

# Strom aus der Konserve

Ohne Batterien startet kein Auto. Handys, Notebooks, Herzschrittmacher und Hörgeräte stellen ihren Dienst ein. Batterien und Akkus versorgen unsere mobile Welt mit der notwendigen Energie. Doch die Anforderungen an die kleinen Kraftwerke steigen: In Zukunft sollen sie Pkws antreiben und elektrische Energie aus Sonne und Wind speichern. Das erfordert neue, noch leistungsfähigere und vor allem sichere und zuverlässige Systeme.

**Ein leises Surren** – viel mehr ist von der Hauptstraße trotz Feierabendverkehr nicht zu hören. Gemütlich lehnt sich Herr Müller in seinen Liegestuhl zurück. Seit fast nur noch Elektroautos in der Stadt unterwegs sind, kann er endlich seinen Balkon nutzen. Autolärm und Abgase gehören der Vergangenheit an.


Diese Vision könnte schon bald Realität werden. Der Autozulieferer Bosch erwartet, dass bereits im Jahr 2015 Hybrid- und Elektrofahrzeuge einen Weltmarktanteil von mehr als drei Prozent haben werden. 2025 werden in Europa alle neu zugelassenen Autos mit einem Hybrid- oder sogar reine Elektroantrieb ausgestattet sein – so die Prognose des Center Automotive Research an der FH Gelsenkirchen (CAR). Laut CAR-Berechnung steigt die Anzahl der verkauften Hybrid- und Elektrowagen in der Europäischen Union von 80 000 in diesem Jahr auf 16,2 Mio 2025. Strombetriebene Wagen sind für die Verbraucher eine interessante Alternative: Laut einer vom Autozulieferer Continental Anfang 2008 in Auftrag gegebenen Umfrage bei Autofahrern in acht Ländern kann sich fast jeder Zweite vorstellen, für den Stadtverkehr ein Elektroauto zu kaufen.

Keine Frage: Hybrid- und Elektrowagen sind im Kommen. Elektromotoren haben einen

großen Vorteil: Sie arbeiten wesentlich effektiver als Verbrennungsmotoren. Ein Benzin- oder Dieselmotor hat nur einen Wirkungsgrad von bis zu 35 Prozent, bei Elektromotoren sind es etwa 90 Prozent. Mittlerweile arbeiten nahezu alle Autohersteller an der Entwicklung von Hybrid- und Elektroautos. Als eines der ersten soll bereits 2010 der Volt von Chevrolet auf den Markt kommen. Aber auch die deutschen Produzenten setzen auf Elektromotoren: BMW erprobt den Mini mit Elektroantrieb, bei Daimler sollen Smart und die A-Klasse elektrisch fahren. Erst kürzlich startete der Stuttgarter Automobilhersteller zusammen mit RWE in Berlin mit einem ersten gemeinsamen Elektroautoprojekt. Auch VW setzt auf die Hybrid- und Elektrowagen. »Die Elektrifizierung des Antriebs ist der richtige Weg, um die Mobilität von morgen zu sichern«, ist sich Prof. Martin Winterkorn, Vorstandsvorsitzender des Volkswagen-Konzerns, sicher.

