



Bundesministerium  
für Umwelt, Naturschutz  
und Reaktorsicherheit

# Erneuerbar mobil

Marktfähige Lösungen für eine  
klimafreundliche Elektromobilität



Erneuerbar  
mobil

## **IMPRESSUM**

Herausgeber: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU)  
Referat Öffentlichkeitsarbeit • 11055 Berlin  
E-Mail: [service@bmu.bund.de](mailto:service@bmu.bund.de) • Internet: [www.bmu.de](http://www.bmu.de)

Redaktion: BMU, Referat IG I 5  
Triad Projektgesellschaft mbH Berlin

Gestaltung: Triad Projektgesellschaft mbH Berlin  
Druck: LASERLINE Berlin

Abbildungen: Titel Triad Berlin/shutterstock, Seite 6 Laurence Chaperon, Seite 8 VDI/VDE-IT, Seite 9 Triad Berlin,  
Seite 10 VDI/VDE-IT, Seite 12 Triad Berlin, Seite 14 fotolia, Seite 15 shutterstock, Seite 17 Triad Berlin/shutterstock,  
Seite 19 Triad Berlin/shutterstock, Seite 21 Triad Berlin/istockPhoto, Seite 23 Triad Berlin/shutterstock,  
Seite 24 Siemens AG, Seite 26 - 29 Vattenfall Europe AG, Seite 30 + 31 BMW AG, Seite 32 Alpha Ventus,  
Seite 33 Ulf Büschleb, Seite 36 + 37 Ulf Büschleb, Seite 38 + 39 Siemens AG, Seite 40-41 Daimler AG,  
Seite 42 + 43 RUF Automobile GmbH, Seite 44 + 45 Brabus GmbH, Seite 46 - 49 Volkswagen AG,  
Seite 50 Daimler AG, Seite 52 + 53 Volkswagen AG, Seite 54 + 55 Daimler AG, Seite 56 + 57 Siemens AG,  
Seite 58 + 59 Gottwald Port Technology GmbH, Seite 60 MAN Truck & Bus AG, Seite 62 BMU,  
Seite 63 üstra Hannoversche Verkehrsbetriebe, Seite 64 Triad Berlin/shutterstock, Seite 67 VDI/VDE,  
Seite 69 VDI/VDE-IT, Seite 71 ESMT GmbH, Seite 72 shutterstock, Seite 75 Umicore AG, Seite 77 Chemetall GmbH

Stand: April 2012  
1. Auflage: 6.000 Exemplare





Vorwort von Bundesumweltminister Dr. Norbert Röttgen ..... 06

## Elektromobilität auf einen Blick

Warum setzen wir auf Elektromobilität? ..... 08  
 Was ist Elektromobilität im Sinne der Bundesregierung? ..... 10  
 Wer ist wer und wer macht was? ..... 12

## Zielstellungen des Bundesumweltministeriums

Ein Zukunftsmotor für Deutschland ..... 14  
 Sauber ..... 16  
 Schonend ..... 18  
 Sparsam ..... 20  
 Praktisch ..... 22

## Förderschwerpunkte und Projekte

**1 - Feldversuche Elektromobilität im PKW-Verkehr** ..... 24  
 Mini E Berlin: Der Mini unter Strom ..... 26  
 Mini E Berlin V2.0: Der Mini lädt intelligent ..... 28  
 BMW ActiveE: Testlauf für die Serienproduktion ..... 30  
 Gesteuertes Laden V2.0: Windenergie für den Tank ..... 32  
 Kabelloses Laden von Elektrofahrzeugen: Komfortable Netzanbindung für mehr Ladeflexibilität ..... 34  
 JustPark: Optimale Rahmenbedingungen für das induktive Laden ..... 36  
 4S: Ein intelligentes Management für Fahrzeug und Infrastruktur ..... 38  
 REX: Mehr Reichweite bei hoher Effizienz ..... 40  
 Emotion ohne Emission: Elektrische Höchstleistung ..... 42  
 E-Ramo: Das elektrische Rad ..... 44  
 LDE-M: Der Elektromotor wird noch effizienter und kompakter ..... 46  
 TwinDrive: Die Vorteile zweier Antriebe vereinen ..... 48

**2 - Feldversuche Elektromobilität im Wirtschaftsverkehr** ..... 50  
 EMIL: Die Post kommt emissionsfrei ..... 52  
 EMKEP: Lieferverkehr rein elektrisch ..... 54  
 ENUBA: Lösungen für einen sauberen Lastverkehr ..... 56  
 B-AGV: Containerumschlag ohne Abgase ..... 58

**3 - Hybridbusse für einen umweltfreundlichen ÖPNV** ..... 60

**4 - Wissenschaftliche Begleitforschung** ..... 64  
 OPTUM: Zur Interaktion von Elektrofahrzeugen mit dem Strommarkt ..... 66  
 UMBReLA: Die Umwelteffekte von der Wiege bis zur Bahre ..... 68  
 MMEM: Elektromobilität effizient unterstützen ..... 70

**5 - Batterierecycling** ..... 72  
 LithoRec: Hydrometallurgische Aufbereitung von Rohstoffen ..... 74  
 LiBri: Aus alt mach neu durch Pyrolyse ..... 76

**Sehr geehrte Damen und Herren,  
liebe Leserinnen und Leser,**

im Sommer 2011 hat der Deutsche Bundestag mit breiter Mehrheit das Gesetzespaket zur Energiewende beschlossen. Die Energiewende ist das größte Infrastruktur- und Modernisierungsprojekt der kommenden Jahrzehnte, ein Generationenprojekt. Die Sicherstellung einer zuverlässigen, wirtschaftlichen und umweltverträglichen Energieversorgung ist eine der größten Herausforderungen des 21. Jahrhunderts. Es wird vor allem um die Umsetzung eines zentralen politischen Ziels für unser Energiesystem gehen: Deutschland soll in Zukunft bei wettbewerbsfähigen Energiepreisen und hohem Wohlstandsniveau eine der energieeffizientesten und umweltschonendsten Volkswirtschaften der Welt werden. Ein hohes Maß an Versorgungssicherheit, ein wirksamer Klima- und Umweltschutz sowie eine wirtschaftlich tragfähige Energieversorgung sind zugleich zentrale Voraussetzungen, dass Deutschland auch langfristig ein wettbewerbsfähiger Industriestandort bleibt.

Die Energiewende muss alle Bereiche unserer Wirtschaft umfassen. Gerade im Straßenverkehr, der bislang nahezu vollständig auf Erdöl beruht, müssen wir neue Wege beschreiten. Elektromobilität ist eine Schlüsseltechnologie auf diesem Weg. Mit seinem Förderprogramm „Erneuerbar Mobil“ unterstützt das Bundesumweltministerium bereits seit 2008 die



Entwicklung innovativer Lösungen im Bereich der Elektrofahrzeuge. Unser Ziel ist es, Mobilität mit dem PKW auch in Zukunft zu erschwinglichen Preisen und für jedermann zu ermöglichen und gleichzeitig das Klima zu schonen – durch Energie aus sauberen, sicher verfügbaren und dauerhaft erschwinglichen Quellen. „Sauber, schonend, sparsam und praktisch“ lautet deshalb das Motto unseres Förderprogramms. In der ersten Phase wurden bis Ende 2011 mehr als 70 Partner der Innovationsprojekte mit über 100 Millionen Euro unterstützt. Die Koppelung an Strom aus erneuerbaren Energien war dabei von besonderem Interesse, denn so wird aus dem Elektroauto ein

echtes „Nullemissionsfahrzeug“. Windkraft oder Photovoltaik und Elektrofahrzeuge sind ideale Partner: Ein intelligent ladendes Auto als flexibler Abnehmer fluktuierenden Stroms hilft, die erneuerbaren Energien leichter ins Netz zu integrieren. Aber auch eine Reihe weiterer wichtiger Fragestellungen wurden untersucht: Wie lassen sich Fahrzeuge so effizient gestalten, dass Batteriepreis und Reichweite eine nutzerfreundliche Balance eingehen? Welche Einsatzfelder verbinden einen hohen Umweltnutzen mit niedrigen Kosten? Wo müssen wir ansetzen, wenn knappe Rohstoffe möglichst einfach wiederverwendet werden sollen? Mit der vorliegenden Broschüre möchten wir die zentralen Ergebnisse der ersten Runde von „Erneuerbar Mobil“ vorstellen.

Das Ziel der Bundesregierung ist es, dass bis 2020 nicht weniger als eine Million und bis 2030 sogar sechs Millionen Elektrofahrzeuge auf den deutschen Straßen unterwegs sind. Um dieses ehrgeizige, aber machbare Ziel zu erreichen, wurde mit dem Regierungsprogramm Elektromobilität unter anderem beschlossen, erfolgreiche Förderinstrumente fortzusetzen. Bereits Ende 2011 hat das Bundesumweltministerium daher die zweite Runde seines Programms „Erneuerbar Mobil“ gestartet. Ein Teil der Mittel soll dabei bereits in die Markteinführung fließen. Denn die bereits abgeschlossenen Projekte konnten zeigen, dass in Flottenanwendungen ein Pioniersegment liegt, in dem der Umweltnutzen hoch und die

Einführungsbarrieren vergleichsweise gering sind. Fuhrparke, die besonders hohe ökologische Standards für Elektrofahrzeuge setzen, können daher eine anteilige Förderung beantragen.

Die gemeinsame Vision aller geförderten Vorhaben bleibt dabei das Elektroauto als marktfähige Umweltinnovation. Denn klar ist: Elektroautos müssen bei Fahreigenschaften, Zuverlässigkeit und Umweltbilanz gleichermaßen punkten. Für mich ist dies eine zentrale strategische Frage, vor allem auch aus ökonomischer Perspektive: Nur wenn die Elektroautos einen tatsächlichen Umweltvorteil haben, kommt auch der Markt ins Rollen. Diese Gestaltungsaufgabe nehmen wir wahr.

