenleben

## Verstehen der Alterung mittels Nanoanalytik XPS

**Im Bereich der Elektromobilität gelten Lithium-Ionen-Batterien als eine der vielversprechendsten Technologien der Zukunft. Ähnliches gilt für Lithium-Ionen-Batterien als stationäre Strom-Speicher beim Ausbau erneuerbarer Energien. Für verbesserte Batterien kommender Generationen steht neben der Entwicklung neuer Materialien vor allem das Verständnis der Batteriealterung und der zugrunde liegenden Mechanismen im Mittelpunkt der aktuellen Forschung.**

Im Laufe des Lebenszyklus einer Batterie, also beim schlichten Lagern und beim Laden-Entladen, verringert sich ihre Kapazität mehr oder weniger stark und der Innenwiderstand der Zellen nimmt zu. Die Gründe hierfür sind größtenteils noch nicht verstanden. Darum werden im Rahmen von Modell- und Realalterungsversuchen Zellen unter Luftausschluss geöffnet und ihre Bestandteile wie Elektroden, Separatoren und Elektrolyt mit den verschiedensten Methoden untersucht. Besonders die Grenzflächen zwischen Elektrolyt und Elektrodenoberfläche sowie zwischen Elektrolyt und Separator sind sehr interessant, da hier der Ladungstransport stattfindet.

Ein Alterungsgrund liegt zum Beispiel vor, wenn nicht mehr genug Lithium für den Ladungstransport zur Verfügung steht. Hierbei ist die Oberfläche der Graphitanoden – teilweise auch der Kathoden – von Interesse. Sie bilden in den ersten Zyklen eine wenige Nanometer dicke SEI (Solid Electrolyte Interface) aus und binden das Lithium. Stabilität, Zusammensetzung und Dicke dieser SEI kann



40 Ah Batterien für den elektro-mobilen Bereich werden unter Luft-ausschluss in Gloveboxen geöffnet und beprobt.

für weitere Kapazitätsverluste der Batterie verantwortlich sein. Die SEI, aber auch andere Oberflächen, lassen sich mithilfe von Röntgenphotonenspektroskopie (XPS) untersuchen, eine der wenigen Methoden, mit der Lithium quantitativ bestimmt werden kann. Hierbei werden Kernelektroden mit weicher Röntgenstrahlung angeregt und über die kinetische Energie der emittierten Elektronen Bindungsenergien detektiert. Da die mittlere freie Weglänge der Elektronen im Nanometerbereich liegt (2 – 10 nm), eignet sich diese Technik dazu, nanostrukturierte Grenzschichten zu untersuchen. So kann sowohl eine quantitative Bestimmung der Elemente vorgenommen als auch aus der

chemischen Verschiebung zusätzlich der Bindungspartner ermittelt werden. Auch für organische Verbindungen, die sich in kommerziellen Batterien aus den organischen Elektrolyten bilden, eignet sich das Verfahren.

Mithilfe von Tiefenprofilen lassen sich die Elektroden schichtweise abtragen und so auch in der Tiefe untersuchen. Bei Münster Electrochemical Energy Technology (MEET) wird im nächsten Jahr ein Spektrometer mit polyatomarer Ionenquelle (Coronen) zur Verfügung stehen, das Proben ohne Luftkontakt schleusen kann – eine für Batterien wichtige Einrichtung. Sobald das neue Gerät in Betrieb genommen worden ist, laden wir gerne interessierte Batterieforscher zu einer Besichtigung vor Ort ein. ■

**Dr. Uta Rodehorst, Prof. Dr. Martin Winter**  
Münster Electrochemical Energy Technology (MEET),  
Universität Münster



## KATALYSE

# Ohne heterogene Katalyse keine Energiespeicherung

Voraussetzung sind nanoskalige Materialien

**Bei der Katalyse geht es um die Manipulation von Energiebarrieren in molekularen Prozessen. Dies geschieht über Reaktionsfolgen von Adsorption, Reaktion und Desorption von Oberflächen. Die präzise Abstimmung der lokalen energetischen Eigenschaften der Oberfläche und die Steuerung des Transportes der beteiligten Moleküle sind Aufgaben, die die Chemie zu lösen hat.**

Ein großer Teil dieser Abstimmung wird uns vom Reaktionssystem selbst abgenommen, da sich Katalysatoren unter Reaktionsbedingungen selbst in ihren optimalen Zustand formieren. Voraussetzung hierfür sind nanoskalige Materialien. Der selektive Transport von Molekülen und ihre exakte räumliche Ausrichtung werden durch nanoskalige Porensysteme ermöglicht. Neben den Zeolithen stehen uns heute eine große Zahl weiterer chemisch modifizierter nano- und mesoskaliger Katalysatoren zur Verfügung. Sie werden für die Veredelung von Kohlenwasserstoffen aus fossilen und regenerativen Quellen benötigt.