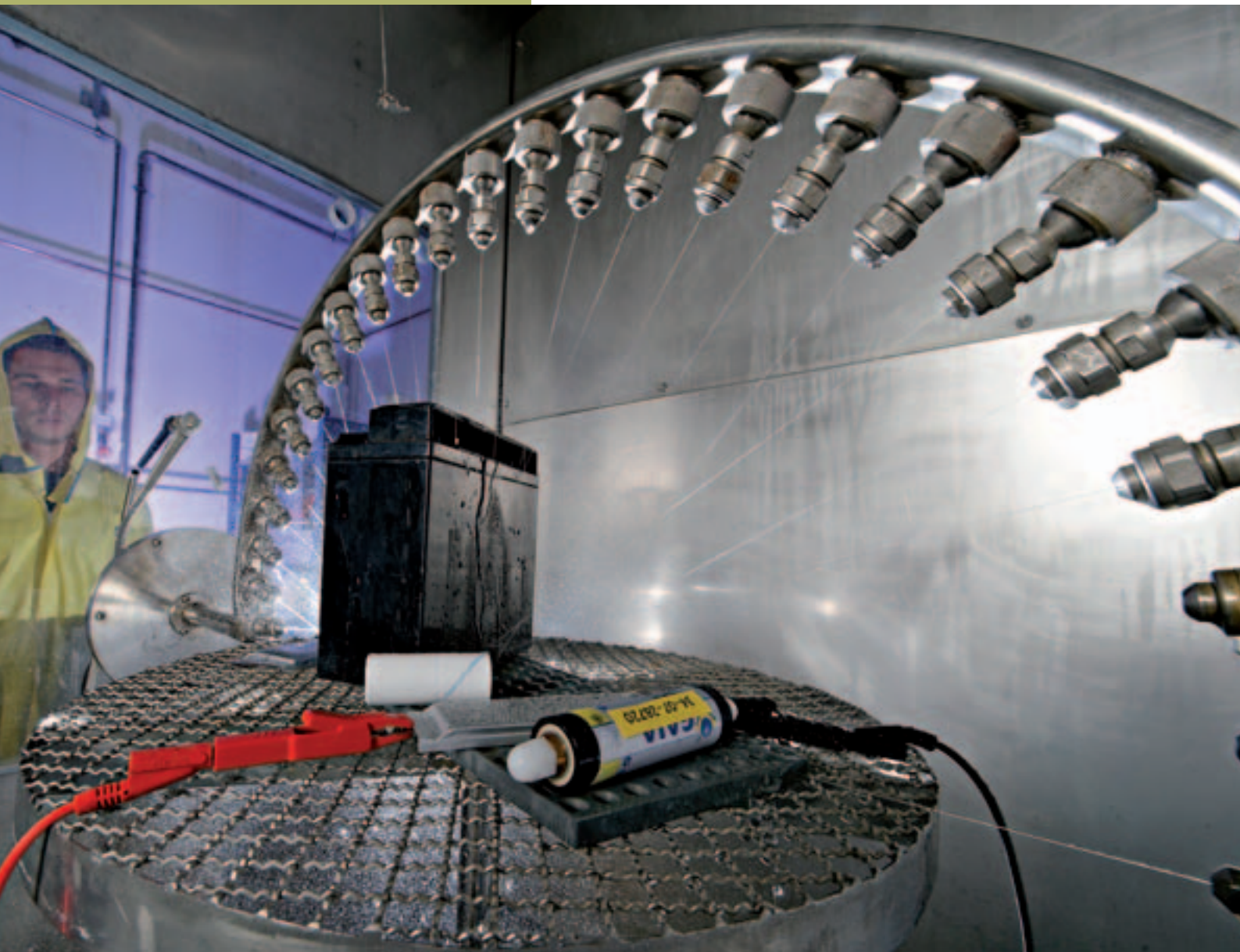
## Schlüsselkomponente: Lithium-Ionen-Batterie

Bislang konnten sich Elektroautos nicht auf dem Markt durchsetzen. Der Grund: Es fehlen leistungsfähige, sichere, langlebige und kostengünstige Energiespeichersysteme. Heute kommt man einer mit Tankladung Strom weniger als 100 Kilometer weit. Und



**Welche Belastungen halten Batterien aus? Diese Frage untersuchen Forscher auf speziellen Testständen.**

© Volker Steger



diese Elektromobilität ist teuer erkauft: Etwa 15 000 Euro und mehr kostet ein Akku. Künftig sollen leistungsstarke Lithium-Ionen-Batterien die Autos antreiben. Diese Powerpakete versorgen schon Handys, PDAs, Laptops, Camcorder und Akkubohrer mit Strom. Die Vorteile der Hochleistungsakkus: Sie sind leicht und haben keinen Memoryeffekt. Weiterentwickelte Lithium-Ionen-Akkus gelten als Schlüsselkomponente für strombetriebene Wagen.

