



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung

# Elektromobil in die Zukunft

**Batterieforschung als Schlüssel**



## Impressum

### Herausgeber

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)  
Referat Nanomaterialien, Neue Werkstoffe  
53175 Bonn

### Bestellungen

Schriftlich an den Herausgeber  
Postfach 30 02 35  
53182 Bonn  
oder per  
Tel.: 01805 - 262 302  
Fax: 01805 - 262 303  
(Festnetzpreis 14 ct/min, höchstens 42 ct/min aus Mobilfunknetzen)  
E-Mail: books@bmbf.bund.de  
Internet: <http://www.bmbf.de>

### Redaktion

Dr. Mathias Schulenburg, Köln

### Gestaltung

Suzy Coppens, Köln  
[www.bergerhof-studios.de](http://www.bergerhof-studios.de)

### Druckerei

Welzel+Hardt GmbH, Wesseling

### Bonn, Berlin 2010

### Bildnachweis

Titelseite: reinobjektiv - Fotolia.com; VDI TZ, Ulrich Zillmann;  
Montage: Suzy Coppens, BergerhofStudios  
S. 2: Grafiken: Suzy Coppens, BergerhofStudios  
S. 4: oben Evonik Industries AG; unten Daimler AG  
S. 5: Audi AG  
S. 6: Forschungszentrum Jülich GmbH,  
Bearbeitung Suzy Coppens, BergerhofStudios  
S. 7: links Bosch GmbH, rechts Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-  
Forschung (ZSW)  
S. 8: Evonik Industries AG  
S. 9: oben ZSW; unten Bosch GmbH  
S.10: links Fraunhofer-Institut (ISE); rechts Vattenfall Europe AG  
S. 11: Bosch GmbH  
S. 14: Suzy Coppens, BergerhofStudios  
S. 15: Daimler AG  
S. 16: Grafik: Suzy Coppens, BergerhofStudios  
S. 17: oben Fraunhofer-Institut, B. Müller;  
unten Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung (ZSW)  
S. 19: Prof. M. Winter  
S. 20: Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung (ZSW)  
S. 21: Daimler AG  
S. 22: oben Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung (ZSW);  
unten Li-Tec Battery GmbH  
S. 23: links Jules\_Kitano, IStockphoto; rechts Evonik Industries AG  
S. 24: Li-Tec Battery GmbH  
S. 25: oben: Audi AG; unten Daimler AG  
S. 26: Ulrich Zillmann



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung

# Elektromobil in die Zukunft

**Batterieforschung als Schlüssel**



## Vorwort



Die langfristige, umweltverträgliche Sicherung der individuellen Mobilität ist die größte technologische Herausforderung, vor der die Automobilindustrie weltweit steht. Insbesondere mit Elektrofahrzeugen werden große Hoffnungen verbunden, weil sie das gesamte Spektrum erneuerbarer Energien nutzen und vor allem in Ballungsräumen die Schadstoff- und Lärmemissionen deutlich senken. Um Hybrid- und Elektrofahrzeuge serienmäßig und kostengünstig herzustellen, bedarf es Energiespeichermedien, die effizient, leicht, sicher und kostengünstig sind und eine akzeptable Reichweite von mehreren hundert Kilometern garantieren. Batterien bilden somit die Grundlage für zukunftsweisende elektrische Antriebssysteme.

Um die im Nationalen Entwicklungsplan Elektromobilität beschriebenen Ziele zu erreichen und Deutschland zum Leitmarkt für Elektromobilität zu

machen, setzt das Bundesministerium für Bildung und Forschung in seiner Forschungsförderung bewusst Akzente, die sich an den aktuellen Herausforderungen orientieren. Drei Schwerpunkte wurden identifiziert. Erstens: Deutschland muss wieder der führende Forschungsstandort werden für Elektrochemie, der Basisdisziplin aller Batterietechnologien. Um Quantität und Qualität der Forschung weiter zu verbessern, werden wir an die Fördermaßnahme Kompetenzverbünde „Elektrochemie für Elektromobilität“ anknüpfen. Zweitens: Deutschland muss sich als Standort für die Massenproduktion leistungsfähiger, sicherer und bezahlbarer Batteriesysteme für Elektroautos etablieren. Bei der Umsetzung führen wir die Innovationsallianz Lithium-Ionenbatterie 2015 sowie Maßnahmen der Produktionsforschung weiter. Drittens: Indem wir die Batterie in optimaler Weise in das Energiemanagement des gesamten Fahrzeuges einbeziehen, stellen wir sicher, dass Deutschland auch im internationalen Maßstab die besten Elektrofahrzeuge mit hoher Reichweite und Sicherheit herstellt.

Die deutsche Industrie hat auf Grund ihrer technologischen Kompetenz die Chance, sich langfristig einen weltweiten Spitzenplatz auf diesem wichtigen Zukunftsmarkt zu sichern. Den Verbrennungsdurch einen Elektromotor und den Benzintank durch eine Batterie auszutauschen, wird dabei aber nicht ausreichen. Denn wir müssen nicht nur das Auto, wir müssen die Mobilität insgesamt neu denken.

Prof. Dr. Annette Schavan, MdB  
Bundesministerin für Bildung und Forschung



# Inhalt

<b>Vor einer neuen Mobilität</b>	<b>2</b>
<b>Herzstück Batterie</b>	<b>3</b>
<b>Kleine Lehre aus der Industriegeschichte</b>	<b>5</b>
<b>Batterien für Elektrofahrzeuge - Standort Deutschland</b>	<b>6</b>
<b>Materialforschung und Elektrochemie</b>	<b>7</b>
<b>Produktion</b>	<b>8</b>
<b>Systemintegration</b>	<b>9</b>
<b>Internationale Kompetenzen</b>	<b>11</b>
<b>Analyse der Stärken, Schwächen, Chancen und Herausforderungen</b>	<b>12</b>
<b>Bewertung und Schlussfolgerungen</b>	<b>14</b>
<b>Strategie: Batterieforschung Deutschland</b>	<b>16</b>
<b>Kompetenzen aufbauen</b>	<b>17</b>
<b>Netzwerke knüpfen</b>	<b>18</b>
<b>Europäische Allianzen</b>	<b>18</b>
<b>Interview mit Professor Martin Winter</b>	<b>19</b>
<b>Herausforderungen bei der Umsetzung der Strategie</b>	<b>20</b>
<b>Forschung für Batteriematerialien und Elektrochemie</b>	<b>20</b>
<b>Das Elektromobil in der vernetzten Welt</b>	<b>21</b>
<b>Forschung für die Batterieproduktion</b>	<b>22</b>
<b>Lithium: Es ist genug für alle da – wenn recycelt wird</b>	<b>23</b>
<b>Forschung für die Batteriesystemintegration</b>	<b>24</b>
<b>Der Übergang – Chancen und Risiken</b>	<b>25</b>
<b>Weiterführende Informationen</b>	<b>27</b>

## Vor einer neuen Mobilität

**Mobilität ist ein Grundbedürfnis. Es gibt viele Arten, diesem Bedürfnis Rechnung zu tragen, das Automobil ist eine davon. Dessen Geschichte ist in Deutschland eine wirtschaftliche Erfolgsgeschichte ohne Beispiel.**

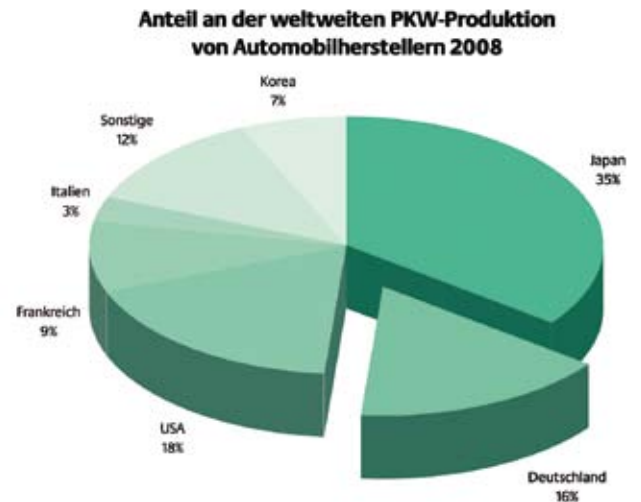
Schließlich ist das Automobil immer noch das beliebteste Transportmittel, was sich in Quantität und Qualität der deutschen Automobilbranche niederschlägt. Diese nimmt mit einem Auslandsumsatz von rund 204 Mrd. Euro die Spitzenposition beim verarbeitenden Gewerbe ein. Das belegen beeindruckende Zahlen: Rund 800.000 Beschäftigte und mehr als 1.000 Unternehmen sind im Fahrzeugbau tätig. Deutsche Automobilhersteller halten bei der PKW-Produktion den Europameistertitel und nehmen im Weltmaßstab Platz 3 hinter Japan und den USA ein. Vom Material über die Systeme bis hin zum Fahrzeug ist die gesamte Wertschöpfungskette im Lande präsent. Die Automobilbranche trägt mehr als ein Drittel des Gesamtaufwands der deutschen Wirtschaft für Forschungs- und Entwicklungsarbeiten bei.

Gleichwohl: Die Erfolgsgeschichte hat Schattenseiten. Der straßengebundene konventionelle Verkehr gilt als ein Hauptemittent von Treibhausgasen. Mithin kann dieses Mobilitätsmodell der alten Industrieländer schon der schiereren Zahl der neuen Konsumenten wegen nicht auf die entstehenden neuen Industrieländer übertragen werden. Elektromobile, die mit erneuerbaren Energien betrieben werden, könnten hier Abhilfe schaffen.

Ein zweiter Grund: „Peak Oil“. Preiswerte flüssige fossile Energieträger sind nicht ewig verfügbar. Die Elektromobilität kann auf erneuerbare Energien setzen und damit sich und diesen helfen.

Drittens reift eine neue Generation von Web 2.0-geschulten, kaufkräftigen Konsumenten heran, die die Freude am Fahren gerne mit einem ökologisch reinen Gewissen verbunden sähe. Das Elektromobil kann diesen Wunsch im Prinzip erfüllen – wenn das Umfeld stimmt und heute die richtigen Weichen gestellt werden.

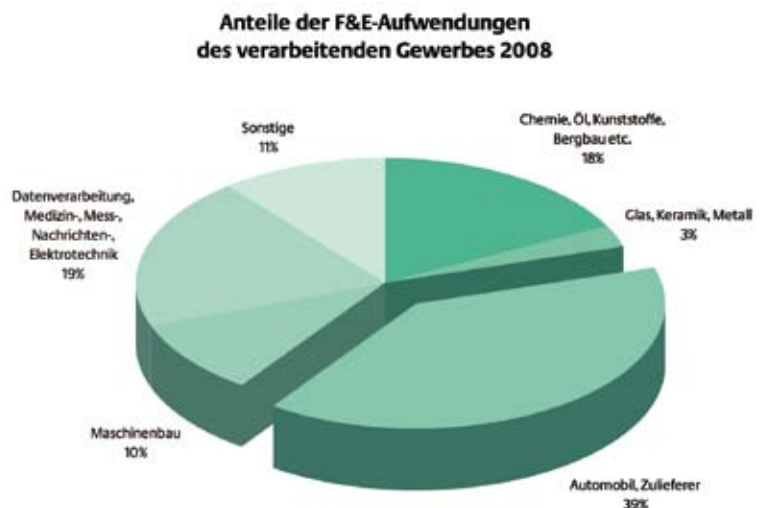
Elektromobilität ist das Gegebene für eine Politik, die auf erneuerbare Energien setzt und die CO<sub>2</sub>-Problematik ernst nimmt.