Stickstoffdünger ist eine unabdingbare Voraussetzung für die Erzeugung von Nahrungsmitteln und Biomasse. Ohne die Haber-Bosch-Synthese und Düngemittel. Beide Prozesse benötigen Metallkatalysatoren, die aus makroskopischen Partikeln bestehen. Die eigentliche Funktion entsteht jedoch in beiden Fällen durch Einbau von Reaktantomen in die Oberfläche der Metallgitter. Diese fördern die Ausbildung aktiver Zentren durch Umgestaltung der Oberfläche von Metallpartikeln mit optimal vorgebildeter Nanostrukturierung

(„Ammoniakeisen“). Viele chemische Transformationen werden mit Metallnanopartikeln auf Trägern durchgeführt. Glaubte man früher, dass die Strukturierung der Metalle in Bereiche um etwa 5 Nanometer vor allem gut sei, um bei erhöhtem Verhältnis von Oberflächenatomen zu Volumenatomen möglichst sparsam mit den wertvollen Metallen umzugehen, so wissen wir heute, dass ohne Nanostrukturierung die beabsichtigten Prozesse gar nicht ablaufen würden. Dies liegt zum einen an der erleichterten Aufnahme von Reaktantomen und zum anderen an der kinetischen Stabilisierung ungewöhnlicher lokaler Koordinationen von Oberflächenatomen, welche erheblich veränderte lokale Bindungsverhältnisse aufweisen und dadurch reaktiv werden.

Die Kontrolle der lokalen elektronischen Zustände durch nanoskopische Strukturierung und Variation der chemischen Zusammensetzung wird zu einer Voraussetzung, um die enormen Anforderungen zu erfüllen, welche die Umstellung von fossilen auf regenerative Energieträger an die Chemie stellt. Neben Energieeinsparpotenzialen bei der Stoffumwandlung ist hier vor allem die Notwendigkeit der Speicherung elektrischer Energie in chemischen Bindungen zu nennen. Nur durch die Erweiterung des fundamentalen Verständnisses von Katalyse wird es gelingen, die notwendigen Hochleistungskatalysatoren und die dafür geeigneten Reaktionsverfahren bereitzustellen. ■



Stickstoffdünger ist eine Voraussetzung für die Nahrungsmittelherzeugung. Hier eine Satellitenaufnahme von Ackerbau in Kansas.

**Prof. Dr. Robert Schlögl**  
Direktor am Fritz-Haber-Institut  
der Max-Planck-Gesellschaft, Berlin

## PHOTOVOLTAIK

# Effizientere Fotozellen durch Nanodrähte

**Nano-„Seeigel“ vergrößern Oberflächen um ein Vielfaches**

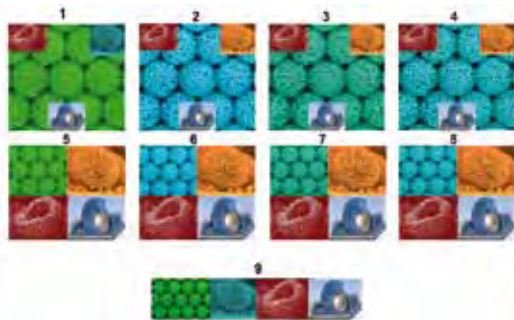
Mit einem einfachen elektrochemischen Verfahren ist es am Schweizer Laboratory for Mechanics of Materials and Nanostructures (EMPA) gelungen, einen Werkstoff zu entwickeln, der sich für zahlreiche elektronische und optoelektronische Anwendungen eignet. Einsatzgebiet kann die Photovoltaik sein, aber auch die Herstellung von Kurzwellenlasern, Leuchtdioden, Feldemissionsdisplays oder Mikroskopen.

Zentrales Element der Methode sind Polystyrol-Kügelchen, die als eine Art Gerüst dienen, um dreidimensionale Strukturen von Zinkoxid-Nanodrähten auf Oberflächen zu erzeugen. Polystyrol ist ein kostengünstiges Material; es wird vielfach in Verpackungen wie Joghurtbechern verwendet oder in Dämmstoffen wie Styropor oder Sagex. Die Kügelchen mit einem Durchmesser von wenigen Mikrometern werden auf eine leitfähige Oxidschicht aufgebracht und ordnen sich dort in regelmäßigen Mustern an. Leitfähigkeit und elektrolytische Eigenschaften der Kügelchen lassen sich so variieren, dass sich die Nanodrähte gleichmäßig auf ihnen ansiedeln.