»Moderne Lithium-Ionen Batterien speichern bei gleichem Gewicht etwa zwei- bis dreimal soviel Energie wie gewöhn-

liche Nickel-Cadmium-Akkus«, nennt Dr. Jens Tübke einen entscheidenden Vorteil. Der Experte für Elektrochemie koordiniert das neu gegründete Fraunhofer-Netzwerk Batterien, in dem 13 Institute ihre Kompetenzen in der Batterieforschung und -entwicklung bündeln (siehe Kasten). Ein Arbeitsschwerpunkt ist die Entwicklung leistungsfähiger und sicherer Lithium-Ionen-Batterien. Das Problem: Die organischen Elektrolyte sind brennbar. Überhitzen die Batterien, können sie sich daher leicht entzünden. Die Folge: Immer wieder müssen PC-Hersteller Notebookakkus zurückrufen.

Forscher des Fraunhofer-Instituts für Siliciumforschung ISC in Würzburg arbeiten daran, die Sicherheit zu optimieren. »Es ist uns gelungen, die brennbaren organischen Elektrolyte durch ein nicht brennbares, formstabiles Polymer zu ersetzen«, erläutert Dr. Kai-Christian Möller, Gruppenleiter am ISC, den Ansatz der Forscher. »Dadurch verbessert sich die Sicherheit der Lithium-Ionen-Akkus erheblich.«

Das nicht brennbare Polymer stammt aus der Stoffgruppe der Ormocere® – eine Verbindung mit Silizium-Sauerstoffketten, die ein anorganisches Gerüst bilden, das

durch organische Seitenketten verknüpft ist. Einen ersten Prototypen des neuen Lithium-Ionen-Akkus haben die Forscher bereits auf der Hannover Messe vorgestellt. Bis der Energiespeicher in Laptops, PDAs, Navigationsgeräten und Akkuschaubern eingesetzt wird, dürften allerdings noch drei bis fünf Jahre vergehen.

Einen anderen Weg, Lithium-Ionen-Akkus sicherer zu machen, hat Evonik-Industries eingeschlagen. Das Unternehmen setzt auf einen vliesbasierten flexiblen Separator mit keramischen Partikeln, der Anode und Kathode voneinander trennt. Der Vorteil des

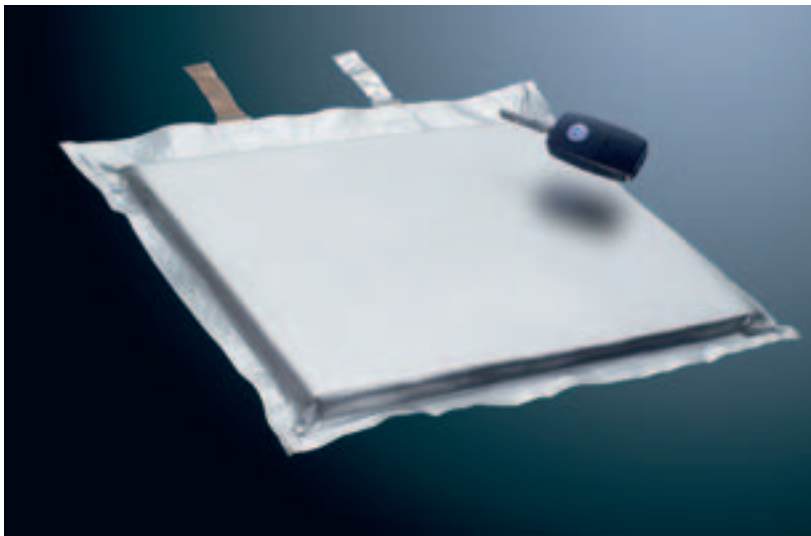
sung ein Gemeinschaftsunternehmen zur Entwicklung und Fertigung von Lithium-Ionen-Batterien. Darüber hinaus bündeln die im Verband der Automobilindustrie (VDA) vertretenen Fahrzeughersteller Audi, BMW, Daimler, Ford, Opel, Porsche und VW ihre Aktivitäten zur Forschung und Entwicklung von dieser Batteriesysteme. Finanziell unterstützt sie dabei der Bund.

