



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

iDEEN
INNOVATION
WACHSTUM
Die Hightech-Strategie für Deutschland

Elektromobilität – das Auto neu denken



HIGHTECH-STRATEGIE



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

iDEEN
INNOVATION
WACHSTUM
Die Hightech-Strategie für Deutschland

Elektromobilität – das Auto neu denken



Vorwort

Attraktive Elektromobilität erfordert grundlegend neue Ideen und Technologien, denn der Umstieg auf Elektromotor und Batterie zieht weitreichende Veränderungen im Fahrzeug nach sich und damit auch eine Neuausrichtung der gesamten Automobil- und Zulieferbranche. Das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) leistet mit seinen 2008 gestarteten Programmen zur Förderung von Forschung und Entwicklung im Bereich der Elektromobilität sowie zur Aus- und Weiterbildung einen wesentlichen Beitrag, um diesen Wandel zu unterstützen und zu gestalten. Der inhaltliche Fokus liegt auf den Themen Batterie, Energieeffizienz und Qualifikation von Personal durch Hochschulen sowie auf beruflicher Aus- und Weiterbildung. Dabei ist es besonders wichtig, die Aktivitäten von Wissenschaft und Wirtschaft eng zu verzahnen, damit auch die Käufer möglichst schnell von guten Ideen aus der Forschung profitieren.

Es ist leicht einzusehen, dass Elektromobilität nicht innerhalb eines halben Jahrzehnts zur Technologie der Verbrennungsmotoren konkurrenzfähig wird, die in einhundert Jahren fortwährend optimiert wurde. In den vergangenen fünf Jahren hat das BMBF viele Erfolg versprechende Entwicklungen auf den Weg gebracht. Dennoch gilt: Das Auto ganz neu zu denken, wird nicht von heute auf morgen gehen. Forschung und Entwicklung brauchen Zeit und einen langen Atem.

Die Erfolge der letzten Jahre sind ermutigend und vielversprechend. Und die Anstrengungen werden sich lohnen. Denn Elektroautos bieten nicht nur eine saubere, leise, effektive Mobilität und den Übergang zu neuen, zukunftsfähigen Mobilitätskonzepten, die über das einzelne Fahrzeug hinausweisen. Sie bieten auch die Chance für die deutsche Automobilbranche, sich weiterhin an der Spitze des Weltmarktes zu positionieren.

Welche Technologien sich im Einzelnen mittel- und langfristig durchsetzen werden, entscheidet der Markt. Das BMBF kann nur helfen, die Grundlagen zu legen für eine ökologisch und ökonomisch sinnvolle Zukunft des Automobils.



Elektromobilität soll alltäglich werden. (Robert Bosch GmbH)

Die vorliegende Broschüre gibt einen Überblick über die Herausforderungen, die heutzutage mit der Elektromobilität verbunden sind. Und sie ermöglicht dem Leser und der Leserin anhand ausgewählter Forschungsprojekte einen Einblick in die vielfältigen Lösungsansätze, die in enger Kooperation an deutschen Hochschulen, Forschungsinstituten und in der Industrie erarbeitet werden.



Inhalt

	Seite
Einleitung	2
Strategie und Maßnahmen des BMBF	8
Die Batterie – Ohne Strom läuft nichts	10
Die Lithium-Ionen-Batterie	14
Allianz für die Batterie der Zukunft (LIB2015)	16
Kompetenzen bündeln	18
Die Batterien von morgen in Deutschland fertigen	19
Im Fokus: Fraunhofer Systemforschung Elektromobilität	20
Energieeffizienz – Wie kommen wir weiter mit dem Elektroauto?	24
Der Elektromotor	26
Effiziente Antriebstechnologien	28
Intelligente Leistungselektronik für das Energiemanagement	30
Zuverlässigkeit	32
Leichtbau	33
Komfort	34
Fahrzeugkonzepte	36
Im Fokus: Spitzencluster Süd-West	38
Ausbildung für die Elektromobilität –Der Mensch macht's	40
Nationale Bildungskonferenz	41
Eine Woche für den Nachwuchs	42
Experiment statt Theorie	44
Autorennen elektrisch	44
Elektro-Erfahrung	45
Im Fokus: e performance	46
Zusammenfassung	48
Weiterführende Informationen	52

Einleitung

„Gefangen im Hype-Zyklus“
(ZEIT-online, 27.12.12)

„Ende eines Elektrotraums“
(Financial Times Deutschland, 25.09.12)

„Deutschland kann
Leitanbieter werden“
(Tagesspiegel, 07.01.13)

„Ein freudloses Fahrerlebnis“
(Stern.de, 27.05.10)

„Das ist die Zukunftstechnologie schlechthin“
(Wirtschaftswoche, 28.06.08)

Ein Blick in die Schlagzeilen der deutschen Presse zeigt: Elektromobilität ist ein kontrovers diskutiertes Thema. Es sind damit viele Hoffnungen und Erwartungen für die Verbraucher verbunden und große Chancen für die deutsche Industrie. Doch bis Elektroautos tatsächlich massenhaft den Markt erobern können, müssen noch große wissenschaftliche, technische und konzeptionelle Herausforderungen bewältigt werden. Noch werden die Bedürfnisse der Kunden nach großer Reichweite, akzeptablen Kosten, schneller Ladezeit und langer Haltbarkeit der Batterien nicht erfüllt. Und es fehlt eine flächendeckende Infrastruktur.

Das BMBF setzt deshalb auf die Aus- und Weiterbildung kluger Köpfe, den systematischen Aufbau von Know-how und auf ein fruchtbares Zusammenwirken von Wissenschaft und Wirtschaft für künftige Generationen von Elektrofahrzeugen. Trotz aller hoffnungsvollen Entwicklungen der letzten fünf Jahre ist allerdings klar: Das technologische Wettrennen zum Elektroauto ist kein Spurt, es ist ein Marathon, für den es einen langen Atem braucht. Das ist kein Wunder. Das Ringen um ein zukunfts- und marktfähiges Konzept für elektrisch betriebene Fahrzeuge hat gerade erst begonnen.

„Wir haben immer gesagt: Das ist ein Marathonlauf. Wir wissen das, und wir sind angetreten, ihn erfolgreich zu beenden. Man sollte nicht anfangen, schon nach den ersten 100 Metern über Seitenstiche zu klagen.“

Prof. Dr. Henning Kagermann, Vorsitzender der Nationalen Plattform Elektromobilität (NPE) und Präsident von acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften

100 Jahre Taktgeber Verbrennungsmotor

Über 100 Jahre lang war der Verbrennungsmotor Taktgeber für eine technische Erfolgsgeschichte, die auch eine deutsche ist. Dabei hat der Siegeszug des Automobils mit Elektrofahrzeugen begonnen. 1881, fünf Jahre vor dem legendären Mannheimer Benz, lenkte Gustave Trouvé sein elektrisch betriebenes Dreirad bereits geräuscharm durch die Straßen von Paris. 1899 war es „La Jamais Contente“ („Die nie Zufriedene“) des belgischen Konstrukteurs Camille Jenatton, die als erstes Auto der Welt die Schallmauer von 100 Kilometern pro Stunde

durchbrach – rein elektrisch. Und 1900 fuhren in den USA sogar mehr Elektroautos als solche mit Verbrennungsmotor. Letztlich setzten sich mit Benzin und Diesel betriebene Fahrzeuge durch. Die Gründe damals waren den Argumenten von heute nicht unähnlich: Sie hatten eine größere Reichweite, und die Entwicklung der Batterietechnik konnte mit dem Siegeszug des Erdöls und der rasanten Verbreitung von Tankstellen nicht Schritt halten.



„Die nie Zufriedene“ aus dem Jahr 1899 – schon damals rein elektrisch angetrieben (Museum Autovision)

Damit begann eine Revolution der individuellen Mobilität: Statt Drahtesel oder einer Pferdestärke mit Appetit auf Hafer ließen sich nun viele Dutzend PS für den Weg von hier nach dort einspannen – schneller und bequemer. Dadurch wurde die Welt – PS für PS – ein Stückchen kleiner. Als nach dem Zweiten Weltkrieg Autos für jedermann erschwinglich wurden, erfüllten sich viele den Traum von der Freiheit auf vier Rädern – mit einem Fahrzeug, das allzeit bereit vor der Haustür stand und sich problemlos sowohl für den Einkauf um die Ecke als auch für die Urlaubsreise ans andere Ende Europas bewegen ließ. Zuverlässig, schnell, sicher, bequem und chic.

Wirtschaftsfaktor Auto

Autos wurden zu einem herausragenden Wirtschaftsfaktor. Besonders in Deutschland. Mit über 317 Milliarden Euro (2010) entfällt laut Statistischem Bundesamt auf die Automobilbranche mehr als ein Fünftel des gesamten Umsatzes der heimischen Industrie. Nahezu jeder siebte Arbeitsplatz hängt direkt oder indirekt damit zusammen, sei es in Planung, Zulieferung, Produktion oder Dienstleistung. Rund 1.000 Unternehmen sind im Fahrzeugbau tätig, darunter nicht nur die

bekanntesten Automobilbauer. Einen entscheidenden Beitrag zum Erfolgsprodukt Auto leisten die vielen kleinen und mittelständischen Unternehmen (KMU) der Zulieferbranche. Ihre Arbeit ist ein wesentlicher Garant für die hohe Qualität, die Zuverlässigkeit und die Sicherheit deutscher Autos, die von Kunden auf der ganzen Welt geschätzt werden. Einen Großteil ihrer Produkte – mehr als 60 Prozent – verkaufen die deutschen Hersteller denn auch ins Ausland. 2011 verbuchte die Branche einen Auslandsumsatz von rund 223 Milliarden Euro.

„Hier in Deutschland wurde vor 125 Jahren das Automobil erfunden, und hier wird es täglich neu erfunden. Keine andere Branche verfügt über eine so hohe Innovationsgeschwindigkeit, keine andere ist so global aufgestellt.“

Matthias Wissmann, Präsident des Verbands der Automobilindustrie (VDA)

Mehr als ein Drittel aller industriellen Aufwendungen für Forschung und Entwicklung stammt aus der Automobilindustrie. Sie nimmt in Sachen Investition einen Spitzenplatz ein. Das macht sie zum zentralen Innovationstreiber in Deutschland. Ein derartiges Engagement wird auch künftig nötig sein, um den Herausforderungen der Zukunft erfolgreich zu begegnen.

Ökonomische und ökologische Herausforderung Erdöl

Auch wenn die Herausforderungen beim Elektroauto heute denen vor 100 Jahren durchaus ähneln – ein entscheidender Faktor hat sich grundlegend geändert: die Verfügbarkeit des Erdöls. Es ist vom kraftvollen Antreiber einer Branche zum bremsenden Faktor geworden. Die Vorräte, die die Erde davon bereit hält, werden nicht ewig reichen. Daran ändert auch die Erschließung neuer Vorkommen mit aufwändigen, kostspieligen und umweltkritischen Methoden wie Fracking aus Schiefergestein oder aus Ölsanden nichts.

Elektroautos sind auch eine Chance für die deutsche Automobilindustrie.

Unstrittig ist, dass die Preise für den begehrten Rohstoff auf lange Sicht eher steigen als sinken werden. Und das wird das Fahren mit herkömmlichen Autos deutlich teurer machen.

Doch nicht nur ökonomische Unsicherheiten zwingen die Automobilbranche zum Umdenken. Es sind auch die ökologischen Probleme, die die rasante Verbreitung

Elektroautos können dazu beitragen, den CO₂-Ausstoß zu mindern und fossile Ressourcen zu schonen.

des mit Treibstoff aus Erdöl betriebenen Autos über den Globus verursacht. Immerhin gehen 13 Prozent der weltweiten Kohlendioxid-Emissionen auf das Konto des Ver-

kehrssektors, Tendenz steigend. In Deutschland sind es rund 20 Prozent, davon immerhin zwei Drittel durch Pkw.

Die Zahl der Autos wächst weiter

Die Politik hat auf diese Probleme reagiert. So hat die EU-Kommission verschärfte Umweltrichtlinien für Autobauer erlassen: Der CO₂-Ausstoß pro Kilometer soll von 157 Gramm im Jahr 2007 auf 95 Gramm im Jahr 2020 gesenkt werden. Das bedeutet eine Reduzierung um 40 Prozent. Und auch die Klimaschutzziele der Bundesregierung, den CO₂-Ausstoß in Deutschland bis 2020 insgesamt um 40 Prozent gegenüber 1990 zu senken, nötigen alle Beteiligten zu Maßnahmen.

„Dass Öl billig ist, war einmal. Selbst wenn es genügend einfach zu förderndes Öl gäbe, muss der Verkehr von der Verbrennung flüssiger Kohlenwasserstoffe wegkommen. Sein Anteil an der Klimagefährdung steigt.“

Prof. Dr. Andreas Knie, Geschäftsführer des Innovationszentrums für Mobilität und gesellschaftlichen Wandel (InnoZ), Professor an der Technischen Universität Berlin

Die Zahl der Autos wird aber weiter wachsen. Das gilt ganz besonders für die Schwellenländer, allen voran China. Im Jahr 2020 werden weltweit schätzungsweise 50 Prozent mehr Pkw verkauft werden als heute. Und

für die EU gibt es Studien, die besagen, dass die Menschen 2030 etwa 30 Prozent mehr Kilometer zurücklegen werden als heute, wovon dann immer noch 75 Prozent mit dem Auto gefahren werden.

Diesen Herausforderungen – striktere Klimaschutzauflagen bei weltweit wachsender Nachfrage nach Autos unter verschärften Ressourcenbedingungen – muss sich die deutsche Automobilindustrie stellen, um weiterhin zentraler Motor des deutschen Exports zu sein. Darin liegt aber auch ihre Chance.

Der Charme des Elektroautos

Zwar bieten auch mit Erdgas oder Bio-Kraftstoffen betriebene Autos die Möglichkeit, Emissionen einzusparen. Der besondere Charme des Elektromotors

Elektroautos sind effizient, leise und echte Flitzer.

liegt jedoch in seiner ausgezeichneten Energieeffizienz und guten Steuerbarkeit: Er erreicht einen Wirkungsgrad von

über 90 Prozent – im Gegensatz zu den rund 35 Prozent bei Verbrennungsmotoren. Das heißt 90 Prozent der eingesetzten elektrischen Leistung können in mechanische Leistung und damit in Antrieb umgewandelt werden. Anders als beim Verbrennungsmotor steht von der ersten Umdrehung an die volle Kraft des Motors zur Verfügung. Außerdem sind Elektromotoren wartungsarm, flexibel einsetzbar und sehr leise. Eine ganz besondere Eigenschaft ist, dass Bremsenergie zurückgespeist werden kann. Bei konventionellen Fahrzeugen verpufft sie ungenutzt in Wärme.

Besonders umweltfreundlich wird der Elektromotor, wenn er mit regenerativen Energien gespeist wird. Dann trägt er nicht nur zur lokalen Emissionsminderung bei, sondern hilft, den globalen CO₂-Ausstoß zu verringern. Studien zeigen laut Fraunhofer Systemforschung, dass die Versorgung mit elektrischer Energie kein Problem darstellen wird: Es würden weniger als fünf Prozent zusätzlichen Stroms benötigt, um 15 Prozent der Fahrzeuge elektrisch zu betreiben. Ab einem Bestand von einer bis zwei Millionen Elektroautos müsste der Ladeprozess der Batterien gesteuert werden, um Abendlastspitzen, eine Überlastung von Ortstrafo oder den Neubau von Spitzenlastkraftwerken zu vermeiden.

„Elektroautos sind nur dann eindeutig ein Beitrag zum Klimaschutz, wenn sie mit regenerativem Strom geladen werden, der sonst nicht verwendet worden wäre. Die Entwicklung zur Elektromobilität kann also aus Klimaschutzsicht nur im Lichte der Energiewende hin zu einem regenerativen Stromsystem positiv beurteilt werden.“

Dr. Karl-Otto Schallaböck, Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH, Projektleiter der Begleitforschung zum BMBF-Förderprogramm „Schlüsseltechnologien für die Elektromobilität (STROM)“

Elektromobilität ist mehr als Elektroautos

Immer mehr Menschen zieht es in städtische Regionen, wo sie mit Dauerstau und Parkraumnot ebenso zu kämpfen haben wie mit einer stark zunehmenden Belastung durch Luftverschmutzung und Lärm. Allein der Umstieg auf Elektro- oder Hybridfahrzeuge wird die Verkehrsprobleme insbesondere in Ballungsgebieten nicht lösen. Hierfür sind neue Mobilitätskonzepte gefragt. Elektroautos werden eingebettet sein in einen gut ausgebauten öffentlichen Nahverkehr, und es wird ein breites Spektrum an elektrisch betriebenen Fahrzeugen geben, zu denen auch Zweiräder und Nutzfahrzeuge wie Müllwagen oder Kleintransporter für den

städtischen Lieferverkehr gehören. Das Prinzip „Nutzen statt Besitzen“, das in unseren Großstädten Car-Sharing-Angebote bereits heute attraktiv macht, kann weiter an Bedeutung gewinnen. Hierfür – wie auch

Elektroautos sind Teil einer vielfältigen Mobilität der Zukunft.

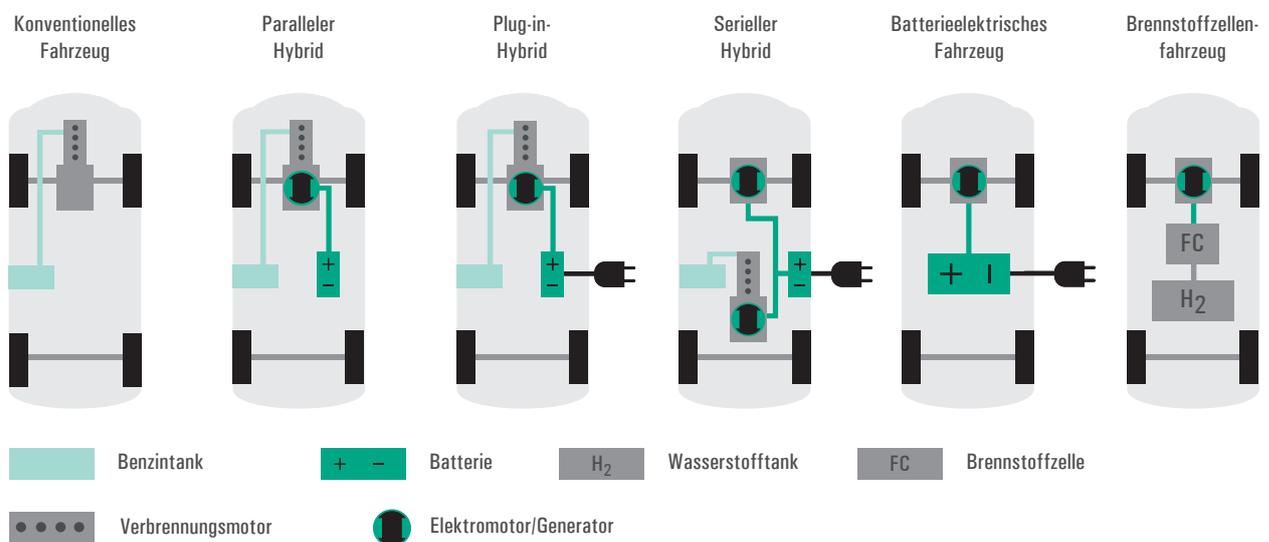
beispielsweise für Dienstwagenflotten – bieten sich Elektroautos an. Denn Fakt ist: Im Durchschnitt ist ein Auto nur zwei

Stunden am Tag im Einsatz. Die meiste Zeit steht es ungenutzt. Auch die Reichweite ist hier oft nicht das Problem: Nach einer Studie des Instituts für Verkehrswesen am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) legen etwa 80 Prozent der Pkw in Deutschland am Tag sowieso nicht mehr als 60 Kilometer zurück.

Dennoch gilt: Das Auto wird auch in Zukunft für viele Menschen ein Statussymbol sein und das Bedürfnis nach individueller Mobilität weiterhin ungebrochen bleiben. Dabei sind die Menschen an ein Maß an Komfort und Sicherheit gewöhnt, hinter das neue Elektroautos nicht zurückstehen dürfen, wollen sie sich am Markt durchsetzen.

Nationale und internationale Entwicklung

Trotz der noch zu bewältigenden technologischen Aufgaben setzen Automobilhersteller und Regierungen in aller Welt auf die Elektromobilität. Die USA fördern



Es gibt bereits diverse elektromobile Antriebskonzepte – hier im Vergleich zum konventionellen Antrieb. (Fraunhofer IAO)

Elektroautos in einem breit angelegten Programm mit 2,4 Milliarden Dollar. China hat sich vorgenommen, bis 2020 fünf Millionen Elektrofahrzeuge auf die Straßen zu bringen, und aus Frankreich und Japan sind schon erste rein batteriebetriebene Elektrofahrzeuge auf dem Markt.

Das technologische Wettrennen um das beste Elektroauto hat also längst begonnen, und für Deutschland bieten sich hier große Chancen.