PKW-Produktion weltweit nach Ländern 2008 (Quelle: IOMVM 2009)

Die technischen Vorzüge des in jeder Größe effizienten Elektromotors sind überwältigend, und er passt glänzend in das überfällige Konzept vom massiven Ausbau der erneuerbaren Energien – Elektromobilität und Erneuerbare bedingen einander sogar. Von den Schwierigkeiten des Übergangs abgesehen: Die unvermeidliche Entwicklung bietet denen, die rechtzeitig auf den Zug springen, glänzende Chancen – Voraussetzung ist freilich ein

Anteile der F&E-Aufwendungen Deutschlands nach Branchen 2008 (Quelle: Statistisches Jahrbuch 2009)



## Herzstück Batterie

Da elektrischer Strom nahezu universell eingesetzt werden kann, ist dessen Speicherung sehr attraktiv. Lithium hat als Elektrodenmaterial für einen elektrischen Speicher grundsätzliche Vorzüge. Das Element ist sehr leicht, was zu einer hohen Energiedichte pro Kilogramm führt. Die Zellspannung ist mit 3 – 3,7 Volt hoch, was ebenfalls der Energiedichte zugute kommt. Und: Die verwendeten chemischen Verbindungen sind nicht sonderlich giftig, anders als Blei oder gar das Cadmium in NiCd-Batterien.

Außerdem liegt für Lithiumakkus viel Erfahrung vor, seit der japanische Unterhaltungselektronikkonzern Sony in den 1990er Jahren Lithiumakkus für mobile Gerätschaften anwendungsfähig machte. Die Erfahrungen waren nicht immer gut, die verwendeten Flüssigelektrolyte feuergefährlich – mittlerweile gibt es Feststoffelektrolyte, die als unbedenklich gelten dürfen. Damit gefertigte Lithiumbatterien bestehen einen „Nail-Penetration-Test“, bei dem tatsächlich ein Nagel in die Batterie geschlagen wird, ohne gravierende Folgen. Neuentwickelte Lithium-Eisen-Phosphat-Batterien (LiFe-PO<sub>4</sub>) brennen nicht an Luft.

Inzwischen werden in die Weiterentwicklung dieser Elektrizitätsspeichertechnik weltweit große Summen investiert. Auch in Deutschland ist Bewegung in die Szene gekommen. So nimmt die Evonik GmbH in der Allianz mit der Daimler AG die Massenfertigung von Lithiumbatterien für Elektrofahrzeuge auf und sieht für Großbatterien im Format eines Schiffscontainers für die Zwischenspeicherung des schwankenden Stromangebots erneuerbarer Energien einen weiteren Milliardenmarkt in der Entstehung.

Die Lithiumbatterie ist nicht der einzige Kandidat für die Zwischenspeicherung elektrischer Energie. Konzepte etwa, die für einen mobilen Einsatz nicht geeignet sind, weil die gespeicherte Energie pro Volumen zu gering ist, können für stationäre Speicher sehr nützlich sein. Die sogenannte Vanadium-Redox-Flow-Batterie erreicht noch nicht einmal die Energiedichte eines Bleiakkumulators, hat aber dennoch Vorzüge. Bei dieser Batterieform reagieren zwei Flüssigkeiten – hier in Schwefelsäure

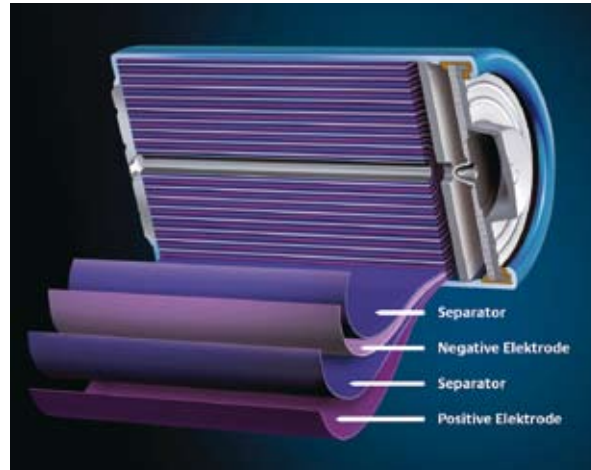
gelöstes Vanadium in verschiedenen energetischen Zuständen – in einem chemischen Reaktor durch eine Membran hindurch so miteinander, dass sich ein elektrischer Strom abnehmen lässt. Die Flüssigkeiten werden in Tanks außerhalb des Reaktors gelagert; wer mehr Energie will, baut größere Tanks, wer mehr Leistung will, mehr Reaktoren. Dort, wo solche Anlagen wegen eines fehlenden Stromnetzes mit Dieselgeneratoren konkurrieren, sind sie bereits jetzt wirtschaftlich.

Da auch die Batterien der Zukunft im Vergleich zum konventionellen Kraftstoff einen geringen Energieinhalt haben werden, muss mit der verfügbaren Energie im Hybrid- oder Elektrofahrzeug bestmöglich gewirtschaftet werden, um attraktive Reichweiten und Fahrleistungen zu erreichen - mit einem ausgefeilten Energiemanagement und entsprechender Leistungselektronik.

Wie seinerzeit bei der Brennstoffzelle ist auch um das Thema Batterien ein gewisser Hype entstanden, der die dann üblichen Phantome hervorbringt. Selbst hoch angesehene Einrichtungen publizieren mitunter Szenarien, die einfach nicht plausibel sind, wie Veröffentlichungen über Batterien, die in Sekundenschnelle aufladbar sein sollen – mit einer elektrischen Leistung, die einer Elektrolok würdig wäre.

Wie immer das Rennen ausgeht, an dessen Ende durchaus die Koexistenz vieler Speichertechniken stehen kann: Die Zeit, als allein thermodynamische Prozesse mit fossilen Energien für Bewegung sorgten, mit Dampf oder den heißen Gasen eines Explosionsmotors, geht zu Ende. An ihre Stelle treten elektromagnetische Prinzipien, die durch Effizienz und Eleganz bestechen. Damit ist nicht allein die Sorge um schwindende Ressourcen oder die Heftigkeit des bevorstehenden Klimawandels die treibende Kraft der Entwicklung, sondern auch technische Attraktivität. In der Summe scheint eine regelrechte technische Revolution denkbar, deren Gewinner rechtzeitig und mit großem Einsatz dabei gewesen sein müssen – es geht um Alles oder Nichts.

praxistauglicher elektrischer Speicher und dessen optimale Integration in das Automobil. Folgerichtig fördert das Bundesministerium für Bildung und Forschung die Leistungsbatterietechnologien mit besonderem Nachdruck, um Deutschland zu einem global führenden Standort für Elektromobilität zu machen. Ein Schwerpunkt im Schwerpunkt ist die besonders aussichtsreiche Lithium-Technologie und die damit verknüpften Fahrzeug- und Produktionstechnologien. Die elektrische Energie der Lithiumbatterien muss über Computerintelligenz, Leistungselektronik und angepasste Elektromotorkonzepte effizient in Vortrieb umgesetzt werden, um die Elektromobilität attraktiv zu machen. Für wirklich gute Batterietechnologien werden sich so viele Anwendungen finden, dass ein erfindungsreicher Industriestandort wie Deutschland gut zu tun hat – allein im Sport- und Freizeitsektor. Pelelecs zum Beispiel, Elektrofahrräder, beginnen gerade zu boomen. Sie und andere elektrische

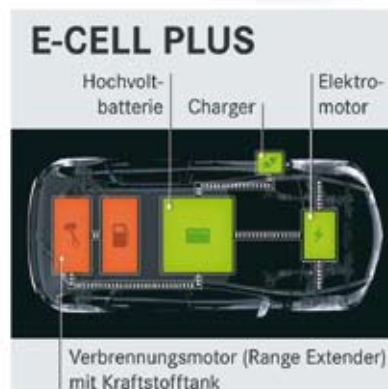
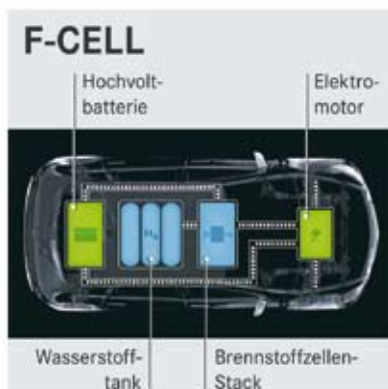
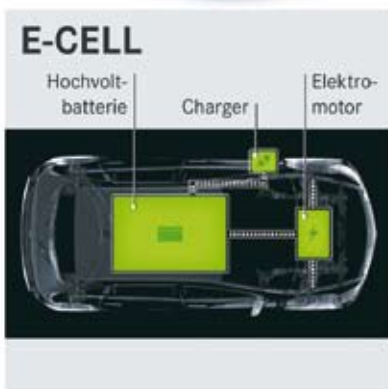


Lithiumionenakkus der neuesten Generation haben eine keramische Separatorfolie, die sie thermisch und mechanisch sehr viel belastbarer macht.

Minimobile werden dem Elektroauto für die kleine Strecke zwischendurch zur Seite stehen.

Lithiumbatterien werden der Mittelpunkt der meisten Speichersysteme sein, begleitet von Superkondensatoren und anderen Elementen, die heute noch exotisch scheinen – für eine bunte, lebenswerte Welt.

Im Mercedes-Benz Elektroauto-Konzept BlueZERO werden drei grundlegende Möglichkeiten realisiert: E-CELL, für rein elektrisches Fahren; F-CELL mit Brennstoffzelle als Hauptenergiespeicher und E-CELL PLUS mit einem „Range-Extender“. Das auch von vielen anderen Herstellern favorisierte Range Extender-Modell mutet auf den ersten Blick kurios an: Ein Verbrennungsmotor erzeugt bei langen Strecken mittels eines Generators Strom für das Laden der Batterie und die Elektromotoren, anstatt das Fahrzeug direkt anzutreiben – ein verlustreicher Umweg? In der Systembetrachtung nicht. Die meisten automobilen Fahrten gehen über Distanzen kleiner 100 Kilometer, können also rein elektrisch erfolgen – für Ballungsgebiete eine große Erleichterung.



### Kleine Lehre aus der Industriegeschichte

Auf den Werdegang einer Industrielandschaft können viele Faktoren Einfluss nehmen. Die Übergänge zwischen verschiedenen dominanten Techniken werden nicht selten von kleinen Zufälligkeiten ausgelöst. So wurde das Ringen der Stadtgaswerke mit den Elektrizitätswerken um die Beleuchtung der Haushalte in England vom Radio entschieden. Als in den 1930er Jahren die BBC regelmäßig zu senden begann, tauchten in englischen Straßenbahnen Verbotsschilder auf, die davor warnten, Akkumulatoren auf die Sitze zu stellen. Auslaufende Säure hätte anderen Passagieren Löcher in den Mantel ätzen können.

Es gab einen Zusammenhang. Da nur ein kleiner Teil der Radio-Enthusiasten über einen elektrischen Anschluss verfügte – Licht und Wärme wurden mit Stadtgas gemacht –, fuhr der Rest mit Akkumulatoren zu zentralen Ladestationen und versorgte das Radio eben so.

Aber die Elektrifizierung der Haushalte war natürlich viel attraktiver und wurde zu einer ernststen Bedrohung für die Stadtgasindustrie. Die reagierte in England schließlich mit einer verblüffenden Innovation und bot 1939, zum Preis dreier guter Wochenlöhne, ein mit Gas betriebenes Radio an. Darin lieferten Flammen die Wärme für einen sogenannten thermoelektrischen Generator, dessen Strom das Radio betrieb. Ein paar Stück, immerhin, wurden tatsächlich verkauft. Die Stadtgasindustrie geriet ins Hintertreffen.

Die Akkumulatoren und Ladestationen waren Teil der technischen Infrastruktur für Elektroautos, die zu Beginn des zwanzigsten Jahrhunderts etwa in den USA 38 Prozent aller Automobile stellte. Die Elektromotorik schrumpfte schließlich zum elektrischen Starter, der einen Verbrennungsmotor in Gang setzte.

Für den Siegeszug des Verbrennungsmotors waren nicht nur die Aktivitäten von Monopolen verantwortlich, es gab auch gute technische Gründe: Die Energiedichte von Benzin ist einfach sehr viel größer als die eines Bleiakkumulators. Selbst mit den ineffizienten Verbrennungsmotoren der damaligen

Zeit konnten deutlich größere Reichweiten als mit den Elektromobilen erzielt werden. Mobilität entwickelte sich so zum Wirtschaftsfaktor.