### Investitionen in die Entwicklung

Massive Investitionen in Forschung und Entwicklung werden auch dringend benötigt. Der Hintergrund: In Deutschland werden

In den kommenden Jahren will ein Industriekonsortium von Evonik, Li-Tec, BASF, Bosch und Volkswagen 360 Millionen Euro für Forschung und Entwicklung investieren. Das BMBF unterstützt das Vorhaben mit 60 Mio Euro. Ein Teilprojekt von LIB 2015 ist die Entwicklung von Lithium-Hochenergiebatterien für Elektrofahrzeuge – kurz »HE-Lion« genannt. Hieran sind mehrere Fraunhofer-Institute beteiligt.

Fraunhofer verfügt über großes Kompetenzen und Know-how in der Batterie-Entwicklung. So arbeitet das Fraunhofer-Institut für Siliziumtechnologie ISIT in Itzehoe an Li-



»Separion®«: Es ist temperaturstabiler als die bisher eingesetzten Systeme.

Der Markt für Elektroauto-Batterien entwickelt sich gewaltig – von heute etwa 900 Millionen Dollar soll er bis 2015 auf zehn bis 15 Milliarden Dollar allein für große Lithium-Ionen-Batterien wachsen. 2020 werden es dann 30 bis 40 Milliarden Dollar sein. Um für die wachsende Nachfrage gerüstet zu sein, arbeiten viele Automobilhersteller und Zulieferer mit Batterie-Herstellern zusammen. So kooperieren VW und Sanyo auf dem Gebiet der Hochenergiebatterien. Allein Sanyo will in den kommenden sieben Jahren 490 Mio Euro in die Entwicklung dieser Speicher investieren. Continental hat bereits Anteile am japanischen Batteriespezialisten Enax übernommen. Und in Frankreich kooperieren Johnson Controls Varta und die Firma Saft. Auch Bosch rüstet sich für den erwarteten Elektroauto-Boom: Der Automobilzulieferer gründet mit Sam-

### Der Prototyp eines Lithium-Polymer-Akkus für den Einsatz in Hybridfahrzeugen.

© Fraunhofer ISIT

kaum noch Batterien und Akkus produziert oder weiterentwickelt; die meisten Hersteller sind in Asien angesiedelt. Um auch in der Bundesrepublik wieder Kompetenzen aufzubauen, fördert das Bundesministerium für Bildung und Forschung BMBF die Entwicklung von Lithium-Ionen-Batteriesystemen – zum Beispiel in der Innovationsallianz »Lithium-Ionen-Batterie (LIB 2015)«.

thiumpolymer-Akkumulatoren. Auf Basis dieser Technologie entwickeln die ISIT-Forscher nun ein fahrzeugtaugliches Energiespeichermodul. An dem von VW und dem Bundesministerium für Umwelt (BMU) gestarteten Pilotprojekt »Flottenversuch Elektromobilität« beteiligen sich neben dem ISIT auch die Fraunhofer-Institute für Integrierte Schaltungen IIS und für Inte-