Um diese gleichmäßige Verteilung zu erreichen, wird die Oxid-Oberfläche mit der Schicht aus Polystyrol-Kügel-

chen für 30 Minuten bei Raumtemperatur in eine Zinkchlorid-Lösung (2 M  $\text{ZnCl}_2$ ) getaucht und in einer elektrochemischen Zelle als Elektrode verwendet. Ohne die Behandlung mit der Lösung lassen sich die Nanodrähte nur zwischen und nicht auf den Kügelchen nieder. Sobald die Stachelhauben entstanden sind, wird das Polystyrol zerstört. Zurück bleiben sphärische Gebilde, die innen hohl sind und aussehen wie Seeigel. Ihre Zinkoxid-Nanodraht-Hüllen sind von unterschiedlicher Stärke, die von unten nach oben zunimmt. Oben auf den Kügelchen erreichen die Nanodrähte eine Länge von 600 Nanometern. Nanodrähte, die auf den Seiten benachbarter Kügelchen aufgewachsen sind, verhaken sich ineinander mit einer Mindestlänge von circa 225 Nanometern am Kontaktpunkt der beiden Gebilde. Ursprünglich rund, verändern die Kügelchen nach der Deposition der Nanodrähte ihre Form und werden elliptisch. Ursache für die Deformation sind vermutlich sowohl der Druck, der an ihrer Oberfläche entsteht als auch die Kräfte, die die aufwachsenden Nanodrähte gegeneinander ausüben.

Die Oxid-Oberfläche erhält auf diese Weise eine dreidimensionale Struktur und wird um ein Vielfaches vergrößert. Es ist zu erwarten, dass sie besondere Lichtstreuungseigenschaften besitzt und deswegen deutlich mehr Sonnenlicht absorbieren kann. In einem nächsten Projekt, das durch das Schweizer Bundesamt für Energie gefördert wird, werden nun extrem dünne Absorber (Extreme Thin Absorber, ETA) für Solarzellen auf Basis der Zinkoxid-Nanostrukturen entwickelt. ETA-Schichten sollen die Strahlungsenergie besser aufnehmen und effizienter umwandeln. ■



Die Herausbildung der „Seeigel“-Strukturen in verschiedenen Phasen

**Dr. Laetitia Philippe,**  
Laboratory for Mechanics of Materials  
and Nanostructures (EMPA), Thun/Schweiz

## THERMOELEKTRIK

# Neue Materialien überwinden Grenzen der Physik

**Nanokomposite machen Thermoelektrik ökonomisch rentabel**

**Automobile, Maschinen und Kraftwerke sind schlechte Futterverwerter: Circa zwei Drittel der ihnen zugeführten Energie geht als ungenutzte Wärme verloren. Teile dieser riesigen Wärmemenge noch zu nutzen, ist Ziel der Thermoelektrik (TE). Durch die Nutzung der Wärme heißer Autoabgase ließen sich bis zu fünf Prozent der eingesetzten fossilen Energie einsparen.**

Thermoelektrische Konverter verwandeln Wärme in elektrische Energie oder transportieren Wärme mittels elektrischer Energie und können somit kühlen. Eigentliche Träger der Wandlung sind vielfältige TE-Materialien: ein- oder polykristalline Massivmaterialien, Halbleiter und Halbmetalle, Keramik-Oxide bis hin zu Dünnschicht-Supergittern. Wie viel Strom erzeugt wird oder wie groß der Kühleffekt ist, hängt maßgeblich von der Güte des thermoelektrischen Materials ab. Entscheidend sind neben einem möglichst hohen Seebeck-Koeffizienten, der so genannten Thermokraft, eine hohe elektrische und eine gleichzeitig niedrige thermische Leitfähigkeit. Hier jedoch hat die Physik Grenzen gesetzt; diese Eigenschaften sind voneinander abhängig und damit nicht ohne weiteres unabhängig optimierbar. Zur Verbesserung der Materialgüte tricksen moderne Thermoelektrika, zum Beispiel Nanokomposite, die Natur gewissermaßen aus: Sie verfügen über einen ausgefeilten, konstruierten Aufbau auf atomarer Skala, bei dem die innere Struktur des Materials die Wärmeausbreitung behindert, man sagt: die Mobilität der Phononen einschränkt (phonon blocking), die der Elektronen hingegen nicht stört oder sogar befördert (electron transmitting).