Heute treiben starke, dauerhafte Zwänge die Entwicklung wieder weg vom Öl. Das Elektroauto erfährt eine Renaissance, und mit ihr die elektrische Speichertechnik. Und diesmal stehen die Chancen für den elegantesten aller Antriebe gut: Leistungsfähige Stromnetze und andere Basistechnologien wie Computerintelligenz zur effizienten Steuerung der Akkumulatoren und Antriebe stehen zur Verfügung, auch für die Laststabilisierung erneuerbarer Energien wären Elektroautos willkommen. Und dann der Spaßfaktor: Gute neue Speicher würden einen Riesenmarkt für neue Sachen schaffen, die jeder haben will, und das belebt das Geschäft.

Mit der Wiederkehr elektrischer Mobile ist auch deshalb zu rechnen, weil es für Länder wie China und Indien schwieriger wäre, den technischen Vorsprung der alten Industrieländer im konventionellen Automobilbau aufzuholen als mit einer neuen, eleganteren Technik zeit- und chancen-gleich an den Start zu gehen. Tatsächlich könnte die Globalisierung einen Systemwechsel in Gang setzen, ähnlich schwungvoll wie seinerzeit der vom Stadtgas zum elektrischen Strom.

Neue Elektromobilität: Die Studie Audi e-tron feiert Weltpremiere auf dem Genfer Automobilsalon.





### Deutschland hat eine gute Forschungsinfrastruktur und eine Vielzahl von Akteuren, die sich mit dem Thema Batterie beschäftigen.

Daimler und der Chemie- und Energiekonzern Evonik sind an dem Lithiumzellen-Hersteller Li-Tec in Kamenz beteiligt und haben gemeinsam das Joint Venture Deutsche Accumotive gegründet.

Zusätzlich hat Daimler Anteile am US-amerikanischen Sportelektrofahrzeugbauer Tesla Motors und kooperiert mit dem Joint Venture Johnson Controls Saft.

Der VW-Konzern kooperiert mit den Batterieherstellern Sanyo (Japan) und Build Your Dreams (BYD, China). Eine weitere Kooperation besteht mit Varta Microbattery.

BMW setzt auf das Joint Venture Johnson Controls Saft, SB-LiMotive und die Li-Tec. Zudem besteht eine Kooperation mit dem US-amerikanischen Zellhersteller A123.

Bosch hat mit Samsung SDI das Gemeinschaftsunternehmen SB LiMotive Co. Ltd. gegründet. Ziel des neuen Unternehmens ist es, Lithium-Ionen-Batterien für Anwendungen im Automobil zu entwickeln, zu fertigen und zu vertreiben.

Ein Bosch-Mitarbeiter prüft ein Lithium-Ionen-Batteriesystem am Standort Stuttgart-Feuerbach.



Continental ist am japanischen Batteriehersteller Enax beteiligt.

Führende deutsche Fahrzeughersteller und Zulieferer arbeiten an der Komponenten- und zugleich der Systementwicklung für die Batterieintegration im Fahrzeug. Teilweise erfolgt dies in Kooperation mit weiteren Partnern im Rahmen europäischer Projekte. Der Schwerpunkt der Arbeiten liegt bei der Steigerung der Energieeffizienz der Komponenten und Systeme und der Entwicklung eines optimalen Energiemanagements und entsprechender Betriebsstrategien. Damit soll die im Vergleich zum konventionellen Fahrzeug deutlich geringere Energiemenge der Batterie bestmöglich eingesetzt werden.

### Materialforschung und Elektrochemie

Mit der Universität Münster und dem Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoffforschung (ZSW) Ulm hat Deutschland zwei Kompetenzstellen, an denen Grundlagenforschung und -entwicklung im Werkstoffbereich über Fertigungsprozesse bis hin zu Versagenstests von Zellen und ganzen Batterien



Kleinzelltest am Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoffforschung, ZSW in Ulm

durchgeführt werden kann. Das könnte die Basis für die Entstehung weiterer Kompetenzzentren für die Entwicklung und Tests von Batterien werden. Weiterhin gibt es im Raum Dresden/Freiberg und Gießen/Darmstadt/Karlsruhe Cluster, die grundlegende elektrochemische und materialwissenschaftliche Problemstellungen bearbeiten. Für Fragen am technisch reifen Ende der Wertschöpfungskette wie Alterung, Systemintegration und Recycling zeichnet sich Aachen als weiterer wichtiger Cluster

ab. Auch an den Standorten Bochum, Düsseldorf, München und Stuttgart sind Aktivitäten zum Auf- und Ausbau der elektrochemischen Forschung im Gange. Anfang 2008 wurde die „Innovationsallianz Lithium-Ionen-Batterie (LIB 2015)“ des BMBF erfolgreich gestartet. Kernziel ist die Entwicklung der Lithium-Ionen-Batterie der übernächsten Generation für Elektrofahrzeuge. Daneben werden auch Aspekte wie stationäre Anwendungen, Batteriemangement, Recycling und Standardisierung/Normung bearbeitet.

Im Rahmen des Gesetzes zur Errichtung eines Sondervermögens „Investitions- und Tilgungsfond (Konjunkturpaket II)“ vom März 2009 wird anwendungsorientierte Forschung im Bereich Mobilität gefördert. Batteriespezifische Maßnahmen beschäftigen sich mit dem Aufbau akademischer Kompetenzverbände „Elektrochemie für die Elektromobilität“, in denen gemeinschaftlich Themen von der Grundlagenforschung bis zur Prozesstechnologie bearbeitet werden und ein Schwerpunkt auf die Ausbildung von wissenschaftlichem und technischem Nachwuchs gelegt wird. Weiterhin werden Vorhaben zur Energiespeichertechnik (Materialentwicklung und Batteriesysteme) im Rahmen der Maßnahme Fraunhofer-Systemforschung Elektromobilität gefördert. Untersuchungen zu Alterungsprozessen, Lebensdaueruntersuchungen im Betrieb und die Errichtung eines Batterietestzentrums in Ulm sowie F&E-Vorhaben zur Produktionstechnologie von Lithium-Ionen-Batterien runden die Maßnahmen ab.

Im Grundlagenbereich wurde im April 2009 von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) ein Schwerpunktprogramm zum Thema Werkstoffe mit neuem Design für verbesserte Lithium-Ionen-Batterien eingerichtet. Es dient der Vernetzung regionaler und überregionaler Partner und der grundlagenorientierten Forschung im Bereich Kinetik, Thermodynamik und Werkstoffchemie von Lithium-Ionen-Batterien.

## Produktion

Metallfolien, die die Basis für Elektroden bilden, werden von Firmen wie Evonik Litarion GmbH mangels heimischer Quellen aus Asien importiert. Für Separatoren kommen unterschiedliche Materialien zum Einsatz. Die Evonik Litarion GmbH besitzt mit ihrem keramischen Separator ein Spitzenprodukt.

Die grundlegenden Prozeduren zur Herstellung von Lithium-Ionen-Batterien werden in Deutschland beherrscht. Allerdings wurden diese bisher noch nicht für den Anwendungsfall der Herstellung von Batterien spezifiziert, weshalb für produktspezifische Besonderheiten noch umfangreiche Forschungen notwendig sind.

Deutschland ist Exportweltmeister im Maschinenbau. Maschinen und Produktionsausrüstungen für die Prozesskette zur Herstellung von Batterien sind aber nicht vorhanden. Sie müssen weiterentwickelt oder von anderen Prozessketten wie z. B. der Solarindustrie oder der Mikrotechnik adaptiert werden. Für alle Prozesse fehlt ausreichendes, qualifiziertes Personal.



Lithiumbatterien der neuesten Generation haben eine keramische Separatorfolie (Separion®), die auf Rolle produziert werden kann.

Die Summe der Bedingungen am Standort Deutschland führte dazu, dass eine Fertigung von Batterien in größeren Stückzahlen in der angestrebten Spezifikation bisher nicht realisiert wurde. Das gilt für die angestrebte Spezifikation auch weltweit.

Erste Kooperationen, die sich mit Forschungs- und Entwicklungsarbeiten zum Aufbau von Großserienproduktionen großformatiger Lithium-Ionen-Zellen und Batterien in Deutschland beschäftigen, werden von der Bundesregierung gefördert. Im Vordergrund stehen innovative Produktionstechnologien.



Materialentwicklung am Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoffforschung (ZSW), Ulm

Im BMBF- Verbundprojekt „ProLiEMO“ entwickeln die Projektpartner Evonik Litarion GmbH, Li-Tec Battery GmbH, Deutsche Accumotive und Daimler AG die Gesamtprozesskette zur Herstellung großformatiger Lithium-Ionen-Batterien für PKW-Anwendungen. Die Ergebnisse für PKW-Anwendungen sind für den Bereich Nutzfahrzeuge derzeit nur bedingt bzw. nicht anwendbar, da die meisten fertigungstechnischen Fragestellungen noch ungelöst

Bosch hat bereits ein breites Portfolio von Komponenten für die Elektrifizierung des automobilen Antriebs aufgebaut. Dazu zählen etwa die erforderliche Leistungselektronik oder elektrische Achsantriebe für die Integration in Hybrid- und Elektrofahrzeuge.



sind. Produktionstechnische Lösungen für kostengünstige Energiespeichersysteme in größeren Stückzahlen für Nutzfahrzeuganwendungen müssen aber jetzt entwickelt werden. Daran arbeiten derzeit z. B. die Firmen Temic Automotive Electric Motors GmbH (Continental), ZF Friedrichshafen AG und die ADS-tec GmbH.

Die Firma Bosch arbeitet an Anlagen zur kontinuierlichen Bahnbeschichtung und Herstellung von Halb- und Vollzellen.

Das ZSW Ulm beschäftigt sich derzeit mit der wissenschaftlichen Untersuchung und Entwicklung eines vorindustriellen Fertigungsprozesses im Pilotmaßstab für Lithium-Ionen-Zellen im Flachzellenformat.

Bei der Herstellung von Lithium-Ionen-Batterien ist Deutschland von Importen des Rohstoffes Lithium abhängig. Anwendbare Recyclingtechnologien und -anlagen sind in Deutschland nicht vorhanden und müssen entwickelt werden.

### Systemintegration

Die mit der Optimierung heutiger und absehbarer Batteriekonzepte erreichbare Energiedichte der Batterien, die ein Maß für die erzielbaren Reichweiten des Elektrofahrzeugs ist, wird auch in Zukunft weit unter der Energiedichte konventioneller Kraftstoffe bleiben. Mit der Integration der Batterie in das Fahrzeug muss deshalb die optimale Ausnutzung der verfügbaren Energie gewährleistet sein.

Auch künftig werden die Mehrkosten eines Elektrofahrzeugs (2015: ca. 15.000 € für ein Elektrofahrzeug der Kompaktklasse) im Wesentlichen auf die Kosten für das Batteriesystem und dessen Integration ins Fahrzeug zurückzuführen sein. Die intelligente Steuerung der Energieflüsse und deren effiziente, bedarfsgerechte Umwandlung werden die Eigenschaften des Fahrzeugs bestimmen und damit ein wesentliches Differenzierungsmerkmal werden. In der Systemintegration von Batterie und Antrieb wird somit ein großer Teil der Wertschöpfung und der Produktdifferenzierung liegen.

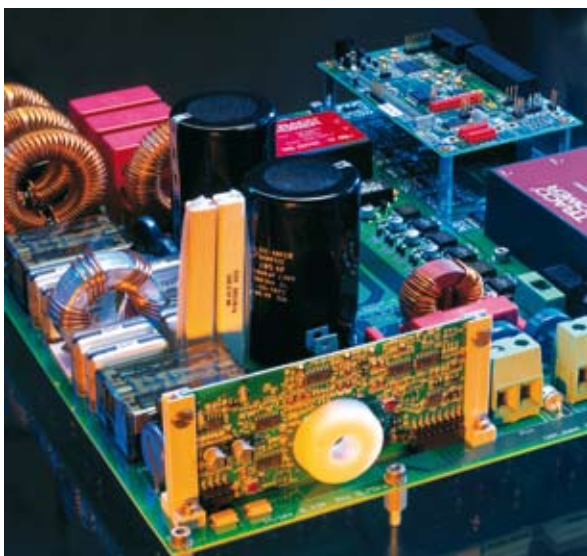
Deutschland ist führend im Bereich energieeffizienter Leistungselektronik für den Einsatz bei erneuerbaren Energien. Auch hierbei geht es um die intel-

ligente Steuerung von Energieflüssen. Erheblicher Nachholbedarf besteht jedoch in der Adaption der ähnlichen Basiskomponenten auf den Einsatz im Fahrzeug, da hier Anforderungen an Energieeffizienz, Robustheit, Platzbedarf, Preis und Lebensdauer gestellt werden, die den verfügbaren Stand der Technik deutlich übertreffen.