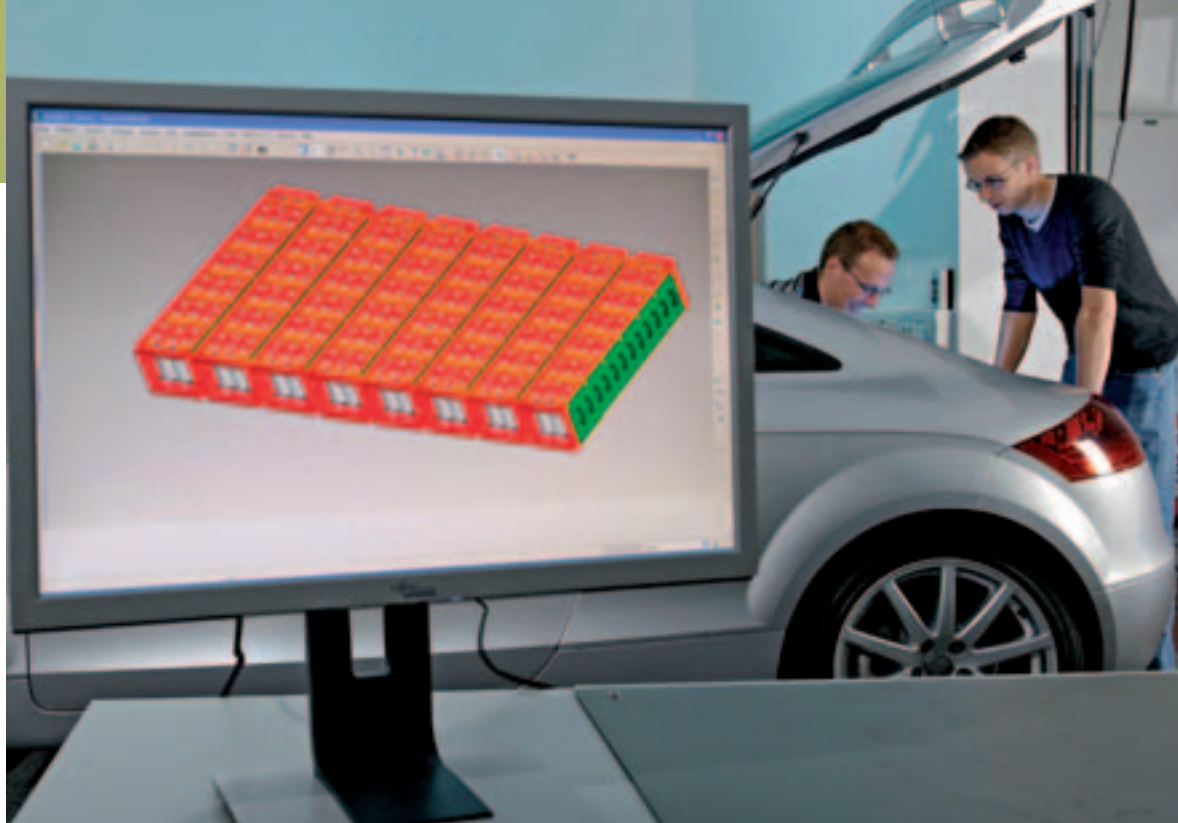
### Fraunhofer-Netzwerk Batterien

In dem Fraunhofer-Netzwerk Batterien haben sich 13 Fraunhofer-Institute zusammengeschlossen. Die Forscher arbeiten an leistungsfähigen und sicheren Lithium-Ionen-Batterien. Dazu entwickeln sie neue Elektrodenmaterialien, Binder, Elektrolyte und Separatoren. Weitere Arbeitsschwerpunkte sind Zelldesign, Packaging, Zellenfertigung, Batteriebau, -management, -monitoring und -charakterisierung sowie Sicherheitstest. Die besondere Stärke des Netzwerks: Fraunhofer verfügt über Know-how in der Material-, Elektroden-, Elektrolyt-, Zellen- und Batterieherstellung und kann so Unterstützung über die gesamte Prozesskette anbieten.

Beteiligt sind die Fraunhofer-Institute für

- Integrierte Schaltungen [IIS](#)
- Chemische Technologie [ICT](#)
- Techno- und Wirtschaftsmathematik [ITWM](#)
- Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik [UMSICHT](#)
- Solare Energiesysteme [ISE](#)
- Angewandte Polymerforschung [IAP](#)
- Siliciumforschung [ISC](#)
- Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik [IGB](#)
- Zuverlässigkeit und Mikrointegration [IZM](#)
- Siliziumtechnologie [ISIT](#)
- Produktionstechnologie [IPT](#)
- Produktionstechnik und Automatisierung [IPA](#)
- System und Innovationsforschung [ISI](#)

**In einen konventionellen Serienwagen integrieren Forscher einen Hybridantrieb.**  
© Volker Steger



grierte Systeme und Bauelementetechnologie IISB in Erlangen.