Deutschland ist ein Autoland – das Auto der Zukunft aber steht auf neuen Rädern. Nutzen wir gemeinsam die Chancen für Wirtschaft und Umwelt, die in der Elektromobilität stecken.



Dr. Norbert Röttgen  
Bundesminister für Umwelt, Naturschutz  
und Reaktorsicherheit

# Warum setzen wir auf Elektromobilität?

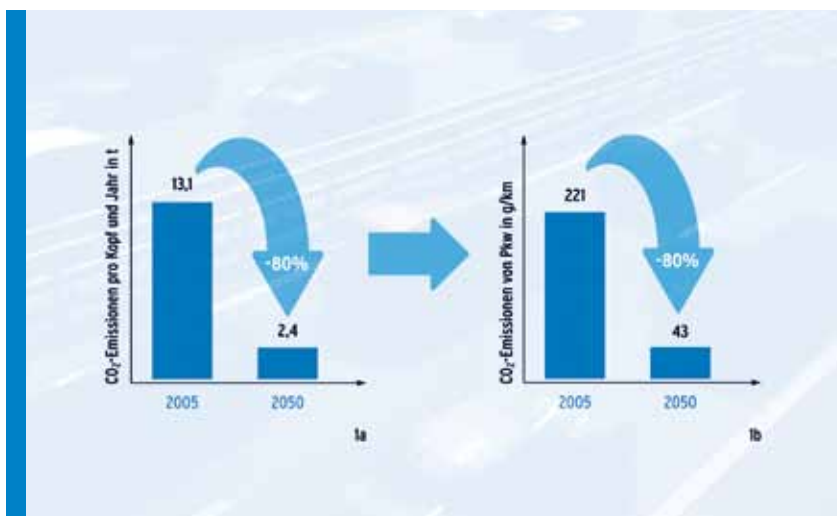
Um gravierende Folgen des Klimawandels zu verhindern, muss die Erderwärmung auf 2 °C gegenüber dem vorindustriellen Niveau begrenzt werden. Dem Weltklimarat nach ist zum Erreichen des 2-Grad-Ziels eine Reduktion der Treibhausgasemissionen um bis zu 85 Prozent, mindestens aber um 50 Prozent gegenüber dem Niveau des Jahres 2000 notwendig.

Was heißt das für Deutschland? Unter Zugrundelegung der Gleichheitsprämisse, also der Annahme einer weltweit gleichen Emission pro Kopf über alle Länder hinweg, ist selbst in einem konservativen Szenario eine Reduzierung der Treibhausgase um über 80 Prozent bezogen auf das Jahr 2005 notwendig (siehe Bild 1a). Dies ist fest verankertes Ziel der Bundesregierung.

Das Ausmaß der notwendigen Minderung macht deutlich, dass hier alle CO<sub>2</sub>-erzeugenden Sektoren, also auch der Verkehr, gleichermaßen beitragen müssen. Soll Autofahren also auch im Jahr 2050 noch ähnlich wie heute möglich sein, so müssen die CO<sub>2</sub>-Emissionen von PKW nach Berechnungen im Auftrag des Bundesumweltministeriums von

221 g CO<sub>2</sub> pro gefahrenem Kilometer im Jahr 2005 auf höchstens 43 g CO<sub>2</sub> pro km im Jahr 2050 sinken (siehe Bild 1b).

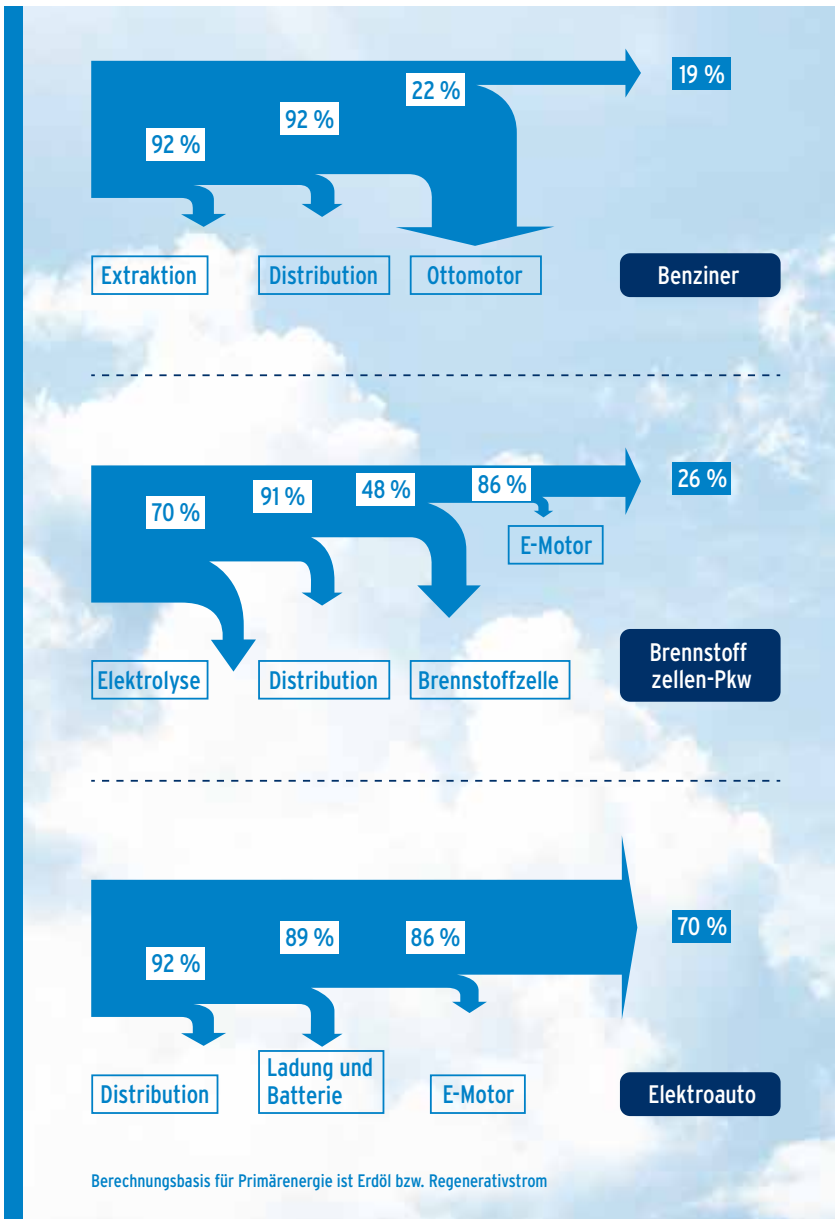
Wie kann man diese Ziele erreichen? Sicher sind in den nächsten Jahren weitere Anstrengungen bei der Effizienzverbesserung konventioneller Antriebe oder der Einsatz von Biokraftstoffen unverzichtbar. Zum Erreichen der Ziele für 2050 ist dies jedoch nicht ausreichend. Die Berechnungen zeigen, dass nur wenn über zwei Drittel der Fahrleistung emissionsfrei – und das heißt vor allem durch rein elektrische und Plug-In-Fahrzeuge – sind, dem 2-Grad-Ziel angemessene Emissionsobergrenzen von maximal 43 g CO<sub>2</sub>/km je PKW erreicht werden können. Auch Brennstoffzellenfahrzeuge mit Wasserstoff auf Basis regenerativer Energien könnten zur Erfüllung der Ziele beitragen, problematisch sind hier aber der hohe Primärenergieverbrauch bei der Wasserstoffherstellung und der geringe Gesamtwirkungsgrad (siehe Bild 2). ■



**Bild 1 a und b:** Notwendige Reduzierungen der CO<sub>2</sub>-Emissionen in Deutschland, um die Erderwärmung bis zum Jahr 2050 auf zwei Grad zu begrenzen. Den Berechnungen liegen Modelle zugrunde, die verschiedene Faktoren wie Bevölkerungswachstum oder Veränderungen im Fahrzeugbestand berücksichtigen. Bild 1a zeigt die notwendige Reduzierung bei den CO<sub>2</sub>-Emissionen pro Kopf der Bevölkerung, Bild 1b zeigt die notwendige Verringerung in Bezug auf den CO<sub>2</sub>-Ausstoß von PKW.



# Warum setzen wir auf Elektromobilität?



**Bild2:** Der Wirkungsgrad zeigt an, welcher Anteil der zugeführten Primärenergie in Bewegung umgesetzt wird. Er beträgt zum Beispiel beim Benzinmotor lediglich 22 Prozent. Werden die Verluste bei der Bereitstellung des Kraftstoffs mitberücksichtigt, so lassen sich schließlich lediglich 19 Prozent der Ausgangsenergie für die eigentliche Fahrzeugbewegung nutzen. Ein Elektromotor ist mit etwa 86 Prozent Wirkungsgrad sehr effizient. Beim Einsatz von Wasserstoff zur Strombereitstellung im Fahrzeug wird dieser Vorteil jedoch durch den vorgelagerten Elektrolyseprozess, die Kompression, Distribution und Wiederverstromung des Wasserstoffs erheblich geschmälert. Daher kommen Brennstoffzellenfahrzeuge nur auf einen Gesamtwirkungsgrad von 26 Prozent. Beim Elektroauto hingegen entstehen in der Energievorkette nur geringe Verluste, sodass 70 Prozent der Primärenergie in Bewegungsenergie überführt werden können.

# Was ist Elektromobilität im Sinne der Bundesregierung?

Erklärtes Ziel der Bundesregierung ist es, bis 2020 eine Million und bis 2030 sechs Millionen Elektrofahrzeuge auf Deutschlands Straßen zu bringen. Doch was genau sind Elektrofahrzeuge im Sinne dieser Zielsetzung?