Nanokomposite können dabei höchst unterschiedlich sein. Dazu gehören nanoskalige hochgeordnete Multischichtstrukturen („sogenannte Supergitter“), mit denen bislang die Laborbestwerte für die Qualität von TE-Materialien erreicht wurden. Hier werden hochgenaue Beschichtungsmethoden wie die Molekularstrahlepitaxie (MBE) eingesetzt. Für nanoskalige Massivmaterialien werden zum Beispiel die Dimensionen individueller Kristallite aus gutem TE-Material durch Rascherstarrung (Melt-spinning) oder Kugelmühlen (Ball-milling) auf Nanometer verkleinert. Die Kompaktierung dieser Kristallhaufen erfolgt durch Heißpressen oder die Technik des Spark-Plasma-Sintering. Erfolgversprechend sind darüber hinaus Nanokomposite, die aus reinen Nanopartikeln oder aus in eine makroskopische TE-Matrix eingebetteten Nanopartikeln hergestellt werden. Eine andere effektive Form der Nanostrukturierung basiert auf der spinodalen Entmischung thermoelektrischer Materialien auf der Nanoskala. Das Resultat sind hier selbstorganisierende, mehrphasige feste Materialien.

Allen Ansätzen ist gemeinsam, dass sich die Qualität der TE-Materialien so weit verbessern ließ, dass diese Energie-wandlung wirtschaftlich werden kann. Entscheidend ist aber, dass thermoelektrische Nanokomposite ihren Weg vom Labor in die industrielle Herstellung schaffen, also kostengünstig hergestellt werden können. ■



Thermoelektrischen Uhren genügt das geringe Temperaturgefälle zwischen Körper- und Raumtemperatur.

**Dr. Harald Böttner**  
Abteilungsleiter Thermoelektrik und integrierte Sensorsysteme, Fraunhofer-Institut für Physikalische Messtechnik IPM, Freiburg



# Umweltauswirkungen von Nanotechnologien

## Herausforderungen bei der Analyse von Umweltfolgen

**Mit dem zunehmenden Einsatz von Nanotechnologie in verschiedenen Produkten stellt sich die Frage nach der umweltseitigen Auswirkung von Nanomaterialien. Hierzu lassen sich prinzipiell dieselben Ansätze wie bei der Beurteilung von Umweltauswirkungen durch Emissionen klassischer Schadstoffe verfolgen. Allerdings ergeben sich bereits aus einer groben Analyse einige Probleme, die Forschungsbedarf in verschiedenen wissenschaftlichen Bereichen aufdecken.**

Nanomaterialien zeichnen sich insbesondere durch Unterschiede in ihren funktionellen Eigenschaften aus, die sich aufgrund der Größenunterschiede einzelner Bestandteile im Vergleich zu anderen Materialien mit prinzipiell gleicher chemischer Zusammensetzung ergeben. Sie lassen sich damit nicht rein chemisch durch ihre einzelnen Elemente identifizieren, sondern auch Form beziehungsweise Größe der Bestandteile sind relevant. Zur Analyse der Umweltauswirkungen von Stoffen hat sich im Energiebereich die sogenannte Wirkungspfadanalyse etabliert. Sie ist eine Bottom-up-Methode, die zunächst auf die Bewertung in

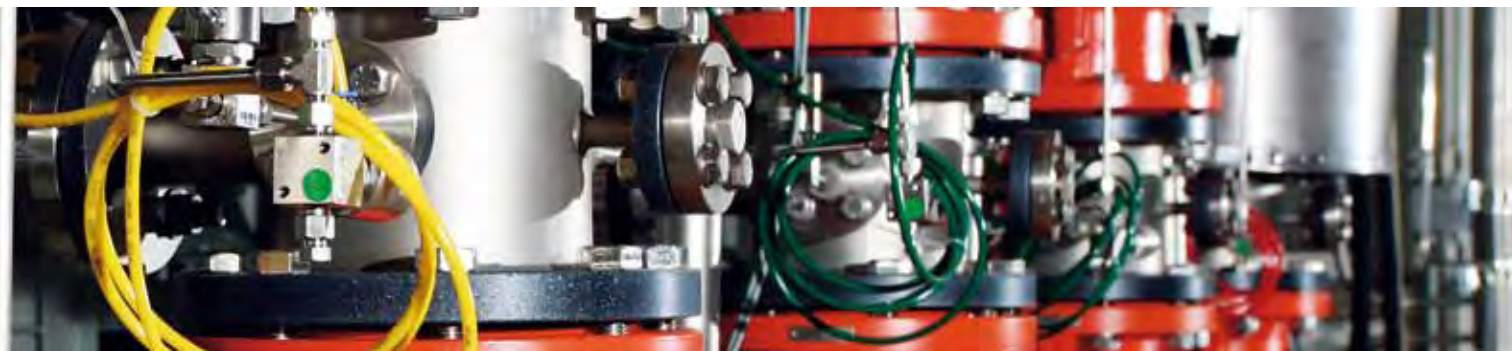
monetären Einheiten abzielt. Ist diese nicht möglich oder zu unsicher, können auch Zwischenergebnisse für die Gesamtbeurteilung herangezogen werden. Maßgeblich für die Entwicklung des Verfahrens waren Arbeiten in den von der Europäischen Kommission geförderten ExternE-Projekten. Die Methode wird unter anderem in der „Methodenkonvention zur Schätzung externer Kosten“ des deutschen Umweltbundesamts empfohlen.