„Hersteller anderer Länder sind mit Serienfahrzeugen schon auf dem Markt. Die sehr hohen Preise zeigen allerdings, dass diese auch noch nicht das passende Konzept gefunden haben, um zu wettbewerbsfähigen Kosten Elektrofahrzeuge anzubieten. Das ist aber genau der Schlüssel, und da liegt die wahre Innovation. Die deutschen Hersteller wollen zum einen eine perfekte und sichere Qualität anbieten, zum anderen mit Elektrofahrzeugen nicht einen betriebswirtschaftlichen Schiffbruch erleiden. Die derzeitige Strategie ist durchaus nachvollziehbar.“

Prof. Dr. Markus Lienkamp, Ordinarius des Lehrstuhls für Fahrzeugtechnik (FTM) und Leiter des Wissenschaftszentrums Elektromobilität an der Technischen Universität München

Die Bundesregierung hat im Jahr 2009 in ihrem Nationalen Entwicklungsplan Elektromobilität das Ziel ausgegeben, Deutschland zu einem Leitanbieter für Elektromobilität zu machen. Seit 2010 verfolgen auf Einladung der Bundeskanzlerin in der Nationalen Plattform Elektromobilität (NPE) hochrangige Experten aus Wissenschaft, Wirtschaft, Gewerkschaften, Umweltorganisationen und anderen gesellschaftlichen Interessengruppen gemeinsam dieses Ziel. In einem intensiven Dialog erarbeiten sie einen Fahrplan für den Weg zur Elektromobilität und schlagen konkrete Maßnahmen vor.

Die Empfehlungen der NPE sind in das Regierungsprogramm Elektromobilität eingeflossen. Dessen zentrale Aussage ist es, dass in den kommenden Jahren der Fokus auf die Förderung von Forschung und Entwick-

lung gelegt werden muss. Hierzu haben die vier Ressorts Wirtschaft, Verkehr, Umwelt sowie Bildung und

Elektromobilität gewinnt weltweit an Bedeutung.

Forschung entsprechende Forschungsprogramme abgestimmt. Ziel ist es, die Ideen von Ingenieurinnen und Ingenieuren möglichst effektiv und schnell in marktfähige Innovationen zu überführen, denn am Ende entscheiden die Käufer, wer das Wettrennen um das beste Elektroauto gewinnt.

„Deutschland muss beim Thema E-Mobilität eine führende Rolle spielen, denn sie wird kommen. Für uns hängen Arbeitsplätze und Wohlstand an diesem Thema. Wir müssen deshalb nicht in Aktionismus verfallen, aber sehr wohl rechtzeitig das Thema klug vorantreiben. Deshalb war die Einrichtung der NPE sicher ein richtiger Schritt. Denn wir wollen damit nicht nur einen Leitmarkt schaffen, sondern den Aufbau Deutschlands zum Leitanbieter vorantreiben.“

Prof. Dr. Henning Kagermann, Vorsitzender der Nationalen Plattform Elektromobilität (NPE) und Präsident von acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften

Die Ausgangslage ist viel versprechend

Um sich im Bereich der Elektromobilität an der Weltspitze zu positionieren, hat Deutschland hervorragende Voraussetzungen – nicht nur mit seiner Tradition in der Automobilindustrie und Zulieferbranche, die in den vergangenen über einhundert Jahren eindrucksvoll bewiesen haben, dass sie zu permanenten Innovationen und Marktführerschaft fähig sind. Auch in Wissenschaft und Forschung ist Deutschland mit einer vielfältigen Landschaft aus Hochschulen und außeruniversitären Forschungsinstituten sehr gut aufgestellt. Das BMBF hat mit der Hightech-Strategie, die auf die Forschung zu den fünf globalen Herausforderungen Klima/Energie, Gesundheit/Ernährung, Mobilität, Sicherheit und Kommunikation abzielt, wichtige Weichen gestellt – sowohl struktureller als auch thematischer Art.



In vielen Bereichen wird bereits auf Hochtouren zur Elektromobilität geforscht, und erste Fahrzeuge sind auf dem Markt. (RWE)

Eine wichtige Basis für den Erfolg der Elektromobilität bieten die in Deutschland stark aufgestellten Ingenieurwissenschaften, insbesondere der Maschinenbau und die Elektrotechnik. Seit einigen Jahren entwickeln sich darüber hinaus fächerübergreifende Disziplinen wie die Mechatronik. Gute Voraussetzungen gibt es auch im Bereich der Informatik und der Naturwissenschaften, erheblichen Nachholbedarf dagegen in der für die Batterieforschung so wichtigen Elektrochemie. Im nicht-akademischen Bereich leistet die solide Berufsausbildung im dualen System einen wesentlichen Beitrag, um der Branche hervorragend ausgebildete technische Fachkräfte zur Verfügung zu stellen. Dennoch sind in Bildung und Forschung noch viele

Weiterentwicklungen erforderlich, um auch in Zu-

Elektroautos sind eine technologische Herausforderung, der Deutschland gewachsen ist.

kunft erfolgreich sein zu können und die enormen technologischen Herausforderungen der Elektromobilität zu meistern. Genau hierauf zielt die

Elektromobilitätsstrategie des BMBF ab, die im folgenden Kapitel vorgestellt wird.

Strategie und Maßnahmen des BMBF

Deutschland zum Leitanbieter für Elektromobilität zu entwickeln, ist ein ambitioniertes Unterfangen. Denn Elektromobilität bedeutet nichts weniger als einen Paradigmenwechsel für die deutsche Automobilindustrie. Es müssen – auf Basis ganz neuer Technologien – auch weiterhin zuverlässige, hochwertige und damit attraktive und wettbewerbsfähige Fahrzeuge entwickelt werden.

Die Kundinnen und Kunden akzeptieren keine Abstriche bei der Sicherheit, und es wird auch auf das Fahrerlebnis ankommen. Außerdem gehören zum Gesamtpaket Elektromobilität überzeugende Dienstleistungskonzepte und eine Ladeinfrastruktur mit komfortablen Abrechnungsmodalitäten. Elektromobilität ist eine enorme technische Herausforderung über Disziplin- und Branchengrenzen hinweg. Die strategischen Schwerpunkte des BMBF liegen deshalb in der fachübergreifenden Forschung für neue Technologien, insbesondere für die Energiespeicherung und den sparsameren Umgang mit der Energie. Zudem ist die Aus- und Weiterbildung ein eminent wichtiger Aspekt, denn nur mit gut ausgebildeten Fachkräften kann Deutschland zum Leitanbieter für Elektromobilität werden.

„Ich weiß aus eigener Erfahrung, wie lange echte Innovationen bis zum Marktdurchbruch brauchen – leider in vielen Fällen 15 bis 20 Jahre bis zur Großserien-Industrialisierung. Schon deshalb sollten wir hier im Autoland Deutschland jetzt voll durchstarten mit konsequent auf die Elektromobilität abgestimmten Fahrzeug-Gesamtkonzepten, Infrastruktur-Systemlösungen und vernetzenden Mobilitätssystemen, die nachhaltig, technisch-wirtschaftlich funktionieren und von den Menschen nicht nur aus ökologischen Gründen, sondern auch emotional begehrt werden!“

Prof. Johann H. Tomforde, Inhaber Competence & Design Center for Mobility Innovations und Erfinder des SMART

Schwerpunkte Batterie und Energieeffizienz: Wir müssen das Auto neu denken!

Die größte technische Herausforderung für die Elektromobilität ist die Reichweite der neuen Fahrzeuge. Sie hängt wesentlich von der Entwicklung leistungsfähiger Batterien ab, die eine lange Lebensdauer haben und hohe Sicherheitsstandards erfüllen müssen. Aber ein Elektroauto zu entwickeln, bedeutet mehr als den Ersatz von Tank durch Batterie und von Verbrennungsmotor durch Elektromotor. Ein solches Fahrzeug zu entwickeln bedeutet, sich mit dem Auto als Gesamtsystem neu auseinanderzusetzen, denn eine andere Energieversorgung und ein anderer Antrieb verlangen auch eine andere Steuerung und somit ganz neue Komponenten im Fahrzeug.

„Wir kommen nicht wirklich weiter, wenn wir bestehende Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor einfach auf Elektroantrieb umrüsten. Man muss auf einem weißen Blatt Papier wieder anfangen.“

Prof. Dr. Markus Lienkamp, Ordinarius des Lehrstuhls für Fahrzeugtechnik (FTM) und Leiter des Wissenschaftszentrums Elektromobilität an der Technischen Universität München

Das verändert die gesamte Wertschöpfungskette der Automobilindustrie. Vor allem muss die Energieeffizienz des gesamten Fahrzeugs stärker als bisher in den Fokus der Forschung rücken, um dem beschränkten Energievorrat Rechnung zu tragen. Hierzu gehört konsequenter Leichtbau ebenso wie optimal aufeinander abgestimmte Komponenten und ein kluges Energiemanagement, ohne den Komfort zu vernachlässigen, etwa bei der Klimatisierung des Innenraums. Wie die Energie verteilt und wie der Informationsaustausch zwischen den einzelnen Komponenten des Fahrzeugs geregelt werden, ist eingebettet in den allgemeinen Trend zur weitgehend elektronischen und Softwarebasierten Steuerung des Fahrzeugs. Damit kommt den Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) auch im Automobil der Zukunft eine entscheidende Rolle zu. Das gilt nicht nur innerhalb des Fahrzeugs, sondern auch an der Schnittstelle zur Ladeinfrastruktur und damit zum Stromnetz. Das gilt auch bei

der Einbindung in neue Dienstleistungsmodelle und Verkehrskonzepte, wenn es zum Beispiel ums Bezahlen geht oder um eine automatisierte, an aktuelle Verkehrslagen und den Batteriestatus angepasste Verkehrsführung.

Innovationsfähigkeit ist heute der Schlüssel für Wachstum und Beschäftigung. Innovationsprozesse werden aber nur dann erfolgreich sein, wenn das Zusammenspiel von technologischen Entwicklungen mit Dienstleistungs- und Arbeitsprozessen zu einer hybriden Wertschöpfung gelingt. Neue Technologien wie die Elektromobilität erfordern auch hier Forschung für Innovationen in anderen Bereichen, parallel zu den technologischen Aspekten.

Schwerpunkt Aus- und Weiterbildung: Der Mensch macht's

Eine wichtige Voraussetzung für den langfristigen Erfolg der Elektromobilität ist die Verfügbarkeit hoch motivierter und qualifizierter Fachkräfte. Neben neuen Aus- und Weiterbildungsprogrammen, insbesondere auch im Rahmen der überbetrieblichen Berufsbildungsstätten, tragen die vom BMBF unterstützten Forschungsvorhaben ebenfalls zur Ausbildung und Qualifizierung bei. In dem Forschungsprojekt „e performance“ z. B., in dem ein modulares Elektrofahrzeug entwickelt wurde, konnten an Hochschulen über 70 Nachwuchsforscherinnen und -forscher ihre Diplom- und Doktorarbeiten anfertigen.

Mit Hochschulen und Fachhochschulen sollen in Zukunft gemeinsam die Möglichkeiten einer bundesweiten Vernetzung und besseren Abstimmung zwischen den einzelnen Studiengängen ausgelotet werden. Dies ist auch ein Ergebnis der vom BMBF finanzierten ersten Nationalen Bildungskonferenz Elektromobilität. Nicht nur im Hochschulbereich, auch bei der beruflichen Bildung gilt es, bereits vorhandene Ansätze und Strukturen zusammenzuführen und der Herausforderung „Elektromobilität“ mit interdisziplinären Lösungsvorschlägen zu begegnen.

Elektromobilität als Disziplinen übergreifende Aufgabe

Wer das Auto neu denken will, muss es entlang der gesamten Wertschöpfungskette betrachten – von den Rohstoffen, über die Entwicklung, die Produktion und die diversen Nutzungskonzepte bis hin zum Recycling. All das wird durch die Aktivitäten der verschiedenen beteiligten Bundesressorts abgedeckt, die mittlerweile weit mehr als 100 Forschungsk Kooperationen mit über 900 Millionen Euro unterstützen, zusätzlich zu den 500 Millionen Euro, die bereits im Rahmen des Konjunkturpakets II bis zum Jahr 2011 aufgewendet wurden. Das BMBF stellt dabei mit über 480 Mio. Euro den größten Anteil.

Weil Elektromobilität eine Disziplinen übergreifende Aufgabe ist, fördert das BMBF den Zusammenschluss zu Forschungsverbänden und -allianzen. Dadurch soll es gelingen, die Kooperation zwischen Grundlagenforschung und Anwendung, zwischen Wissenschaft und Industrie zu verbessern. Damit haben brillante Ideen die Chance, schneller in marktfähige Innovationen umgesetzt zu werden. Auch die einzelnen Fachgebiete wie Maschinen- und Anlagenbau, Chemie, Leistungselektronik, Informatik, aber auch die Unternehmen selbst – vom kleinen oder mittelständischen Unternehmen (KMU) bis hin zum Automobilhersteller – können so besser miteinander vernetzt werden. Eine entscheidende Voraussetzung für die Förderung ist, dass sich die Unternehmen mit mindestens 50 Prozent an den Projektkosten beteiligen. KMU können dabei besondere Zuschüsse erhalten.

Die folgenden Kapitel geben anhand ausgewählter Projektbeispiele einen Überblick über die konkreten Fördermaßnahmen in den BMBF-Schwerpunkten Batterie, Energieeffizienz sowie Aus- und Weiterbildung.

Die Batterie – Ohne Strom läuft nichts

Die Batterie ist als Energielieferant das Herzstück des Elektroautos. Es hängt ganz besonders von ihrer Leistungsfähigkeit ab, wie nutzerfreundlich Elektroautos sind und ob sich Elektromobilität durchsetzen wird. Die Batterieforschung spielt daher in der Strategie des BMBF eine herausragende Rolle.

Ziel ist es, Deutschland zu einem der technologisch führenden Standorte für die Batterieproduktion für Elektrofahrzeuge zu entwickeln und zugleich die Forschung für die nächste Batteriegeneration voranzutreiben.

Um den hohen Wertschöpfungsanteil im Batteriebereich in Deutschland zu erzielen, muss die Produktion hier stattfinden. Bisher gab es keine nennenswerte Batterieproduktion in Deutschland. Im sogenannten „Consumer“-Bereich, etwa bei Laptops, Kameras und Mobiltelefonen, ist Asien der weltweit führende Standort. Auf dieser Basis hat sich dort auch eine Batterieproduktion für Elektrofahrzeuge etabliert.

„Auf die Batterie entfällt der größte Teil der Wertschöpfung bei Elektrofahrzeugen. Die Batteriezellenproduktion wird derzeit von asiatischen Industrie- und Schwellenländern dominiert; deutsche Firmen spielen hier international kaum eine Rolle. Offen ist, ob bzw. wann dieser Vorsprung aufgeholt werden kann. Mittel- bis langfristig besteht für Deutschland durchaus die Chance, diesen Markt über eine bereits sehr gut aufgestellte Chemie- und Materialforschung zu erschließen.“

Prof. Dr. Martin Wietschel, stellvertretender Leiter des Competence Center Energietechnologien und Energiesysteme (CCE) am Fraunhofer ISI und Mitglied in der NPE

Traditionell ist Deutschland im Bereich Produktion stark aufgestellt, der Maschinen- und Anlagenbau ist eine der tragenden Säulen der deutschen Wirtschaft, ebenso die Chemieindustrie. Das sind gute Voraussetzungen, um in die Fertigung von Antriebsbatterien einzusteigen.

Nur eine Produktion vor Ort garantiert auch wertvolle Synergien mit den Fortschritten im Anlagen- und Produktionsbereich.

Die Batterieforschung in Deutschland hat viele Jahre ein Schattendasein geführt. Mit seinen Fördermaßnahmen seit dem Jahr 2008 ist es dem BMBF gelungen, diesem wichtigen Forschungs- und Technologiezweig neues Leben einzuhauchen und Anreize zu schaffen, neue Forschungsgruppen und Lehrstühle zu gründen und den wissenschaftlichen Nachwuchs zu sichern.

Das größte Problem der Batterie ist ihre verglichen mit Benzin nahezu hundert Mal geringere Energiedichte, die die Reichweite eines batteriebetriebenen Fahrzeugs entscheidend einschränkt. Das kann selbst durch den hohen Wirkungsgrad von Elektromotoren nicht kompensiert werden.

„Die Energiedichte der Batterien ist einer der Schlüsselparameter für die Elektromobilität in Hinblick auf eine heute noch begrenzte Reichweite und mit Konsequenzen für die Auslegung und die Nutzungsmodelle von Elektrofahrzeugen. Zwar können Entwicklungen wie Leichtbau und individuell angepasste Fahrzeugkonzepte dieser Begrenzung entgegenwirken. Um aber künftig Reichweiten wie mit einem Verbrennungsmotor zu erzielen, sind deutlich höhere Energiedichten nötig. An Hochvolt- sowie künftig zu entwickelnden Post-Lithium-Ionen-Batterien (z. B. Lithium-Schwefel, Metall-Luft) besteht die Erwartung, dass sie dazu beitragen werden, dass sich die Elektromobilität in den kommenden Jahren und Jahrzehnten nachhaltig im Transportwesen etabliert.“

Dr. Axel Thielmann, stellvertretender Leiter Competence Center Neue Technologien (CCT) am Fraunhofer ISI und Projektleiter LIB2015-Roadmapping

So kommen heute auf dem Markt befindliche Elektroautos lediglich etwa 100 bis 150 Kilometer weit. Neben der Forschung zu Produktionstechnologien liegen die Schwerpunkte der Forschungsaktivitäten deshalb im Bereich der Zellchemie, also auf der Optimierung bewährter und der Entwicklung neuer Materialien,

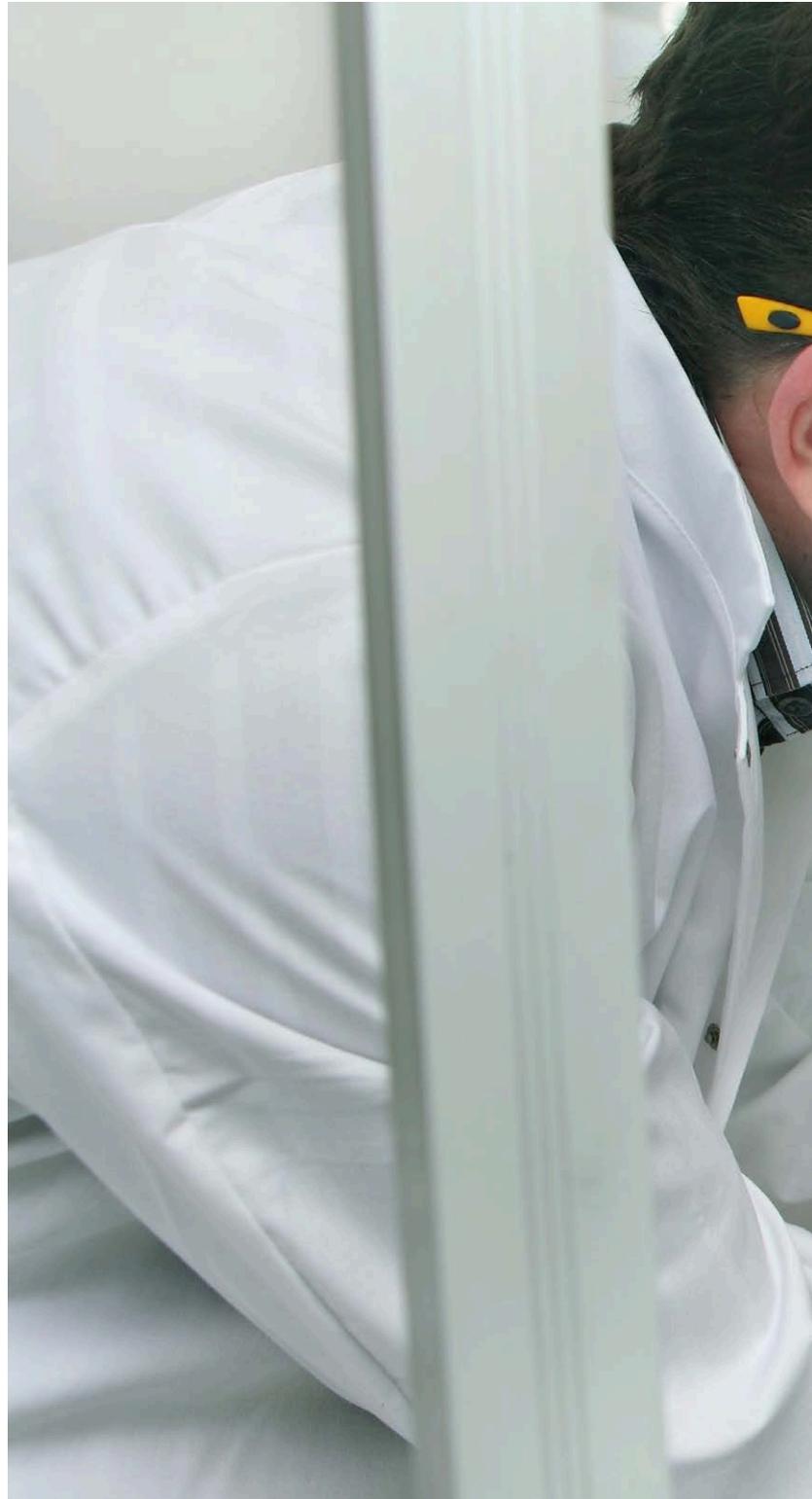


Rohstoffanalyse im Rahmen der Batteriezellenproduktion (Li-Tec Battery GmbH)

durch die sich – bei möglichst leichter Bauweise – mehr Energie speichern lässt. Zusätzlich sollen auch die Leistungsdichte für einen schnelleren Ladevorgang gesteigert und die Lebensdauer der Batterie erhöht werden. Mit 3.000 bis 5.000 Ladezyklen innerhalb von zehn bis fünfzehn Jahren soll die Lebensdauer an die der übrigen Fahrzeugkomponenten angepasst sein. Darüber hinaus müssen die Batterien im Betrieb und auch bei Unfällen sicher sein – eine große Herausforderung angesichts hoher Energien, Spannungen und zum Teil brennbarer Chemikalien. Hier kommt dem Batteriemanagementsystem, das den Ladungszustand innerhalb des Batteriesystems steuert, eine entscheidende Funktion zu.