**BEV:** Reine Elektrofahrzeuge sind ausschließlich mit einem Elektromotor ausgestattet und erhalten ihre Energie aus einer Batterie im Fahrzeug, die ihrerseits über das Stromnetz aufgeladen wird. Die Batterie kann zurückgewonnene Bremsenergie speichern (Rekuperation). Außerdem benötigen reine Elektrofahrzeuge kein Getriebe mehr. Da batteriebetriebene Elektrofahrzeuge im Englischen „Battery Electric Vehicle“ genannt werden, hat sich mittlerweile auch im Deutschen die Abkürzung BEV eingebürgert.

**REEV:** Da Batterien mit großer Kapazität zurzeit noch relativ teuer sind, stattdessen viele Hersteller reine Elektrofahrzeuge zusätzlich mit einem Range

Extender aus (REEV = „Range Extended Electric Vehicle“), der ihre Reichweite verlängert. Der Range Extender ist ein kleiner Verbrennungsmotor mit Generator, der nur dann anspringt, wenn der Batteriestrom zur Neige geht. Er liefert zusätzlichen Strom für die Batterie, treibt das Fahrzeug jedoch nicht direkt an. Letzteres stellt den wesentlichen Unterschied zum elektrischen Hybridantrieb dar.

**PHEV:** Ein Hybridfahrzeug vereint elektrisches und konventionelles Antriebs- und Energiesystem (HEV = „Hybrid Electric Vehicle“). Das Fahrzeug ist sowohl mit einem Verbrennungsmotor als auch mit einem Elektromotor ausgestattet. Wird eine größere Batterie verwendet, die über das Stromnetz aufgeladen werden kann, spricht man im Englischen von einem Plug-In-Hybrid Electric Vehicle, also einem PHEV. Nur solche am Stromnetz aufladbaren PHEV zählen in der Definition der Bundesregierung zu den Elektrofahrzeugen. PHEV und REEV sind also relativ ähnlich. Beide haben den Vorteil, dass alle



**Bild 3:** Elektromobilität im Sinne der Bundesregierung umfasst all jene Fahrzeuge, die von einem Elektromotor angetrieben werden und ihre Energie überwiegend aus dem Stromnetz beziehen, also extern aufladbar sind. Dazu gehören BEV, REEV und PHEV.

## Was ist Elektromobilität im Sinne der Bundesregierung?

---

alltäglichen Strecken rein elektrisch und emissionsfrei zurückgelegt werden können, aber auch größere Distanzen kein Problem darstellen. Mit den Fortschritten bei der Batterietechnik wird es künftig möglich sein, den elektrischen Anteil immer weiter zu vergrößern.

In die Definition der Bundesregierung für Elektromobilität sind also all jene Fahrzeuge eingeschlossen, die

- von einem Elektromotor angetrieben werden und
- ihre Energie überwiegend aus dem Stromnetz beziehen, also extern aufladbar sind.

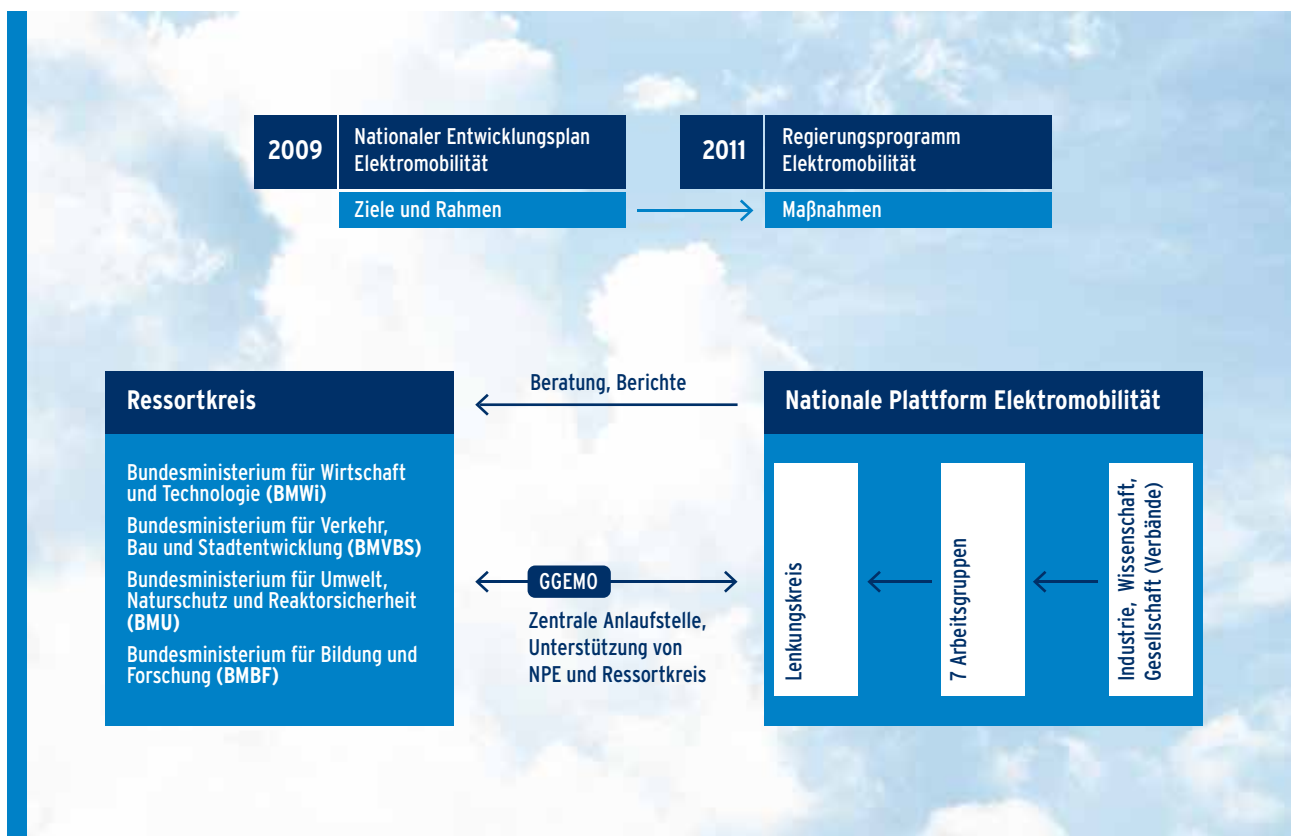
Diese enge auf den Strom als „Treibstoff“ bezogene Auslegung des Begriffs Elektrofahrzeug wurde aus gutem Grunde gewählt. Denn bei Betrachtung der gesamten Energiekette bietet nur Strom im Hinblick auf den Wirkungsgrad Effizienzvorteile und – sofern er aus erneuerbaren Energien stammt – eine signifikante Minderung der CO<sub>2</sub>-Bilanz (siehe Kapitel „Warum setzen wir auf Elektromobilität?“).

Zudem bietet Strom bereits eine nutzbare Infrastrukturbasis, die bei anderen Energieträgern nicht zur Verfügung steht. So benötigen beispielsweise Brennstoffzellenfahrzeuge, die auch von einem Elektromotor angetrieben werden, mit Wasserstoff einen Energieträger, der nach dem aktuellen Stand der Technik nur mit einem hohen Energieaufwand hergestellt und transportiert werden kann. Das verschlechtert die Gesamtenergie- und CO<sub>2</sub>-Bilanz erheblich. Außerdem würde die Schaffung einer flächendeckenden Wasserstoffinfrastruktur hohe Kosten verursachen. Die Weiterentwicklung der Brennstoffzellentechnologie ist dennoch sinnvoll, denn ihre Vorteile im Hinblick auf Reichweite und Speichermöglichkeiten sind unbestritten. Die Bundesregierung hat daher mit dem „Nationalen Innovationsprogramm Wasserstoff und Brennstoffzellentechnologie“ ein von der Elektromobilität unabhängiges Förderprogramm aufgelegt. ■

## Elektromobilität: Wer ist wer und wer macht was?

Bereits 2007 erklärte die Bundesregierung im Integrierten Energie- und Klimaprogramm die Förderung der Elektromobilität zu einem entscheidenden Baustein für den Klimaschutz. Im November 2008 erfolgte im Rahmen einer Nationalen Strategiekonferenz die Erörterung konkreter Maßnahmen mit Vertretern von Industrie, Forschung und Politik. 2009 wurde schließlich der „Nationale Entwicklungsplan Elektromobilität“ verabschiedet, der das Ziel formuliert, Deutschland zum Leitmarkt für Elektromobilität zu entwickeln. Bis 2020 sollen eine Million Elektrofahrzeuge auf Deutschlands Straßen fahren. Die vier für Elektromobilität zuständigen Ressorts der Bundesregierung BMWi, BMVBS, BMU und BMBF haben daraufhin die Unterstützung der

Elektromobilität intensiviert und fördern unter anderem eine Vielzahl von Forschungsvorhaben. Im Mai 2010 hat die Bundeskanzlerin die „Nationale Plattform Elektromobilität“ (NPE) ins Leben gerufen. In ihr erarbeiteten Vertreter aus Wirtschaft, Wissenschaft, Politik und Gesellschaft Empfehlungen für weitere Schritte und Maßnahmen. Mit dem „Regierungsprogramm Elektromobilität“ vom Mai 2011 konkretisiert die Bundesregierung den Nationalen Entwicklungsplan und greift wesentliche Empfehlungen der Nationalen Plattform auf.