Deutsche Automobilhersteller und -zulieferer sind Marktführer für zukunftsweisende Automobiltechnologie. Wie man am in Deutschland und Europa verfügbaren Fahrzeugangebot sehen kann, lag der Schwerpunkt dabei bei den konventionellen Verbrennungsmotorantrieben. Diese sind noch nicht am Ende ihrer Karriere, ihre Bedeutung wird aber im Laufe der nächsten Jahre, ausgehend von einem sehr hohen Niveau bezogen auf die Zulassungszahlen, abnehmen.

Die Infineon Technologies AG, die Robert Bosch GmbH, die Semikron AG und Siemens AG sind führende Hersteller für energieeffiziente leistungselektronische Komponenten, der technologischen Grundlage für Energiewandler im Elektromobil und zugleich wesentlicher Ausrüster für die Automobilindustrie. Trotzdem besteht hier deutlicher Nachholbedarf bei der ausreichenden Verfügbarkeit automobiltauglicher elektronischer Komponenten wie Leistungstransistoren und Dioden der für Elektromobilität benötigten Leistungsklasse. Im eu-

Siliziumcarbid-Leistungselektronik mit dem Rekordwirkungsgrad von 98,5 %, entwickelt vom Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE für die Einspeisung von Solarstrom. Die Autoelektronik zur E-Motorsteuerung wird von diesen Pionierleistungen profitieren.



ropäischen und BMBF gefördertern Projekt E3Car (Energy Efficient Electrical Car) wird diese Problematik aufgegriffen. Hier arbeiten 33 Unternehmen der Automobilbranche und Forschungseinrichtungen aus insgesamt elf Staaten daran, Fahrzeuge mit elektrischem Antrieb um etwa 35 Prozent effizienter zu machen. Die Ergebnisse des E3Car-Projektes sollen dazu beitragen, Europa als weltweit führenden Standort für die Weiterentwicklung und Produktion von Elektrofahrzeugen zu etablieren. Dazu kommen der bayrische Cluster Leistungselek-



Mini E in Berlin

tronik und der European Cluster Power Electronics (ECPE). Im Bereich der Systemintegration der Batterie und elektrischer Antriebsstränge gibt es bei den deutschen Automobilherstellern vielfältige Ansätze. In der ersten Elektrofahrzeuggeneration wurden verfügbare Batterien und Antriebe in ursprüngliche Verbrennungsmotor-Fahrzeuge integriert. Die Möglichkeiten zur Optimierung des Gesamtsystems, bestehend aus Fahrzeug, Batterie, Antrieb, Energie- und Thermomanagement, sind dann begrenzt. Abhilfe verspricht eine Generation von Fahrzeugen, die von Grund auf als rein elektrische Fahrzeuge geplant und konstruiert werden und sich bei allen relevanten Herstellern in Deutschland in Vorbereitung befinden. Das im Oktober 2009 gestartete BMBF Verbundprojekt „ePerformance“ ist ein erstes Beispiel für diese Vorgehensweise. Nach Batterien und deren Integration in das Gesamtfahrzeug sind die elektrischen Antriebsmotoren der nächste Bereich der Elektromobilität mit intensivem Forschungs- und Entwicklungsbedarf. Zwar sind Motoren mit den geforderten Leistungsklassen prinzipiell verfügbar, aber diese wurden für deutlich andere Einsatzbereiche konstruiert und sind daher kompromissbehaftet.

## Internationale Kompetenzen

Batterieforschung und -entwicklung wird im Ausland mit einer Intensität betrieben, die sicherstellt, dass Elektromobilität keine vorübergehende Modeerscheinung ist. Um in dem sich verändernden Umfeld weiterhin global agieren zu können, muss Deutschland strategische Kooperationen eingehen.

Kooperationen kommen aber nur dort zustande, wo beide Seiten auf Gewinn hoffen können. Deutschland kann hier das in Jahrzehnten gewachsene Fahrzeugsystem-Know-How aus dem automobilen Premiumsektor einbringen.

Die Automobil- und Batteriehersteller anderer Länder arbeiten auf verschiedenen Ebenen zusammen, entsprechend ihrer jeweiligen Kompetenzschwerpunkte.

### Japan:

Japan hat mit Toyota als erstem weltweiten Anbieter eines Hybridserienfahrzeugs (Prius) die meisten Erfahrungen im Bereich der Gesamtsystemintegration. Mit Sony und Sanyo hat Japan die weltweit größten Zellhersteller im eigenen Land. Japanische Fahrzeugbauer setzen global auf mehrere Zell- bzw. Batteriehersteller, mit denen entweder Joint Ventures oder auch Beteiligungsverhältnisse bestehen.

### Korea:

Die Stärke der Koreaner sind die Erfahrungen in der Zell- und Batterieproduktion für Anwendungen in kleineren mobilen Anwendungen wie Mobiltelefonen oder Laptops. Samsung ist international der drittgrößte Zellhersteller.

### China:

Die aufstrebende Industrienation China steigt massiv in die Elektromobilität ein und hat innerhalb kurzer Zeit zahlreiche Zell- und Batterieproduktionsanlagen aufgebaut. Im Vergleich zu anderen Ländern fällt China der technologische Wechsel zum Elektrofahrzeug leicht, da es im Bereich der konventionellen Antriebe eine eher untergeordnete Rolle spielt.

### USA:

Als Land mit einem weiten Binnenmarkt setzen die Automobilhersteller der USA hauptsächlich auf die großen inländischen Zell- und Batteriehersteller. Im Bereich der Elektromobilität wird derzeit verstärkt investiert, um den Vorsprung gegenüber anderen Ländern aufzuholen. Eine Besonderheit ist die führende Rolle im neuen Bereich der Batteriewechselsysteme für Autos.

### Europa:

Für die französischen und italienischen Automobilbauer ist die Situation ähnlich der deutschen. Von den bisherigen Stärken im Bereich Fahrzeugtechnologie ausgehend werden bevorzugt globale Kooperationen mit dem asiatischen Raum aber auch den USA geschlossen. Frankreich besitzt mit der Saft S.A. bereits eine Zell- und Batterieproduktion im eigenen Land.

Die Weiterentwicklung der Lithium-Ionen-Batterie-Technologie für die Anforderungen im Automobil steht im Mittelpunkt des Joint Ventures SB LiMotive mit Hauptsitz in Korea des Automobilzulieferers Robert Bosch GmbH und der koreanischen Samsung SDI Co. Ltd.



## Analyse der Stärken, Schwächen, Chancen und Herausforderungen

Stärken	Schwächen
Weltweite <b>technologische Spitzenposition</b> in den Bereichen Automobilbau, Antriebstechnik und Leistungselektronik.	<b>Führende Kompetenz</b> im Bereich <b>hocheffizienter Verbrennungsmotoren</b> führt zu Besitzstandswahrung und -denken.
<b>Starke Materialforschung, Chemie und Grundlagenforschung</b> , gute Infrastruktur in universitären und außeruniversitären Forschungseinrichtungen. <b>Leistungsfähige Produktionsforschung</b> : hervorragende Kenntnisse im Bereich der Fertigungstechnik. <b>Gute Kooperation</b> : Produktionsforschung integriert zahlreiche Spitzentechnologien und führt diese in die Anwendungsbreite, funktionierende Zusammenarbeit zwischen Wissenschaft und Wirtschaft.	Mangel an Batterieexperten.
Hohes Bildungsniveau und hoher Ausbildungsstand von <b>Fachkräften</b> (Facharbeiter, Meister und Hochschulabsolventen).	<b>Keine großen deutschen Zell- bzw. Batteriehersteller</b> , geringer Anteil am Weltmarktvolumen.
Allgemein gute Infrastruktur für die Prüfung und Zulassung technischer Produkte im Bereich der <b>Standardisierung/Normung</b> .	<b>Mangelhafte Systemkompetenz</b> bzgl. fahrzeugtauglicher elektrischer Antriebssysteme trotz Technologieführerschaft in einzelnen Bereichen.
<b>Weltmarktführer</b> : Die großen deutschen Automobilhersteller bestimmen in vielen Anwendungsbereichen die Weltspitze.	Nachwirkung der Finanzkrise schwächt die <b>Zulieferindustrie</b> .
<b>Innovative Ausrüsterbranche</b> : Maschinenbau weltweit anerkannt, hohe Qualität und Zuverlässigkeit, insbesondere mittelständisch geprägte Branche.	Mangelnde <b>Rohstoffverfügbarkeit</b> (z. B. Kobalt) in Deutschland, <b>Importabhängigkeit</b> .

Chancen	Herausforderungen
Langfristige <b>Sicherung von Mobilität</b> in Deutschland über die Elektromobilität mittels innovativer Batterietechnologien.	Hoher <b>internationaler Konkurrenzdruck</b> besonders aus Asien durch schnellere Entwicklung bei Wettbewerbern.
Reduzierung der Abhängigkeit von fossilen Energieträgern in Kombination mit den erneuerbaren Energien („ <b>Weg vom Öl.</b> “). Beitrag zum <b>Klimaschutz</b> und die Chance auf <b>geopolitische Stabilisierung</b> im Nahen Osten.	<b>Umbau und Erweiterung von Technologiekompetenz</b> für die Elektromobilität.
Deutschland kann sich durch hohe Sicherheit, Lebensdauer und Zuverlässigkeit von Batterien ( <b>Qualitätssiegel „Made in Germany“</b> ) über die Zulieferer weltweit im Batterie-/Elektromobilitätsmarkt etablieren.	<b>Schneller und marktfähiger Systemwechsel</b> vom Fahrzeug mit Verbrennungsmotor hin zum Elektrofahrzeug.
<b>Aufbau der Systemkompetenz Elektrofahrzeug</b> unter Nutzung der ausgezeichneten Grundlagen bei den Basistechnologien wie z. B. Maschinenbau, Elektrotechnik, Elektrochemie.	Erreichen <b>wirtschaftlicher Vorteile durch Serienproduktion</b> von Elektrofahrzeug-Komponenten und -Systemen.
Schaffung <b>neuer Arbeitsplätze</b> .	Flächendeckender Aufbau einer <b>Ladeinfrastruktur</b> .
Deutschland hat gute Chancen, die <b>Technologieführerschaft</b> beim Lithium-Batterie- <b>Recycling</b> zu erwerben.	<b>Unklare Marktprognosen</b> für die Automobilindustrie.
<b>Starke Kompetenzkerne im Bereich der Batterieforschung</b> z. B. Münster, Ulm, Aachen, Gießen, Dresden, ...	<b>Aus- und Weiterbildung:</b> Bereitstellung und Fokussierung von Wissen aus unterschiedlichen Bereichen für den Kompetenzauf- und -Umbau.
<b>Gute Ansätze der Zusammenarbeit von Wissenschaft und Wirtschaft.</b> Gute Vernetzung und Kooperation durch Verbundprojekte der BMBF-Projektförderung z. B. LIB 2015 , ePerformance und durch Kompetenzverbünde.	<b>Hoher Forschungs- und Entwicklungsbedarf zum Stoffersatz und Recycling:</b> Kreislaufführung von Wertstoffen, Entwicklung von Recyclingtechnologien und Aufbereitungstechnik, Substitution von knappen strategischen Materialien.
<b>Standortsicherung:</b> Wettbewerbsfähigkeit der Unternehmen wird gestärkt, Arbeitsplätze gesichert.	<b>Vernetzung:</b> Entwicklung/Offenlegung von Roadmaps und Aufbau von weiteren Entwicklungspartnerschaften.