Nicht zuletzt müssen die Kosten, die zurzeit noch rund die Hälfte der Fahrzeugkosten ausmachen, massiv gesenkt werden. Als erste Zielmarke bis 2015 gilt: doppelte Energiedichte und halbierte Kosten.

Bisher stehen Lithium-Ionen-Batterien im Fokus des Interesses. Wegen ihrer vergleichsweise hohen Energie- bzw. Leistungsdichte und Zyklfestigkeit eignen sie sich prinzipiell auch für den Einsatz in Elektrofahrzeugen. Dafür müssen sie allerdings in größeren Dimensionen und damit mit höherem Energiegehalt gefertigt werden. Der Übergang zu höheren Energien bringt aber eine Reihe von Anforderungen mit sich, vor allem hinsichtlich der Sicherheit. Die in Deutschland immer mehr Fahrt aufnehmende Batterieforschung konzentriert sich auf künftige Generationen dieser Batterietechnologie und auf die Entwicklung neuer Batteriekonzepte wie Lithium-Schwefel- oder Metall-Luft-Zellen auf Basis ganz neuer Zellchemie. In den folgenden Abschnitten werden einige BMBF-Forschungsprojekte hierzu beschrieben.



An der Beschichtungsanlage des Batterieforschungszentrums der Universität Münster – Münster Electrochemical Energy Technology (MEET) – stellen die Forscher Elektroden mit neuartigen Batteriematerialien her. (WWU/MEET)



Die Lithium-Ionen-Batterie

Ein Lithium-Ionen-Akkumulator ist ein wiederaufladbarer, elektrochemischer Energiespeicher. Seine Basis bildet die Batteriezelle. Mehrere Batteriezellen können zu Modulen zusammengeschaltet werden. Die Koordination und Steuerung der Module erfolgen durch das Batteriemanagementsystem.

„Lithium-Ionen-Batterie“ ist der Oberbegriff einer Vielzahl von Batterietypen. Sie unterscheiden sich durch die Materialien der Elektroden, basieren aber alle darauf, dass beim Be- und Entladen Lithium-Ionen, im Elektrolyt gelöst, zwischen den Elektroden hin und her wandern.

Die Elemente der Zelle

Die Kathode

Die Kathode ist die positive Elektrode (elektrischer Anschluss) und besteht aus einer Aluminium-Folie, die je nach Batterie mit verschiedenen Materialien – sogenannten Aktivmaterialien – beispielsweise aus Lithium-Metall-Oxiden (LiMeO_4) oder -Phosphaten (LiMePO_4) beschichtet ist.

Die Anode

Die Anode ist die negative Elektrode aus einer Kupfer-Folie, die meist mit Graphit beschichtet ist.

Der Elektrolyt

Im Elektrolyt sind die Lithium-Ionen gelöst und wandern von der Kathode zur Anode und umgekehrt. Er besteht üblicherweise u. a. aus einem flüssigen, organischen Lösemittel, kann aber auch als Polymer (Kunststoff) oder Keramik ausgeführt sein.

Der Separator

Er besteht aus porösem Material, häufig Kunststoff, oder einer dünnen Keramik, das nur die positiven Lithium-Ionen durchlässt; die Elektronen werden gesperrt. So trennt er die Elektroden mechanisch und elektrisch voneinander. Ein Kurzschluss wird verhindert.

Die Funktionsweise der Zelle

Zum Aufladen der Batterie (Abb. 1) wird eine Spannung an die Elektroden angelegt. In der Kathode lösen sich aus den Lithium-Metall-Oxiden positive Lithium-Ionen und negative Elektronen. Die Elektronen fließen über den äußeren Stromkreis zur Anode. Die Lithium-Ionen wandern durch den Elektrolyten zur Anode. Dort lagern sie sich in den Zwischenräumen der Graphitschicht ein (Interkalation). Dabei nehmen die Lithium-Ionen das Elektron wieder auf und verbleiben als Metall in der Zwischenschicht.

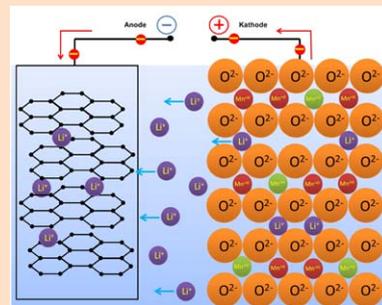


Abb. 1: Ladevorgang eines LiMnO_2 -Akkumulators; links: Graphitanode, in die Lithium-Ionen eingelagert werden; rechts: LiMnO_2 -Kathode, aus der Lithium-Ionen heraus wandern (Prof. Dr. Marco Oetken und Martin Hasselman, Pädagogische Hochschule Freiburg, Abteilung Chemie)

Beim Entladen (Abb. 2) ist ein Verbraucher angeschlossen. Das Lithium gibt das Elektron ab, geht als Ion in Lösung und wandert zurück zur Kathode, wo es sich im Kristallgitter des Lithium-Metall-Oxids mit dem Metall-Oxid und einem Elektron verbindet.

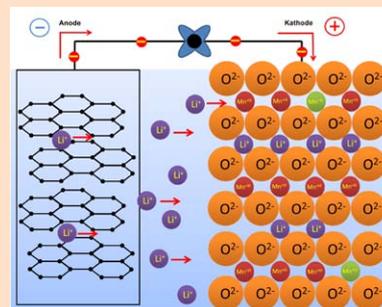


Abb. 2: Entladevorgang eines LiMnO_2 -Akkumulators; links: Graphitanode, aus der Lithium-Ionen heraus wandern; rechts: LiMnO_2 -Kathode, in die Lithium-Ionen eingelagert werden (Prof. Dr. Marco Oetken und Martin Hasselman, Pädagogische Hochschule Freiburg, Abteilung Chemie)



Einblick in das Innenleben einer Hochleistungszelle mit den beiden Elektroden-Anschlüssen oben (Fraunhofer ISIT)

Forschungsaspekte

Energiedichte erhöhen

Das bedeutet, bei möglichst geringem Volumen und Gewicht mehr Ionen in den Elektroden zu speichern. Dies kann zum Beispiel durch mehr oder aufnahmefähigeres Aktivmaterial, etwa durch den Einsatz von Nanoteilchen oder Nano-Komposit-Materialien, erfolgen. Außerdem ist ein Übergang zu Materialien, mit denen eine höhere Spannung (fünf statt bisher z. B. 3,6 Volt) möglich ist, denkbar.

„Ein Kompositmaterial ist ein Werkstoff aus zwei oder mehr verbundenen Materialien, also z. B. im Batteriebereich etwa Elektroden, die Silizium und Kohlenstoff kombinieren. Die Fähigkeit eines Materials, mehr Lithium aufnehmen zu können, bedeutet also, dass mehr Ladung und damit mehr Energie in der Batterie gespeichert wird. Der Begriff Nanopartikel beschreibt Teilchen mit einer Größe bis ca. 100 nm, die in der Batterieforschung von besonderem Interesse im Bereich der Kathoden- und Anodenmaterialien sind. Diese erlauben erhöhte Lade- und Entladeraten aufgrund ihrer im Vergleich zum Volumen erhöhten Oberfläche und zusätzlich kurzer Diffusionspfade.“

Prof. Martin Winter, Projektleiter LIB2015 und Leiter Münster Electrochemical Energy Technology (MEET), Westfälische Wilhelms-Universität Münster

Leistungsdichte erhöhen

Die Mobilität der Ionen in den diversen Materialien muss dafür erhöht werden, dass der Ionentransfer schneller geht, z. B. durch die Erhöhung der Reaktionsfläche zwischen Elektrode und Elektrolyt.

Lebensdauer erhöhen

Dies kann über die Minimierung der Reaktivität der Materialien erfolgen, was den Alterungsprozess verlangsamt. Damit einher geht auch die Erhöhung der Zyklenfestigkeit, das heißt die mögliche Anzahl der Be- und Entladezyklen.

Sicherheit erhöhen

Die Sicherheit zu erhöhen betrifft viele Aspekte. So kann einerseits die Crash-Sicherheit durch neue Konstruktionsentwürfe sowie stabilere oder flexiblere Materialien verbessert werden. Auf Zellebene bemüht man sich, auf giftige, leicht entzündliche oder explosive Chemikalien zu verzichten. Durch flexible und hochschmelzende Separatoren können Kurzschlüsse verhindert werden, und eine zuverlässige Kontrolle von Temperatur und Ladezustand schützt vor Überhitzung und Überladung.

Fertigung der Batterien

Zunächst werden die chemischen Komponenten für die anschließende Beschichtung der Elektrodenfolien gemischt. Danach werden die Elektrodenblätter aus der Folie ausgeschnitten und getrocknet. Es folgt das Fügen und Packen von Anode, Separator und Kathode, indem sie aufeinander gelegt werden. Die Zellen können nun gewickelt, gefaltet oder gestapelt werden. Danach wird das Zellpaket mit dem Elektrolyt befüllt und versiegelt. Schließlich wird die Batterie „formiert“, also zum ersten Mal geladen, indem man sie an eine Stromquelle anschließt. Zu all diesen Schritten besteht Forschungsbedarf.

Allianz für die Batterie der Zukunft (LIB2015)

Die bereits 2008 gestartete Innovationsallianz Lithium-Ionen Batterie (LIB2015) hat mittlerweile rund 60 Partner aus Wissenschaft und Industrie. Sie sollen bis 2015 künftige Generationen von leistungsfähigen und bezahlbaren Lithium-Ionen-Batterien entwickeln. Federführend ist ein Industriekonsortium von BASF, Bosch, Evonik, Li-Tec und VW. Diese Innovationsallianz deckt durch mehrere industrielle Verbundvorhaben, Institutsverbände und Nachwuchsforschergruppen das gesamte Spektrum der Forschung und Entwicklung rund um die Lithium-Ionen-Batterie ab.

Innovationsallianz LIB2015

- Laufzeit: 2008 – 2015
- BMBF-Zuwendung: rund 60 Mio. €
- Partner: rund 60 Unternehmen, Hochschulen und Forschungseinrichtungen

In der Innovationsallianz werden auf dem Gebiet der Batterieforschung u. a. neue Materialien für die Elektroden und den Elektrolyten entwickelt. Ziel dabei ist es, die Energie- und Leistungsdichte sowie Sicherheit zu erhöhen. Bei den Elektroden geht es darum, die Aufnahmefähigkeit für Lithium zu steigern. Eine Strategie ist hierbei die Herstellung der Elektroden aus Kompositmaterialien mit Nanopartikeln.

Der Übergang zu Nanostrukturen hat einerseits den Vorteil, dass die Lithium-Ionen schneller durch das Material transportiert werden können, was ein schnelleres Be- und Entladen ermöglicht. Zum anderen sind nanostrukturierte Elektroden mechanisch flexibler und können mehr Lithium aufnehmen, was den Energiegehalt erhöht. Wenn man dazu noch unterschiedliche Nanopartikel kombiniert, lassen sich die Eigenschaften der Elektrodenmaterialien durch die Zusammensetzung gut einstellen.

Im Folgenden wird auf einige Forschungsprojekte der Innovationsallianz LIB2015 eingegangen. Ausführlichere Darstellungen finden sich auf www.lib2015.de.

In grundlegenden Arbeiten in den Projekten **LIB-NANO** und **LiVe** wird untersucht, welche Partikelgrößen und -gestalten geeignet sind und wie die

Wechselwirkung mit den Elektrolyten ist. Eine hohe Reaktivität soll vermieden werden, da sie den Alterungsprozess der Batterie begünstigt. Der Einsatz von Elektrolyten aus Polymermaterialien ist eine Variante, um die Gefahr eines Kurzschlusses zu vermeiden und ein mögliches Auslaufen eines flüssigen Elektrolyten zu verhindern.

Die Eigenschaften solcher Elektrolyte und ihr Zusammenspiel mit nanostrukturierten Elektroden untersucht das Projekt **KoLiWin**. Eine BMBF-Nachwuchsgruppe beschäftigt sich mit neuartigen Gel-Polymer-Elektrolyten, die eine besonders hohe Leitfähigkeit und eine gute mechanische Stabilität aufweisen.

Auch das Projekt **HE-Lion**, das größte und umfassendste in der Allianz, widmet sich der Entwicklung von Lithium-Ionen-Akkumulatoren mit hoher Energiedichte (>300 Wh/kg). Hohe Sicherheit, lange Lebensdauer und gute Umweltverträglichkeit sind dabei ebenfalls Zielsetzung.

Ein Trend, um zu mehr gespeicherter Energie zu kommen, sind höhere Spannungen. Um Lithium-Ionen-Zellen mit einer Spannung von fünf Volt statt bisher z. B. 3,6 Volt zu bauen, entwickelt das Projekt **LiFive** neue Materialien für Kathoden und Elektrolyten. Darüber hinaus entstehen Modelle, mit denen schon in der Entwicklungsphase die Lebensdauer der Batterien vorhergesagt werden kann.

Mit größeren Fahrzeugbatterien kommen auf das Batteriemanagementsystem neue Aufgaben zu. Eine Vielzahl von Zellen, die elektrisch miteinander agieren, muss ausbalanciert werden. Die wichtigste Aufgabe ist das Regeln des Be- und Entladevorgangs. Da die Zellen keinen eigenen Überladungsschutz haben, muss ihr Ladungszustand permanent überwacht werden. Wichtig ist auch das Thermomanagement: Je nach Umgebungsbedingungen müssen die Zellen gekühlt oder beheizt werden, um die sehr Temperatur empfindlichen elektrischen Eigenschaften und das Alterungsverhalten zu optimieren. Neue Batteriemangement-Systeme werden in den Projekten **BatMan** und **Li-Mobility** entwickelt.



Ein Chemielaborant baut in einem Handschuhkasten (Glove-box) eine Lithium-Ionen-Testbatterie zusammen. Mit ihr werden verschiedene neuartige Kathodenmaterialien untersucht. (BASF)

Ganz oben auf der Agenda steht die Sicherheit der Batterien. Der Übergang zu großen Energien birgt besondere Risiken, vor allem was die Temperatur- und Ladungsstabilität angeht. Im Projekt **Li-Redox** soll der Überladeschutz der Zellen verbessert werden. Die Idee: Der Elektrolyt wird mit zusätzlichen Komponenten versehen, so dass er überschüssige Ladung aufnehmen und sie dann quasi im Kreis führen kann, damit sie nicht die Elektroden zerstört. Im Projekt **SLIB** werden standardisierte Verfahren und Vorschriften zur Sicherheitsüberprüfung der Batterien und ihrer Komponenten entwickelt.

Begleitet wird die Allianz LIB2015 durch einen Roadmapping-Prozess des Fraunhofer-Instituts für System- und Innovationsforschung (ISI). Hier wird der ökologische, ökonomische und politische Kontext betrachtet. Die aktuellen Entwicklungen des Projektes werden in die anderen, weltweiten Aktivitäten auf dem Gebiet

eingearbeitet, neue Technologiepfade identifiziert sowie Voraussagen und Szenarien für die künftige Entwicklung erstellt.

„Die ca. 60 Projektpartner der LIB2015 kooperieren aktiv in interdisziplinären Projekten, in die jeder Partner sein individuelles Know-how eingebracht hat. Dadurch haben wir Wissen erfolgreich vernetzt und gebündelt.“

Prof. Martin Winter, Projektleiter LIB2015 und Leiter Münster Electrochemical Energy Technology (MEET), Westfälische Wilhelms-Universität Münster

Kompetenzen bündeln

Hochschulforschung ausbauen

Kompetenzverbünde Elektrochemie für Elektromobilität

Laufzeit: 2009 – 2011

BMBF-Zuwendung: Nord: rund 13 Mio. €

Süd: rund 22 Mio. €

Projektpartner:

- Nord: vier Universitäten und zwei Forschungseinrichtungen
- Süd: vier Universitäten und fünf Forschungseinrichtungen

Als eine der ersten Maßnahmen zur systematischen Wiederbelebung der Batterieforschung in Deutschland initiierte das BMBF 2009 aus Mitteln des Konjunkturpakets II zwei große Kompetenzverbünde: den Kompetenzverbund Nord (KVN) um das Forschungszentrum Jülich und den Kompetenzverbund Süd (KVS) um das heutige Karlsruher Institut für Technologie (KIT). Beide Verbünde haben wichtige Beiträge geleistet, die vorhandenen Kompetenzen in der Batterieforschung an Hochschulen und Forschungsinstitutionen zu vernetzen und auszubauen. Das zeigt sich unter anderem in begonnenen gemeinsamen Forschungsprojekten, im Aufbau und der gemeinsamen Nutzung von Geräten und Anlagen und in gemeinsamen Anstrengungen um die Aus- und Weiterbildung des wissenschaftlichen Nachwuchses.

„Mit den Mitteln aus dem Konjunkturpaket wurde die apparative Ausstattung der Institute enorm verbessert. Für die Elektrochemie waren diese Maßnahmen eine Initialzündung; sie haben das Thema aus dem Dornröschenschlaf geweckt und schlagartig in viele Aktivitäten mit hoher Intensität und Wahrnehmung geführt. Jetzt heißt es dran bleiben – wissenschaftliche Erfolge lassen sich nur durch langjährige und konsequente Forschung erzielen. Zehn Jahre sind für den Aufbau einer neuen wissenschaftlichen Kompetenz kein Zeitraum.“

Prof. Dr. Werner Tillmetz, Vorstand Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW) und Sprecher Kompetenzverbund Süd

Mehr Exzellenz für die Batterie

Exzellenz und technologische Umsetzung der Batterieforschung (ExcellentBattery)

Laufzeit: 2012 – 2016

BMBF-Zuwendung: rund 28 Mio. €

In der Bekanntmachung ExcellentBattery wird die Strategie, die mit den Kompetenzverbänden begonnen wurde, mit dem Ziel fortgeführt, herausragende Batterieforschungsaktivitäten zu fördern. Dazu werden an kompetenten Institutionen Batterieforschungszentren eingerichtet, in denen mehrere Forschungsgruppen zusammenarbeiten. Das Besondere dabei: Die Gruppen sollen von international renommierten Wissenschaftlerinnen oder Wissenschaftlern geleitet werden und Kompetenzen aus Chemie, Materialforschung und Ingenieurwissenschaften verbinden. Der Transfer von Forschungsergebnissen in die industrielle Anwendung ist ein besonderes Anliegen von ExcellentBattery. Deshalb gibt es begleitende Industrieprojekte, und es wird besonderer Wert auf Patentanmeldungen und Lizenzverträge zur wirtschaftlichen Verwertung der Ergebnisse gelegt. Auch die Ausgründung von Unternehmen wird gezielt angestrebt.

Als erstes Vorhaben ist 2012 das Exzellenz-Zentrum für Batterie-Zellen an der TU München (ExZellTUM) gestartet. Sein Schwerpunkt: das Design neuer Materialsysteme, mit denen sich die Energiedichte der Batterien steigern lässt. Im Rahmen von ExZellTUM kooperieren die Lehrstühle für Elektrische Energiespeichertechnik und Technische Elektrochemie mit dem Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswirtschaften sowie mit der Forschungs-Neutronenquelle Heinz Maier-Leibnitz (FRMII). Beteiligt sind darüber hinaus die Fraunhofer-Gesellschaft, BMW, Manz Tübingen sowie TÜV SÜD Battery Testing.



Trockenraum für Batterie-Zellen (Li-Tec Battery GmbH)

Die Batterien von morgen in Deutschland fertigen

Grundlagen für die Serienproduktion von Lithium-Ionen-Batterien

Produktionsforschung für Hochleistungs-Lithium-Ionen-Batterien für Elektromobilität (ProLiEMo)

Laufzeit: 2009 – 2011

BMBF-Zuwendung: rund 20 Mio.€

Projektpartner:

- Daimler AG
- Deutsche ACCUotive GmbH & Co. KG
- Evonik Litarion GmbH
- Li-Tec Battery GmbH

Im sächsischen Kamenz nahm 2012 die erste deutsche Serienfertigung von großformatigen Lithium-Ionen-Batterien den Betrieb auf. Die Batterien für den smart fortwo electric drive werden hier seitdem mit einem von Evonik entwickelten keramischen Separator produziert. Das belegt den Erfolg des Projektes ProLiEMo, das von der Daimler AG koordiniert wurde. Zusammen mit den Zell- und Batteriespezialisten von Evonik Litarion, Li-Tec Battery und der Deutschen ACCUotive wurden erfolgreich die Grundlagen für eine industrielle Serienfertigung von Hochleistungs-Lithium-Ionen-Batterien erforscht und optimiert. Die vier Projektpartner bilden in Kamenz wesentliche Teile der Wertschöpfungskette ab – von der Herstellung der Zell-Komponenten (Elektroden und Separator) über die Zellfertigung bis zu den kompletten, im Fahrzeug einsetzbaren Batterien. Die Zellen sind modular aufgebaut, was zu einer erheblichen Rationalisierung der Prozessschritte und zur Steigerung des Durchsatzes geführt hat. Energieaufwand und Materialausschuss konnten signifikant gesenkt werden, damit auch die Produktionskosten.