### **Nationaler Entwicklungsplan Elektromobilität (NEP).**

Im August 2009 hat das Bundeskabinett den Nationalen Entwicklungsplan Elektromobilität (NEP) verabschiedet. Der NEP legt Ziele und Rahmenbedingungen fest, durch die innerhalb von zehn Jahren wesentliche Fortschritte bei der Batterietechnologie, der Netzintegration sowie bei der Marktvorbereitung und -einführung von Elektrofahrzeugen erreicht werden sollen. Ein wichtiger Baustein ist dabei die Koppelung der Elektromobilität an erneuerbare Energien.

**Regierungsprogramm Elektromobilität.** Verabschiedet am 18. Mai 2011, legt das Regierungsprogramm Elektromobilität weitere Maßnahmen und Rahmenbedingungen fest, die zum Ziel beitragen sollen, Deutschland zum Leitanbieter und Leitmarkt für Elektromobilität zu entwickeln. Beispielsweise wurde die Bereitstellung von 1 Milliarde Euro für die Förderung der Forschung und Entwicklung in diesem Bereich festgeschrieben oder auch der Aufbau von regionalen Schaufenstern und die Entwicklung von technischen Leuchtturmprojekten. Das Regierungsprogramm bündelt damit die Aktivitäten der Bundesregierung im Bereich Elektromobilität für die kommenden Jahre und läutet die zweite Phase der Umsetzung des Nationalen Entwicklungsplans Elektromobilität ein. Mit dem Regierungsprogramm bekräftigt die Bundesregierung das Ziel von einer Million Elektrofahrzeugen für 2020 und setzt für 2030 die Zielmarke von sechs Millionen.

### **Gemeinsame Geschäftsstelle Elektromobilität (GGEMO).**

Seit Februar 2010 dient die Gemeinsame Geschäftsstelle Elektromobilität (GGEMO) als einheitliche Anlaufstelle und Sekretariat der Bundesregierung für die Aufgaben im Bereich der Elektromobilität sowie als Dienstleister und Sekretariat der Nationalen Plattform Elektromobilität (NPE). Sie unterstützt damit insbesondere die Zusammenarbeit des Ressortkreises Elektromobilität und den Austausch mit der NPE.

**Nationale Plattform Elektromobilität (NPE).** Die Nationale Plattform Elektromobilität ist ein Beratungsgremium der Bundesregierung und bringt die wesentlichen Akteure aus Industrie, Wissenschaft, Politik und Gesellschaft zum strategischen Dialog zusammen. In sieben Arbeitsgruppen mit je circa 20 hochrangigen Vertretern werden die Schwerpunktthemen zum Thema Elektromobilität behandelt und Empfehlungen zur Umsetzung des Nationalen Entwicklungsplans und des Regierungsprogramms Elektromobilität erarbeitet. Die Arbeitsgruppen werden durch einen Lenkungskreis koordiniert, dem die Vorsitzenden der Arbeitsgruppen sowie Vertreter der Bundesregierung angehören. ■

← **Bild 4:** Die Aufgabenverteilung der Institutionen der Bundesregierung im Handlungsfeld Elektromobilität auf einen Blick: Ressortkreis, NPE und GGEMO arbeiten zusammen an der Umsetzung des NEP und des Regierungsprogramms Elektromobilität, welche wiederum Ziele, Rahmen und Maßnahmen für die Tätigkeiten der beteiligten Akteure setzen.

# Ein Zukunftsmotor für Deutschland. Elektromobilität als aktiver Klimaschutz.

Der Klimawandel und die Verknappung fossiler Energieressourcen werden unsere Mobilität stark verändern. Wenn wir den Weg der individuellen Fortbewegung mit dem PKW nicht komplett verlassen wollen, müssen wir das Auto auf „neue Räder“ stellen. Das Auto hat Zukunft! Aber wie könnte diese aussehen? Wie werden wir uns künftig fortbewegen? Und woher zapfen wir unsere Energie?

Das neue Gewand des Verkehrs wird viele Schattierungen haben, elektrische Antriebe werden aber in jedem Fall dazugehören. Elektromobilität bietet die Chance, unser mobiles Leben nachhaltig zu verändern – hin zu einer schonenderen, bedarfsgerechteren Fortbewegung. Sie erleichtert uns den Übergang von einer fossilen zu einer postfossilen Mobilitätskultur, die auf saubere, sicher verfügbare heimische Energieträger setzt.

Die Zahl der Menschen auf unserem Planeten wird weiter steigen – und damit auch der Bedarf, Güter und Personen zu befördern. Gleichzeitig gehen die Erdölvorräte zur Neige, werden die als Treibstoffe benutzten Derivate für den Endverbraucher immer teurer. Hinzu kommen die CO<sub>2</sub>-Emissionen, die unser

Klimasystem ins Wanken bringen. Angesichts dieses Szenarios kann Elektromobilität einen wichtigen Beitrag zu einer fundamentalen Energiewende im Verkehr leisten. Voraussetzung dafür ist jedoch, dass der Strom für elektrische Fahrzeuge auch tatsächlich aus Wind, Sonne und anderen erneuerbaren Energiequellen stammt. Nur so kommen wir dem Ziel, Emissionen auf Null zu reduzieren und fossile Treibstoffe zu ersetzen, deutlich näher.

Wie könnte vor diesem Hintergrund unser mobiler Alltag in Zukunft aussehen?

Elektrofahrzeuge werden ihren festen Platz im alltäglichen Leben der Menschen haben. Der Wagen, den ein ganz gewöhnlicher Pendler in seiner Garage stehen haben wird, unterscheidet sich vielleicht im Design und der elektronischen Ausstattung von Kraftfahrzeugen mit klassischem Verbrennungsmotor, heutige Nachteile der Elektromobilität spielen aber keine Rolle mehr - Innovationen in der Technik und im Umfeld haben nutzerfreundliche Angebote ermöglicht. Weder musste der Pendler bei der Anschaffung des Wagens mehr Geld aufwenden, noch ist sein Wagen durch die große Batterie erheblich





schwerer, noch ist sein Fahrkomfort durch begrenzte Reichweiten eingeschränkt. Dazu tragen auch optimierte Fahrzeugkonstruktionen und der konsequente Einsatz von Leichtbaukomponenten bei.

Auch die Fahrzeugflotten von Unternehmen und Staat sowie die Mehrzahl der Fahrzeuge für den Individual- und Warenverkehr werden elektrisch betrieben oder gestützt sein. Neben den bereits existierenden Leichtfahrzeugen wird es unterschiedliche Fahrzeugtypen geben, die den vielfältigen individuellen Mobilitätsbedürfnissen gerecht werden. Sprich: Der Nutzer der Zukunft kann für jeden Einsatz das passende Fahrzeug wählen.

Das „eine Fahrzeug für alles“, heute noch gang und gäbe, gehört beispielsweise für viele Menschen in den Städten der Vergangenheit an. Es wurde nicht selten vor allem für längere Fahrten angeschafft, die man aber nur sporadisch unternimmt. Der mit elektrischer Batterie betriebene und emissionsfreie Kleinwagen ist daher für einen normalen Stadtbewohner zum Regelfall geworden. Für kürzere innerstädtische Wege nutzt er Elektroroller und -fahrräder oder den großflächig elektrisch betriebenen öffentlichen Personennahverkehr.

Und wenn tatsächlich größere Strecken zurückgelegt werden müssen, gibt es zahlreiche Alternativen. Neben Plug-In-Hybriden mit großer Reichweite stellen etwa Car-Sharing-Angebote den Menschen umweltfreundliche Fahrzeuge zur Verfügung. Zum Portfolio zählen selbstverständlich auch Cabrios, Sportwagen und Transporter. Die Aufladung ihrer Batterien erfolgt dabei teilweise beim Fahren selbst, nämlich durch über mehrere Kilometer in die Fahrbahn eingebaute Ladesysteme, die auf der Basis von Induktion funktionieren. Auch die zeitaufwändige Suche nach Ladestationen außerhalb der bekannten Umgebung gehört der Vergangenheit an, seitdem das Netz von Stromtankstellen flächendeckend ausgebaut ist und die Standorte den Fahrern per Navigationssystem jederzeit kommuniziert werden können.

Insgesamt hat sich die Lebensqualität der Menschen, besonders in urbanen Räumen, durch die Verringerung der direkten Emissionen merklich erhöht: Weniger Abgase, weniger Feinstaub und weniger Lärm – das ist vor allem in Millionenstädten spürbar.

Elektrofahrzeuge leisten zudem einen wichtigen Beitrag zur Netzstabilität. So dient beispielsweise die Batterie des – in der Garage oder anderswo – abgestellten Elektrowagens unseres Pendlers als Speicher, der aus erneuerbaren Quellen gewonnene Energie aufnimmt, bei Bedarf aber auch wieder in die Netze einspeist. Durch diese intelligente Netzintegration wird garantiert, dass fluktuierende Energiequellen wie saubere Wind- und Sonnenenergie auch zu Überschusszeiten effizient genutzt werden und das heutige Problem mangelnder Stromspeicher nicht mehr zum Tragen kommt. Diese Integration des Privatwagens in die Stromversorgung wird durch modernste Technologie benutzerfreundlich gesteuert. Vielfach ist nicht einmal der klassische Stecker mehr vonnöten, denn kabellose Ladetechniken mit hohem Wirkungsgrad sind Standard geworden. Lange Ladezeiten, die eine sorgfältige Weg- und Zeitplanung erfordern, müssen nicht mehr einkalkuliert werden. Das Auto hat sich so vom reinen Transportvehikel in ein Hilfsmittel gewandelt, das einer ökologisch sinnvollen Regelung der Energienutzung dient. Seine Komponenten werden selbstverständlich recycelt, schon beim Bau der Fahrzeuge sind umweltfreundliche Materialien und Prozesse der Standard.

Die für den reibungslosen Ablauf notwendige und einzigartig innovative Spitzentechnologie hat den deutschen Autobauern und Zulieferern international einen Wettbewerbsvorteil gesichert, dem viele Menschen im Land ihren Arbeitsplatz verdanken. Der in Deutschland verfolgte ganzheitliche, nachhaltige Ansatz hat sich dabei als große Stärke erwiesen.