## Bewertung, Schlussfolgerungen

Die Gründe für die neue Favoritenrolle elektrischer Antriebe sind beständig und werden uns erhalten bleiben. Das gegenwärtige Straßentransportsystem gilt unverändert als ein Haupttreiber des Klimawandels und der Preis für fossile Antriebsenergie wird ganz sicher steigen. Folgerichtig wird weltweit intensiv an alternativen, vornehmlich elektrischen Antriebstechnologien gearbeitet. Dabei gibt es viele Unbekannte; als sicher darf aber gelten, dass die Reduzierung des Preises der elektrischen Speicher im Vordergrund steht. Das Mittel dazu ist die Optimierung von Produktionsprozessen, die Materialentwicklung und das Zelldesign.

Die meisten Autohersteller beziehen die Batterien von mehreren Zulieferern. Derzeit neigt die Automobilindustrie dazu, Batterie-Know-How zuzukaufen oder sich über Joint Ventures zu verschaffen. Klar scheint, dass kein Automobilhersteller in der Lage sein wird, die gesamte Wertschöpfungskette für ein Elektrofahrzeug abzudecken. Unklar ist,

welche Geschäftsmodelle sich am Markt entwickeln werden. Denkbar ist etwa die Herstellung sowohl von Zellen und Batterien als auch von automobiltauglichen integrierten Batteriesystemen.

Von den Fahrzeugbatterien, der Leistungselektronik und den elektrischen Maschinen abgesehen verfügt Deutschland über alle notwendigen Technologien und das Know-How für die Entwicklung marktgerechter Hybrid- und Elektrofahrzeuge. Hierzulande wird derzeit mit Hochdruck am Aufbau einer leistungsfähigen Produktion für großformatige Lithium-Ionen-Zellen auf dem bereits vorhandenen Entwicklungsstand gearbeitet. Eine systematische und prozessbezogene Produktionsforschung hierfür existiert derzeit nicht.

Deutschland hat durch die vorhandene Premiumfahrzeugtechnologie eine gute Ausgangsbasis. Was Leistungselektronik und elektrische Maschinen angeht, sind Basistechnologien und Forschungs- und

Neue Studien weisen den straßengebundenen Verkehr als einen Hauptverursacher des erwarteten Klimawandels aus.





Elektrofahrzeuge lassen sich gut in ein System erneuerbarer Energien einbinden

Entwicklungs-Infrastruktur vorhanden, aber weder auf den Einsatz im Fahrzeug angepasst noch in ausreichender Stückzahl verfügbar. Handlungsbedarf besteht daher in der weiteren Anpassung dieser und weiterer Schlüsseltechnologien auf Anwendungen in der Elektromobilität. Für die Konkurrenzfähigkeit dieser Schlüsselkomponenten ist das Erreichen ausreichender Stückzahlen notwendig.

Bei den vielfältigen deutschen Forschungsaktivitäten für Batterien wurde in der Vergangenheit hauptsächlich auf Flottenversuche gesetzt, deren Ergebnisse bisher nicht den erwarteten Durchbruch im Bereich der Elektromobilität brachten. Im Rahmen der „Hightech-Strategie“ der Bundesregierung wird im Gegensatz dazu nun der Schwerpunkt auf die Lösung der technologischen Herausforderungen gelegt. Beim Elektrofahrzeug ist das die Schlüsselkomponente Batterie und deren Integration ins Fahrzeug.

Der Wettlauf um die Automobilbatterie ist keineswegs entschieden. Die heutigen großen Zellhersteller haben überwiegend Know-How im Bereich der Konsumprodukte wie z. B. Mobiltelefone oder Laptops. Der Übergang zu großen, sicheren und leistungsfähigen Batterien stellt jedoch eine besondere technologische Herausforderung dar, so dass für Deutschland gute Chancen bestehen, eine führende Rolle in diesem Marktsegment zu übernehmen. Die Chemieindustrie hat mit der Entwicklung einer hochbelastbaren keramischen Separatorfolie bereits einen wichtigen Beitrag geleistet.

Parallel zum Aufbau der eigenen Batterietechnologie muss deren optimale Integration in das Fahrzeug gewährleistet werden. Die Batterieintegration bestimmt wesentliche Fahrzeugeigenschaften und ist damit bedeutsam für die Produktdifferenzierung. Über eine intensive Förderung der dazu notwendigen Forschungsarbeiten muss ein der deutschen Fahrzeugindustrie entsprechender Premiumstandard geschaffen werden. Als Technologiestandort ist das der einzige Weg, um im Automobilbereich zukünftig wettbewerbsfähig zu sein.

Als exzellenter Automobil- und Chemiestandort kann Deutschland nicht auf die Zell- und Batterieentwicklung verzichten. Die deutsche Automobilbranche, in führender Position im Bereich der hocheffizienten Verbrennungsmotoren wie etwa der Dieselseltechnologie, hat hier viel zu verlieren. Im Gegensatz dazu haben aufstrebende Industrienationen wie China bei der traditionellen Technologie für Verbrennungsmotoren kaum Perspektiven und konzentrieren sich auf die Elektrofahrzeugtechnologien. Dies erhöht deutlich den Wettbewerbsdruck auf die deutsche Automobilindustrie.

Die Wertschöpfung ist systementscheidend. Hierfür sind in Deutschland Netzinfrastruktur und Know-How von hoher Qualität verfügbar.

# Strategie: Batterieforschung Deutschland

**Das Bundesministerium für Bildung und Forschung verfolgt die Strategie, Deutschland durch den konsequenten Einsatz der unverändert guten heimischen Forschungsinfrastruktur zum Leitmarkt für Elektromobilität zu machen.**

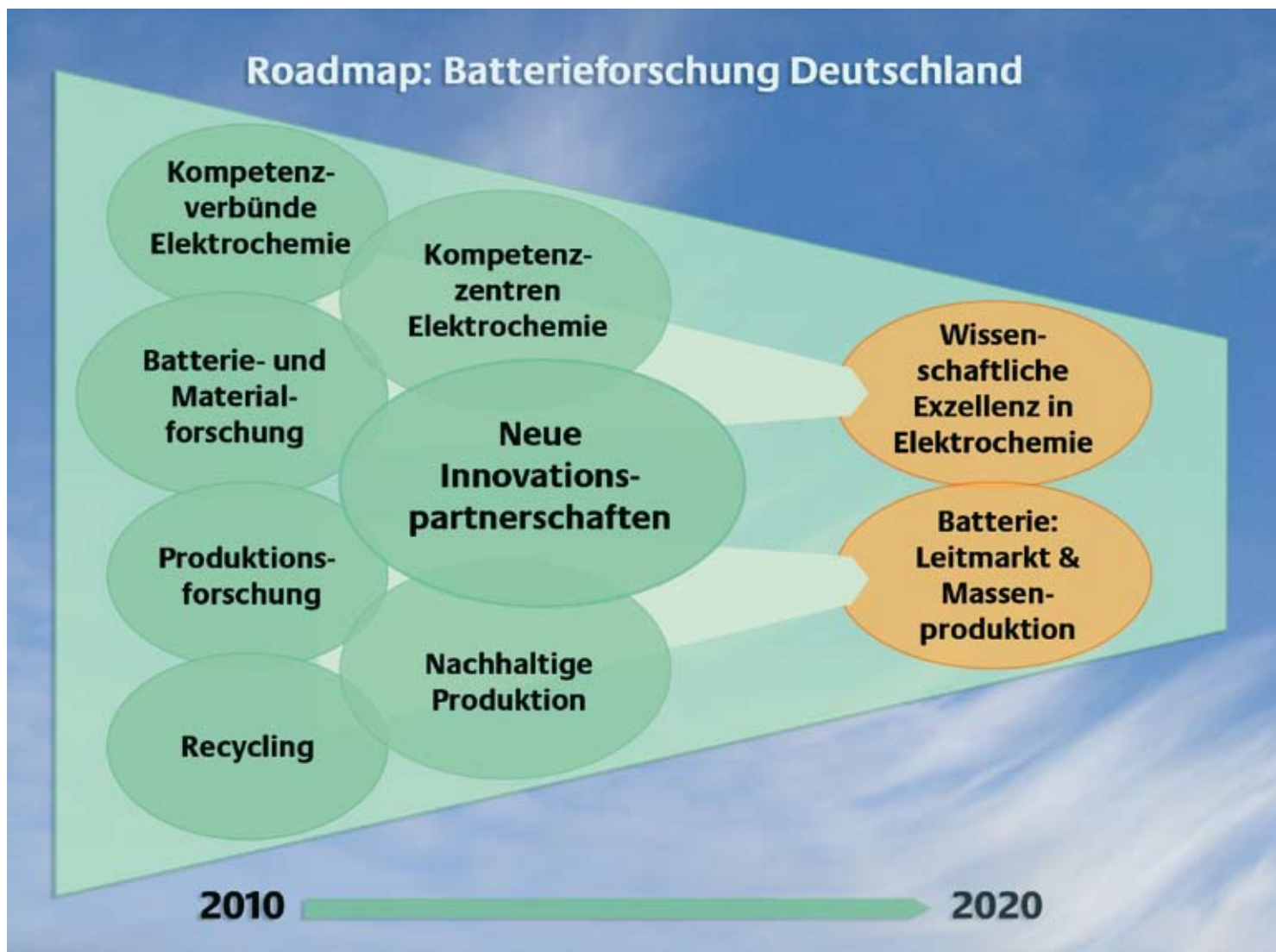
Der Strategieprozess wird von einer ständigen Fortschreibung und Anpassung an neue Gegebenheiten begleitet. Für die Batterieforschung bedeutet das

auch die Prüfung technologischer Alternativen und die Identifizierung neuer Stromspeichermaterialien und -systeme.

Die Strategie wird in drei Aktionsfeldern konkret umgesetzt:

- **Kompetenzen aufbauen**
- **Netzwerke knüpfen**
- **Europäische Allianzen bilden**

Die Verstetigung der bereits laufenden BMBF Maßnahmen erfolgt anhand der dargestellten Roadmap



## Kompetenzen aufbauen

Der Mangel an Naturwissenschaftlern, Ingenieuren und technischen Fachkräften kann sich als größtes Hindernis für die Batterieforschung und damit die Elektromobilität herausstellen. Deshalb fördert das BMBF erste Nachwuchsgruppen auf den Feldern Elektrochemie und Elektroingenieurwissenschaften in der Innovationsallianz LIB 2015. Zur Vorbereitung auf den großen Fachkräftebedarf der Zukunft werden mit den Kompetenzverbänden (Nord und Süd) Mittel des „Konjunkturpakets II“ der Bundesregierung mobilisiert. Langfristig motiviert das BMBF den akademischen Nachwuchs mit der 2010 erstmals durchgeführten Drive-E Akademie und der Verleihung des Drive-E Studienpreises für die Elektromobilität. Weitere Aktivitäten zur Nachwuchsförderung für diesen außerordentlich zukunftsreichen und wichtigen Technologiesektor werden vorbereitet.

Das BMBF setzt den Kompetenzaufbau im Bereich der Elektrochemie auf der Grundlage des bisher in Forschungsverbänden Erreichten fort. Ein erster Schritt ist die Gründung eines Helmholtz-Instituts für Elektrochemie-/Batterieforschung. Dem folgen Maßnahmen zur Förderung wissenschaftlicher

Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung, ZSW in Ulm, eines der Kompetenzzentren für die Batterieforschung in Deutschland



Das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) veranstaltete gemeinsam mit der Fraunhofer-Gesellschaft die erste »DRIVE-E-Akademie« im März 2010 zum zentralen Zukunftsthema Elektromobilität. Der einwöchige Workshop diente der Nachwuchsförderung und Ausbildung.

Exzellenz im Bereich Elektrochemie. Kompetenzzentren können sich hier um weitere Fördermittel bewerben. Exzellenz in Elektrochemie ist die Grund-



lage für die Entwicklung zukünftiger Batterietechnologien und damit eine wichtige Voraussetzung für die Etablierung Deutschlands als Leitmarkt für Elektromobilität. Deutschland hat auf dem Gebiet der Elektrochemie, zu deren Anwendungsfeld Batterien und Brennstoffzellen gehören, starke Traditionen, die allerdings durch den Siegeszug des Verbrennungsmotors in den Hintergrund getreten sind. Mit entsprechender Förderung können diese Traditionen revitalisiert werden.