Erprobungsplattform für Produktionstechnologien

KliB – Forschungsproduktionslinie Ulm

Laufzeit: 2012 – 2014

BMBF-Zuwendung: rund 24 Mio. €

Projektpartner:

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

Weil sich Batterietechnologien ständig weiter entwickeln und sich damit auch neue Herausforderungen an die Fertigung ergeben, unterstützt das BMBF den Aufbau einer Forschungsproduktionslinie für Musterserien von großen, fahrzeugtauglichen Lithium-Ionen-Zellen am Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW) in Ulm. Ziel ist es, systematisch Know-how für ein besseres Verständnis über Prozessführung und Verfahrensparameter zu entwickeln, um die Qualität der Zellen zu erhöhen, den Ausschuss zu minimieren und die Herstellungskosten zu senken. Materialkonzepte sollen an Musterserien erprobt, produktionstechnische Fragestellungen erforscht und Erkenntnisse zu Fertigungszeiten, Qualitätsmanagement und Sicherheit gesammelt werden. Die Forschungsproduktionslinie soll Unternehmen eine Plattform bieten, um Materialien, Komponenten oder Anlagenteile unter seriennahen Bedingungen zu testen und weiterzuentwickeln. Beraten wird das ZSW durch das Kompetenznetzwerk Lithium-Ionen-Batterien (KliB), in dem sich rund 50 Unternehmen entlang der gesamten Wertschöpfungskette und einige Forschungsinstitutionen zusammengeschlossen haben. Die Fertigstellung ist für 2014 geplant.



Zu sehen ist der Kalender, ein System aus mehreren Walzen, und die Rollenschneidemaschine für die Elektrodenherstellung aus der Forschungsproduktionslinie in Ulm. (ZSW/M. Duckek)

Im Fokus: Fraunhofer Systemforschung Elektromobilität

Elektromobilität in Deutschland muss systematisch und ganzheitlich vorangetrieben werden. Die Fraunhofer-Gesellschaft hat hierfür die Expertise von 33 Instituten zusammengebracht und in der „Fraunhofer Systemforschung Elektromobilität“ gebündelt. Unterstützt vom BMBF mit Mitteln aus dem Konjunkturpaket II haben Forscher von 2009 bis 2011 Disziplin übergreifend zusammengearbeitet. So war es möglich, alle Wertschöpfungsstufen der Elektromobilität zu betrachten und aufeinander abgestimmt zu erforschen. Am Ende standen nicht nur die Demonstratorfahrzeuge „Frecc0“ und „AutoTram“. Es wurde auch eine einzigartige Wissens- und Kompetenz-Plattform entwickelt, die als Ausgangsbasis für konkrete Produktentwicklungen in Fortführung der bisherigen und in zukünftigen Projekten mit Industriepartnern genutzt werden kann. Das BMBF förderte die Fraunhofer Systemforschung Elektromobilität mit rund 34 Millionen Euro.

Die fünf Schwerpunkte der Fraunhofer Systemforschung Elektromobilität



1 – Energieerzeugung, -verteilung und -umsetzung

Elektroautos ermöglichen es, den bevorzugt aus regenerativen Quellen erzeugten Strom sehr effizient zu nutzen. Hierfür muss ein komfortables, flexibles und schnelles Laden und eine bedarfsgerechte Verteilung der Energie innerhalb des Fahrzeugs möglich sein.

Forschungsschwerpunkte:

- Anbindung an das Stromnetz
- Hard- und Softwarekomponenten für stationäre und mobile Ladegeräte
- Analysen zur Belastung der Stromnetze
- Modular aufgebaute Leistungselektronik
- Integrierter Einzelrad-Achsantrieb zur Steuerung eines Doppelmotors



2 – Energiespeichertechnik

Demonstratorzellen auf Basis neuer Materialien, denn Fahrleistung und Reichweite sind entscheidende Faktoren für die Akzeptanz von Elektrofahrzeugen. Hierfür spielen die Speicherung und Bereitstellung elektrischer Energie eine Schlüsselrolle.

Forschungsschwerpunkte:

- Neue Aktivmaterialien wie Core-Shell-Silizium-Kohlenstoff-Komposit für die Anode
- Neuartige Kathoden für Lithium-Schwefel-Zellen der nächsten Generation auf Basis von Kohlenstoffnanoröhrchen
- Sensorik und Elektronik zur Überwachung von Druck und Temperatur in der Zelle
- Entwicklung von modular aufgebauten und flexibel skalierbaren Batteriesystemen



3 – Fahrzeugkonzepte

Der Umstieg vom Verbrennungs- auf den Elektromotor schafft Freiraum für völlig neue Fahrzeugkonzepte, denn verteilte Motoren bedeuten Verzicht auf mechanische Übertragungselemente und somit Raumgewinn.

Forschungsschwerpunkte:

- Radnabenmotoren mit integrierter Leistungselektronik und Kühlung
- Leichte Multimaterialsysteme und Fertigungskonzepte aus Faserverbundwerkstoffen
- System für den werkstatorientierten Batteriewechsel
- Ganzfahrzeugprüfung durch vier komplementär ausgerichtete Prüfstände

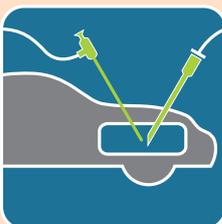


4 – Technische Systemintegration und gesellschaftspolitische Fragestellungen

Entwicklung zweier Demonstratorfahrzeuge, in denen die im Projekt entwickelten Komponenten unter dem Aspekt Gesamtsystem und realen Umgebungsbedingungen erprobt wurden.

Forschungsschwerpunkte:

- Demonstratorfahrzeug „Frecc0“ auf Basis eines Sportwagens
- Demonstratorfahrzeug „AutoTram“, eine Art schienenunabhängige Straßenbahn
- Untersuchung von Fahrzeug- und Nutzungskonzepten



5 – Funktion, Zuverlässigkeit, Prüfung und Realisierung

Elektroautos müssen in puncto Zuverlässigkeit, Sicherheit und Komfort den hohen Ansprüchen genügen, die heute für konventionelle Fahrzeuge selbstverständlich sind. Und sie müssen in der Herstellung wirtschaftlich sein.

Forschungsschwerpunkte:

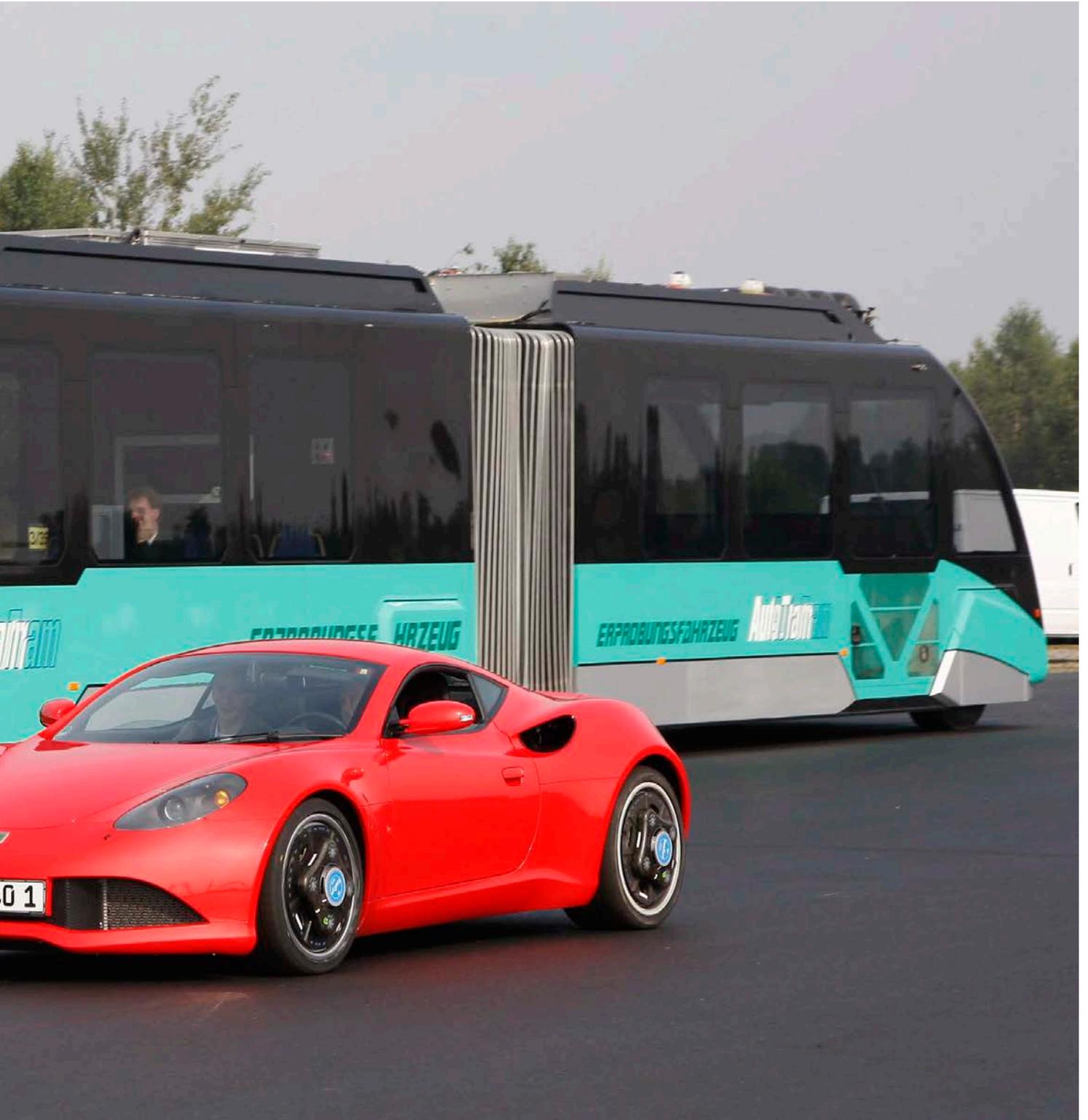
- Empfehlungen für die Weiterentwicklung von Prüfverfahren und -normen
- Bewertung der Zuverlässigkeit und Sicherheit von Komponenten
- Studien zur Verfügbarkeit von Rohstoffen und ressourceneffizienter Produktion
- Ökobilanzen, insbesondere von Batterien
- Entwicklung eines Feingussverfahrens für Motorspulen

„Die innerhalb von nur zwei Jahren erreichten Ergebnisse waren in mehrfacher Hinsicht richtungsweisend: Technisch viel beachtete Studien und Demonstratoren sind im Umfeld der Elektromobilität entstanden, und das Modell der Systemforschung hat sich als so erfolgreich erwiesen, dass es seit Anfang 2013 auch unter dem neuen Präsidenten der Fraunhofer-Gesellschaft fortgeführt wird.“

Prof. Dr. Holger Hanselka, Hauptkoordinator Fraunhofer Systemforschung und Leiter Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit LBF



Erfolgreicher Projektabschluss: Radnabenmotoren, Batteriesysteme, Ladestationen – diese und weitere wichtige Komponenten, die die Grundlagen für künftige Elektrofahrzeuge bilden, haben Fraunhofer-Wissenschaftler in zwei Jahren intensiver Forschungsarbeit entwickelt. Am 2. September 2011 gingen die Demonstratorfahrzeuge AutoTram und Frecc0 in Papenburg auf Probefahrt. (Ingo Daute)



Energieeffizienz – Wie kommen wir weiter mit dem Elektroauto?

Für einen effizienten Umgang mit der Energie ist ein optimiertes Zusammenspiel aller Komponenten im Fahrzeug unerlässlich. Das reicht von der Speicherung und Bereitstellung der Energie in den Batterien über den Hauptverbraucher, den Antriebsmotor, bis zu den Nebenverbrauchern wie Klimaanlage, Multimedia-Angebote und sonstige Komfortfunktionen.

Elektromotoren haben grundsätzlich einen wesentlich höheren Wirkungsgrad als Verbrennungsmotoren. Durch verbesserte Steuerung, Auswahl neuer Materialien und Fortschritte in der Fertigung können hier noch weitere Pluspunkte gesammelt werden.

Bei der Verteilung der Energie im Fahrzeug spielt die Leistungselektronik eine Schlüsselrolle. Mit neuen Schaltungen und innovativen Materialien sowie immer ausgeklügelteren Aufbau- und Verbindungstechniken gelingt eine weitere Miniaturisierung der elektronischen Bauteile, ein verlustärmerer Betrieb und eine präzisere Steuerung.

Elektronische Komponenten und Steuerungen spielen bereits in herkömmlichen Fahrzeugen eine immer wichtigere Rolle. Weil die elektrische Energie nun aber auch zum Radantrieb genutzt wird, kommen wesentlich höhere elektrische Leistungen ins Spiel. Ein Thema hierbei ist die elektromagnetische Verträglichkeit (EMV), also das Bemühen darum, dass sich die elektronischen Komponenten nicht gegenseitig negativ beeinflussen – trotz der elektromagnetischen Felder, die in ihnen entstehen und sie umgeben.

Nicht zuletzt ermöglichen es der Einsatz neuer Materialien und immer raffiniertere Leichtbau-Konstruktionen, in allen Teilen des Fahrzeugs Gewicht einzusparen und damit die Reichweite zu erhöhen.

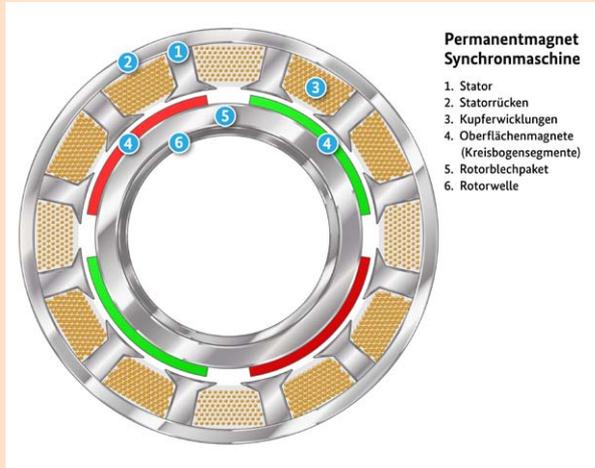
Wichtig ist: Bei allem Bemühen um Energieeffizienz dürfen Komfort, Zuverlässigkeit und Sicherheit nicht zu kurz kommen, an die die Autofahrer gewöhnt sind. Bei der Entwicklung ganz neuer Fahrzeugkonzepte werden all diese Aspekte zusammengeführt.



Der Versuchsträger des künftigen E-Fahrzeugs aus dem BMBF-Projekt Visio.M besteht die Probefahrt mit Bravour. (A. Heddergott/S. Rauchbart/TUM)



Der Elektromotor



Die Abbildung zeigt den schematischen Aufbau einer permanent-erregten Innenläufer-Synchronmaschine. (www.hybrid-autos.info)

Der Elektromotor wandelt elektrische Energie in mechanische Energie um. Er besteht aus einem feststehenden Bauteil (Stator) und einem drehbaren Teil (Läufer oder Rotor). Es gibt verschiedene Konzepte für Elektromotoren. Für Elektrofahrzeuge haben sich vorläufig Asynchron- und Synchron-Maschinen durchgesetzt.

Stator und Rotor

Der Stator ist ein metallischer Körper mit Paketen von Stromleiterwicklungen (z. B. Kupferdraht). Diese Statorwicklungen sind beim Synchronmotor und Asynchronmotor gleich. Die Leitungswicklungen des Stators werden von Drehstrom – dreiphasigem Wechselstrom – durchflossen.

Durch den variierenden Wechselstrom und durch die Anordnung der Wicklungen entsteht ein Magnetfeld, das im Stator quasi im Kreis wandert. Dieses Magnetfeld „drückt“ beziehungsweise „zieht“ den drehbar gelagerten Rotor, wodurch eine Kreisbewegung entsteht.

Was passiert beim Synchronmotor?

Der Rotor hat ein statisches, festes Magnetfeld, entweder durch einen Permanentmagnet oder durch eine von Gleichstrom durchflossene Wicklung. Dieser Magnet wird nun vom Drehfeld „mitgezogen“ und dreht sich dann exakt mit der Drehzahl des Drehfelds.

Was passiert beim Asynchronmotor?

Hier ist der Rotor quasi ein Käfig aus Metallstäben (ein so genannter Käfigläufer) meist ohne weiteren elektrischen Anschluss. Dieser Käfig wird vom herumwirbelnden Magnetfeld erfasst. In seinen Stäben entsteht dadurch ebenfalls ein Strom. Dieser Strom erzeugt wiederum ein Magnetfeld, das den Läufer ins Rotieren bringt. Dabei eilt der Rotor dem Stator-Magnetfeld immer etwas hinterher – daher der Name Asynchronmaschine.

Steuerung des Motors

Die Steuerung des Motors sorgt dafür, dass der Gleichstrom aus der Batterie in den für den Stator benötigten Drehstrom umgewandelt wird.

Über Amplitude und Frequenz des Stroms werden letztlich das Drehmoment und die Drehzahl des Motors gesteuert und damit die Kraft des Antriebs. Die Eigenschaften des Motors werden auch durch die Form von Rotor und Stator beeinflusst, weil sie Auswirkungen auf das Magnetfeld haben.

Asynchron- versus Synchron-Maschine

Der mit Permanentmagneten bestückte Synchronmotor ist kompakt und hat einen hohen Wirkungsgrad. Die Magnete sind jedoch teuer, und der Motor ist vergleichsweise schlecht zu regeln. Der Asynchronmotor hat Vorteile bei den Kosten und der Regelbarkeit, benötigt aber auch mehr Platz. Den idealen Motor und die ideale Steuerung gibt es noch nicht.

Heutige Technologien wurden häufig nach den Anforderungen für den stationären Betrieb konstruiert. Das Anforderungsprofil eines elektrischen Antriebs mit wechselnder Drehzahl und Last sowie häufigem Umschalten zwischen Motor- und Generatorbetrieb bei höchstem Wirkungsgrad erfordert neue Konzepte. Neuartige Motor- und Regelungskonzepte sind daher Gegenstand zahlreicher Forschungs- und Entwicklungsvorhaben.

Doppelmotor, Doppelantrieb oder Twin Drive

Mitunter werden als Elektroantrieb sogenannte Doppelmotoren eingesetzt – zwei Elektromotoren, die gemeinsam eine Achse antreiben.

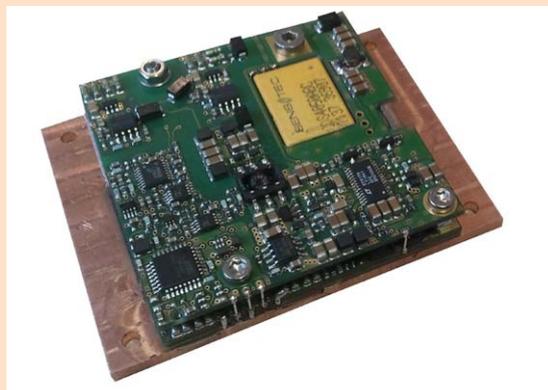
Von „Doppelantrieb“ ist die Rede, wenn zwei Motoren ein Aggregat oder Fahrzeug antreiben oder wenn Elektromotor und Verbrennungsmotor in einem Hybrid-Fahrzeug kombiniert werden. Statt von „Doppelantrieb“ spricht man häufig auch von „Twin Drive“.

Leistungselektronik

Moderne Leistungselektronik sorgt dafür, dass Windräder ihren Strom ins Netz einspeisen, Straßenbahnen fahren und Kühlschränke effizient arbeiten können. Als „Energieschaltzentrale“ spielt sie in nahezu jedem Bereich des täglichen Lebens eine wichtige Rolle. In Elektrofahrzeugen übernimmt sie die Verteilung der Energie, passend für die verschiedenen Verbraucher. Hierbei spielt nicht nur die Nennleistung eine wichtige Rolle, sondern es geht immer mehr darum, große Leistungen auf möglichst kleinem Bauraum und mit möglichst niedrigem Gewicht zu realisieren.

„Die Herausforderungen bestehen zum einen in einer Maximierung der Energieeffizienz. Mit der Erhöhung des Wirkungsgrads der Leistungselektronik wird gleichzeitig auch die Verlustleistung reduziert und damit die Wärme, die aus dem System per Kühlung abgeführt werden muss. Die Leistungselektronik muss robust, zuverlässig und sicher sein, zudem kompakt, um Volumen und Gewicht zu sparen – Punkte, die gerade bei mobilen Anwendungen eine Rolle spielen. Ein weiterer wichtiger Gesichtspunkt ist die so genannte Systemintegration, d. h. die Unterbringung der Leistungselektronik direkt am Wirkort, z. B. auf dem Motor. Lange Kabel zwischen einem Gehäuse mit Elektronik und den mechanischen Teilen erhöhen nur die Störanfälligkeit, das Gewicht und den Kupferverbrauch. Und ein zentraler Punkt, der natürlich besonders unsere Industriekunden interessiert, ist die Kosteneffizienz.“

Dr. Martin März, stellvertretender Leiter Fraunhofer-Institut für Integrierte Systeme und Bauelemente-technologie IISB



Spannungswandler der neuesten Generation – klein und effizient (Fraunhofer IISB)

Bremseenergie rückgewinnung (Rekuperation)

Elektromotoren können auch als Generatoren betrieben werden. Wenn sich der Rotor dreht, wird in den Wicklungen des Stators Strom erzeugt, der – in Gleichstrom umgewandelt – in die Batterie zurückgespeist werden kann. Beim elektrischen Bremsen wird vom Motorbetrieb in den Generatorbetrieb geschaltet. So wird Rotationsenergie in Strom umgewandelt. Die Stärke der Bremswirkung kann durch die Regelung des abfließenden Stromes beeinflusst werden.