Als saubere, effiziente, ressourcenschonende und vor allem nutzerfreundliche Gesamtlösung hat das (Elektro-)Auto in Deutschland eine sichere Zukunft. ■

---

# SAUBER

---

## Elektrofahrzeuge und Strom aus Wind oder Sonne sind ideale Partner – mobil und emissionsfrei.

Die Weiterentwicklung des traditionellen Verbrennungsmotors ist ein wichtiger Baustein zur Reduzierung der CO<sub>2</sub>-Emissionen, wird aber allein nicht ausreichen, um auch den Verkehr klimaverträglich zu machen. Die Technik in modernen Autos mit Verbrennungsmotor wird zwar immer effizienter und der individuelle Verbrauch von Benzin sinkt, dieser Vorteil geht aber dadurch wieder verloren, dass auch die Anzahl der weltweit betriebenen Fahrzeuge und der gefahrenen Kilometer stetig steigt. Erfolgt die erwartete Verdoppelung der globalen PKW-Flotte bis zum Jahr 2030 ohne einen wesentlichen Anteil emissionsarmer oder -freier Fahrzeuge, wird der CO<sub>2</sub>-Ausstoß noch einmal kräftig zunehmen – mit den entsprechenden Folgen fürs Klima. Zudem sind die Reserven des Rohstoffs Erdöl endlich und der Preis am Markt wird langfristig weiter steigen.

Elektrofahrzeuge können hier Abhilfe schaffen. Dies gelingt jedoch nur dann, wenn der von ihnen genutzte Strom aus erneuerbaren Quellen wie Windkraft oder Solarenergie gewonnen wird. So werden sie zu echten Nullemissionsfahrzeugen, die Umwelt und Klima schonen. Dieses „grüne“ Image von Elektrofahrzeugen wird sich zunehmend auch zu einem Kaufanreiz und damit zu einem Wettbewerbsvorteil für die Hersteller entwickeln. Zudem wird durch Elektrofahrzeuge nicht nur der Ausstoß von Treibhausgasen, sondern auch die Belastung mit Stickoxiden, Feinstaub und Lärm deutlich reduziert.

Wenigen ist bewusst, dass der kontinuierlich steigende Anteil regenerativer Energien in den Stromnetzen intelligente Lösungen im Bereich des Netzmanagements und der Speichertechnologien erfordert. Die aus Wind und Sonne gewonnene Energie fluktuiert sehr und in Spitzenzeiten kann es zu einem Über-

angebot kommen, das der Strommarkt durch die wenigen Speichermöglichkeiten nicht abnehmen kann. Das gilt beispielsweise, wenn nachts bei starkem Wind die Windräder rotieren, der Stromverbrauch aber auf ein Minimum sinkt. Dieser regenerativ erzeugte Strom könnte zum Beladen der Batterien in Elektrofahrzeugen genutzt werden, die während des Parkens in dieser Zeit als flexible „Stromabnehmer“ am Netz sind.

Der Einsatz von Hightech gewährleistet dabei, dass der Besitzer eines Elektrofahrzeuges die Ladezeiten bequem und einfach steuern kann - zum Beispiel über eine Internetmaske. Man gibt einfach den Befehl „Batterie morgen um 7 Uhr voll“ ein – für den Rest sorgt die Technik. So ist garantiert, dass die volle Batterieleistung zum gewünschten Zeitpunkt zur Verfügung steht. Je höher die Anzahl solcher dezentraler und zeitsensibler geladener Stromspeicher in Elektroautos ist, desto einfacher gelingt die Einspeisung emissionsfreier erneuerbarer Energien.

Der Anschluss an das Stromnetz kann dabei mit intelligenten Steckern erfolgen. In Zukunft wird aber auch induktives, also kabelloses Laden möglich sein. Kabellose Ladesysteme sind komfortabel und unterstützen die Nutzung fluktuierender Energiequellen: Fährt man in der Garage oder dem Parkhaus über die Spule einer kabellosen Ladestation wird über ein Fahrerassistenzsystem (analog heutigen automatischen Einparkhilfen) eine automatische Positionierung und der Kontakt zum Stromnetz hergestellt. Ohnehin stehen die meisten Fahrzeuge 23 Stunden am Tag still. Dieser Komfort erhöht die Verweilzeit der Fahrzeuge am Netz und damit die Möglichkeiten zur Speicherung erneuerbarer Energien zum richtigen Zeitpunkt. ■





---

# SCHONEND

---

ist der Umgang mit Ressourcen, wenn auch das Vorher und Nachher mit berücksichtigt wird.

Viele Komponenten von Elektroautos benötigen Rohstoffe, die auf dem Weltmarkt knapper und teurer werden, so Lithium, Kobalt und seltene Erden. Da kein Fahrzeug ewig fährt und kein Bauteil dem Verschleiß entgeht, ist es wichtig, schon bei der Produktion zu berücksichtigen, dass einzelne Bestandteile später wiederverwertet (Recycling) oder wiederverwendet (Second life) werden können. Das mindert unsere Abhängigkeit von wichtigen Rohstoffen, schont die Umwelt, spart Geld – und kann sich so als Wettbewerbsvorteil der Hersteller erweisen. Für eine umfassende Anwendung des Prinzips der Kreislaufwirtschaft beim Auto eignen sich Elektrofahrzeuge besonders, denn sie werden ohnehin in vielen Belangen neu konzipiert und designt.

Um eine Wiederverwertung von Materialien aus Elektrofahrzeugen effizient zu gestalten, benötigen wir neue Produktionsmethoden und kluge Konstruktionsideen. Auf der Basis eines ökologischen Gesamtkonzepts für Energie- und Stoffströme erfolgt dabei frühzeitig die Identifikation derjenigen Stoffe, deren Recycling einmal Priorität haben wird. Zudem ist die Entwicklung von Sammel- und Rückführkonzepten angezeigt, die dem Ziel einer möglichst hohen Rückgewinnungsquote entsprechen.

Eine weitere Möglichkeit ist die Wiederverwendung einzelner Komponenten für andere Anwendungsbereiche. Das betrifft zum Beispiel Batterien, die nach längerer Laufzeit vielleicht nicht mehr den Anforderungen zur Energiespeicherung in Elektroautos genügen, an anderer Stelle aber durchaus noch sinnvoll verwendet werden können. Hier bedarf es ausgefeilter Testverfahren, mit Hilfe derer das Alterungsverhalten und der Zustand einzelner Fahrzeugkomponenten analysiert und so der beste Zeitpunkt für den Austausch bestimmt wird. Und sowohl für Recycling von Materialien wie auch für Wiederverwendung von Komponenten gilt, dass sich Demontage bzw. Austausch mit möglichst geringem Aufwand vollziehen. Auch das muss bereits bei der Konstruktion der Fahrzeuge berücksichtigt werden.

Die Kopplung von Produktentwicklung und Recyclingverfahren hat auch eine strategische Bedeutung für die deutsche Automobil- und Zulieferindustrie. Sie schafft sich dadurch einen Vorteil, der schon heute Kosten senkend wirkt und gleichzeitig auf zukünftige Wettbewerbsfähigkeit gerichtet ist. ■



---

# SPARSAM

---

ist, Energie wirksam einzusetzen und in reine Bewegung umzuwandeln.

Elektrofahrzeuge sind äußerst effizient. Durch den hohen Wirkungsgrad der Motoren wird viel mehr erzeugte Energie in Bewegung umgesetzt als bei klassischen Verbrennungsmotoren. Andererseits sind aufgrund des hohen Gewichts der Traktionsbatterien und der begrenzten Reichweite der Fahrzeuge die Hersteller vor neue Herausforderungen gestellt. Im Zeichen der Elektromobilität müssen dabei viele Bestandteile von Autos neu erfunden werden – und von den dafür nötigen Innovationen wird die gesamte Automobilbranche profitieren.

Bei Elektromotoren wird mehr als 90 Prozent der Energie genutzt, beim Verbrennungsmotor sind es hingegen weniger als 40 Prozent. Zudem kann ein Teil der bei Bremsvorgängen verlorenen Energie durch die moderne Technologie in Elektrofahrzeugen zurückgewonnen und wieder in die Batterie eingespeist werden. Dieser Effizienzvorteil kommt vor allem im städtischen Verkehr zur Geltung, wo viele Brems- und Anfahrvorgänge die Regel sind.

Elektromobilität führt zu Innovation. Um die Sparsamkeit – und damit Reichweite, Ökobilanz und Wirtschaftlichkeit – von Elektrofahrzeugen weiter zu verbessern, müssen unter anderem das Gewicht der Fahrzeuge reduziert und Nebenaggregate optimiert werden. Eine Möglichkeit hierfür ist die Konstruktion

in Leichtbauweise, bei der auf Naturfasern basierende Werkstoffe zum Einsatz kommen. Auch das Thermomanagement, also die Steuerung von Wärmeströmen in den Fahrzeugen, kann hier weiter verbessert werden, um die Effizienz zu erhöhen. Solche Innovationen hinsichtlich sparsamer und langlebiger Technologien können dann auch für Autos mit Verbrennungsmotor genutzt werden, zum Vorteil von Umwelt und Geldbeutel.