### Netzwerke knüpfen

Die Industrie wird ermutigt, neue Innovationsallianzen und -partnerschaften zu schmieden. Dabei soll unter anderem an die existierenden Innovationsallianzen Lithium-Ionenbatterie 2015 (LIB 2015) und Automobilelektronik angeknüpft werden. Durch die Verbindung von Fahrzeugsystemdenken und Batterieentwicklung wird die Basis für die Optimierung des Gesamtfahrzeugs geschaffen. Dazu werden die Akteure der Schlüsseltechnologien für die Elektromobilität unter Einbeziehung mittelständischer Unternehmen entlang der Wertschöpfungskette vernetzt.

Das BMBF erfüllt damit die Kernforderung des Nationalen Entwicklungsplans Elektromobilität der Bundesregierung, frühzeitig eine enge Abstimmung zwischen Politik, Industrie und Forschung zu initiieren.

Die neuen Innovationspartnerschaften ebnen den Weg zum Leitmarkt Elektromobilität.

### Europäische Allianzen bilden

Für Deutschland als Exportnation sind die frühzeitige internationale Forschungszusammenarbeit und die Einbringung von Spezifikationen in den internationalen Wirtschaftskreislauf besonders wichtig. Mittel der Wahl sind gemeinsame Forschungsallianzen und schnell wirkende innovationsfördernde Effekte der nationalen Standardisierung.

Damit Elektromobile auch über Ländergrenzen hinweg ohne Probleme fahren und in alle Welt exportiert werden können, wird eine internationale Standardisierung und Normung (z. B. bei Sicherheitsmaßnahmen, Steckern, Leistungsklassen oder Anschlussleitungen) von Deutschland aus in Gang gesetzt. Standardisierte Komponenten und Schnittstellen innerhalb des künftigen Hochvoltnetzes der Elektrofahrzeuge schaffen einen offenen Markt, garantieren die wirtschaftliche Fertigung großer Stückzahlen und vermindern die Abhängigkeiten zwischen den Marktteilnehmern – alles wichtige Voraussetzungen für die Einführung einer neuen Technologie.

Ein wesentliches Ziel ist die Etablierung einer Massenproduktion von Batterien, Antriebskomponenten und elektronischen Bauteilen in Europa. Diese Produktion wird nachhaltig sein. Das BMBF wird dieses Ziel mit entsprechenden Maßnahmen stützen, um die Produktion nach Europa zu tragen und dort zu festigen.

Insgesamt soll durch gezielte Abstimmung der Maßnahmen in Deutschland mit den Programmen der europäischen Nachbarstaaten und der europäischen Kommission, auch und insbesondere im Bereich der europäischen Forschungskoooperationen, eine Stärkung des deutschen Forschungs- und Industriestandortes erreicht und damit die Grundlagen für eine wirtschaftliche Produktion von Elektrofahrzeugen in großen Stückzahlen geschaffen werden.

## Interview mit Professor Martin Winter, Universität Münster, Sprecher der Innovationsallianz LIB 2015

### Warum ist die Energiedichte von Batterien im Vergleich zu Benzin so niedrig?

So niedrig ist die gar nicht. Bei der Benzinverbrennung müssen Sie den Sauerstoff ja nicht mitführen, der kommt aus der Luft, und geht dann zusammen mit dem verbrannten Benzin ins Freie. Nur dadurch hat das Benzin eine hohe Energiedichte. Wenn Sie das Abgas an Bord halten müssten, hätte Benzin eine kleinere Energiedichte als die besten Batterien. Mit denen haben Sie im Prinzip die Möglichkeit, bei hundert Kilogramm Batteriegewicht einige hundert Kilometer weit fahren können. Das Ziel sind 500 Kilometer.

### Im Internet ist von Zinn-Schwefel-Lithium-Akkus die Rede, die schon vierfach höhere Energiedichten haben sollen. Ist das real?

Bei solchen Wunderakkus ist meistens die Zyklenzahl sehr beschränkt. Wir reden dann nicht über einige tausend Lade-/Entladezyklen sondern über einige zehn. Wenn Sie irgendwo Geld her haben wollen, dann müssen Sie mit solchen Meldungen ins Internet gehen, dann kommt nämlich genauso jemand wie Sie und sagt, Donnerwetter! Das ist aber wirklich was Neues. Da sage ich, bitte, messt doch die Leute an ihren Ergebnissen und nicht an ihren Ankündigungen!

### Aber ist es nicht erstaunlich, dass da auch seriöse Publikationen mitmachen?

Ja, die Wissenschaft lebt davon, dass sie Effekte aufzeigt, aber die Realisierung bis zum Engineering hin ist häufig viel schwieriger. Das ist der Unterschied zwischen Wissenschaft und Anwendung.

### Was ist denn von Konzepten zu halten wie Lithium-Luft? Da hätten Sie ja die Luft auch nicht mit an Bord.

Am Ende schon. Das Problem mit Metall-Luft ist ja, im Unterschied zum Verbrennungsmotor, dass Sie als Produkt der Reaktion mit dem Luftsauerstoff feste Stoffe erzeugen, die Sie an Bord behalten müssen. So eine Batterie wird also bei der Entladung immer schwerer. Das heißt, eine Lithium-Luft-Batterie hat theoretisch am Anfang weit mehr als zehntausend Kilowattstunden pro Kilogramm Energiedichte, aber am Ende sind es nur noch weniger als fünftausend. Metall-Element-Batterien wie die Lithium-Schwefel-Batterie sind meiner Meinung



nach Übergangstechnologien zu Metall-Luft-Batterien. Metall-Luft-Batterien sind der Heilige Gral, da wollen wir mal hin, das sind dann diese Hundert-Kilogramm-Batterien mit fünfhundert Kilometern Reichweite.

### Was halten Sie vom Redox-Flow-Konzept?

Redox-Flow finde ich sehr interessant, insbesondere für stationäre Anwendungen. Redox-Flow ist ja im Prinzip ein flüssiges Elektrodensystem, welches dann mit Pumpen umgewälzt wird. Und das hat einen Riesenvorteil, weil man über das Pumpen dazwischen Reinigungsvorgänge und Kontrollen machen kann. Das halte ich gerade für Langlebigkeit sehr wichtig bei stationären Batterien.

### Keine Nachteile?

Ich glaube, dass die Redox-Flow-Batterien im Hochenergiebereich sehr teuer werden können, weil dort teure Komponenten eingesetzt werden. Wenn Sie mit preiswerten wässrigen Elektrolyten arbeiten, was eben viele im Moment machen, dann haben Sie aber nicht die Energiedichten.

### Wie sind Supercaps als Stromspeicher?

Die Supercaps sind immer dann gut, wenn Sie kurze Ansprechzeiten brauchen für die Energiespeicherung und Energieabgabe. Wenn Sie schnell anfahren wollen und schnell Energie rückspeichern wollen. Dann sind Supercaps die bessere Wahl. Zum Beispiel Müllauto – kurz anfahren, kurz stoppen. Oder der Milchmann. Dumm ist nur, wenn Sie dann nur ein wenig Reichweite machen wollen, dann ist der Supercap nach ganz wenigen hundert Metern leergefahren, denn er hat keine große Energiedichte.

# Herausforderungen bei der Umsetzung der Strategie

**Mit der Strategie wird technisches Neuland auf einem Sektor beschritten, auf dem die herkömmliche Technik hohe Standards gesetzt hat.**

Das macht die Umsetzung der Strategie besonders anspruchsvoll. Sie wird sich an den aktuellen Herausforderungen orientieren und ist auf drei Bereiche fokussiert:

- **Forschung für Batteriematerialien und Elektrochemie**
- **Forschung für die Batterieproduktion**
- **Forschung für die Batteriesystemintegration**

## Forschung für Batteriematerialien und Elektrochemie

Die Batterie und deren Leistungsfähigkeit sind unbestritten die wichtigsten Faktoren für die Etablierung der Elektromobilität. Die wesentlichen Herausforderungen auf dem Feld der Materialforschung und -elektrochemie für die Batterie sind:

- **Erhöhung der Energiedichte und/oder Leistungsdichte:**

Die allgemein geforderte Energiedichte von 200 Wh/kg für Batteriesysteme bis 2015 bedeutet nahezu eine Verdopplung gegenüber heute verfügbaren Lithium-Ionen-Batterien. Eine hohe Energiedichte erlaubt lange Reichweiten, eine hohe Leistungsdichte dagegen eine schnelle Leistungsabgabe, z. B. bei einem Beschleunigungsvorgang, und eine schnelle Speicherung von Bremsenergie (Rekuperation). Derzeit sind keine Batterien verfügbar, die beide Eigenschaften in genügendem Maße aufweisen. Bei der schnellen Energieabgabe und -aufnahme wären Doppelschichtkondensatoren mögliche Hilfsaggregate, die auf kurzen Distanzen sogar zu einer Konkurrenz für die Lithium-Ionen-Batterie heranwachsen könnten.

- **Erhöhung der Lebensdauer und Zyklenfestigkeit:**

Wegen der hohen Kosten der Batterie sollte deren Lebensdauer der des Fahrzeugs entsprechen. Bei einer Betriebsdauer von 10 – 15 Jahren muss die Bat-

terie dann 3.000 bis 5.000 Ladezyklen ohne wesentliche Eigenschaftsverschlechterungen verkraften. Für praxistauglich kurze „Auftankzeiten“ ist die Verbesserung des Schnellladeverhaltens von Batterien für Plug-Ins wie für reine Elektrofahrzeuge wichtig – und eine weitere Herausforderung.

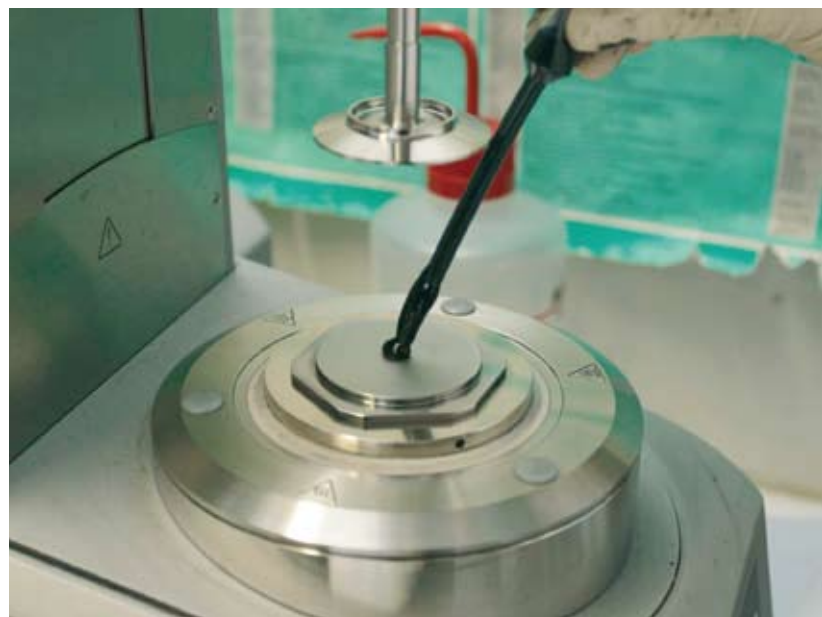
- **Verbesserung der Sicherheitsmerkmale:**

Die Batteriesysteme müssen auf jeder Systemebene sicher sein. Sie müssen der höheren kritischen Aufmerksamkeit wegen, die neue Technik erfährt, sogar sicherer sein als die konventionelle Technik, was ohne weiteres machbar erscheint. Zuverlässigkeit, Nachhaltigkeit und Umweltverträglichkeit sind andere wichtige Felder, auf denen die Elektromobilität ihre Vorzüge ausspielen wird.