Elektromotoren-Montage (Robert Bosch GmbH)

Effiziente Antriebstechnologien

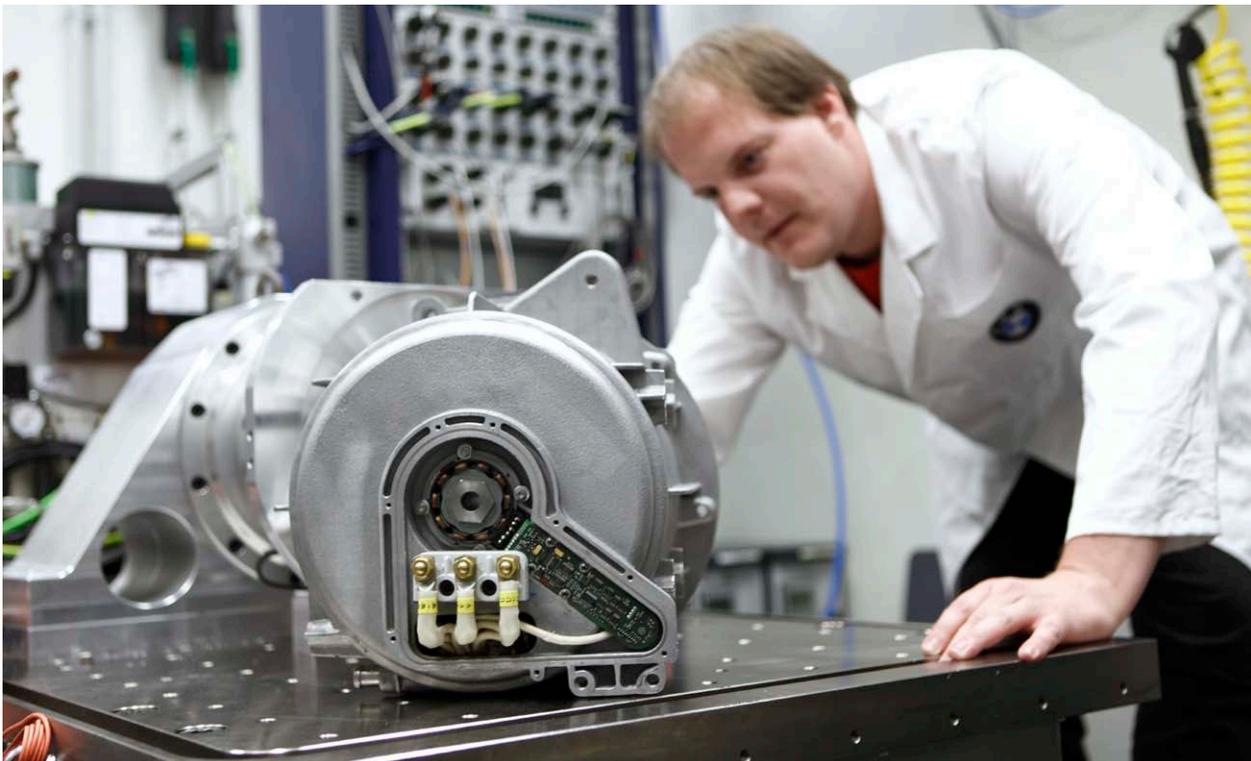
Der Elektromotor ist dem Verbrennungsmotor grundsätzlich überlegen. Er hat einen wesentlich höheren Wirkungsgrad von über 90 Prozent. Und er lässt sich – mit der entsprechenden Leistungselektronik – schneller und präziser steuern. Das führt beispielsweise dazu, dass schneller beschleunigt werden kann.

Elektromotoren sind sehr robust, haben eine hohe Lebensdauer, bringen geringe Wartungskosten mit sich, sind sehr gut an den benötigten Leistungsbedarf anpassbar und sehr leise. Sie leisten in verschiedenster Ausführung seit Langem in allen Bereichen der Industrie und auch zum Antrieb von Schienenfahrzeugen ihren Dienst.

Für den Einsatz in Autos stehen die weitere Verbesserung der Wirkungsgrade sowie die Weiterentwicklung unterschiedlicher Motorkonzepte – Asynchronmotor, Synchronmotor mit und ohne Permanentmagneten – auf der Agenda der Forscher.

Weil Elektromotoren vergleichsweise klein und flexibel sind, gibt es ganz verschiedene Möglichkeiten, sie im Fahrzeug zu positionieren. Das wiederum hat entscheidenden Einfluss auf die gesamte Architektur des Fahrzeugs. Neben einem zentralen Motorblock wie bisher ist es möglich, den Antrieb auf zwei kleinere Motoren in jeder Achse zu verteilen oder auch jedes Rad mit einem eigenen Antrieb zu versehen. Dies kann – die Beherrschung einer aktiven und zuverlässigen Regelung vorausgesetzt – zu einem deutlich stabileren Fahrverhalten und damit zu mehr Sicherheit für den Autofahrer führen.

Überhaupt liegt auf der Steuerung des Antriebs ein Schwerpunkt, wenn es um die Optimierung geht. Bezüglich der Hardware interessieren zum Beispiel neue Werkstoffe für stärkere Magnete oder leichtere Materialien. Forschungsbedarf gibt es auch bei der Kombination von Elektromotor mit Verbrennungsmotor oder Brennstoffzelle, als Hybrid-Motor oder Range-Extender, also Reichweitenverlängerer. In den folgenden Abschnitten werden zu den genannten Themen einige Forschungsprojekte vorgestellt.



Elektroantrieb auf dem Prüfstand (BMW AG)

Geschickt gewickelt

Hochflexible Produktionssysteme für effizienzgesteigerte Traktionsantriebe (HeP-E)

Laufzeit: 2012 – 2015

BMBF-Zuwendung: rund 4 Mio. €

Projektpartner:

- BMW AG
- ESSEX Germany GmbH
- Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg (Lehrstuhl für Fertigungsautomatisierung und Produktionssystematik (FAPS))
- Otto Rist GmbH & Co. KG
- Scansonic MI GmbH
- Technische Universität München (Lehrstuhl für Hochspannungs- und Anlagentechnik (HAS) und Lehrstuhl für Umformtechnik und Gießereiwesen (utg))
- Weinmayr GmbH

Kupferspulen gehören zu den Kernkomponenten aller Elektromotoren. Durch diese gewickelten Leiter baut sich bei Stromfluss das Magnetfeld auf, das den Rotor in Bewegung setzt. Weil die Stärke und Form des Magnetfelds den Lauf des Motors – seine Leistungsdichte und seinen Wirkungsgrad – stark beeinflussen, ist die Qualität der Kupferwicklungen entscheidend für die Qualität des Motors. Im Projekt HeP-E entwickeln vier Unternehmen und drei Universitätsinstitute unter Federführung von BMW innovative Produktionsmethoden für die Kupferspulen. Sie setzen auf den Einsatz von Robotertechnologie, um den Kupferdraht dichter und gleichmäßiger in den Motor einzubringen. Das verbessert auch die Isolationsfestigkeit der Wicklungen untereinander. Die Kontaktierung der Stromführenden Leitungen innerhalb des Elektromotors soll durch Roboter gestütztes Laserschweißen verbessert werden. Durch den Einsatz der automatisierten Fertigungskonzepte wird die Qualität der Spulen und damit die Qualität der Motoren reproduzierbar gesteigert.

Neue Magnete für den Motor

Suche nach neuen hartmagnetischen Phasen mit hoher Energiedichte (REleaMag)

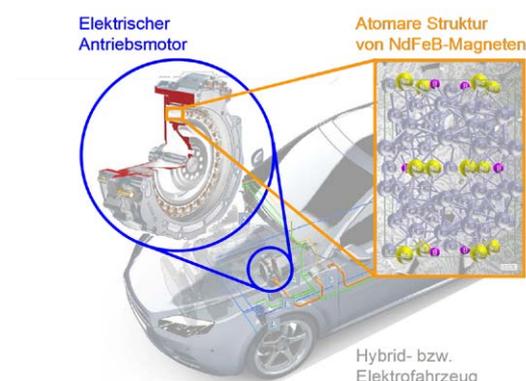
Laufzeit: 2011 – 2014

BMBF-Zuwendung: rund 2 Mio. €

Projektpartner:

- Hochschule Aalen
- Magnetfabrik Bonn GmbH
- Max-Planck-Institut Stuttgart
- Robert Bosch GmbH

Magnete sind eine Schlüsselkomponente von Elektromotoren. Sie sollen aus Werkstoffen bestehen, die eine möglichst starke magnetische Wirkung haben, damit sie kompakt und leicht gebaut werden können. Die derzeit leistungsstärksten, industriell nutzbaren Dauermagnete werden auf Basis von Neodym-Eisen-Bor (NdFeB) hergestellt. Das Problem: Neodym gehört zu den Seltenerd-Metallen, die zwar nicht so selten sind, wie der Name vermuten lässt, deren weltweite Produktion zurzeit aber zu 97 Prozent in China angesiedelt ist. Das führt zu einer starken Abhängigkeit und birgt ein hohes Risiko für Preisschwankungen bei den ohnehin schon sehr hohen Materialkosten. In dem Verbundprojekt REleaMag wollen Forscher von Robert Bosch, der Magnetfabrik Bonn, des Max-Planck-Instituts Stuttgart und der Hochschule Aalen alternative magnetische Materialien entwickeln, die weniger Seltenerd-Metalle enthalten und die möglicherweise noch bessere magnetische Eigenschaften besitzen. Hierfür entwickeln sie effiziente systematische Suchmethoden.



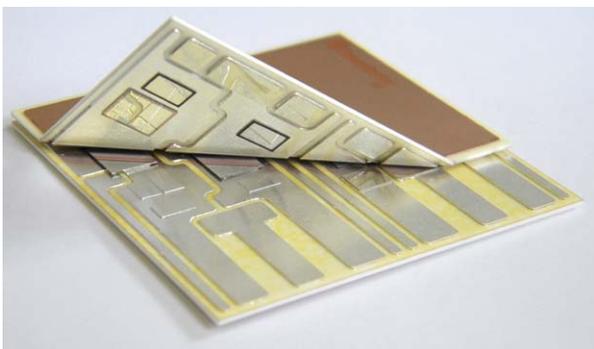
Seltenerd-Verbindungen im Elektromotor (Robert Bosch GmbH)

Intelligente Leistungselektronik für das Energiemanagement

Leistungselektronische Steuergeräte und Energiewandler sorgen dafür, dass alle Komponenten des Fahrzeugs mit der gewünschten elektrischen Energie versorgt werden: Sie wandeln Gleichspannung in Wechselspannung und umgekehrt, transformieren die Spannungen auf das benötigte Niveau und dosieren die Energie für Antrieb und andere Verbraucher. So fungieren sie auch als Bindeglied zwischen Batterie und Motor.

Auch bei leistungselektronischen Bauteilen geht der technologische Trend zu steter Miniaturisierung bei steigenden Leistungen. Das wird möglich durch den Einsatz neuer (Halbleiter-) Materialien und neuer Aufbau- und Verbindungstechniken für die elektronischen Bauteile sowie durch innovative Schaltungen und Bauteile.

Eine wesentliche Herausforderung für die weitere Miniaturisierung stellen die thermischen Wechselbelastungen dar, denen die Bauteile ausgesetzt sind – einerseits durch die Umgebungsbedingungen im Fahrzeug, andererseits durch die Verlustwärme, die bei den elektrischen Leit- und Schaltvorgängen in den Leistungshalbleitern selbst entsteht. Sie muss durch aufwändige Kühlkörper, Wasserkühlung oder Gebläse abgeführt werden, damit sie die Materialien nicht schädigt oder sie vorzeitig altern. Die Forschungen gehen nicht nur dahin, die Kühlung zu optimieren, sondern auch die Energieverluste selbst zu reduzieren. Nur so können die hohen Anforderungen an Zuverlässigkeit, Kosten und lange Lebensdauer erfüllt werden.



Im Projekt UltiMo entwickelter Versuchsträger, Teil eines ultrakompakten Leistungselektronikmoduls (Fraunhofer IISB)

Effizient gesteuert

Ultrakompaktes Leistungs-Modul höchster Zuverlässigkeit (UltiMo)

Laufzeit: 2010 – 2013

BMBF-Zuwendung: rund 4 Mio. €

Projektpartner:

- ANCeram Aluminium Nitride Ceramics GmbH & Co. KG
- BLZ Bayerisches Laserzentrum Gemeinnützige Forschungsgesellschaft mbH
- Conti Temic microelectronic GmbH
- curamik electronics GmbH
- Daimler AG
- Danfoss Silicon Power GmbH
- Fraunhofer-Institut für Integrierte Systeme und Bauelementetechnologie IISB
- Fraunhofer-Institut für Siliziumtechnologie ISIT
- Fraunhofer-Institut für Zuverlässigkeit und Mikrointegration IZM
- Volkswagen AG
- W.C. Heraeus GmbH

Der Elektromotor wird über ein leistungselektronisches Modul gesteuert, das z. B. in die Antriebsachse integriert werden kann. Diese Geräte sollen möglichst klein und leicht werden und auch unter den harten Umgebungsbedingungen im Automobil – Temperaturen von -40 bis +125 Grad Celsius sowie starke Vibrationen – zuverlässig funktionieren. In dem Projekt UltiMo entwickeln Forscher unter Koordination von Continental und unter Beteiligung mehrerer Fraunhofer-Institute, Daimler, Volkswagen und anderer Unternehmen hierfür einen Demonstrator mit völlig neuem, besonders effizientem Modulkonzept. Dessen Clou ist eine beidseitige Kühlung der thermisch hoch belasteten Leistungshalbleiter.

Bisher fiel eine Seite der Bauteile für eine Kühlung aus, weil sie für die Kontaktierung mit Aluminium-Drahtbonds gebraucht wurde. Durch die Entwicklung einer neuartigen, flächigen Verbindungstechnik, die gleichzeitig eine Kühlung ermöglicht, kann die Wärme nun auf beiden Seiten und damit besonders effizient abgeführt werden. Das bringt weitere Vorteile mit sich: Die Halbleiterbauteile können stärker belastet werden,

so dass weniger davon gebraucht werden. Dadurch können Materialmenge und Kosten sowie das Bauvolumen der Module erheblich gesenkt werden.

Robust und weniger Verlust

Kompakte Elektronikmodule mit hoher Leistung für Elektromobilität, Antriebs- und Beleuchtungstechnik (ProPower)

Laufzeit: 2012 – 2014

BMBF-Zuwendung: rund 17 Mio. €

Projektpartner:

- ANDUS ELECTRONIC GmbH LEITERPLATTEN TECHNIK
- Audi AG
- Danfoss Silicon Power GmbH
- eesy-id GmbH
- F & K DELVOTEC Bondtechnik GmbH
- Forschungs- und Entwicklungszentrum Fachhochschule Kiel GmbH
- Fraunhofer-Institut für Integrierte Systeme und Bauelementetechnologie IISB
- Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg
- GÖPEL electronic GmbH
- Heraeus Materials Technology GmbH & Co. KG
- Heraeus Precious Metals GmbH & Co. KG
- Hofmann Leiterplatten GmbH
- Infineon Technologies AG
- OSRAM AG
- Siemens AG
- SEHO Systems GmbH
- Sondervermögen Großforschung beim Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
- Technische Universität Berlin
- Technische Universität Dresden
- VIA electronic GmbH



Prüfprozess bei Leistungselektronik-Bauteilen (BMW AG)

Zurzeit entsprechen die leistungselektronischen Bauelemente im Batterie- und Motorbereich, was ihren benötigten Einbauraum und ihre mögliche Zuverlässigkeit angeht, noch nicht den Anforderungen der Hersteller. In dem großen Verbundprojekt ProPower sollen diese Herausforderungen entlang der gesamten Wertschöpfungskette angegangen werden. 21 Partner aus Industrie und Wissenschaft arbeiten unter Federführung von Siemens zusammen – vom Bauteil-Lieferanten bis zum Automobilhersteller.

Vorrangiges Ziel ist es, auf eine aktive Kühlung der Leistungsmodule so weit wie möglich zu verzichten. Hierzu verfolgen die Forscher zwei Strategien: Zum einen sollen die Bauteile effizienter werden, so dass die Verlustwärme verringert wird. Zum anderen gilt es, die Leistungselektronik selbst robuster zu gestalten, damit sie die hohen Temperaturen in miniaturisierten Baugruppen ohne Schaden überstehen kann.

Zuverlässigkeit

Elektronik ist nicht gleich Elektronik. Im Unterschied zum konventionellen Fahrzeug fließen in Elektroautos deutlich höhere Ströme: Der Betrieb des Elektromotors verlangt, dass Ströme mit einer Stärke von über 250 Ampère bei Spannungen von mehr als 400 Volt schnell geschaltet werden können. Hierbei entstehen vergleichsweise starke elektromagnetische Felder.

Elektromagnetische Felder können andere elektronische Bauteile in der Umgebung negativ beeinflussen – sowohl über die Leitungen als auch durch Ausbreitung im Raum. Darunter kann vor allem die Bordelektronik leiden, die nur mit Spannungen von wenigen Volt und Strömen im Bereich von Milli-Ampère betrieben wird. Deshalb reagiert sie bereits empfindlich auf kleinste Störungen. Dieses Problems nehmen sich auch vom BMBF geförderte Projekte an.

Störungsfreie Stromer

Elektromagnetische Zuverlässigkeit und elektronische Systeme für die Elektromobilität (EM4EM)

Laufzeit: 2011 – 2014

BMBF-Zuwendung: rund 7 Mio. €

Rahmen: Eureka-Cluster CATRENE

Projektpartner:

- Audi AG
- Conti-Temic microelectronic GmbH
- Daimler AG
- ELMOS Semiconductor AG
- Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg
- Infineon Technologies AG
- Leibniz Universität Hannover
- NXP-Semiconductors Germany GmbH
- Robert Bosch GmbH
- Technische Universität Dortmund
- Zuken EMC Technology Center

Bleche und elektronische Filter sind beliebte Maßnahmen, um Elektronik vor störenden Feldern abzusichern. Sie erhöhen jedoch sowohl die Kosten als auch das Gewicht des Autos, nicht zuletzt zulasten der Reichweite. Um hierfür alternative Strategien zu entwickeln,

haben sich unter Koordination von Audi Autohersteller, Zulieferer, Schaltkreishersteller und Universitäten aus acht europäischen Ländern im Verbundprojekt EM4EM zusammengeschlossen. Sie wollen zunächst das elektromagnetische Störpotenzial erfassen und modellieren, um eine Simulationsplattform für die elektromagnetische Zuverlässigkeit zu entwickeln. Damit soll es möglich werden, das Problem auf allen Ebenen zu analysieren und Lösungen zu finden – vom kleinsten Element, dem Schaltkreis, über die Leiterplatte, die Komponenten, Steuergeräte und die Kabel bis hin zum Gesamtfahrzeug.

Auswirkungen sind auch auf Form und Materialauswahl der Karosserie zu erwarten. Positive Effekte können einerseits über die richtige Positionierung der Bauteile im Fahrzeug erzielt werden. Andererseits sollen Entwurfs- und Designrichtlinien für Elektronik entwickelt werden, die weniger Störungen produzieren und weniger störanfällig sind. Weiteres Ziel des Projektes ist die Einführung eines einheitlichen europäischen Masterstudiengangs zum Thema elektromagnetische Zuverlässigkeit.



Systemarchitektur der Bordelektronik im Audi e-tron. Die Komponenten des Bordnetzes, die im Projekt betrachtet werden, sind farblich markiert. (Audi AG)

Leichtbau

Indem man das Gewicht des Autos reduziert, kann man den Energieverbrauch wesentlich minimieren, zumal die Batterie selbst hierbei ein gewichtiger Faktor ist. Die Prinzipien des Leichtbaus, die bereits heute in einzelnen Fahrzeugteilen im Automobilbau angewandt werden, sollen auch für Elektroautos konsequent eingesetzt werden.

Gewichtsreduzierung bedeutet zunächst, leichte Materialien wie Magnesium-Legierungen, spezielle Stähle oder Kohlefaserverbundwerkstoffe für die Automobilproduktion weiter zu ertüchtigen. Die Werkstoffe müssen für ihre bestimmten Aufgaben optimiert werden: Je nachdem, ob sie für die Karosserie oder das Fahrgestell eingesetzt werden, müssen sie anderen Anforderungen genügen, z. B. in puncto Sicherheit. Letztlich müssen sie auch in der geeigneten Form kostengünstig in Massenfertigung herstellbar sein. Hier gibt es beispielsweise hinsichtlich Zerspanungs- oder Fügeverfahren, aber auch bei der maschinellen Handhabung der Materialien, besonders bei Kohlefaserverbundwerkstoffen, noch eine Reihe von Problemen zu lösen.