Technologiebrücken helfen beim Übergang zur Elektromobilität. Dazu zählen verschiedene Konzepte von Plug-in-Hybrid-Fahrzeugen (PHEV) wie zum Beispiel Range-Extended Electric Vehicles (REEV), also Fahrzeuge mit Hybridantrieb, deren Batterie zusätzlich über das Stromnetz geladen werden kann. Energieeffiziente Antriebskomponenten und intelligente Betriebsstrategien können dafür sorgen, dass auch bei diesen Fahrzeugen nur minimale CO<sub>2</sub>-Emissionen erzeugt werden. Diese Mischform von „klassischem“ Auto und Elektrofahrzeug kann die Akzeptanz der Elektromobilität bei Nutzern erhöhen, die eine große Reichweite des Fahrzeugs erwarten. Andererseits werden viele Nutzer die Erfahrung machen, dass für die meisten ihrer Fahrten der rein elektrische Betrieb vollkommen ausreicht: Mehr als zwei Drittel aller PKW auf deutschen Straßen werden am Tag weniger als 40km weit gefahren. ■



---

# PRAKTISCH

---

## Alltagstauglicher Einstieg: Für jeden Einsatz das passende Elektromobil.

Der Übergang zur Elektromobilität ist ein Prozess, der sich nicht von heute auf morgen vollziehen wird. Trotz ihrer Vorteile bei der Energieeffizienz sind Elektrofahrzeuge zunächst einmal teurer als Autos mit Verbrennungsmotor. Ein sinnvoller erster Schritt, Elektromobilität im Straßenverkehr zu verankern, ist daher, Pionierprojekte im Bereich von Fahrzeugflotten zu fördern. Dort können die niedrigeren Betriebskosten bereits heute den höheren Anschaffungspreis zu einem großen Teil wettmachen. Je mehr die Vorteile von Elektrofahrzeugen in diesen Bereichen sichtbar werden, desto mehr steigt auch ihre Akzeptanz bei privaten Käufern.

Ein gut geeignetes Einsatzgebiet von Elektromobilität in Fahrzeugflotten ist der innerstädtische Lieferverkehr. Bei Transportunternehmen oder mobilen Dienstleistern rentiert sich die Anschaffung von sparsamen Elektrofahrzeugen eher, weil die Voraussetzungen hier besonders günstig sind: Werden die Fahrzeuge nicht bewegt, stehen sie auf den Betriebshöfen oder Firmenparkplätzen, so dass eine gebündelte Ladeinfrastruktur leicht zu realisieren ist. Hinzu kommt, dass im innerstädtischen Lieferverkehr die täglich zurückgelegten Strecken sehr regelmäßig sind und durch die Reichweite heutiger Elektrofahrzeuge bereits gut abgedeckt werden. Vorteilhaft ist auch der Einsatz von Diesel-Hybridbussen im Öffentlichen Nahverkehr. Die Rückgewinnung der Bremsenergie beim häufigen Halten und Anfahren spart nicht nur 20 Prozent Treibstoff, ein rein elektrisches Fahren im Haltestellenbereich senkt

zudem die Belastung der wartenden Fahrgäste durch Feinstaub und andere Luftschadstoffe erheblich.

Viele Menschen nutzen ihr Auto hauptsächlich im Stadtverkehr, wo die kürzeren Reichweiten von Elektroautos nicht ins Gewicht fallen. Hinzu kommt der Vorteil, dass die Lärm- und Luftbelastungen im dicht besiedelten Stadtraum sinken, ferner gleicht das spürbar preiswertere „Betanken“ auch hier den höheren Kaufpreis zum Teil aus. Größere Reichweiten, also ein Auto für alle Zwecke, bieten Fahrzeuge mit Range Extender: Ein kleiner Verbrennungsmotor versorgt die Batterie wenn nötig mit Strom, die meisten Strecken aber können rein elektrisch mit erneuerbarer Energie aus der Steckdose zurückgelegt werden. Ein gesteuertes Laden leistet dabei einen wirksamen Beitrag für die Stabilität der Stromnetze und eine optimierte Nutzung regenerativer Energien. Für diejenigen, die ohnehin häufig Bus, Bahn oder Flieger nutzen, bietet sich auch die Möglichkeit, einen Elektrowagen im CarSharing-Verfahren mit anderen zu teilen. Hier kann je nach Bedarf das zweckmäßigste Fahrzeug – zum Beispiel ein Van oder Kleinwagen – gewählt werden. Neue Dienstleistungsmodelle wie etwa der Kauf von „Kilometern“ oder das Leasen von Batterien können ebenfalls einen Beitrag leisten, Elektromobilität marktfähig zu machen. Die Schaffung angepasster, attraktiver Angebote steht im Zusammenhang mit neuen Marketingkonzepten, bei denen die Umweltvorteile einen zentralen Gesichtspunkt darstellen. ■







---

# 1 **Förderschwerpunkte und Projekte**

## **Feldversuche Elektromobilität im PKW-Verkehr**

---

Das umweltpolitische Potenzial der Elektromobilität hängt entscheidend von der Form der Stromerzeugung sowie der Marktdurchdringung dieser Fahrzeuge im Personenverkehr ab. Feldversuche unter Alltagsbedingungen liefern dabei wichtige Erkenntnisse bezüglich der Technologiereife des Antriebs, des Energiebedarfs des Fahrzeugs und der Nutzerakzeptanz. Sie sind damit für eine zielgerichtete Weiterentwicklung der Elektro- und Plug-In-Hybrid-Antriebe und für die Einschätzung der künftigen Marktentwicklung und des CO<sub>2</sub>-Reduktionspotenzials von hoher Bedeutung.

Die klima- und energiepolitischen Ziele für den Sektor Verkehr werden ohne einen verstärkten Einsatz erneuerbarer Energien nicht erreicht werden können. Da erneuerbare Energien in anderen Sektoren jedoch ebenfalls zu hohen CO<sub>2</sub>-Einsparungen und zur Reduktion von Energieimporten beitragen sollen, ist deren effiziente Nutzung beim Einsatz im Verkehr zwingend erforderlich.

### **Gegenstand der Förderung waren daher insbesondere folgende Themen**

- Weiterentwicklung und Erprobung von Elektro- und Plug In Hybrid Fahrzeugen im PKW Sektor,
- Weiterentwicklung und Erprobung von Verfahren zum gesteuerten Laden und zur Rückspeisung elektrischer Energie ins Stromnetz,
- Entwicklung und Erprobung von Verfahren zum kabellosen Laden.

## Förderschwerpunkte und Projekte

---

---

### Verbund

Klimaentlastung durch den Einsatz erneuerbarer Energien im Zusammenwirken mit emissionsfreien Elektrofahrzeugen

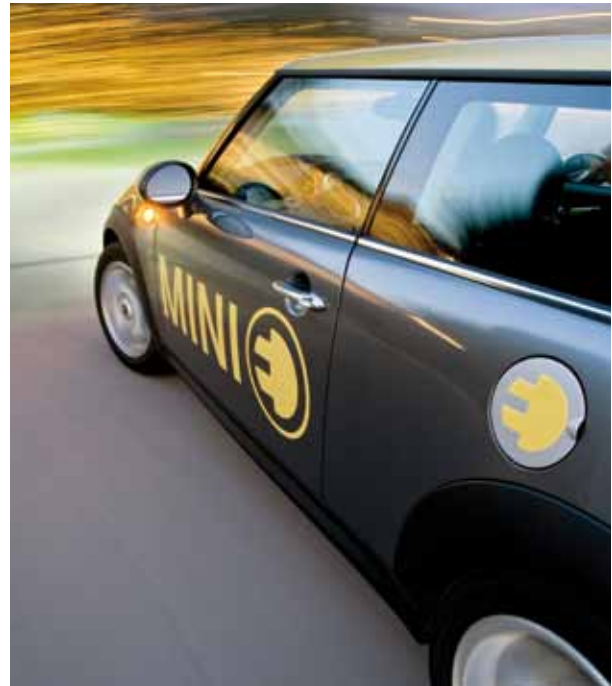
### Projektpartner

Bayerische Motoren Werke AG, München  
Vattenfall Europe Aktiengesellschaft, Berlin  
Technische Universität Chemnitz, Chemnitz  
Technische Universität Berlin, Berlin  
Technische Universität Ilmenau, Ilmenau

### Laufzeit

01.11.2008 – 30.11.2010

---



## MINI E Berlin powered by Vattenfall

### Ziele des Projekts

Hauptziel des Projekts war es, in einer frühen Phase der Elektromobilität durch einen Flottenversuch erste Erfahrungen zu den Klima- und Umweltfaktoren sowie zum Nutzungsverhalten von Elektrofahrzeugen zu sammeln.

### Ergebnisse

Um die Potenziale und Anforderungen für die weitere Entwicklung der Elektromobilität für die beteiligten Akteure (Automobilhersteller, Energieversorger, Netzbetreiber, Nutzer) aufzeigen zu können, hat die BMW AG im Juni 2009 eine Flotte von 50 elektrisch betriebenen PKW auf Basis des MINI bereitgestellt, die über 12 Monate von ausgewählten Personen unter Alltagsbedingungen genutzt wurden. Neben der Installation der erforderlichen Ladevorrichtung bei den Nutzern hat der Partner Vattenfall Europe AG auch öffentlich zugängliche Stromladesäulen und dazugehörige Abrechnungssysteme

entwickelt und im Berliner Stadtgebiet zur Erprobung als vernetztes, komfortables Ladeinfrastruktursystem aufgebaut. Die Herkunft des Stroms aus Wind- und Wasserkraft wurde mit Zertifikaten nachgewiesen. Die wissenschaftliche Begleitung wurde von den technischen Universitäten Ilmenau, Berlin und Chemnitz übernommen.