- **Materialforschung für elektrische Speicher hoher Kapazität:**

Die Batterien für künftige Elektromobile sind Blöcke, die fast ganz ohne bewegte Teile auskommen, bei denen allenfalls das Summen eines Kühlgebläses verrät, dass sie aktiv sind. Der größte Teil der Raffinesse und des Know-Hows steckt in den Materialien der Batterien. Die besten Materialien zu finden und zu optimieren, ist eine anspruchsvolle

Batteriematerialien in der Erprobung: Viskositätsbestimmung mit Rheometer



### Das Elektromobil in der vernetzten Welt

Elektromobilität ist ein Konzept, dessen Zeit gekommen ist – leistungsstarke elektrische Speicher vorausgesetzt. Ein technischer Grund ist die Verfügbarkeit billiger Rechenleistung. Das Leistungsvermögen eines Supercomputers der Nachkriegszeit wie ENIAC findet heute in Microcontrollern Platz; das sind vielseitige Schaltungen, die mittlerweile in Uhren, MP3-Spielern, Diktiergeräten u. v. a. m. allgegenwärtig sind und mittlerweile sogar für die Steuerung anspruchsvoller Taschenlampen verwendet werden – die Kosten sind am Nutzen gemessen marginal. Mit Microcontrollern ist es möglich, elektrisch schwieriger zu handhabende Speicher – Lithiumionenakkumulatoren sind tatsächlich anspruchsvoller als Bleiakumulatoren – beim Auf- und Entladen exakt zu regeln, Zelle für Zelle einzeln. Leistungstransistoren aus Siliziumcarbid vertragen die hohen elektrischen Spannungen und Temperaturen im Auto und liefern, von Microcontrollern angesteuert, die exakt richtigen Impulse für die Elektromotoren, mit erstaunlich geringen Verlusten. Ein vom Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE für die photovoltaische Energiegewinnung entwickelter Wechselrichter mit SiC-Elementen bringt es auf 98,5% Wirkungsgrad.

Dazu kommt die immer dichtere Funkvernetzung, die eine Feinsteuerung der Haushalte, gerade aber auch der elektrischen Fahrzeugflotte ermöglicht. Zieht das Tief Irmgard über dem Atlantik he-

ran, lassen sich für die kommende Nacht blendende Stromerträge aus den Offshore-Windparks vorhersagen, die im Markt untergebracht werden müssen. In einem hinlänglich automatisierten Haushalt könnten dann stromhungrige Verbraucher, die mit der Zeit jonglieren können, wie Wärmepumpen, Wasch- und Spülmaschinen, zugeschaltet werden, just-in-time, über das Internet gesteuert. Die Geräte könnten auch untereinander kommunizieren, um den jeweils günstigsten Energiemix auszutüfteln. Als weitere Energiequelle zum Ausgleich von Spitzenlasten könnten – bei einer breit eingeführten Elektromobilität – die Fahrzeuge in den Garagen kommen, die – an spezielle Steckdosen angeschlossen – bei Bedarf auch Strom abgeben können. In der Summe ist ein Internet der Energie denkbar, das kleine Energiemengen ebenso effizient verteilt wie Informationen.

Die Feinststeuerung von Energieflüssen ist in der belebten Natur weit verbreitet. Wenn ein Gewichtheber seine Eisen stemmt, bezieht er seine Energie aus 100.000.000.000.000.000 Kleinstkraftwerken in seinen Zellen, den Mitochondrien. Deren Energie wird über zahllose Sensoren, Kanäle und Zwischenspeicher in die Muskeln geleitet, mit höchster Effizienz, weshalb ein Radfahrer für die Strecke Köln – Koblenz nur den Energiegehalt einer Tafel Schokolade braucht.

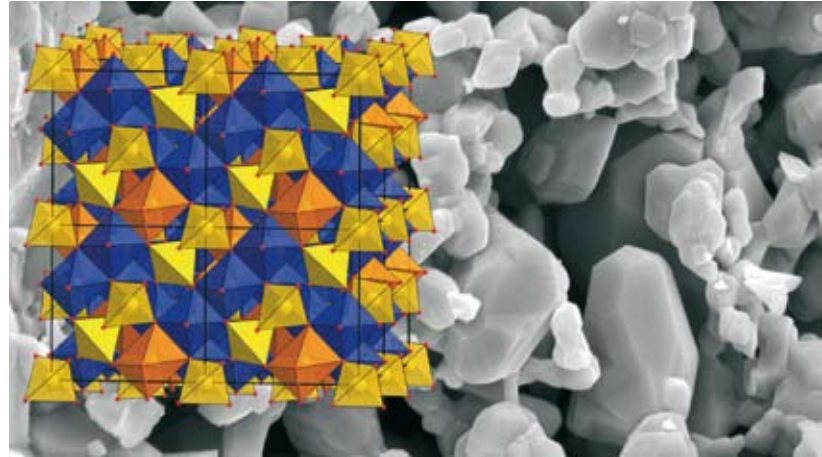
Durch die neuen Kommunikationstechniken lassen sich Elektrofahrzeuge in smarten Netzen mit billigem Überschussstrom „betanken“.



Forschungsaufgabe, allerdings steht den Wissenschaftlern von heute ein raffiniertes Instrumentarium zur Verfügung – Analysegeräte, Computer – das die Forscher früher nicht hatten. Die Aussichten auf Fortschritte sind also gut. Die Hauptbestandteile einer Lithium-Ionen-Batterie sind Anoden- und Kathoden-Folien, die von einer Separatorfolie getrennt sind. Unter den Folienmaterialien hebt sich eine deutsche Entwicklung hervor, die Evonik-Entwicklung SEPARION®, die aus einem hauchdünnen Kunststoff-Flies besteht, auf die eine für Lithium-Ionen durchlässige flexible Keramikschiicht aufgebracht wurde. Die ganz und gar unscheinbare Folie macht hochvolumige, sichere Elektrizitätsspeicher möglich. Die Entwicklung dieser mit zahlreichen Patenten geschützten Schlüsselkomponente ist vom BMBF intensiv gefördert worden.

- **Recycling:**

Wenn sich den Elektrofahrzeugen der neuen Generation ein Massenmarkt öffnet, wird die Frage der Verfügbarkeit der Rohstoffe für die neuen Systemkomponenten – vornehmlich Batterien und Elektromotoren mit magnetischen Hochleistungslegierungen – interessant. Je nach Bedarf können durchaus Verwerfungen des bestehenden Marktes erwartet werden, die sich aber durch neue Explorationen und vor allem das Recycling handhabbar machen lassen. Damit kommt der Entwicklung wirtschaftlicher und ökologisch vorteilhafter Recyclingverfahren eine große Bedeutung zu. Der Aufbau entsprechender Rücknahmesysteme einschließlich einer wirtschaftlichen Rückführlogistik und die Schaffung ausreichender Recyclingkapazitäten werden ein wichtiger Wettbewerbsfaktor sein. Technologisch ist die möglichst sortenreine marktfähige Rückgewinnung der eingesetzten Metalle wie Lithium, Kobalt, Mangan, Nickel etc. bei Batterien, Kupfer bei Motoren oder Neodym und Dysprosium bei magnetischen Werkstoffen attraktiv. Auch die verwendeten Elektrolyte könnten recycelt werden. Die Pflicht zum Recyceln ist überdies von der EU-Batteriedirektive 2006/66/EG, „quantitative Recyclingeffizienz von mindestens fünfzig Prozent bei Lithium-Ionen-Batterien“, gefordert. Je nach Anwendung kommen verschiedene Baueinheiten und Elektrodenkonzepte mit unterschiedlichen Stoffzusammensetzungen zur Anwendung, weshalb zur Rückgewinnung der Metalle und der Elektrolyte intelligente kombinatorische Recyclingkonzepte entwickelt werden müssen.



Hochvolt- Lithiummangan, Batterie der Zukunft

### Forschung für die Batterieproduktion

Für die Fertigung von Batterien hoher Qualität ist eine präzise, automatisierte und ausgereifte Produktionstechnik erforderlich. Die modernen Produktionssysteme hierfür müssen produktiv, ressourceneffizient und flexibel sein. Der Einstieg erfordert den Aufbau einer wirtschaftlichen und automatisierten Zellfertigung zur Herstellung von Prototypen und Testserien für eine spätere Massenproduktion. Die Produktionstechnik muss flexibel sein und unterschiedliche Zelldesigns ermöglichen. Es werden auch neue Qualitätssicherungssysteme und Peripherietechnologien wie z. B. energieeffiziente Trockenräume benötigt. Die Optimierung der Schnittstellen zwischen den einzelnen Batteriekomponenten ist bereits bei der Fertigung zu berücksichtigen. Dazu gehört auch die Entwicklung

Batterien der Zukunft sind bezahlbar, sicher und effizient.



### Lithium: Es ist genug für alle da – wenn recycelt wird

Wer mit der Zukunft des Elektroautos befasst ist, steuert derzeit gerne – mit einem gängigen Erdbeobachtungsdienst – den „Salar de Atacama“ in Chile an. Das ist ein 100 Kilometer langer, 40 Kilometer breiter und bis zu 400 Meter tiefer Salzsee, der an seiner Oberfläche größtenteils eingetrocknet und von sechseckigen Steinsalzplatten bedeckt ist, Salz, wie man es in der Küche findet. Die Platten sind von Natur aus sechseckig, wie Basaltsäulen. Die mitgelieferten Bodenbilder zeigen Salz so weit das Auge reicht. Das wirtschaftlich Interessante aber spielt sich in ein oder zwei Metern Tiefe unter der Steinsalzkruste ab, denn dort befindet sich eine 30 Meter mächtige Salzschicht mit zahlreichen Poren, die von einer Lake durchströmt werden, die 0,15% Lithium enthält – die höchste Konzentration aller bekannten Lagerstätten. Diese Lithiumlake wird in Solarteichen weiter konzentriert und schließlich mit Soda versetzt, so dass Lithiumcarbonat ausfällt, das gewaschen, gereinigt, getrocknet und für den weltweiten Export verpackt wird. Diese Lagerstätte

Salzsee „Atacama“ in Chile



allein, versichert die Chemetall GmbH, „the Lithium company“, könne bei dem anvisierten Wachstum des Marktes für Elektromobile mit Lithiumspeicher den Bedarf für mehr als hundert Jahre decken; wenn man die weltweiten bekannten Lagerstätten berücksichtige, seien es tausend Jahre. Überdies könnten um die 50 % des verbauten Lithiums recycelt werden.



Die Separatorfolie trennt im Lithiumakku die auf eine Kupfer- bzw. Aluminiumfolie aufgetragenen Materialien von Anode und Kathode

An Lithium sollte es also nie mangeln, allerdings könnte der Zugang problematisch werden. Da die Lithiumkosten nur einen kleinen Teil der Batteriekosten ausmachen, ließen sich für Deutschland als strategische Reserven womöglich die Zinnwaldit-Vorkommen im östlichen Erzgebirge nutzen – wenn das Lithium denn wirtschaftlich daraus extrahierbar wäre oder würde. Die Frage ist Gegenstand eines Forschungsprojektes der Bergakademie Freiberg. Auch für andere im Batteriebau benötigte Metalle wie Kobalt sollte sich jederzeit eine verlässliche Quelle finden lassen, oder Alternativen.

Lithium ist auch erfreulich ungiftig. Richtig dosiert, helfen Lithiumsalze sogar, in der Psychiatrie schwere Depressionen zu lindern.

von standardisierten Verpackungsverfahren („Packaging“) für die Zellherstellung und die Konfektionierung der Zellen einschließlich des Batteriemagementsystems.