Handling für Hohlkörper

Verfahren zur Herstellung großvolumiger, funktionalisierter und hoch belastbarer Verbundhohlkörper (TwinOSheet)

Laufzeit: 2011 – 2014

BMBF-Zuwendung: rund 2 Mio. €

Projektpartner:

- Audi AG
- bielomatik Leuze GmbH + Co. KG
- Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg
- Jacob Plastics GmbH
- LANXESS
- Neue Materialien Fürth GmbH
- Schaumform GmbH
- Siebenwurst Modell- und Formenbau GmbH

Ein Grund für die bisher noch geringe Verbreitung von Faserverbundwerkstoffen in Massenanwendungen ist ihr hoher Preis, der wesentlich durch die aufwändige Herstellung von Faserverbundbauteilen verursacht

wird. Basis dieser Bauteile sind extrem belastbare Textilmatten, die beispielsweise aus Kohlefasern gewebt sind. Sie werden in eine Form gelegt, mit Epoxidharz begossen und ausgehärtet. Diesen Prozess zu automatisieren, ist noch immer schwierig, denn die Textilmatten verrutschen leicht und sind sehr schwer zu greifen. Von ihrer exakten Ausrichtung hängen aber wesentlich die guten Eigenschaften des Materials ab.



Nach dem TwinOSheet-Verfahren hergestellter Probekörper (bielomatik Leuze GmbH + Co. KG)

Die acht Projektpartner um den Anlagen- und Maschinenbauer bielomatik Leuze wollen ein großserientaugliches Verfahren zur Herstellung von Hohlkörpern aus Faserverbundwerkstoffen entwickeln, wie sie beispielsweise für hohle Sitzschalen, eine Motorkapselung oder Hohlträger für die Karosserie eingesetzt werden können.

Sie entwerfen und simulieren geeignete Formen und den Aufbau für die Bauteile. Wesentlich für die Produktion sind die Entwicklung geeigneter Handling- und Greifersysteme für die Verbundwerkstoffe sowie das Herstellen und Verschweißen von zwei oder mehreren Schalen. Aus ihnen wird der Hohlkörper zusammengesetzt. Auch hier kommen Simulationsverfahren zum Einsatz. Von besonderer Bedeutung sind Temperatur und Druck bei der Verarbeitung und ein Verfahren, mit dem anschließend die Qualität der Verbundnähte überprüft werden kann. Begleitend werden Energie- und Materialeinsatz evaluiert, um die Produktion möglichst effizient zu gestalten.

Komfort

Schwitzen am Steuer oder Bibbern auf dem Beifahrersitz – das muss auch im Elektroauto nicht sein. Denn ein angenehmes Raumklima erhöht den Fahrkomfort erheblich. Und der soll beim Elektroauto dem Gewohnten in nichts nachstehen.

Alle Extras, die das Fahren komfortabler machen, sei es die Klimaanlage, automatische Bedienelemente, die Musikanlage oder andere Mediennutzung, müssen aus der – begrenzten – Energie der Batterie gespeist werden. Zugunsten der Reichweite gilt es daher, auch hierfür alternative, sparsame Konzepte und Technologien zu entwickeln – ohne den Komfort einzuschränken.

Wohl temperiert

Innovative Klimatisierungs- und thermische Komfortkonzepte zur Optimierung der Reichweite von Elektrofahrzeugen (E-Komfort)

Laufzeit: 2011 – 2014
BMBF-Zuwendung: rund 1 Mio. €

Projektpartner:

- Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP
- P+Z Engineering GmbH
- Volkswagen AG

Nicht den gesamten Innenraum klimatisieren, sondern die Passagiere nur dort wärmen oder kühlen, wo es notwendig und ihnen angenehm ist, im Fußraum etwa oder an den Armen, das ist das Konzept des Projektes E-Komfort. Dabei lautet die Devise der Entwickler von Volkswagen, dem Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP und P+Z Engineering: Sparen ohne Komfortverlust. Denn die Klimatisierung der Fahrgastzelle ist der größte Nebenverbraucher im Auto, und man kann im Elektrofahrzeug nicht mehr die Abwärme des Verbrennungsmotors zum Heizen nutzen. Mithilfe von Computermodellen wollen die Forscher zunächst das menschliche Temperatur- und Behaglichkeitsempfinden simulieren und herausfinden, wo sie die verschiedenen Elemente der Klimaanlage am besten positionieren und wie sie am effizientesten geregelt werden können.

Dabei muss das Energiemanagement des gesamten Autos berücksichtigt werden. In Versuchen mit Probanden wird die Theorie dann überprüft. Am Ende sollen sowohl ein Behaglichkeitsmodell als auch ISO-Standards für die neuen Methoden entstehen.





Auch bei einem Elektrofahrzeug wollen die Nutzer nicht auf den gewohnten Komfort verzichten. (Fotolia)

Fahrzeugkonzepte

Ob zwei, drei oder vier Räder, ein, zwei oder vier Sitze – Elektrofahrzeuge haben viele Facetten, je nach Einsatzgebiet und Kundenwünschen. Vom flotten Flitzer für den sportlichen Fahrer bis zum wendigen Kleinwagen für den städtischen Verkehr ist alles denk- und machbar.

Stets gilt: Attraktiv ist ein Fahrzeug nur dann, wenn es ein rundum stimmiges Produkt ist, von der Leistung über den Komfort bis zum Design. Deshalb sind die Forschungen zu neuen Fahrzeugkonzepten wegweisend für den Schritt auf den Markt.

Attraktiver Kleinwagen für die Stadt



Wissenschaftliche Mitarbeiter der TU München bereiten den E-Fahrzeug-Versuchsträger des Projekts Visio.M auf eine Erprobung vor. (BMBF/Leo Seidel)

Visionäres Fahrzeugkonzept für die urbane Elektromobilität (Visio.M)

Laufzeit: 2012 – 2014

BMBF-Zuwendung: rund 7 Mio. €

Projektpartner:

- Autoliv B.V. & Co. KG
- BMW AG
- Daimler AG
- Finepower GmbH
- Hyve GmbH
- IAV GmbH Ingenieurgesellschaft Auto und Verkehr
- LION Smart GmbH
- Neumayer Tekfor Holding GmbH
- Technische Universität München

Ein Elektrofahrzeug, das extrem leicht ist und trotzdem sicher? Dass sich beides verbinden lässt, soll das Forschungsprojekt Visio.M zeigen. Wissenschaftler sowie Ingenieure führender deutscher Technologieunternehmen und der TU München arbeiten gemeinsam mit BMW als Konsortialführer und mit Unterstützung verschiedener assoziierter Partner an einem neuartigen Kleinwagen. Im Gegensatz zu bisher schon existierenden Kleinstfahrzeugen, die im Wesentlichen umgerüstete Verbrennungsfahrzeuge sind, wird hier ein vollständig neues, auf die Wünsche der Kunden und den Bedarf der Elektromobilität abgestimmtes Fahrzeug entstehen. Es soll so sicher und preiswert sein, dass es für den Massenmarkt attraktiv ist. Obwohl für derartige Kleinwagen keine hohen Sicherheitsanforderungen existieren, legen die Forscher besonderen Wert darauf, ein Sicherheitsniveau zu erzielen, das dem in gängigen Automobilen entspricht.

Die Entwickler setzen auf eine stabile Bauweise, bei der weite Teile der Karosserie aus einem Stück gefertigt sind, auf besonders leichte und stabile Karbonfaser-Kunststoffe und auf Gewichtseinsparungen bei Motor und Getriebe.

„Wir adressieren in dem Projekt gezielt den Zweitwagenmarkt und haben deshalb bewusst die Reichweite (>100 km), die Höchstgeschwindigkeit (120 km/h) und die Anzahl der Passagiere (zwei Personen) auf die Kundenbedürfnisse in diesem Markt optimiert. Diese Einschränkungen sind bei einem Zweitwagen für den Kunden akzeptabel. Mit geschickt gewählten technischen Innovationen sind wir in der Lage, das Gewicht zu senken und die Kosten auf ein Niveau zu reduzieren, das dieses Fahrzeug konkurrenzfähig zu einem vergleichbaren Auto mit Verbrennungsmotor macht. Kleine Elektrofahrzeuge wie im Projekt Visio.M sind heute schon in Deutschland beim CO₂-Ausstoß besser als vergleichbare verbrennungsmotorisch angetriebene Fahrzeuge. Hier ist Deutschland auf einem sehr guten Weg bei der Senkung des CO₂-Ausstoßes.“

Prof. Dr. Markus Lienkamp, Ordinarius des Lehrstuhls für Fahrzeugtechnik (FTM) und Leiter des Wissenschaftszentrums Elektromobilität an der Technischen Universität München



Enge Straßen, knapper Parkraum, kurze Fahrten von Tür zu Tür – auf diesem Terrain spielt der batteriebetriebene Elektro-Einsitzer Colibri seine Stärke aus. (BMBF/Leo Seidel)

Auch sonst steht die Sicherheit im Vordergrund. Dafür sorgen ein Antiblockier- und ein Torque-Vectoring-System. Durch Letzteres wird das Fahrzeug durch unterschiedliche Antriebsmomente der einzelnen Räder steuerbar. Außerdem wird teleoperiertes Fahren untersucht. Ein Versuchsfahrzeug hat erste Antriebs- und Fahrwerktests bereits erfolgreich absolviert. Im Weiteren gilt es, die neuen Technologien im Hinblick auf die Umsetzbarkeit in einer Großserienproduktion weiterzuentwickeln.

Im Einsitzer unterwegs

Umsetzung eines neuartigen Einpersonen-Elektroleichtfahrzeugs im Sinne eines Gesamtsystemansatzes (1PeFZ)

Laufzeit: 2011 – 2013

BMBF-Zuwendung: 3 Mio. €

Projektpartner:

- Altair Engineering GmbH
- B&W Fahrzeugentwicklung GmbH
- CPM Compact Power Motors GmbH
- Innovative Mobility Automobile GmbH
- Lätzsch GmbH
- Stolfig GmbH
- Technische Universität Chemnitz

„Colibri“ heißt das Einpersonenleichtfahrzeug, das von der Innovative Mobility Automobile GmbH im Verbund mit sechs Partnern entwickelt wird. Zielgruppe sind Kundinnen und Kunden in Ballungszentren. Für höchste Sicherheit und Bequemlichkeit auf engstem Raum sorgen ein neuartiges Sitzkonzept und ein Rahmen aus Magnesium als Sicherheitszelle. Mit Hilfe von Simulationen soll die Crash-Sicherheit gewährleistet werden. Für den Antrieb setzen die Entwickler auf Doppel-Elektromotoren, die sich besonders effizient steuern lassen.

Darüber hinaus wird der Einsitzer mit einem innovativen Lenk- und Bedienkonzept ausgestattet, inklusive Schnittstelle zum Smartphone. So soll auch die Anbindung an zukünftige Mobilitätsdienstleistungen ermöglicht werden.

Im Fokus: Spitzencluster Süd-West

Einer der größten regionalen Verbände für Elektromobilität ist der Spitzencluster Süd-West. Seit 2012 haben sich in ihm etwa 80 Vertreter aus Industrie, Hochschulen und Forschungsinstitutionen der Region Karlsruhe–Mannheim–Stuttgart–Ulm vernetzt, darunter international bekannte große, mittlere und kleine Unternehmen. Das BMBF fördert den Spitzencluster Süd-West mit 40 Millionen Euro.

Das Ziel der Forscher im Spitzencluster ist es, leistungsfähige, schadstoffarme und marktfähige Mobilität anzubieten. Dazu wollen sie in einer gemeinsamen Strategie Kosten reduzieren, Handhabung und Komfort verbessern sowie verschiedene Verkehrsträger und die Energieversorgung intelligent vernetzen. Sie bündeln dafür ihre Kompetenzen in den Innovationsfeldern Fahrzeugtechnik, Energie- und Versorgungstechnik, Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) und -dienstleistungen sowie dem Querschnittsfeld der Produktionstechnologie; und sie arbeiten in bereichsübergreifenden Forschungsprojekten an Lösungen für ihre strategischen Ziele.

Der Spitzencluster Elektromobilität Süd-West ist einer von fünf Spitzenclustern zu verschiedenen Themen, die in der dritten Runde des Spitzenclusterwettbewerbs des BMBF von einer unabhängigen Jury zur Förderung empfohlen wurden. Die Landesagentur für Elektromobilität und Brennstoffzellentechnologie e-mobil BW GmbH managt den Cluster.



Fahrzeugtechnologie

Für den Fahrzeugkomfort ist ein gutes Raumklima essenziell. Um möglichst wenig Batterieenergie für die Klimasysteme des Fahrzeugs aufwenden zu müssen, wird im Projekt **GaTE** ein neuartiges Thermomanagement mit kostengünstiger Wärmepumpe und erhöhtem Umluftanteil erforscht.

Zur Handhabung von Elektrofahrzeugen gehört auch die zügige und für das Werkstattpersonal sichere Wartung. Im Projekt **DINA** werden dazu Fehlerbilder analysiert und komplexe Fehlerzusammenhänge



Der Spitzencluster Süd-West umfasst die Regionen um Karlsruhe, Mannheim, Stuttgart und Ulm. (e-mobil BW GmbH)

aufgedeckt, um neue Konzepte für eine schnelle, eindeutige Fehlererkennung zu entwickeln.

Im Projekt **ELISE** wird eine Telematikplattform entwickelt, die als Schnittstelle zwischen Fahrzeug, Betreiber und weiteren Services dient. So wird es möglich, aktuelle Fahrzeug- und Umgebungsdaten wie den Ladezustand und die Position zu erfassen und zu verknüpfen.



Energietechnologie

Je bequemer das Laden für den Kunden, desto besser. Deshalb erforscht **BIPoLplus** ein Schnellladesystem, bei dem die Energie berührungslos zwischen der Ladestation und dem Elektrofahrzeug übertragen werden kann. Hierbei betrachten die Experten sowohl die Fahrzeugseite als auch die Integration des Ladesystems in das Energieversorgungsnetz.

Um die Belastung des Energiespeichers durch Nebenverbraucher wie die Klimaanlage zu reduzieren, entwickelt das Projekt **InnoROBE** kleine On-Board-Ladesysteme, die unabhängig von der Batterie zusätzliche

elektrische Energie und Wärme für solche Verbraucher bereitstellen können und damit die Reichweite erhöhen.

Zur nutzerfreundlichen Elektromobilität gehört auch das zügige Laden der Batterie in einer komfortablen Infrastruktur. Das Projekt **AUTOPLES** erforscht dafür ein neuartiges Park- und Ladesystem, bei dem Elektrofahrzeuge an Ladestationen automatisch ein- und ausgeparkt sowie geladen werden.



Informations- und Kommunikationstechnologie

Informations- und Kommunikationstechnologien ermöglichen die Vernetzung von einzelnen Fahrzeugen mit Verkehrsdaten, Flottenmanagement oder mit Bussen und Bahnen sowie mit Energiesystemen und Ladeinfrastruktur.

Im Projekt **Smart Grid Integration** werden die Herausforderungen der Elektromobilität für die Energiewirtschaft angegangen und IKT-Lösungen konzipiert, die die Ladevorgänge durch technische und tarifliche Ansätze organisieren und optimieren – auch damit es nicht zu Versorgungsengpässen kommt.

Bei **GreenNavigation** wird ein Fahrerassistenzsystem entwickelt. Es soll verbrauchsoptimierte Routen planen und eine energieeffiziente Fahrweise unterstützen, indem es Verkehrsdaten, Ladesäulen und Fahrzeugeigenschaften berücksichtigt.

Die Forscher im Projekt **eFlotte** entwickeln Verfahren und Computersysteme zum Management von E-Fahrzeugflotten und Ladesystemen. So wird es möglich, auch in gemischten Flotten den Einsatz von Benzin-, Diesel- und Elektroautos nach (Reichweiten-) Bedarf und Angebot an Fahrzeugen sowie Ladeinfrastruktur optimal zu steuern.

Elektrofahrzeuge werden eingebettet sein in neue Mobilitätsangebote, die sowohl den öffentlichen Nahverkehr als auch Car-Sharing beinhalten. Das Projekt **I-eMM** erforscht ein Konzept für eine solche ganzheitliche Art der Mobilitätsdienstleistung am Beispiel der Region Rhein-Neckar.



Produktionstechnologie

In der Produktion von Elektrofahrzeugen besteht vor allem bei den Komponenten Batterie und Antrieb noch eine Reihe von Herausforderungen hinsichtlich Kosten, Qualitätssicherheit und Skalierbarkeit der Fertigung. Schlüssel dafür sind Automatisierung, Modularisierung und Planung der Fertigungsanlagen.

Die Spezialisten im Projekt **AutoSpEM** entwickeln dazu automatisierte Greifer und Handlingsysteme für die unterschiedlichen Fertigungsschritte von Batterien.

Im Projekt **Epromo** erarbeiten Anlagen- und Maschinenbauer ein neues, modulares Fertigungs-, Montage- und Prüfkonzept für die Herstellung von elektrischen Antrieben.

Das Projekt **ProBat** will Anlagenbauern und Batterieherstellern softwarebasierte Instrumente zur Verfügung stellen, die die Planung von sicheren, effizienten und skalierbaren Anlagenlayouts ermöglichen.

„Zukunftsfähige Mobilitätslösungen werden intermodale Verkehrsketten für Menschen und Güter ermöglichen. Zu dieser Mobilitätswende trägt der Spitzencluster Elektromobilität Süd-West in erheblichem Maß bei und unterstützt dadurch die Hightech-Strategie des BMBF und des Bundes. Ziel ist die Entwicklung neuer Technologien für eine leistungsfähige, schadstoffarme und marktgetriebene E-Mobilität und ihrer Industrialisierung am Standort Deutschland. Die Zusammenarbeit von 80 Partnern aus Wissenschaft und großen Weltmarktführern, mit Mittelständlern und KMU – in den Schlüsselbranchen Automobil, Energie, IKT sowie dem Querschnittsfeld Produktion – zeichnet den Spitzencluster Elektromobilität Süd-West aus. Die vom BMBF und dem Land Baden-Württemberg geförderte Zusammenarbeit im Cluster ermöglicht es den Partnern, den Technologiewandel hin zur Elektromobilität frühzeitig gemeinsam zu gestalten.“

Franz Loogen, Clustermanager und Geschäftsführer der e-mobil BW GmbH

Ausbildung für die Elektromobilität – Der Mensch macht's

Ohne die mutigen Ideen und die Kreativität von Forscherinnen und Forschern, aber auch von Technikern und Dienstleistern wird das elektrische Fahren nicht den Alltag erobern. Hervorragend ausgebildete Fachkräfte sind deshalb der Schlüssel dafür, dass Deutschland zu einem Leitanbieter für Elektromobilität werden kann.

Die Strategie des BMBF ist es, im Rahmen von Forschungsprojekten an Hochschulen und Forschungseinrichtungen neue Arbeitsgruppen zu initiieren, in denen Studierende sowie Doktorandinnen und Doktoranden mit den spannenden Fragen rund um die Elektromobilität in Berührung kommen. Ausbildung ist ein Thema, das explizit bei allen Fördermaßnahmen in der Elektromobilität berücksichtigt wird.

„In Forschungs- und Entwicklungskonsortien wie z. B. in der Forschungsallianz LIB2015, in der über 60 Partner aus Industrie und Universitäten zusammenarbeiten, hat sich eine Reihe von Kooperationen herausgebildet. Durch den Austausch werden Synergien geschaffen, von denen beide Seiten profitieren – die Industrie und die akademischen Partner vom wissenschaftlichen Know-how und die Studierenden von einer grundlegenden und anwendungsnahe Ausbildung.“

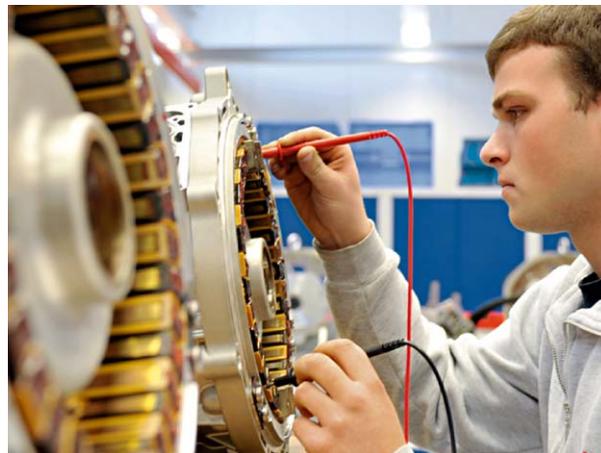
Prof. Martin Winter, Projektleiter LIB2015 und Leiter Münster Electrochemical Energy Technology (MEET), Westfälische Wilhelms-Universität Münster

Durch die Kooperation von Wissenschaft und Industrie gelingt es, den Ingenieurnachwuchs gezielt auf die Anforderungen der Berufswelt vorzubereiten und frühzeitig mit Unternehmen in Kontakt zu bringen.