Im Rahmen des Flottenversuchs in Berlin wurden die Möglichkeiten von Elektrofahrzeugen zur Reduzierung von CO<sub>2</sub>-Emissionen und lokalen Schadstoffen sowie zur Kopplung mit erneuerbaren Energien aufgezeigt. Weitere Schwerpunkte waren Untersuchungen zur Praxistauglichkeit und Nutzerakzeptanz. Dabei wurden speziell die Potenziale der Elektromobilität mit Blick auf die Integration der Erneuerbaren Energien ins Stromnetz und das Verhalten der Nutzer im Hinblick auf die Steuerbarkeit des Ladeverhaltens betrachtet. Es wurden Methoden und Anwendungen entwickelt, die die



Belastungsschwankungen des Energieverteilnetzes ausgleichen können. Das bezieht sich zum einen auf angebotsseitige Belastungsspitzen durch die Einspeisung von Windenergie, andererseits auf nachfrageseitige Belastungsspitzen durch das Aufladen des Elektrofahrzeugs, die durch das kontrollierte Laden der Batterien ausgeglichen werden können. Unter der Voraussetzung, dass in Zukunft für Elektrofahrzeuge entsprechend leistungsfähige Batterien zur Verfügung stehen, könnten diese als virtuelle Kraftwerke fungieren und ihre gespeicherte Energie bei Bedarf auch in das Stromnetz zurückspeisen. Im Projekt wurden hierzu Konzepte erarbeitet und in praxisnahen Tests verifiziert. Der Schwerpunkt lag hierbei im Nachweis der Alltagstauglichkeit und der Kundenakzeptanz von gesteuertem Laden und der generellen Nutzung von Elektrofahrzeugen.

Mit dem Projekt konnte gezeigt werden, dass Elektromobilität auf Basis des heutigen MINI E

schon jetzt weitestgehend alltagstauglich ist. Die Ergebnisse der Studie belegen, dass sich die Teilnehmer in den allermeisten Fällen in ihrem gewohnten Mobilitätsverhalten durch die begrenzte Reichweite des Fahrzeugs nicht beeinträchtigt sehen. Die notwendigen Ladezeiten des MINI E stellten für die Nutzer keine Einschränkung dar. Wer über eine Ladestation zu Hause oder am Arbeitsplatz verfügte, benötigte kaum zusätzliche Stationen im öffentlichen Raum. Darüber hinaus konnte nachgewiesen werden, dass das gesteuerte Laden über die entwickelte Wind-to-Vehicle-Applikation funktioniert und von den Nutzern angenommen wird. ■

## Förderschwerpunkte und Projekte

---

---

### Verbund

MINI E Berlin powered by Vattenfall V2.0

### Projektpartner

Vattenfall Europe Innovation GmbH, Hamburg  
Bayerische Motoren Werke AG, München  
Technische Universität Chemnitz, Chemnitz

### Laufzeit

01.04.2010 – 30.09.2011

---



## MINI E Berlin powered by Vattenfall V2.0

### Ziele des Projekts

In vorausgegangenen Projekten (unter anderem MINI E) konnte der Nachweis erbracht werden, dass Elektrofahrzeuge prinzipiell in Abhängigkeit der aktuellen Erzeugungsleistung von Windkraftanlagen geladen werden können und dabei trotzdem keine Einschränkungen bei der Nutzung der Elektrofahrzeuge entstehen. Allerdings zeigte sich auch, dass die Korrelation zwischen den zeitlichen Verläufen der Windenergieeinspeisung und der am Netz verfügbaren Fahrzeuge niedriger als erwartet ist. Zudem wird die öffentliche Ladeinfrastruktur nicht in dem Maße in Anspruch genommen, wie es ursprünglich erwartet wurde. Die Kombination aus Fahrzeugreichweite und Lademöglichkeit zuhause lassen nur in wenigen Fällen einen Bedarf für das Laden im öffentlichen Raum entstehen. Andererseits konnte aus den Ergebnissen des Vorgängerprojektes gezeigt werden, dass durch fehlende Informationen darüber, wann und wo geladen werden kann, die Nutzung von Lade-

möglichkeiten im öffentlichen Raum eingeschränkt wird. Ziel im Vorhaben war daher unter anderem die Entwicklung eines geeigneten Mobilitätsassistenten zur Realisierung von Mehrwertdiensten, die eine einfache Nutzung der Wind-to-Vehicle-Lademöglichkeiten (W2V) auch im öffentlichen Raum bieten.

### Ergebnisse

Wie im Vorhaben MINI E wurde im Vorhaben MINI E V2.0 – jedoch mit insgesamt 70 Fahrzeugen – ein Flottenversuch zur Untersuchung und Erprobung der Elektromobilität in neuen Anwendungsfällen durchgeführt. Es wurden weitere Nutzergruppen identifiziert, bei denen sich auf der Basis der Datenergebnisse auch ein Mehrwert für das W2V-Konzept ergab. Wesentlicher Projektinhalt war die Gewinnung weiterer Erkenntnisse für den Betrieb und Einsatz sowie für die Auslegung von E-Fahrzeugen in neuen Anwendungsfällen (zum Beispiel Laternenparker, Flotteneinsatz). Dabei wurde auf Basis einer

# 1 - Feldversuche Elektromobilität im PKW-Verkehr



wissenschaftlichen Analyse das W2V-Konzept weiterentwickelt und ein entsprechender Mehrwertdienst realisiert.

Zur Nutzung des Mehrwertdienstes wurde ein Mobilitätsassistent entwickelt und getestet, der kundengerechte Mobilitätspakete zur Unterstützung der Kombination von Laden und Parken bereitstellt. Hierdurch erhalten Nutzergruppen, die zuhause keine Lademöglichkeit haben, geeignete Informationen für das Laden im öffentlichen Raum. Von besonderer Bedeutung ist dabei die zukünftige Übertragbarkeit der gefundenen Lösungen zum Beispiel für große Flottenkunden, die Privat- oder Geschäftsleuten ihre Fahrzeuge zur Verfügung stellen. Es konnten Lösungen gezeigt werden, die auch für Personen ohne einen festen PKW-Stellplatz („Laternenparker“) geeignete und effiziente Verfahren zur Nutzung erneuerbarer Energie (W2V) bieten.

Durch die Ergebnisse des Projektes konnten auch Methoden und Verfahren in die Mehrwertdienste integriert werden, die eine gezielte Bereitstellung von Informationen über die Fahrzeugverfügbarkeit am Netz ermöglichen. Die Ergebnisse stellen somit einen wichtigen Beitrag zur Umsetzung der integrierten klima- und energiepolitischen Vorgaben der Bundesregierung dar. Darüber hinaus stärkt es die Zukunftsfähigkeit der Schlüsselindustrien Automobil und Energie im globalen Wettbewerb und erfüllt damit auch industriepolitische Ziele. ■

## Förderschwerpunkte und Projekte

---

---

### Vorhaben

Erforschung und Erprobung neuer Fahrzeugkonzepte zur Elektromobilität

### Projektpartner

Bayerische Motoren Werke AG, München

### Laufzeit

01.09.2009 – 30.09.2011

---



## BMW ActiveE

### Ziele des Projekts

Batterieelektrisch angetriebene Fahrzeuge im Straßenverkehr spielen eine entscheidende Rolle zur Erreichung einer ökologisch und ökonomisch begründeten Verbesserung der Lebensqualität. Sie ermöglichen individuelle Mobilität bei gleichzeitig höherer Effizienz im Vergleich zu Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor. Hierzu müssen jedoch neue Fahrzeugkonzepte entwickelt werden, die neben den bisherigen fahrzeugspezifischen technologischen Errungenschaften wie Sicherheit, Komfort oder Reichweite auch die neuen Anforderungen eines batterieelektrischen Antriebs sinnvoll einbinden. Gegenüber den in den Feldversuchen MINI E eingesetzten Fahrzeugen, die durch einen Umbau eines MINI-Serienfahrzeugs entstanden sind, war das Hauptziel des Projekts BMW ActiveE die Entwicklung eines nachhaltigen Fahrzeugkonzeptes, das den oben beschriebenen Anforderungen genügt. Zusätzlich war der Nachweis zu erbringen, dass die Prozesse zur

Entwicklung und Reproduktion neuer batterieelektrisch angetriebener Fahrzeuge die erforderliche Flexibilität und Effizienz aufweisen, um technologische Besonderheiten in einer wirtschaftlichen Weise berücksichtigen zu können. Die bisherigen Erfahrungen bei der Entwicklung und Produktion konventioneller Fahrzeuge können dabei nur bedingt genutzt werden.

### Ergebnisse

Es wurde daher ein neues Elektrofahrzeug (BMW ActiveE) entwickelt und in einem iterativen, technologisch anspruchsvollen Prozess wurden alle wesentlichen Komponenten und Eigenschaften des entstandenen Versuchsträgers eingehenden Leistungstests unterzogen. Die Tests ermöglichten frühzeitige Anpassungen und Optimierungen des Fahrzeugkonzeptes. Ein Schwerpunkt dabei war die Modifikation des ursprünglichen Basisfahrzeugs zur Aufnahme neuer, Elektrofahrzeug-tauglicher Komponenten.



Dabei mussten wesentliche Teile der zum sicheren und komfortablen E-Betrieb des Fahrzeugs notwendigen Software (zum Beispiel für Bordnetz und Betriebsstrategie) neu entwickelt werden. Größte Herausforderung war die reproduktionssichere Integration des HochvoltSpeichers, der HV-Leistungselektronik, des Elektromotors und des Getriebes sowie aller Nebenaggregate, wie zum Beispiel der Heizungs- und Klimaanlage oder der Hochvoltsicherheitseinrichtungen in das Gesamtsystem „E-Fahrzeug“. Zur Untersuchung möglicher Wechselwirkungen zwischen den Fahrzeugsystemen wurde eine größere Zahl von Erprobungsfahrzeugen im Rahmen von Feldtests sowohl unter Alltagsbedingungen als auch unter Extrembedingungen (unter anderem Crash- und HV-Sicherheit) hinsichtlich ihrer Tauglichkeit untersucht.