»Der Energiespeicher muss die rauen Umgebungsbedingungen beim Einsatz im Hybridfahrzeug verkraften und soll sich vor allem durch hohe Betriebssicherheit und lange Lebensdauer auszeichnen«, erläutert Dr. Gerold Neumann, ISIT-Wissenschaftler und Koordinator der Fraunhofer-Aktivitäten. Deshalb setzen die Forscher neue umweltverträglichere Elektrodenmaterialien ein. Um viel Energie auf kleinem Raum speichern zu können, integrieren sie mechanische und elektrische Komponenten in einem Modul und erarbeiten Systeme zur Temperaturkontrolle, zur Messdatenerfassung und für die Überladesicherheit.

Ein speziell entwickeltes Batterie-Managementsystem macht den Energiespeicher langlebiger und sicherer. »In einem Hybrid-Automobil sind viele Batterien mit einer hohen Energiedichte aktiv. Wir arbeiten an Managementsystemen, die diese Akkus sicher und zuverlässig überwachen«, erläutert Peter Spies vom IIS in Erlangen. Außerdem wird ein Monitoringsystem gebraucht. Der Autofahrer muss wissen, wie stark die Batterien noch geladen sind und wie viele Kilometer er noch mit der Akkuladung zurücklegen kann.

Dass Hybridtechnologie sich sogar in bestehende Fahrzeugkonzepte integrieren lässt, zeigen Forscher des IISB in einem anderen Projekt. Derzeit wandeln die Ingenieure ein

herkömmliches Serienfahrzeug – einen Audi TT – in ein Hybridauto um. »Unsere Spezialität ist es, Leistungselektronik so kompakt zu bauen, dass sich diese auch in Serienfahrzeugen mit sehr beengten Platzverhältnissen unterbringen lässt«, erläutert Dr. Martin März, Leiter des Zentrums für Kfz-Leistungselektronik und Mechatronik am IISB. Deshalb sind bei dem neuen Hybridisierungs-konzept – anders als bei den auf dem Markt befindlichen japanischen Lösungen – auch nur kleine Änderungen im Antriebsstrang notwendig. »Alles, was wir an Technologien und Komponenten für unsere Hybridplattform entwickeln, ist langfristig auch für reine Elektroautos von größter Bedeutung«, betont März.

Doch wie sicher sind die neuen Hybrid- und Elektrowagen? Sind die Energiespeicher kein Risiko? Halten die Batterien die Temperaturschwankungen im Auto aus? Explodieren sie, wenn sie beschädigt werden? Um diese und weitere Fragen zu untersuchen, unterziehen Forscher des Fraunhofer-Instituts für Chemische Technologie ICT in Pfinztal bei Karlsruhe Batterien verschiedenen Härte-tests. Sie prüfen, ob die Akkus mechanischen, thermischen und elektrischen Belastungen standhalten. Was passiert bei einem Crash? Wie reagieren die Batterien auf schnelle Temperaturwechsel oder Vibrationen? Blähen sich die Akkus auf, wenn sie überladen werden? Brennt der Energiespeicher, wenn er angezündet wird? »Um das Risiko und den Schaden zu ermitteln, beobachten wir das Verhalten

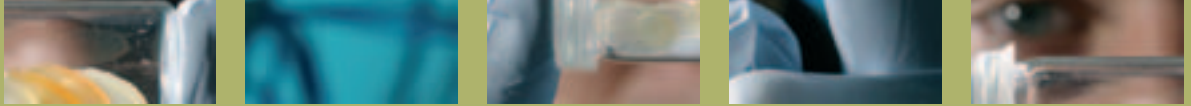
der Batterie während des gesamten Missbrauchstests unter einer Vielzahl von Aspekten. Sowohl die Temperaturen als auch die entstehenden und austretenden Gase werden zum Zweck einer exakten Gefahrenanalyse gemessen und ausgewertet«, erläutert Tübke. Die Forscher entwickeln daraus abgeleitete Sicherheitskonzepte.

Zusätzlich zu den »Misshandlungs-Tests« untersuchen die Wissenschaftler auch, ob zum Beispiel bestimmte Zellen und Batterien zum Einsatz in Hybridfahrzeugen geeignet sind. Nur, wenn von den Systemen bei diesen Untersuchungen keine Gefahren ausgehen, können diese großen Batterien in einem Fahrzeug eingebaut werden.