Auch die Berufsausbildung muss den neuen, Disziplin übergreifenden Anforderungen der Elektromobilität Rechnung tragen. Neue Berufe wird es dafür nicht geben müssen, aber eine Weiterentwicklung der Ausbildungsinhalte. Weil viele der Beschäftigten, die künftig Elektroautos bauen und entwickeln werden,

heute schon berufstätig sind, müssen – auch in Zusammenarbeit mit Hochschulen, Handwerkskammern und Unternehmen – gezielte Weiterbildungsangebote entwickelt werden, um sie für die anstehenden neuen Aufgaben zu qualifizieren. Hier engagiert sich – mit Unterstützung des BMBF – in besonderem Maße auch das Bundesinstitut für Berufsbildung (BIBB), das im Bereich der Qualifizierung in den handwerklichen Kfz- und den Elektroberufen zahlreiche Forschungs- und Entwicklungsprojekte betreibt. Im Projekt „QuEle“ wurden beispielsweise bestehende Schulungsangebote im Kfz-Sektor untersucht, um zu ermitteln, welche Bereiche der Elektromobilitäts-Weiterbildung ausgebaut werden müssen. Auch die Modernisierung und Erweiterung von überbetrieblichen Berufsbildungsstätten, die vor allem kleine und mittlere Betriebe bei der Berufsausbildung unterstützen können, stehen im Fokus des BIBB.

Die Grundlage für einen späteren Beruf im Umfeld der Elektromobilität wird bereits in Schule und Elternhaus gelegt. Um bei jungen Leuten möglichst früh die Begeisterung besonders für technische Berufe zu wecken, unterstützt das BMBF beispielsweise Programme zur Förderung der so genannten MINT-Fächer, also Mathematik, Informatik, Naturwissenschaften und Technik. Speziell auf Mädchen und junge Frauen zugeschnitten sind die Aktivitäten beim Girls' Day. Hier wird ihnen die Möglichkeit geboten, besonders auch technische Berufe einen Tag lang live zu erleben.



Zukunft mitgestalten – Eine Ausbildung im Bereich der Elektromobilität bietet spannende Jobs. (Robert Bosch GmbH)

Nationale Bildungskonferenz



Congress Centrum Ulm am 28.06.2011: Zum ersten Mal trafen sich die Akteure der Bildung für die Elektromobilität. (Universität Ulm/E. Eberhardt)

Im Juni 2011 fand in Ulm auf Initiative der Arbeitsgruppe Ausbildung und Qualifizierung der NPE und mit Unterstützung des BMBF die Nationale Bildungskonferenz Elektromobilität statt. Hier trafen sich Akteure aus der akademischen wie beruflichen Aus- und Weiterbildung – Vertreter von Unternehmen, Handelskammern, Hochschulen, Forschungseinrichtungen, Fachschulen –, um über die Anforderungen zu diskutieren, die das Zukunftsthema Elektromobilität für den Bildungsbereich mit sich bringt. Bedarf es neuer Berufsbilder für die Elektromobilität? Sind unsere Hochschulen für das Thema gerüstet? Welche Beiträge leistet die Industrie? Dabei wurden alle Facetten des Themas betrachtet, von der Materialentwicklung über die Fahrzeugtechnik, elektrotechnische und informationstechnische Handwerke bis hin zum Servicebereich.

Klar ist, dass die aufkommende Elektromobilität bereits jetzt neue Kompetenzen verlangt. So sind generell eine größere Interdisziplinarität, ein Verständnis des Gesamtsystems und ein Denken über Branchengrenzen hinweg gefragt. Technisch spielen künftig Kenntnisse in Leistungselektronik, Elektrochemie, Batterietechnik, elektrischen Maschinen und der Umgang mit Hochvolt-Systemen eine wichtige Rolle. Die Teilnehmer der Konferenz kamen zu dem Schluss, dass es nicht nötig ist, hierfür neue Ausbildungsberufe oder Studiengänge einzurichten.

Vielmehr können die entsprechenden Inhalte als neue Ausbildungsmodule integriert werden. Auch in Hochschulen wird es vor allem darauf ankommen, bestehende Studieninhalte gezielt und besser zu vernetzen. Das erscheint auch deshalb als ein richtiger Ansatz, weil weiterhin ein Großteil der Fahrzeuge mit konventionellem Antrieb unterwegs sein wird.

„Die Nationale Bildungskonferenz hat Elektromobilität als wichtige Herausforderung für unsere Gesellschaft adressiert, möglichen Fachkräftemangel identifiziert und Handlungsempfehlungen für künftige Ausbildungsgänge und Studieninhalte spezifiziert. Die fachübergreifende Diskussion der Thematik – angefangen bei der Batterietechnologie bis hin zur gesellschaftlichen Akzeptanz moderner Mobilitätskonzepte – wirkte inspirierend auf die Teilnehmer und vermittelte eine wohltuend optimistische Aufbruchsstimmung für den Automobilstandort Deutschland.“

Prof. Dr. Karl Joachim Ebeling, Präsident der Universität Ulm, Ausrichter der Bildungskonferenz und stellvertretender Vorsitzender der NPE-Arbeitsgruppe 6 – Ausbildung und Qualifizierung



Prof. Dr. Gunther Olesch, Geschäftsführer von Phoenix Contact [l. v. re.], erläutert die Bildungsstrategien seines Unternehmens. (Universität Ulm/R. Grass)

Eine Woche für den Nachwuchs

DRIVE-E-Programm

Spannenden Vorträgen hochkarätiger Experten lauschen, in Praxis-Workshops kreativ werden, Exkursionen zu namhaften Automobilherstellern oder kleinen und mittelständischen Unternehmen machen, auch mal das dynamische Fahrgefühl in einem Elektroauto selbst erfahren – all das erwartet die Teilnehmerinnen und Teilnehmer der DRIVE-E Akademie, die seit 2010 in jedem Frühjahr stattfindet. Rund 50 Studierende technischer und naturwissenschaftlicher Fachrichtungen deutscher Hochschulen können nach Bewerbung und Auswahl durch eine Jury daran teilnehmen.

Die Akademie gehört zum ersten studentischen Nachwuchsprogramm zum Thema Elektromobilität, das das BMBF und die Fraunhofer-Gesellschaft mit DRIVE-E ins Leben gerufen haben. Die Veranstaltungsorte werden so gewählt, dass die passenden Unternehmen in der Nähe sind, ebenso wie Labors, in denen zum Thema geforscht wird und wo der wissenschaftliche Nachwuchs selbst tüfteln kann. Selbstverständlich bietet die einwöchige Veranstaltung auch reichlich Gelegenheit zur Netzwerkbildung mit anderen Studierenden und mit Vertretern aus Forschung und Industrie. So manche Geschäftsidee oder weitere Karriere ist hier schon angebahnt worden.

Höhepunkt ist in jedem Jahr die Verleihung des DRIVE-E-Studienpreises. In den Kategorien I (Studien-, Projekt-, Bachelorarbeiten) und II (Diplom-, Magister-, Masterarbeiten) werden je zwei Preise verliehen.

Eingereicht werden können Kurzfassungen von Arbeiten u. a. zu den Themen elektrischer Antriebsstrang, Energiespeicher und Energiemanagement, Netzintegration oder Fahrzeugkonzepte und Fahrstrategien. Die Bewerbung um den Studienpreis ist unabhängig von der Teilnahme an der Akademie.

„Voraussetzung für eine führende Rolle der deutschen Industrie im globalen Zukunftsmarkt Elektromobilität ist die Verfügbarkeit hochqualifizierter Fachkräfte. Ziel des DRIVE-E-Programms ist es daher, junge Talente schon während ihres Studiums für diese spannende und vielseitige Thematik zu gewinnen. Die Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses in anwendungsnahen Themengebieten ist ein wichtiges Anliegen der Fraunhofer-Gesellschaft – und das Engagement für DRIVE-E in Partnerschaft mit dem BMBF zahlt sich aus: Wir Organisatoren sind jedes Jahr begeistert von der Qualität der Bewerbungen und dem Enthusiasmus der Studentinnen und Studenten. Die gegenseitigen Anregungen und die Vernetzung zwischen den Teilnehmern schaffen wertvolle Impulse für ihren weiteren Werdegang, der nicht selten in eine berufliche Tätigkeit im Bereich Elektromobilität oder gar gemeinsame Projekte mündet. Diese personelle Basis für den nachhaltigen Erfolg Deutschlands in der Elektromobilität wollen wir auch in den nächsten Jahren weiter ausbauen.“

Prof. Dr. Lothar Frey, Leiter Fraunhofer-Institut für Integrierte Systeme und Bauelementetechnologie IISB und Mitinitiator von DRIVE-E



Bei der DRIVE-E-Akademie dreht sich eine Woche lang alles um das Thema Elektromobilität. (BMBF/Carstensen)

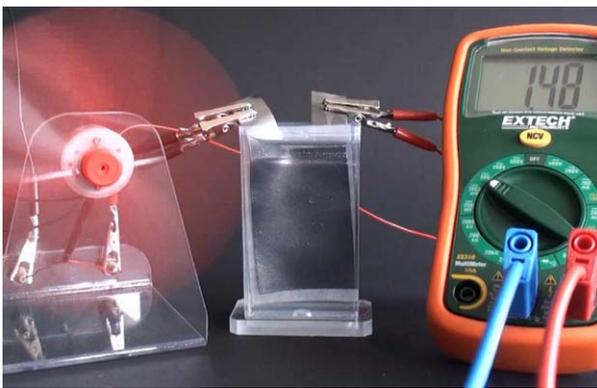


DRIVE-E 2013 in Dresden - die Karriere ins Rollen bringen (BMBF/Carstensen)

Experiment statt Theorie

Batterie-Experimentierkasten für die Schule

Das Thema Elektromobilität gehört schon in Schule und Studium – je anschaulicher und greifbarer, desto besser. Die Pädagogische Hochschule Freiburg hat zusammen mit der Aug. Hedinger GmbH und mit Unterstützung des BMBF ein Experimentierset zum Thema Lithium-Ionen-Akkumulatoren entwickelt. Um den komplexen Aufbau einer Lithium-Ionen-Batterie in eine einfache, schnell realisierbare und robuste Versuchsanordnung zu überführen, die keine giftigen Stoffe braucht und deren Funktionsweise gut sichtbar ist, haben die Projektpartner das Lithium-Ionen-Konzept etwas modifiziert.



Mit dem Batterie-Experimentierkasten können Schülerinnen und Schüler mit einfachsten Mitteln einen Lithium-Ionen-Akkumulator aufbauen. (Prof. Dr. Marco Oetken und Martin Hasselman, Pädagogische Hochschule Freiburg, Abteilung Chemie)

„Grundsätzlich sind die Universitäten gut aufgestellt. Leider gibt es in der Elektrochemie und Elektrotechnik zu wenig erfahrene Experten, die die entsprechenden Lehrstühle und Institute leiten können. Diese Defizite können nur durch langfristige, konsequente Maßnahmen gelöst werden. Entscheidend ist es, den Nachwuchs – am besten bereits an den Schulen – für die Naturwissenschaften und die Elektrotechnik zu begeistern.“

Prof. Dr. Werner Tillmetz, Vorstand Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW) und Leiter des Geschäftsbereiches Elektrochemische Energietechnologie

Autorennen elektrisch

SolarMobil Deutschland

Zehn Meter lang ist die Bahn für ein Autorennen der besonderen Art. Am Start: solarbetriebene Modellfahrzeuge der Ultraleichtklasse. Welches Fahrzeug kann die Energie der Sonne am effizientesten nutzen? Die kreativen Konstrukteure der kleinen Flitzer sind Teams aus Schülerinnen und Schülern der Klassen vier bis acht und neun bis zwölf bzw. dreizehn. Auf die Älteren wartet als besondere Herausforderung noch ein Tunnel. Und das heißt: ohne Energiespeicher keine Chance auf den Sieg.

Daneben zeigt eine Ausstellung besonders ausgefallen gestaltete Fahrzeuge, die in der Kreativklasse prämiert werden. Hier honoriert die Jury die einfallreichste Gestaltung der Fahrzeuge, die aber auch ihre Fahrtüchtigkeit beweisen müssen.



Auf kreative Ideen, aber auch auf Fachwissen kommt es an bei SolarMobil Deutschland. (BMBF/VDE)

Mobilität, regenerative Energien, Energieeffizienz – und Teamwork – stehen im Mittelpunkt des Schülerwettbewerbs SolarMobil Deutschland, der vom BMBF und dem Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik (VDE) veranstaltet wird. Seit 2010 gelingt es damit, junge Forscherinnen und Forscher für Themen rund um Solarenergie und Elektromobilität zu begeistern. Sie treten zunächst in Regionalwettbewerben an, um sich dann für das Bundesfinale zu qualifizieren. Besonders gute Poster werden außerdem prämiert.

Elektro-Erfahrung

Schaufenster Elektromobilität

Elektromobilität erfahrbar zu machen, das ist das Ziel der vier Schaufenster-Regionen, die sich in einem bundesweiten Wettbewerb qualifiziert haben. In Baden-Württemberg, Bayern-Sachsen, Berlin-Brandenburg und Niedersachsen soll erprobt und der Öffentlichkeit demonstriert werden, wie Elektroautos im Verkehrsalltag funktionieren. Das Augenmerk liegt nicht mehr nur auf dem Fahrzeug, sondern auf seiner Einbindung in das Stromnetz und in bestehende Verkehrssysteme, der Rückkopplung von Kundenwünschen und dem Entwickeln von Geschäftsmodellen und Dienstleistungsangeboten.

Ein Schwerpunkt der Schaufenster ist die Ausbildung. Im akademischen Bereich werden hochschulübergreifende und damit einheitliche Lehrveranstaltungen für bestehende Studiengänge geschaffen. So haben sich in der „Akademischen Bildungsinitiative Schaufenster Elektromobilität Bayern-Sachsen“ sechs Universitäten und Hochschulen für angewandte Wissenschaften aus beiden Bundesländern zusammengeschlossen, um neue Lehrveranstaltungen zu entwickeln. Sie sollen Vollzeitstudiengänge, berufsbegleitende Bachelor- und Masterstudiengänge, Sommerschulen und (berufsbegleitende) Fortbildungsprogramme für Fach- und Führungskräfte konzipieren. Diese Lehrkonzepte und -materialien sollen nach Abschluss deutschlandweit allen interessierten Bildungseinrichtungen zur Verfügung stehen.

Im Schaufenster „Living Lab BW^e mobil“ (Baden-Württemberg) gingen Ende 2012 die Projekte „Mobiles Schu-



Die Aus- und Weiterbildung im Bereich Elektromobilität ist ein Schwerpunkt der Schaufensterinitiative. (BMBF/Stefan Rauh)

lungszentrum Elektromobilität (MSE)“ und „Schaufenster Elektromobilität – Schauwerkstatt“ an den Start.

Im Projekt „MSE“ wird zwei Jahre lang ein mobiler Info-Container verschiedene Schultypen besuchen und Schüler und Lehrer gleichermaßen mit eigens für das Projekt entwickeltem Unterrichtsmaterial über die Elektromobilität informieren. Ziel ist es, Fragen rund um die Elektromobilität didaktisch anschaulich darzustellen und Kinder und Jugendliche für das Thema zu begeistern. Insgesamt sollen mehr als 5.000 Schülerinnen und Schüler erreicht werden. Die verwendeten Unterrichtsmaterialien sollen kontinuierlich verbessert und auch der Allgemeinheit zugänglich gemacht werden. Eine Integration in die Lehrerausbildung ist außerdem geplant.

Die „Schauwerkstatt“ richtet sich an Beschäftigte in Unternehmen, die in der Elektromobilität tätig sind. Im Projekt wird eine Musterwerkstatt für Schulungen und Veranstaltungen entwickelt, die zum Anfassen und Ausprobieren gedacht ist. Sie soll Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter über mögliche Auswirkungen auf den Arbeitsplatz informieren sowie auf Weiterbildungsmöglichkeiten und Karrierepotenziale aufmerksam machen. Außerdem werden aus den verschiedenen Themen der Werkstatt Weiterbildungsmodule entwickelt.

Das BMBF wird die Aus- und Weiterbildungsprojekte im Rahmen der Schaufensterinitiative in den nächsten Jahren mit bis zu 20 Millionen Euro unterstützen.

„Elektromobilität erfordert Ausbildungskonzepte, die weit über das Elektrofahrzeug hinausgehen. Von der Ladeinfrastruktur über die Energieversorgung bis hin zum Verkehrssystem gibt es ineinander verflochtene Bereiche. Diesbezüglich muss eine fachgerechte Aus- und Weiterbildung auf mehreren Ebenen erfolgen. Konkret werden im Schaufenster Bayern-Sachsen ELEKTROMOBILITÄT VERBINDET die drei Säulen schulische, berufliche und akademische Bildung in allen Bereichen rund um die Elektromobilität berücksichtigt.“

Steffen Thie, Koordinator Schaufenster Elektromobilität Bayern-Sachsen

Im Fokus: e performance

In drei Jahren Forschungs- und Entwicklungsarbeit entstand im Projekt e performance ein voll-elektrisches Demonstratorfahrzeug. Partner von Audi bei diesem Projekt waren Bosch, mehrere Institute der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen (RWTH) sowie andere deutsche Hochschulen und Forschungseinrichtungen. Die Forscher und Ingenieure haben dabei einen Systembaukasten entwickelt, dessen Module für diverse Konzepte elektrischer Fahrzeuge unterschiedlicher Klassen verwendet werden können. Das Projekt e performance wurde vom BMBF mit rund 22 Millionen Euro gefördert.

Genau genommen haben die Ingenieure nicht ein Auto entwickelt, sondern ganz viele – als Systembaukasten. Die Idee dieser skalierbaren Architektur: Verschiedene Module können in unterschiedlichen, elektrisch angetriebenen Fahrzeugen eingesetzt werden – je nach gewünschter Leistungsfähigkeit – vom Sportwagen über die Limousine bis zum City-Auto. Auch ein Plug-In-Hybrid-Antrieb ist möglich.



Interdisziplinäre Zusammenarbeit, wie man sie sich wünscht: Viele Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter aus Industrie und Forschung brachten das Projekt e performance im September 2012 erfolgreich zum Abschluss. (Audi AG)

Ausbildung

Der besondere Fokus des Projektes lag auf der Zusammenarbeit von Studierenden und Absolventen mit erfahrenen Experten in Unternehmen – eine kreative Mischung zur Lösung der technischen Herausforderungen.

Die Bilanz kann sich sehen lassen: 20 Diplom- und 50 Doktorarbeiten sowie zahlreiche Studien- und Bachelorarbeiten entstanden in dem Projekt e performance.

Bedienoberfläche

Als neuartige Bedienschnittstelle ist in die Mittelkonsole ein Apple iPad integriert. Per App kann der Fahrer zwischen den Fahrmodi Eco, Comfort oder Sport wählen, die Innenraumbeheizung steuern, die Art der Batterieaufladung – automatisch oder per Fernsteuerung – und die verschiedenen Antriebsarten – Front-, Heck- oder Allradantrieb quattro – bestimmen. Auch alle sonstigen Infotainment-Funktionen wie die Medienwiedergabe werden per iPad gesteuert. Mit einem Taster bestimmt der Fahrer die Fahrtrichtung und Neutral- oder Parkstellung.

Kombiinstrument

Ein individuell gestaltbares LC-Display unterhalb der Windschutzscheibe stellt alle aktuellen Fahrinformationen wie Leistungsbedarf, Energierückgewinnung beim Bremsen, Ladungsstatus der Batterie, eingelegte Fahrstufe, Energiebedarf der Nebenverbraucher und alle weiteren, über das iPad gewählten Funktionen dar.



Im Cockpit ist ein iPad (rechts) als zentrales Bedieninstrument eingebaut. (Audi AG)

Akustik

Es wird ein künstlicher Fahrzeugsound für das per se leise Elektroauto, abhängig u. a. von der Drehzahl, erzeugt. Es soll dem Fahrer und anderen Verkehrsteilnehmern die Wahrnehmung erleichtern, ein positives Fahrgefühl vermitteln und das gewohnte akustische Feedback über den Fahrzeugzustand geben.

Antriebe

Drei separat steuerbare Elektromotoren wurden eingebaut: eine Synchron-Maschine an der Vorderachse (für langsame Fahrt) und ein Twinmotor mit zwei Asynchron-Maschinen an der Hinterachse zum Dazuschalten für den Allradmodus quattro mit einer Gesamtleistung von 204 PS.



Im Projekt e performance erforshtes Antriebskonzept mit Synchronmaschine auf der Vorderachse, Doppelmotor auf der Hinterachse und der Batterie in der Mitte (Audi AG)

Batteriesystem

Das Hochvolt-Batteriesystem ist modular aufgebaut und besteht aus zwei Blöcken, die aus jeweils 200 Makrozellen auf Basis von Lithium-Ionen-Consumer-Zellen bestehen. Besonderes Augenmerk wurde auf die Crash-Sicherheit gelegt: Durch schräge Wände verschieben sich die Makrozellen im Fall eines Aufpralls gegeneinander. Hohlprofile aus Aluminium zwischen den Makrozellen können einen Großteil der Aufprall-Energie aufnehmen.

Ladegerät

Einen sicheren Ladevorgang gewährleistet ein On-Board-Ladegerät mit integrierter Ladesteuerung. Es ermöglicht besonders schnelles Aufladen der Batterie und ist dabei äußerst kompakt.

Leistungselektronik

Es wurde eine skalierbare Energieversorgung für das modulare Fahrzeugkonzept entwickelt. Zwei Gleichstrom-Wandler regeln den Batteriestrom auf ein ein-

heitliches Niveau. Das Leistungsmodul für den Twinmotor der Hinterachse ist direkt am Motorgehäuse befestigt und ermöglicht so eine sehr kompakte Bauweise. Das Leistungsmodul für die Vorderachse ist für verschiedene Motortypen nutzbar.