Bei der Wirkungspfadanalyse werden zunächst konkrete Emissionsmengen in der Umwelt ermittelt. Darauf aufbauend lässt sich die räumliche und zeitliche Verteilung und Umwandlung von Stoffen abschätzen. Die resultierenden Konzentrationskarten werden im nächsten Schritt dazu verwendet, die Exposition sensibler Elemente in der Umwelt zu berechnen. Für klassische Schadstoffe sind hier vor allem Menschen, Materialien, Feldpflanzen und Ökosysteme relevant. Mit sogenannten Expositions-Wirkungsbeziehungen können dann resultierende Auswirkungen abgeleitet werden, die sich unter anderem ökonomisch oder anhand multikriterieller Bewertungsmethoden (MCA) bewerten lassen. Wesentliche Vorteile sind, dass so eine direkte Verbindung von Verursacher und Umweltauswirkung abgeleitet werden kann und dass die Bewertung an einzelnen Auswirkungen ansetzt.

Probleme bei der Anwendung der Methode auf Nanomaterialien ergeben sich bereits im ersten Schritt, der Ermittlung der Emission. Hierbei muss angegeben werden, welche Materialien in welcher Menge und in welchem Aggregatzustand in die Umwelt gelangen. Dabei ist der komplette Lebenszyklus zu berücksichtigen, das heißt die Produktion, die Nutzung der Produkte und die Entsorgung. Entsprechende, schon bestehende Datenbanken zu Lebenszyklusanalysen sind weitgehend nach Stoffen sortiert, so dass neue Unterkategorien von speziellen Nanomaterialien zu bilden und mit Daten zu füllen sind.



Für die Wirkungspfadanalyse muss ermittelt werden, welche Materialien auf welchen Wegen in die Umwelt gelangen und wie sie sich dort verhalten.



Eine zu untersuchende Frage wäre, ob Nanobestandteile Einfluss auf die Wirkung von Partikeln als Kondensationskeime für Wolken haben.

Des weiteren muss bekannt sein, wie sich die Materialien in der Umwelt verhalten. Unter anderem ist es fraglich, ob sich die Materialien an andere Partikel anlagern, und wenn ja, an welche bevorzugt. Hierdurch ergeben sich die Größenverteilungen von Partikeln mit Nanobestandteilen. Eine weitere Frage ist, ob die Nanobestandteile Einfluss auf die Wirkung von Partikeln als Kondensationskeime für Wolken oder auf ihr Ausregnen haben. Dabei ist zu berücksichtigen, dass eine erhöhte Konzentration von Partikeln in der Atmosphäre direkt oder über die Wolkenbildung Einfluss auf das Klima haben kann. Sollten die Nanomaterialien spezielle Absorptionsbanden aufweisen, können sich dadurch Klimafolgen verstärken. Für den Pfad der Ausbreitung über Wasser und Boden ergeben sich ähnliche Fragen. Hier sind allerdings neben den chemisch-physikalischen Prozessen auch lebende Organismen zu untersuchen. Auch die Zeiträume der Ausbreitung sind sehr viel länger als in der Atmosphäre. Neben der Ausbreitung sind die chemische Umwandlung und Änderungen von Eigenschaften zu analysieren.

Abschließend ist die Frage von Bedeutung, welche Wirkungen die Nanomaterialien auf Organismen beziehungsweise Materialien entfalten, wenn sie auf verschiedene Art und Weise von Menschen, Tieren oder Pflanzen aufgenommen werden beziehungsweise sich in der Umwelt – beispielsweise auf Gebäudefassaden – anrei-

chern. Bezogen auf den Menschen sind dazu neben toxikologischen Erkenntnissen vor allem epidemiologische Studien notwendig. In ihnen wird der Zusammenhang von gemessenen Konzentrations- beziehungsweise Expositionsanstiegen mit Krankheitsfällen statistisch untersucht. Diese Studien sind bereits bei klassischen Feinpartikeln, vor allem bezüglich Langzeitexposition, mit hohen Unsicherheiten behaftet. Zur Berücksichtigung von Nanomaterialien in solchen Studien müssten über geeignete Messmethoden Anteile von spezifischen Nanomaterialien an der Partikelkonzentration analysiert werden. Diese Verfahren müssen jedoch erst entwickelt werden, da nicht nur die stofflichen Komponenten und die Größen der Anteile, sondern unter Umständen sogar ihre Form und Verteilung relevant sein können. Entsprechend wird es methodisch schwierig und aufwendig sein, in epidemiologischen Studien verlässliche statistische Korrelationen zu ermitteln.