### Neue Materialien

Einen weiteren Beitrag zur Sicherheit von Batterien liefern die Charakterisierung der verwendeten Batteriekomponenten und deren Materialbeschaffenheit. Die Entwicklung neuer Batteriematerialien gehört zu den aktuellen Arbeiten der »Angewandten Elektrochemie« des ICT und der »Elektrochemischen Energiespeicherung und -wandlung« des ISC. »Der Fokus liegt auf der Synthese und Charakterisierung von Elektroden und der Entwicklung von polymeren Elektrolyten und ionischen Flüssigkeiten für Lithium-Ionen- und Lithium-Polymer-Batterien.

Lithium-Batterien sind nicht nur die Schlüsselkomponente für die Elektrifizierung des



## Titelthema

Autoverkehrs, sie eröffnen auch neue Möglichkeiten, Energie aus Wind und Sonne effektiver zu nutzen. Die Idee der Forscher: Kleine Einspeiser in netzfernen Gebieten, beispielsweise Hausbesitzer mit Solarmodulen auf dem Dach, könnten in Zukunft an sonnenreichen Tagen überschüssigen Strom statt in den heute üblichen Bleibatterien in Lithiumbatterien speichern. Als Energiespeicher ließen sich dann die Akkus in Elektroautos nutzen. Ist zu wenig Strom vorhanden, greifen Netzbetreiber auf die in den Akkus gespeicherte Energie zurück. So lässt sich das Stromnetz mit Hilfe von Hybridautos stabilisieren.

und Wind fließt nur sehr unregelmäßig. An windigen Tagen liefern Windkraftanlagen bis zu 20 000 Megawatt Strom – das entspricht der Kapazität aller deutschen Kernkraftwerke. Doch nicht immer wird auch soviel Energie benötigt. 2006 konnten etwa 15 Prozent des durch Windkraftwerke erzeugten Stroms nicht eingespeist werden und gingen damit für den Verbrauch verloren. Wenn bis 2050 etwa die Hälfte des gesamten Energiebedarfs in Deutschland aus erneuerbaren Energien gedeckt werden soll, müssen für die Zwischenspeicherung der erzeugten Energie effiziente Technologien entwickelt werden. Nur so lässt sich


in den höher gelegenen Speichersee gepumpt. Das im oberen Stausee gespeicherte Wasser lässt sich zum Antrieb der Kraftwerksturbinen nutzen, um wieder Strom zu gewinnen. Der Nachteil dabei: Die Speicher haben einen vergleichsweise niedrigen Wirkungsgrad – es geht also viel Energie verloren. Und sie benötigen besondere geografische Voraussetzungen – ohne Gefälle kein Strom. Eine Möglichkeit elektrische Energie vorzuhalten, bieten Druckluftspeicher. Dazu wird Luft komprimiert und in unterirdischen Kavernen gespeichert, aber auch deren Verfügbarkeit ist begrenzt.