Thermomanagement

Besonders gut isolierende Makrolon® Polycarbonat-Scheiben senken den Heizbedarf im Innenraum. Sensoren überwachen die Luftqualität und helfen, Scheibenbeschlag zu vermeiden.

Bei den Kühlkreisläufen können die Volumenströme geregelt werden. Um die Abwärme zum Heizen zurück zu gewinnen, wurde der Kältekreislauf um eine Wärmepumpenfunktion erweitert. Der Thermomanager regelt die mehr als 40 Sensoren und 30 Aktuatoren. Energetisch günstige Betriebspunkte lassen sich unter Berücksichtigung des Bedarfs der verschiedenen Komponenten und Randbedingungen wie Sicherheit, Fahrerwünschen und Fahrdynamik einstellen.

„e performance hat einen universellen, modularen Systembaukasten hervorgebracht, mit dem es möglich ist, verschiedene Fahrzeugplattformen und Antriebsarten zu realisieren. Die daraus entstandenen Ergebnisse stellen für die bei Audi laufenden Fahrzeugprojekte einen wichtigen Erfahrungsschatz dar. Auf Grund der Fülle und Relevanz dieser Erkenntnisse wurden bereits Folgeprojekte abgeleitet.“

David Vergossen, Audi Electronics Venture GmbH

Zusammenfassung

Die Automobilindustrie steht vor einschneidenden Veränderungen. Nach mehr als einhundert Jahren Verbrennungsmotor halten alternative Antriebe wie Hybride und reine Elektromotoren Einzug. Diese Entwicklung ist getrieben vom Wissen um die Endlichkeit des Erdöls und der damit verbundenen Preissteigerungen, aber auch von den Gefahren des Klimawandels und der Umweltverschmutzung, zu denen der Autoverkehr mit seinen Emissionen beiträgt.

Nicht zuletzt vor dem Hintergrund der rasant wachsenden Automobilisierung in den Schwellen- und Entwicklungsländern, allen voran in Asien, bieten Elektromotoren eine vielversprechende Alternative zum Benzin- und Dieselantrieb. Ob als Hybrid-Variante oder rein batteriebetriebenes Fahrzeug: Elektroautos, die mit regenerativ erzeugtem Strom gespeist werden, bieten die Chance zu umweltfreundlicher, Ressourcen schonender und attraktiver Mobilität. Das haben auch die Produzenten in China, Japan und Korea sowie in den USA, aber auch die europäischen Konkurrenten erkannt.

Elektromobilität ist eine technologische Herausforderung

Will die deutsche Automobilindustrie in Zukunft Leitanbieter bleiben, muss sie auch in der Elektromobilität Spitzenleistungen zu akzeptablen Preisen liefern. Das stellt nicht nur die Auto-, sondern auch die Zulieferindustrie vor erhebliche Herausforderungen. Denn es reicht nicht, den Verbrennungs- durch den Elektromotor und den Tank durch die Batterie zu ersetzen.

Elektromobilität ist verbunden mit einer weitgehend elektronischen Steuerung des Fahrzeugs, und das erfordert eine Vielzahl neuer Komponenten, deren Zusammenspiel reibungslos, sicher und energieeffizient funktionieren muss. Elektroautos brauchen in sich schlüssige Konzepte, damit die größte Herausforderung – eine attraktive Reichweite von einigen Hundert Kilometern ohne Komforteinbußen – bewältigt werden kann. Dabei gilt: Elektrofahrzeuge sollen mindestens ein ebenso zuverlässiges, sicheres und komfortables Fahren ermöglichen wie bisherige Autos. Dafür braucht es auch eine funktionierende Infrastruk-

tur, die schnelles und kundenfreundliches Laden ermöglicht, sowie überzeugende Geschäftsmodelle. All das funktioniert nur durch die Entwicklung neuer Technologien und die Ausbildung entsprechender Fachkräfte.

Die Weichen sind gestellt

Das BMBF hat die Zeichen der Zeit erkannt und bereits seit 2008 intensiv in Forschung und Bildung für Elektromobilität investiert. Im Rahmen der Strategie der Bundesregierung, die im Elektromobilitätsprogramm von 2011 dargelegt ist und von der Nationalen Plattform Elektromobilität begleitet wird, legt das BMBF seinen Schwerpunkt auf die Forschung zu Batterie- und Energieeffizienztechnologien sowie auf die Aus- und Weiterbildung. Hierin liegt der Schlüssel, um Elektroautos auf den Markt und ins Rollen zu bringen. Dabei ist es ein zentrales Anliegen, die Kooperation zwischen Wissenschaft und Wirtschaft durch die Förderung von Netzwerken und Allianzen zu stärken. Dem interdisziplinären Charakter der Elektromobilität wird durch eine gezielte Unterstützung der Zusammenarbeit über Fächer- und Branchengrenzen hinweg Rechnung getragen. Deutschland kann dabei auf eine solide Basis bauen, sowohl was die reichhaltige Hochschul- und Forschungslandschaft und das duale Berufsausbildungswesen angeht, als auch hinsichtlich einer starken Industrie in den Bereichen Elektrotechnik, Maschinenbau und Chemie.

Schwerpunkt Batterie

Batterien sind die teuersten Einzelkomponenten künftiger Elektrofahrzeuge, und ihre Leistungsfähigkeit ist entscheidend für die Reichweite. Sie soll mittelfristig von heute 100 bis 150 auf 250 bis 300 Kilometer gesteigert werden. Die Forschung zu neuen Batterietechnologien gehört deshalb zu den Schlüsselaufgaben der Elektromobilität. Es gilt, die Energie- und Leistungsdichte der Batterien zu erhöhen, ebenso ihre Lebensdauer und die Anzahl der möglichen Ladezyklen. Wichtig ist vor allem auch, die Herstellungskosten drastisch zu senken. In BMBF geförderten Projekten wird deshalb an neuen Materialien für Elektroden, Separatoren und Elektrolyten geforscht. Besonderes Augenmerk liegt dabei auf der Sicherheit der Batterien. Sie wird nicht nur durch entsprechende Materialauswahl gewährleistet, sondern auch durch mechanische Stabilität und aktive Steuerung der Be-

und Endladevorgänge durch das Batteriemanagementsystem inklusive intensiver Sensorüberwachung.

Ein großer Teil der Projekte widmet sich der Fortentwicklung der Lithium-Ionen-Batterien, die sich bereits in ersten Elektrofahrzeugen bewähren. Weiter in die Zukunft reichen neue Batteriekonzepte, die Reichweiten von 400 Kilometern und mehr ermöglichen. Die BMBF geförderten Forschungsprojekte legen den Grundstein für weitere Technologien wie Lithium-Schwefel- oder Metall-Luft Batterien. Um die erhebliche Wertschöpfung, die mit der Batterie verbunden ist, auch in Deutschland zu erzielen, wird hierzulande der Aufbau einer Zell- und Batterieproduktion für Elektrofahrzeuge vorangetrieben. Hierfür werden neue Fertigungs- und Verfahrenstechniken sowie entsprechende Maschinen- und Anlagentechniken erforscht, mit der Vorgabe einer verbesserten Ressourceneffizienz. Wichtige Teilerfolge sind bereits erreicht durch eine erste Fertigungsanlage, die 2012 in Kamenz in Betrieb ging, und den Aufbau einer Forschungsproduktionslinie in Ulm, wo Unternehmen ab 2014 Materialien, Komponenten oder Anlagenteile testen und weiterentwickeln können. Es wird erwartet, dass bereits die Projekte, die 2015 enden, dazu beitragen, in Deutschland eine weltweit wettbewerbsfähige, automatisierte Serienproduktion von großformatigen Lithium-Ionen-Zellen und damit ausgestatteten Batterien aufzubauen.

Schwerpunkt Energieeffizienz

Die beschränkte Leistungsfähigkeit der Batterie erfordert besondere Energieeffizienz des gesamten Fahrzeugs. Elektromotoren haben einen besonders guten Wirkungsgrad und sind sehr gut regelbar. Ziel der Forschung ist es, ihre Effizienz und Leistungsfähigkeit noch weiter zu steigern, beispielsweise durch die Entwicklung neuer Materialien für die Magnete. Auch in der Motorfertigung, etwa bei der automatisierten Wicklung der Spulen oder dem Stanzen der Bleche für Rotor und Stator, liegen noch erhebliche Potenziale zur Leistungssteigerung.

Der Leistungselektronik, die die elektrische Energie bedarfsgerecht umformt und an die Verbraucher im Fahrzeug verteilt, kommt eine Schlüsselfunktion zu. Neuartige Schaltungen sowie Aufbau- und Verbindungstechniken sorgen dafür, dass die elektronischen Komponenten für die Belastungen im Auto – sei es

durch erhebliche Temperaturschwankungen, sei es durch hohe Ströme und Spannungen – immer kleiner und dennoch für die erforderliche zuverlässige Funktion gebaut werden können. Auch Leichtbau hilft, Energie zu sparen. Hierfür werden nicht nur neue, besonders leichte und belastbare Materialien wie Magnesium-Legierungen, hochfeste Stähle oder Kohlefaserverbundwerkstoffe entwickelt. Ein wichtiges Augenmerk liegt auch auf entsprechenden serientauglichen und kostengünstigen Produktionstechnologien.

All das wird in neuen ganzheitlichen Fahrzeugkonzepten umgesetzt. Sie bedienen nicht nur das Bedürfnis nach dem klassischen Auto mit vier Rädern und vier Sitzen. Auch drei Räder oder Einsitzer sind gerade für den Stadtverkehr attraktiv und ermöglichen so einen Einstieg in den Markt. Dabei haben die Forscher außerdem jederzeit Sicherheit und Komfort für die Fahrer im Blick.

Schwerpunkt Aus- und Weiterbildung

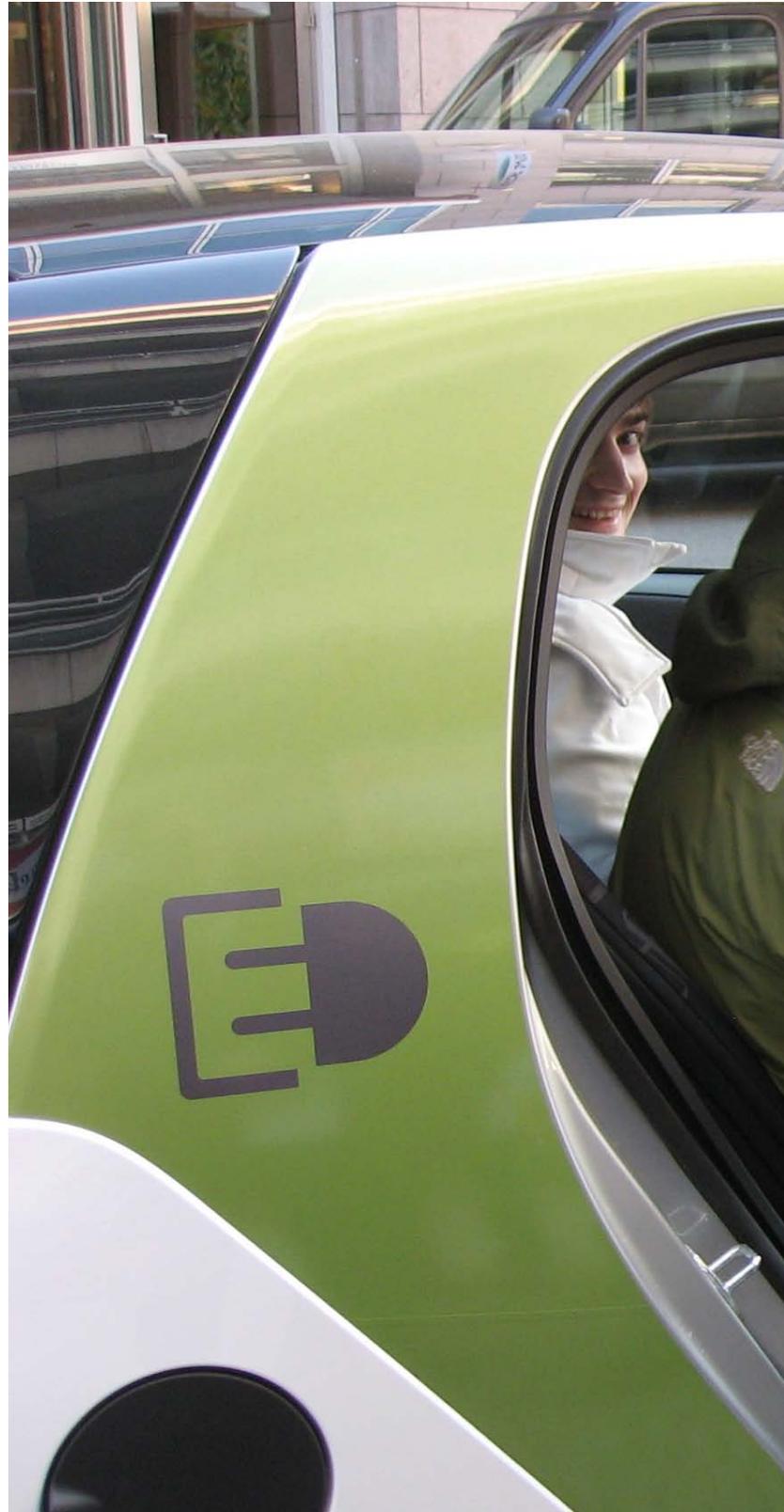
Hervorragend ausgebildete Fachkräfte sowohl für die Forschung als auch die Fertigung und die Dienstleistung sind die Voraussetzung, um alle anstehenden technologischen Herausforderungen zu bewältigen und Elektromobilität erfolgreich zu etablieren. Es werden keine neuen Berufs- oder Studienwege gebraucht, aber die Inhalte müssen an die sich ändernden Erfordernisse angepasst werden. Deshalb fördert das BMBF die Vernetzung von Hochschulen und die enge Zusammenarbeit von Wissenschaft und Wirtschaft. Gemeinsam gestaltete Lehrpläne und Forschungsprojekte dienen dazu, die Ausbildung – auch im handwerklichen Bereich – einheitlich und anwendungsnah zu gestalten und den Fachkräftenachwuchs frühzeitig mit den Unternehmen in Kontakt zu bringen.

Um schon Jugendliche und Studierende für das Thema zu begeistern, ist die Vermittlung praktischer Erfahrungen ein wichtiges Instrument. Ob durch entsprechende Experimentierkästen für Schule und Studium, in Konstruktionswettbewerben wie bei SolarMobil Deutschland oder während einer Ferienakademie für Studierende wie bei DRIVE-E: Das BMBF fördert Kreativität und Teamwork rund um die Elektromobilität, und dabei kommt auch der Spaß nicht zu kurz.

Elektromobilität braucht einen langen Atem

Um der Elektromobilität zum Durchbruch zu verhelfen, reicht es nicht allein, herausragende und attraktive Fahrzeuge zu entwickeln. In einem neu aufgelegten Programm unterstützt das BMBF deshalb künftig auch die Forschung zu kundenorientierten Dienstleistungen rund um die Elektromobilität. Hierzu gehören neben dem Aufbau einer komfortablen, flächendeckenden Ladeinfrastruktur inklusive Abrechnungsverfahren auch neue Geschäfts- und Betreibermodelle, die Elektroautos zum Beispiel über Car-Sharing-Angebote in die vorhandenen Verkehrsstrukturen einbinden, sowie neue informationstechnische Infrastrukturen als Basis dafür.

Deutschland zum Leitanbieter für Elektromobilität zu entwickeln braucht einen langen Atem, denn das Erfolgsmodell Verbrennungsmotor mit seiner hundertjährigen Entwicklungsgeschichte lässt sich nicht innerhalb weniger Jahre verdrängen. Damit Elektromobilität dennoch möglichst bald konkurrenzfähig wird, legt das BMBF mit seiner zielgerichteten Förderung von Bildung und Forschung die entscheidenden Grundlagen. Das wird Früchte tragen, nicht allein für das Elektroauto. Viele der neu entwickelten Technologien sind nicht nur in batteriebetriebenen Elektrofahrzeugen einsetzbar. Auch Hybrid-Fahrzeuge und Verbrenner profitieren von größerer Energieeffizienz, von Leichtbau und innovativer Elektronik. Und schließlich – wie bei jeder Technologie – werden viele Entwicklungen auch über das Auto hinaus wirken – in Richtung stationärer Energiespeicher, sparsamerer Beleuchtung, erneuerbarer Energien oder effizienterer Produktionsanlagen.



Aufbruch in eine elektromobile Zukunft (BMBF/Sabine Tomm)



Weiterführende Informationen

Hintergrundinformationen zur Elektromobilitätsförderung

Regierungsprogramm Elektromobilität
(http://www.bmbf.de/pubRD/programm_elektromobilitaet.pdf)

Bundesministerien

Bundesministerium für Bildung und Forschung – BMBF (<http://www.bmbf.de/de/14706.php>)

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit – BMU (<http://www.bmu.de/>)

Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung – BMVBS (<http://www.bmvbs.de>)

Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie – BMWi (<http://www.bmw.de/>)

Lotsenstelle Elektromobilität

www.foerderinfo.bund.de/elektromobilitaet

Nachwuchsförderung

DRIVE-E-Programm (<http://www.drive-e.org>)

INVENT a CHIP (www.invent-a-chip.de)

SolarMobil Deutschland
(www.solarmobil-deutschland.de)

Im Fokus

Spitzencluster Süd-West Elektromobilität
(<http://www.e-mobilbw.de>)

Fraunhofer Systemforschung Elektromobilität
(<http://www.elektromobilitaet.fraunhofer.de/>)

e performance
(<http://www.audi-future-lab-mobility.de/>)

Förderprogramme

E-Energie (<http://www.e-energie.info/>)

ElektroMobil.NRW
(http://www.ziel2-nrw.de/2_Wettbewerbe_und_weitere_Foerdermoeglichkeiten/1_Wettbewerbe_2009/ElektroMobil_NRW/index.php)

IKT 2020 (<http://www.bmbf.de/de/9069.php>)

IKT für Elektromobilität (<http://www.ikt-em.de/>)

Modellregionen Elektromobilität (<http://www.bmvbs.de/SharedDocs/DE/Artikel/UI/modellregionen-elektromobilitaet.html>)

Nationaler Entwicklungsplan Elektromobilität
(http://www.bmbf.de/pubRD/nationaler_entwicklungsplan_elektromobilitaet.pdf)

Schaufenster für die Elektromobilität (<http://www.schaufenster-elektromobilitaet.org>)

WING - Werkstoffinnovationen für Industrie und Gesellschaft (<http://www.bmbf.de/de/3780.php>)

Initiativen und Allianzen

ARTEMIS - Embedded Computing Systems Initiative
(<http://www.artemis-ju.eu/>)

AutoCluster NRW (<http://www.autocluster.nrw.de/>)

Bayern Innovativ - Cluster Automotive (<http://bayern-innovativ.de/cluster-automotive/>)

Bundesverband eMobilität e.V.
(<http://www.bem-ev.de/>)

Bundesverband Solare Mobilität e.v.
(<http://www.solarmobil.de/>)

CATRENE - Cluster for Application and Technology Research in Europe on Nanoelectronics (<http://www.catrene.org/>)

DEUFRAKO - Deutsch-Französische Kooperation in der Verkehrsforschung (<http://deufrako.org/web/index.php>)

ECPE European Center for Power Electronics e.V. (<http://www.ecpe.org/>)

EDA-Centrum - Electronic Design Automation Centrum (<https://www.edacentrum.de/>)

ENIAC - European Nanoelectronics Initiative Advisory Council (<http://www.eniac.eu/web/index.php>)

eNOVA - Strategiekreis Elektromobilität (<http://www.strategiekreis-elektromobilitaet.de/public/>)

EPOSS - European Technology Platform on Smart Systems Integration (<http://www.smart-systems-integration.org/public>)

ERTRAC - European Road Transport Research Advisory Council (<http://www.ertrac.org/>)

Forum Elektromobilität e.V. (<http://www.forum-elektromobilitaet.de/>)

Innovationsallianz Green Carbody Technologies (<http://www.greencarbody.de/>)

Innovationsallianz LIB 2015 (<http://www.lib2015.de/>)

Nationale Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (<http://www.now-gmbh.de/de/>)

Verbände und Organisationen

VDA - Verband der Automobilindustrie (<http://www.vda.de/de/index.html>)

VDI - Verein deutscher Ingenieure (<http://www.vdi.de/>)

ZVEI - Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie (<http://www.zvei.org/Seiten/Startseite.aspx>)

Impressum

Herausgeber

Bundesministerium für Bildung und
Forschung (BMBF)
Referat Elektroniksysteme; Elektromobilität
53170 Bonn

Bestellungen

schriftlich an Publikationsversand der
Bundesregierung
Postfach 48 10 09, 18132 Rostock
E-Mail: publikationen@bundesregierung.de
Internet: <http://www.bmbf.de>, oder per
Tel.: 01805 77 80 90, Fax: 01805 77 80 94
(14 Cent/Min. aus dem deutschen Festnetz,
Mobilfunk max. 42 Cent/Min.)

Stand

Mai 2013

Druck

Silber Druck oHG, Niestetal

Gestaltung

www.menova.de

Bildnachweis

in der Bildunterschrift

Redaktion

VDI Technologiezentrum GmbH

Text

Uta Deffke

Diese Druckschrift wird im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit vom Bundesministerium für Bildung und Forschung unentgeltlich abgegeben. 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