Alles in allem ergeben sich bereits aus der ersten groben Betrachtung etablierter Methoden und der Frage ihrer Übertragbarkeit auf den Einsatz von Nanotechnologie einige Probleme und damit Unsicherheiten in den Abschätzungen. Diese lassen sich voraussichtlich durch methodische Weiterentwicklung zumindest teilweise verringern. Zum Beispiel sollten die umweltphysikalischen und chemischen Eigenschaften der Partikel mit Nanomaterialien untersucht werden. Diese können dann so aufbereitet werden, dass sie in entsprechende Modelle eingebaut und in die Wirkungspfadanalyse integriert werden können. Ebenfalls wäre zu untersuchen, wie bei der Regulierung mit unsicherem beziehungsweise unvollständigem Wissen umgegangen wird. Für die Durchführung solcher und weiterer Arbeiten ist vor allem eine ausreichende Forschungsförderung im interdisziplinären Bereich notwendig. Relevant sind unter anderem die folgenden wissenschaftlichen Bereiche und ihre Schnittpunkte: Technikwissenschaften, Naturwissenschaften, Umweltökonomik, Rechtswissenschaften und Technikfolgenbeurteilung. ■

**Dr.-Ing. Bert Droste-Franke**

**Europäische Akademie zur Erforschung von Folgen wissenschaftlich-technischer Entwicklungen  
Bad Neuenahr-Ahrweiler GmbH**



INTERVIEW

## Thomas Rachel

Parlamentarischer Staatssekretär bei der Bundesministerin  
für Bildung und Forschung

# Energieproduktivität verdoppeln

Staatssekretär Rachel im Interview über Förderstrategien des BMBF

**CeNIDE:** Welche Strategien verfolgt die Bundesregierung, um die Forschungsschwerpunkte Nanotechnologie einerseits und Energietechnik andererseits zusammenzuführen und das Potenzial auszuschöpfen, das in der Verknüpfung beider Felder liegt?

**Thomas Rachel:** Eine Neuausrichtung der Energieversorgung gehört für uns zu den dringlichsten Aufgaben der Zukunft. Deutschland will die Energieproduktivität bis zum Jahr 2020 im Vergleich zu 1990 verdoppeln, die Treibhausgasemissionen bis 2012 gegenüber 1990 um 21 Prozent senken und den Anteil erneuerbarer Energien an der Stromerzeugung bis 2020 auf mindestens 30 Prozent erhöhen. Die Förderung der Schlüsseltechnologien, und damit unzweifelhaft der Nanotechnologie, wird auf ihre Beiträge zu Fortschritten in diesen Bedarfsfeldern ausgerichtet. In der Praxis heißt das, wir fördern Anwendungen der Nanotechnologie für – zum Beispiel – energiesparende Baustoffe, für Materialien, die in Kraftwerken oder bei der Gewinnung erneuerbarer Energien erhöhte Wirkungsgrade ermöglichen.

**CeNIDE:** Welche besonderen Fördermaßnahmen und Aktivitäten gibt es?

**Rachel:** Hervorheben möchte ich hier die Innovationsallianzen im Bereich der Energieeffizienz, die das Bundesministerium für Bildung und Forschung, BMBF, gemeinsam mit der Wirtschaft und der Wissenschaft gestartet hat: Organische Leuchtdioden, organische Photovoltaik, Inno.CNT und Lithium-Ionen-Batterien. Die Allianzen leisten wesentliche Beiträge zur energieeffizienten Beleuchtung, zur Nutzung erneuerbarer Energien und zur Speicherung von Energie. Dabei entfalten die Innovationsallianzen eine besondere Hebelwirkung: Allein im Rahmen der Initiativen für Organische Leuchtdioden und

organische Photovoltaik wurden mit 140 Millionen Euro Fördermitteln des BMBF bereits fast eine Milliarde Euro auf Seiten der Wirtschaft bewegt.

**CeNIDE:** Auf welchen Feldern beziehungsweise in welchen Branchen sehen Sie zurzeit die größten Chancen?

**Rachel:** Ein vielversprechendes Feld ist sicherlich die Elektromobilität. Es ist Ziel der Bundesregierung, Deutschland zum Leitmarkt und Leitanbieter für Elektromobilität zu entwickeln. Nanotechnologische Erkenntnisse werden maßgebliche Beiträge zur Entwicklung von wiederaufladbaren Batterien mit hoher Kapazität leisten. Dies gilt auch für andere alternative Antriebe, so für die Erforschung von Materialien für Wasserstoffspeicher und für Komponenten in der Brennstoffzellenentwicklung. Auch bei der photovoltaischen Energieerzeugung sehen wir deutliche Potenziale. So wird die organische Photovoltaik mittelfristig neue preiswerte Herstellverfahren für organische Solarzellen ermöglichen.

**CeNIDE:** Wo sehen Sie noch Bedarf?

**Rachel:** Ein ganz wichtiges Thema, wenn wir über den Innovationsstandort Deutschland sprechen, sind die Rahmenbedingungen. Und hier besteht in vielerlei Hinsicht Handlungsbedarf. KMU-Förderung und Gründungsbedingungen sind ein Thema mit besonderer Relevanz gerade in der Nanotechnologie. Wir haben in Deutschland eine Industrielandschaft mit etwa 960 Unternehmen, die sich der Nanotechnologie zuordnen – davon sind über 75 Prozent KMU, etwa 70 Prozent wurden erst nach 1985 gegründet. Junge forschungsintensive Unternehmen im Entstehen oder bereits gegründet brauchen unsere besondere Unterstützung, denn sie sind wichtiger Träger des Technologietransfers. ■



# Nanotechnologie reduziert Energieverbrauch

Studie der Universität Stuttgart analysiert Anwendungspotenzial

**Fortschritte in der Nanotechnologie als Querschnittstechnologie zeigen das Potenzial für mögliche Verbesserungen entlang der gesamten energetischen Wertschöpfungskette (Energiegewinnung, -wandlung, -verteilung, -speicherung und -verbrauch). Eine Studie des Instituts für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung (IER) an der Universität Stuttgart hat 26 ausgewählte Nanotechnologie-Anwendungen untersucht.**

Die Auswertung ergab, dass durch den vermehrten Einsatz von Nanotechnologie der Energieverbrauch im Jahr 2030 um circa 400 PJ (111 TWh) reduziert werden könnte. Im Vergleich zum Endenergieverbrauch in Deutschland im Jahr 2005, der als Bezugsgröße für die Untersuchungen verwendet wurde (9242 PJ), würde dies einer Einsparung von über 4 Prozent entsprechen. Hierzu tragen unter anderem folgende Anwendungen bei: Brennstoffzellenheizgeräte in der Hausversorgung, der Einsatz von reibungsreduzierenden Beschichtungen bei Fahrzeugen, die Nutzung von Leuchtdioden (LED) und Organischen Leuchtdioden (OLED) in der Allgemeinbeleuchtung sowie in Fahrzeugen, die Nutzung von innovativen Dämmstoffen (Vakuum-Isolations-Paneele-VIP) im Hausbereich oder auch der Einsatz von Nanopartikeln in der Kunststoffproduktion. Die so ermöglichte Reduktion des Verbrauchs würde einer Verringerung der CO<sub>2</sub>-Emissionen um fast 70 Millionen t (9 Prozent im Vergleich zu den CO<sub>2</sub>-Emissionen in 2005) entsprechen. In der Energiewandlung ließen sich durch den Einsatz von auf Nanotechnologie basierenden Membranen bei der CO<sub>2</sub>-Abtrennung (Carbon Capture and Storage-CCS) ungefähr 260 PJ (72 TWh) zusätzlich einsparen. Auch bei der Stromerzeugung sind durch den Einsatz von Nanotechnologie Fortschritte denkbar. So könnten zum Beispiel durch erhöhte Wirkungsgrade bei der solarthermischen Nutzung der Sonnenenergie durch Antireflexbeschichtungen, durch



CO<sub>2</sub>-Wäsche am IUTA in Duisburg

neue auf Nanotechnologie basierende Photovoltaiktechnologien (wie Dünnschichtsolarzellen, Farbstoffsolarzellen, organische Solarzellen) sowie durch den Einsatz von thermoelektrischen Generatoren in konventionellen Kraftwerken circa 106 PJ (29 TWh) zusätzlich erzeugt werden. Dies entspricht einem Anteil an der deutschen Inlandserzeugung im Jahr 2005 (620 TWh) von circa 4,6 Prozent.

Die Untersuchungen zeigen jedoch auch, dass die Nanotechnologie die Energiewirtschaft kurz- bis mittelfristig nicht radikal verändern wird. Auf längere Sicht kann sie allerdings einen essentiellen Beitrag zu einer nachhaltigen Energieversorgung und zum weltweiten Klimaschutz leisten. Die Veröffentlichung der Untersuchungen ist in den kommenden Monaten geplant. ■

**Dipl.-Ing. Jochen Lambauer,  
Dr. rer. pol. Ulrich Fahl,  
Prof. Dr.-Ing. Alfred Voß,  
Institut für Energiewirtschaft und Rationelle  
Energieanwendung (IER), Universität Stuttgart**



## VERANSTALTUNGEN

**Karlsruhe****3. Jahreskongress der Innovationsallianz CNT  
25. – 27. Januar 2011**

Die Innovationsallianz CarbonNanotubes (Inno.CNT) ist ein eng vernetzter Forschungsverbund, an dem rund 80 namhafte Partner aus Wissenschaft und Industrie beteiligt sind. Sie ist Teil der Hightech-Strategie der Bundesregierung und wird vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert. Der Jahreskongress wird in Kooperation mit CONTACT, dem europäischen Nachwuchsforscher-Netzwerk, durchgeführt. Im Mittelpunkt der Veranstaltung stehen Anwendungen von Kohlenstoff-Nanomaterialien. ■

[www.cnt-initiative.de/jahreskongress2011/](http://www.cnt-initiative.de/jahreskongress2011/)

**Duisburg****NEnA – Nano Entrepreneurship Academy  
20. – 25. März 2011**

Gründungsinteressierte Naturwissenschaftlerinnen haben bereits zum fünften Mal die Chance, ihre Forschungen im Team auf den Prüfstand zu stellen, um daraus konkrete Geschäftsideen

für den Markt zu gestalten. Gesucht werden innovative Gründungsideen mit Fokus auf Nanotechnologie. NEnA ist eine Initiative des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmen des Aktionsprogramms „Power für Gründerinnen“, die unter Federführung der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg umgesetzt wird. Die Duisburger Veranstaltung wird im Rahmen des Projektes Nano-EnergieTechnikZentrum gemeinsam mit CeNIDE durchgeführt. ■

[www.nano-4-women.de/content/view/127/203/lang/de/](http://www.nano-4-women.de/content/view/127/203/lang/de/)

**Dresden****Zukunft Energie  
11. – 13. Mai 2011**

Vertreter aus Wirtschaft und Forschung präsentieren ihre Ergebnisse, Produkte und Erfahrungen zu den Themenschwerpunkten Energieumwandlung (Photovoltaik, Brennstoffzelle, Thermoelektrik), Energiespeicherung (Supercaps, Lithium-Ionen-Batterie) und Energieeffizienz (insbesondere in der Fügetechnik). Organisiert wird die Veranstaltung vom Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik (IWS) Dresden mit Unterstützung des Amtes

für Wirtschaftsförderung der Landeshauptstadt Dresden. ■

[www.iws.fraunhofer.de/workshop/vorankuendigung\\_energie\\_2011.pdf](http://www.iws.fraunhofer.de/workshop/vorankuendigung_energie_2011.pdf)

**Nizza****IUMRS ICAM 2011 & E-MRS/  
MRS BILATERAL CONFERENCE  
on ENERGY**

**Technical sessions: May 9-13, 2011**

**Exhibit: May 10-12, 2011**

**Topics:** Engineering of wide bandgap semiconductor materials for energy saving; Materials for solar hydrogen via photo electrochemical production; Nano energy: energy transduction at the nanoscale for energy conversion devices and energy storage systems. ■

[www.emrs-strasbourg.com/index.php?option=com\\_content&task=view&id=374&Itemid=141](http://www.emrs-strasbourg.com/index.php?option=com_content&task=view&id=374&Itemid=141)



EUROPÄISCHE UNION  
Investition in unsere Zukunft  
Europäischer Fonds  
für regionale Entwicklung

**Ziel2.NRW**

Regionale Wettbewerbsfähigkeit und Beschäftigung

Ministerium für Innovation,  
Wissenschaft und Forschung  
des Landes Nordrhein-Westfalen



## KONTAKT

**Dr. Alina Leson**

Gebäude LH, Forsthausweg 2  
47057 Duisburg  
Tel.: +49.203.379.3669  
Fax: +49.203.379.1895  
E-Mail: [leson@cenide.de](mailto:leson@cenide.de)

[www.cenide.de](http://www.cenide.de)

**CeNIDE, Center for Nanointegration Duisburg-Essen**, ist seit 2005 das Dach für die an der Universität auf dem Gebiet der Nanotechnologie tätigen Fachbereiche und Forschungseinrichtungen. CeNIDE bündelt die Aktivitäten aus den Natur-, Ingenieurwissenschaften und der Medizin zum Themenfeld Nanotechnologie und integriert ergänzende Kompetenzen in das dynamische Netzwerk. Zu den Forschungsschwerpunkten der derzeit beteiligten 45 Arbeitsgruppen zählen die Disziplinen Nanopartikel und -materialien, Nano(opto)elektronik und Nanomagnetismus. ■