Wichtige Anforderungen an eine automatisierte Produktion sind:

- **Batteriekosten:**

Erschwingliche Batterien sind der wichtigste Faktor für die breite Markteinführung von Elektrofahrzeugen. Die heutigen Kosten von 1.000–1.200 Euro pro kWh Speicherkapazität liegen noch weit über den international formulierten Zielen. Für die typischen Marktpioniere – kleine Elektroautos mit einer Reichweite von 100 km – fallen derzeit Batteriekosten von 10.000 bis 15.000 Euro an. Als für einen Massenmarkt akzeptabel gelten derzeit dreihundert bis fünfhundert Euro pro Kilowattstunde, wobei bedacht werden muss, dass für die Besitzer solcher Elektrofahrzeuge wesentlich geringere Treibstoffkosten anfallen. Die Batteriekosten werden derzeit hauptsächlich vom Know-How bestimmt und könnten – wie bei technischen Massengütern üblich – entlang einer Lernkurve weiter sinken. Würden dabei, wie erwartet, auch die speicherbaren Elektrizitätsmengen steigen, wäre bei der Elektromobilität schon auf kurze Sicht kein Halten mehr. Im dann folgenden Rennen entscheidet die frühzeitige Positionierung über den Erfolg.

- **Modularität und Rekonfigurierbarkeit der Produktionssysteme:**

Ermöglicht die Verbesserung der Anpassungsfähigkeit der Fertigungsausrüstungen an veränderte Fertigungsaufgaben.

- **Verkürzung der Prozessketten:**

Sie wird durch hohe Funktionsintegration verschiedener Technologien bei wandlungsfähigen Maschinenstrukturen erzielt.

- **Flexibler Einsatz vorhandener Anlagenbestandteile:**

Schließt periphere Einrichtungen ein und ist wichtig für Prozessverkettung, Handhabung, Montage.

- **Bedarfsgerechte Produktentwicklung:**

Die Einbeziehung des Kunden als Wertschöpfungspartner und neue Formen der Zusammenarbeit führen zu marktgerechten Produkten.



Qualitätsprüfung bei Li-Tec in Kamenz im Freistaat Sachsen.

## Forschung für die Batteriesystemintegration

Eine nüchterne Bilanz des Energiegehaltes einer Batterie und eines Treibstofftanks gleichen Volumens, verrechnet mit den unterschiedlichen Wirkungsgraden von Verbrennungs- und Elektromotor, ergibt: Einem konventionellen Fahrzeug steht im Vergleich zum Elektrofahrzeug das 5–10fache an Energie für den Vortrieb zur Verfügung. D. h., selbst eine Verdoppelung oder Verdreifachung der Batteriekapazität löst das Reichweitenproblem nicht. Um dennoch ohne Komforteinbußen elektromobil sein zu können, wird ein systemischer Neuansatz für das Zusammenspiel von Batterie, Fahrzeugchassis, Antriebskomponenten, Betriebsstrategien sowie dem Energiemanagement erforscht.

Die Integration der Batterie in das Gesamtsystem Elektrofahrzeug ist ein Forschungsschwerpunkt mit vielfältigen Herausforderungen:

- **Forschung für ein optimales Energiemanagement:**

Ein fortschrittliches Energiemanagement ermöglicht zusammen mit den entsprechenden Betriebsstrategien bei gleicher Batteriekapazität bessere Fahrleistungen und größere Reichweiten bzw. leichtere und günstigere Batterien. Das ist wesentlich für die in Deutschland erreichbare Wertschöpfung und

## Der Übergang – Chancen und Risiken

Der Übergang zur Elektromobilität wird für die Automobilindustrie und ihre Zulieferer nicht immer einfach sein. So dürften bei einem reinen Elektromobil u. a. die folgenden vertrauten Teile wegfallen:

Anlasser / Auspuffanlage / Bremshydraulik (Motoren bremsen teils rein elektrisch, teils mit elektrisch verstellten Reibungsbremsen) / Differenzialgetriebe / Fahrwerk (Räder werden elektrisch geführt, gefedert und gedämpft) / Kardan-Welle / Katalysator / Kühler / Kühlergrill / Kupplung / Lenkungshydraulik (elektrische Steuerung, steer-by-wire) / Lenksäule / Lichtmaschine / Motorblock (womöglich Motoren in den Rädern) / Ölwanne / Rad-Antriebswellen / Schaltgetriebe / Schaltknüppel/-gestänge / Bleibatterie/ Stoßdämpfer (elektorrheologische Fluide (ERF)) / Tank (Polymerfolienakku im Boden und der Karosserie) / Zündanlage, Pumpen, Luftfilter und andere Hilfsaggregate.

Dafür tauchen neue Teile auf. Der Übergang kann durch Allmählichkeit abgemildert werden, der allerdings durch die Globalisierung Grenzen gesetzt sind. Und dann macht die Verfügbarkeit mobiler



Audi A1 e-tron

Die Studie A1 e-tron von Audi, erstmals auf dem Genfer Automobilsalon gezeigt, ist ein innovatives Mega City Vehicle (MCV). Wie seine Sportwagen-Brüder hat er einen elektrischen Antrieb. Seine Reichweite im Stadtverkehr beträgt über 50 Kilometer. Ist die Energie der Batterie erschöpft, lädt eine besonders kompakte Einheit aus Einscheiben-Wankelmotor und Generator als Range-Extender die Batterie mit einer Ladeleistung von bis zu 15 kW nach. Damit erzielt der A1 e-tron eine zusätzliche Reichweite von 200 Kilometer.

elektrischer Speicher, Antriebe und Stellelemente eine Unzahl von neuen spezialisierten Transportgeräten möglich, die den Bedürfnissen der Bürger stärker entgegen kommen als die gegenwärtigen Fahrzeuge.

E-Smart Produktionsstraße



die für Premiumhersteller notwendige Produktdifferenzierung. Konventionelle Fahrzeuge profitieren bereits heute von einem elektrischen Energiemanagement, da auch hier immer mehr elektrische Energie verbraucht wird, was sich zunehmend durch höheren Treibstoffverbrauch bemerkbar macht. Auf der übergeordneten Systemebene sind die thermischen Anforderungen der Antriebe und der Batterien im Gesamt-Fahrzeugkonzept zu berücksichtigen; ebenso, dass alle Nebenaggregate (Servolenkung, Klimaanlage etc.) elektrisch betrieben und geregelt werden müssen.

- **Forschung für die Betriebssicherheit:**

Mit ihr wird die für einen Elektromobilmfahrer zentrale Frage beantwortet, welche Reststrecke der Ladezustand der Batterie erlaubt. Dafür sind Kontrollsysteme erforderlich, die anhand der messbaren Parameter Strom, Spannung, Temperatur und deren zeitlichen Verlaufs u. a. zuverlässig den Ladezustand, die Alterung und den Kühlungsbedarf der Batterie und die optimale Lade/Entlade-prozessur bestimmen können. Hiefür ist die Entwicklung geeigneter elektronischer Systeme und Batteriemodelle notwendig.

- **Forschung für eine robuste Leistungselektronik:**

Halbleiterschaltungen, die große elektrische Lasten handhaben können sind ein Schlüsselement der Elektromobilität, die mit ihnen realisierbare Leistungselektronik sorgt für die optimale Verbindung, Ansteuerung und Energieversorgung der verschiedenen Komponenten eines Elektromobils wie Speicher, Motoren, Steuergeräte, Wandler, Hilfsaggregate etc. Neben der Effizienz und Robustheit ist auch die Skalierbarkeit zu verschiedenen Leistungsklassen bei Leistungselektronik und Elektromotoren ein Forschungsziel; so können Entwicklungszeiten verkürzt und Kosten gespart werden. Eine von den Fahrzeugherstellern unabhängige Standardisierung der Bauelemente und Systeme für das Management elektrischer Energie im Fahrzeug lässt die für eine wirtschaftliche Produktion notwendigen großen Stückzahlen zu. Bei der Optimierung der Leistungselektronik ist eine erhebliche Abhängigkeit der eingesetzten Technologie von der elektrischen Leistungsklasse zu erwarten, die Forschungs- und Entwicklungsarbeiten zu Materialien, Komponenten, Schaltungsentwürfen und deren Systemintegration erfordern. Ein weiterer



Head-up-Display eines künftigen Elektromobils

wichtiger Forschungsschwerpunkt sind Zuverlässigkeit und Lebensdauer der Leistungselektronik unter den bekannt schwierigen Automobilbedingungen (Vibrationen, Hitze, Kälte, Salz, Wasser).

- **Forschung für die problemlose Energieaufnahme:**

Stundenlange Ladezeiten sind bei einer Reise nicht akzeptabel. Für die Entwicklung neuer, praxistauglicher Lade- und Entladestrategien sind einheitliche Messverfahren zur Ermittlung des Ladezustands und Alterungstests erforderlich. Auch setzt die Serienreife von Batterien zuverlässige und umfangreiche Testverfahren zur Überprüfung der Sicherheitsanforderungen voraus. Erstrebenswert sind insbesondere zuverlässige Lebensdauerprognosen (kalendarisch und Zyklfestigkeit), um u. a. die Entwicklungszeiten für neue Batteriesysteme erheblich reduzieren und damit kostengünstiger gestalten zu können.

Mit den richtig gestellten Weichen und nationalen und internationalen Vernetzungen und Kooperationen kann Deutschland wieder ein hervorragender Standort für elektrochemische Anwendungen wie Batterietechnologien und schließlich zu einem Leitmarkt für Elektromobilität werden.

# Weiterführende Informationen

## Elektromobilität allgemein:

- **BMBF:**

<http://www.bmbf.de>

- **Nationaler Entwicklungsplan:**

<http://www.bmbf.de/de/13886.php>

## Förderungsmaßnahmen:

- **Schlüsseltechnologien für die Elektromobilität (STROM)**

<http://www.bmbf.de/foerderungen/14611.php>

- **LIB 2015:**

[www.bmbf.de/foerderungen/11799.php](http://www.bmbf.de/foerderungen/11799.php)

[www.lib2015.de](http://www.lib2015.de)

[www.fz-juelich.de/ptj/LIB](http://www.fz-juelich.de/ptj/LIB)

- **Konjunkturpaket II:**

Kompetenzverbünde Elektrochemie:

<http://www.bmbf.de/press/2647.php>

Batterieproduktion:

[http://www.produktionsforschung.de/verbundprojekte/vp/index.htm?VP\\_ID=2915](http://www.produktionsforschung.de/verbundprojekte/vp/index.htm?VP_ID=2915)

Fraunhofer-Systemforschung Elektromobilität:

<http://www.elektromobilitaet.fraunhofer.de>

- **DFG Schwerpunktprogramm:**

SPP 1473:

[http://www.dfg.de/foerderung/info\\_wissenschaft/programminformationen/info\\_wissenschaft\\_09\\_62/index.html](http://www.dfg.de/foerderung/info_wissenschaft/programminformationen/info_wissenschaft_09_62/index.html)

## Sonstige:

Forum Elektromobilität e. V.:

<http://www.forum-elektromobilitaet.de>

DRIVE-E-Studienpreis und DRIVE-E-Akademie:

<http://www.drive-e.org/>

Institut für Physikalische Chemie/ Arbeitskreis Prof. Dr. M. Winter:

[www.uni-muenster.de/Chemie.pc/winter](http://www.uni-muenster.de/Chemie.pc/winter)

Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW):

[www.zsw-bw.de](http://www.zsw-bw.de)

Weiterbildungszentrum Brennstoffzelle Ulm e. V.:

<http://www.wbzu.de/wbzu.html>

Forschungsprojekt ePerformance:

<http://www.audi.de/eperf/brand/de.html>

Forschungsprojekt E3Car:

<http://www.e3car.eu/>



Diese Veröffentlichung wird im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit vom Bundesministerium für Bildung und Forschung unentgeltlich zur Verfügung gestellt. Sie ist nicht zum gewerblichen Vertrieb bestimmt. Sie darf weder von Parteien noch von Wahlwerberinnen/Wahlwerbern oder Wahlhelferinnen/Wahlhelfern während eines Wahlkampfes zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für Bundestags-, Landtags- und Kommunalwahlen sowie für Wahlen zum Europäischen Parlament.

Missbräuchlich ist insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen und an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken oder Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel.

Untersagt ist gleichfalls die Weitergabe an Dritte zum Zwecke der Wahlwerbung. Unabhängig davon, wann, auf welchem Weg und in welcher Anzahl diese Veröffentlichung der Empfängerin/dem Empfänger zugegangen ist, darf sie auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl nicht in einer Weise verwendet werden, die als Parteinahme der Bundesregierung zugunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte.



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung