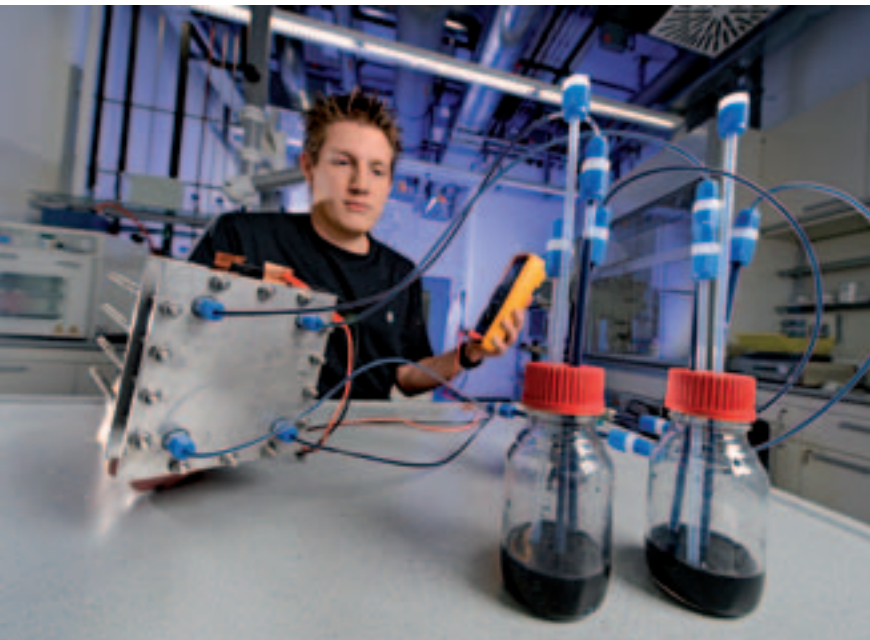
Keine Frage: Um Strom aus Wind und Sonne kalkulierbar und wettbewerbsfähig zu machen, werden neue leistungsfähige Speichersysteme benötigt. Ein viel versprechendes Speichersystem sind Redoxflow-Batterien. Damit lässt sich Strom langfristig über Stunden oder Tage und in großer Menge vorhalten. Die eigentlichen Energiespeicher sind flüssige Elektrolyte, die in Tanks lagern. »Herrscht Flaute oder scheint die Sonne nicht, wird die gespeicherte Energie in einem Redoxflow-Elektroden-Stack, der im Aufbau einer Brennstoffzelle ähnelt, wieder in Strom umgewandelt«, erläutert Tübke.

Im Vergleich zu den herkömmlichen Bleiakkus sind Redox-Batterien in diesen Speichergrößen kleiner und vor allem langlebiger – sie haben eine etwa zehnmal längere Lebensdauer. Der Nachteil: Noch sind sie im Verhältnis zur Leistungs- und Energiedichte recht teuer. Forscher des ICT wollen das ändern: »Wir haben den Prototypen einer Redoxflow-Batterie entwickelt, mit dem wir verschiedene Elektrodenmaterialien, Membranen und Elektrolyte möglichst flexibel testen können«, erläutert Dr. Jens Tübke den Ansatz der ICT-Wissenschaftler. »Damit lassen sich unterschiedliche Redox-Systeme in einem Testaufbau vergleichen. So können wir die Vor- und Nachteile der jeweiligen Systeme sauber herausarbeiten und neue Materialien testen.«

In unserer mobilen Welt ist Strom aus der Konserve stark gefragt. Damit wir in Zukunft nicht nur umweltfreundlicher Autofahren, sondern auch Energie aus Wind und Sonne effizient nutzen können, brauchen wir neue Speichersysteme.

**Birgit Niesing**

 [fraunhofer.de/audio:online](http://fraunhofer.de/audio:online) ab 15.12.2008.



**Der Prototyp einer Redoxflow-Batterie.**

© Volker Steger

»Das ist eine von vielen Möglichkeiten Energie zu speichern, die wir in dem Projekt 'Energiespeicher im Netz' durchspielen«, erklärt Dr. Christian Dötsch, Leiter des Geschäftsfelds Energiesysteme am Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energiesysteme UMSICHT in Oberhausen, der das Fraunhofer-Zukunftsthema koordiniert. »Unser Ziel ist es, die Lieferung von Wind- und Sonnenenergie ebenso planbar zu machen, wie die Energie aus konventionellen Kraftwerken.« Daran arbeiten Wissenschaftler aus sieben Fraunhofer-Instituten. Die Herausforderung: Strom aus Sonne

in Zukunft vermeiden, dass Energie ungenutzt verloren geht.

Ähnlich sieht es bei Solarstrom aus. An sonnigen Tagen speisen Photovoltaiksysteme Energie ins öffentliche Stromnetz ein – an trüben Regentagen nicht. Doch Stromerzeugung und -verbrauch müssen zu jedem Zeitpunkt übereinstimmen. Um Versorgungslücken zu vermeiden, passen die Anbieter die Stromerzeugung an und halten Reserveleistungen bereit.

Heute wird Strom meist als Lagerenergie in Pumpspeicherkraftwerken gespeichert. Die Kraftwerke verfügen über ein oberes und ein unteres Staubecken. Bei geringer Stromnachfrage wird das Wasser mit elektrischer Energie gegen die Kraft der Erdanziehung