Weitere Tests befassten sich mit einer Vielzahl möglicher Einsatzfälle auch unter nutzerspezifischen Randbedingungen. Die im Verlauf des Vor-

habens gewonnenen Erfahrungen und Erkenntnisse haben wesentlich dazu beigetragen, zukünftig effiziente kostengünstige und damit konkurrenzfähige Fahrzeugkonzepte zu entwickeln und aufzubauen. Somit konnte dem Anspruch, batterieelektrische Fahrzeuge mit hoher Nutzerakzeptanz und effizienter Nutzung der eingesetzten Energie zu entwickeln, entsprochen werden. ■

## Förderschwerpunkte und Projekte

---

---

### Verbund

Steigerung der Effektivität und Effizienz der Applikationen Wind-to-Vehicle (W2V) sowie Vehicle-to-Grid (V2G) inklusive Ladeinfrastruktur

### Projektpartner

Vattenfall Europe Innovation GmbH, Hamburg  
Bayerische Motoren Werke AG, München  
Technische Universität Berlin, Berlin  
Technische Universität Chemnitz, Chemnitz  
Technische Universität Ilmenau, Ilmenau

### Laufzeit

01.05.2010 – 30.09.2011

---



## Gesteuertes Laden V2.0

### Ziele des Projekts

Ziel des Vorhabens „Gesteuertes Laden V2.0“ war es, geeignete Verfahren zu entwickeln, die eine optimale Nutzung von erneuerbaren Energien ermöglichen. Dazu sollte unter anderem ein Lastmanagement realisiert werden, mit welchem das Laden der Elektrofahrzeuge in Abhängigkeit von der Verfügbarkeit von Windenergie verbessert wird. Dabei waren sowohl die energiewirtschaftlichen und fahrzeugtechnischen Anforderungen als auch das Nutzerverhalten zu berücksichtigen.

### Ergebnisse

Im Rahmen der Forschungsarbeiten wurden verschiedene Funktionen für ein effektives Lade- und Lastmanagement entwickelt und in die Ladeinfrastruktur integriert. Hierzu gehörte die Wind-to-Vehicle-Funktion (W2V), bei welcher die Ladeleistung möglichst in solche Zeitfenster gelenkt wird in denen das Windstromangebot hoch, die Stromnachfrage im Netz

dagegen gering ist. Umgekehrt dient die Vehicle-to-Grid-Funktion (V2G) dazu, Energie aus der Batterie des Fahrzeugs ins Netz zurück zu speisen, wenn wenig Windenergie zur Verfügung steht, aber hohe Nachfrage nach Strom besteht. Das lokale Lastmanagement (LLM) bewirkt beim gesteuerten Laden, dass Netzrestriktionen eingehalten und die verfügbaren Kapazitäten optimal ausgenutzt werden. Den Fahrzeugen werden dabei – unter Einhaltung der begrenzenden Netzkapazität – dynamisch die Ladeströme zugeteilt. Das erfolgt unter Berücksichtigung anwendungsabhängiger und individuell veränderbarer Prioritätsregeln.

Dabei wurde auch die Anpassungsfähigkeit der netzseitigen Systemsteuerung in Abhängigkeit der Anforderungen der Nutzer untersucht.

Zur Validierung des Gesamtsystems wurde ein Flottenversuch mit Elektrofahrzeugen vom Typ BMW ActiveE durchgeführt. Neben den in entsprechen-



# 1 - Feldversuche Elektromobilität im PKW-Verkehr



den Ladesäulen implementierten Lade- und Lastmanagementfunktionen kam auch ein sogenannter Ladeassistent zum Einsatz. Dabei handelt es sich um eine Smartphone-basierte Applikation, die als Mobilitätsplaner sowohl den Bedarf als auch die zeitliche und örtliche Verfügbarkeit erneuerbarer Energie anzeigt und so den Nutzern die Teilnahme am gesteuerten Laden vereinfacht. Im Verlauf des Flottenversuchs wurden die Be- und Entladevorgänge der Elektrofahrzeuge unter Beachtung der individuellen Mobilitätsbedürfnisse der Nutzer, abhängig vom Windaufkommen und der Netzlast zentral gesteuert. In dem Vorgängerprojekt MINI E Berlin 1.0 wurde herausgefunden, dass zur Steigerung von Effektivität und Effizienz eine stärkere Verschränkung und Interaktion von Ladestation und E-Fahrzeug erforderlich ist. Daher wurde im Vorhaben „Gesteuertes Laden V2.0“ eine bidirektionale Kommunikation beider Instanzen entwickelt und eingesetzt, um so eine Abstimmung zwischen Lade-

stationen und Elektrofahrzeugen über den Ladevorgang zu ermöglichen.

Mit dem Vorhaben konnten die technischen, wirtschaftlichen und ökologischen Auswirkungen des gesteuerten Ladens eingehend untersucht werden. Dabei wurde eine Verbesserung von Effektivität und Effizienz im Zusammenwirken zwischen Energieinfrastruktur und Fahrzeugflotte erreicht. ■

## Förderschwerpunkte und Projekte

---

---

### Verbund

Kabelloses Laden von Elektrofahrzeugen  
(W-Charge)

### Projektpartner

Audi Electronics Venture GmbH, Gaimersheim  
Fraunhofer IWES, Kassel  
Paul Vahle GmbH & Co. KG, Kamen  
Volkswagen AG, Wolfsburg

### Laufzeit

01.01.2010 – 30.09.2011

---

---

### Verbund

Kontaktloses Laden von  
Elektrofahrzeugen (Conductix)

### Projektpartner

Conductix-Wampfler AG, Weil am Rhein  
Daimler AG, Sindelfingen

### Laufzeit

01.03.2010 – 30.09.2011

---

## Kabelloses Laden von Elektrofahrzeugen

### Ziele des Projekts

Elektrofahrzeuge können einen wichtigen Beitrag zur Verbesserung der Integration fluktuierender erneuerbarer Energien in das Stromnetz leisten. Die Voraussetzung dafür ist allerdings eine möglichst häufige Verbindung der Elektrofahrzeuge mit dem Netz. Mit der heute üblichen kabelgebundenen Ladetechnik ist dies nur schwer realisierbar. Denn bisher durchgeführten Feldversuchen mit Elektrofahrzeugen zufolge schließen die Nutzer die Fahrzeuge erst dann an das Stromnetz an, wenn die Batterie einen relativ niedrigen Ladestand erreicht hat. Mit dem induktiven Laden von Elektrofahrzeugen wird der Aufwand zur Verbindung des Fahrzeugs mit dem Netz erheblich reduziert, es kann erstmals die vollkommen barrierefreie Netzkoppelung erreicht werden. Absehbare Vorteile sind die erhöhte Sicherheit, der hohe Bedienkomfort durch automatische Verfahren, die Schonung der Batterien durch regelmäßiges Nachladen sowie eine häufigere

und längere Koppelung mit dem Stromnetz.

Ziel der drei Verbundvorhaben war die Entwicklung und der praktische Nachweis von kabellosen Ladetechnologien bei unterschiedlichen Randbedingungen. Flankierend wurde die Ertüchtigung der einschlägigen Industrie, bestehend aus Technologie-lieferanten und Automobilherstellern im Rahmen des DKE-Arbeitskreis AK 353.0.1 unterstützt, in dem nahezu alle Projektpartner Mitglieder sind. Wesentliche Arbeiten zur systemischen Verbesserung des kabellosen Ladens betreffen technisch-wissenschaftliche Fragestellungen zur Realisierung der Interoperabilität, der Einhaltung von Schutzzielen (EMV) sowie Fragen hinsichtlich einer zukünftigen internationalen Standardisierbarkeit.

### Ergebnisse

Das Verbundprojekt „IndiOn“ hat den Schwerpunkt der Entwicklungen auf der Erzielung eines möglichst

---

## **Verbund**

Kontaktloses Laden von batterieelektrischen Fahrzeugen (IndiOn)

## **Projektpartner**

Siemens AG, München  
Bayerische Motoren Werke AG, München

## **Laufzeit**

01.04.2010 – 30.09.2011

---

hohen Wirkungsgrades bei der Energieübertragung zwischen Straßen- und Fahrzeugseite gelegt. Durch eine intelligente Steuerung wird der Ladevorgang automatisch gestartet, kontrolliert und wieder beendet. Mit den gefundenen Anordnungen konnten Wirkungsgrade bis zu 95 Prozent erzielt werden.

Im Verbundprojekt „W-Charge“ wurden unter anderem Fragestellungen zur Fahrzeugintegration der sekundären Kontaktloseinrichtungen untersucht. In einer Versuchsreihe wurde die manuell erreichbare Positioniergenauigkeit des Fahrzeugs über der straßenseitigen Primärspule evaluiert und die Auswirkungen auf die Übertragungseffizienz ermittelt. Bei einer Positioniergenauigkeit von circa +/- 10 cm konnte ein Wirkungsgrad von bis zu 90 Prozent erreicht werden.

Im Verbundprojekt „Conductix“ wurde für ein Range-Extender-Fahrzeug eine kontaktlose Ladeeinheit

entwickelt. Dazu wurde fahrzeugseitig die Ladespule in den Fahrzeugboden integriert. Es wurden die konstruktiven und technischen Anforderungen hinsichtlich des Abgastrangs, der Positionierung der Spule sowie der material- und verfahrenstechnischen Möglichkeiten erforscht und eine optimierte Variante umgesetzt. Auch hier fanden Untersuchungen zum erreichbaren Wirkungsgrad statt.

Alle Entwicklungen ergänzen sich und berücksichtigen die vorliegenden Erfahrungen bei den Partnern der Verbundprojekte. Die Ergebnisse aus den drei Vorhaben dienen der Umsetzung einer noch neuen, barrierefreien Ladetechnologie mit dem Ziel, einfaches, komfortables und zuverlässiges Laden sowohl im öffentlichen als auch im privaten Raum zu ermöglichen. Die Technologie kann die Kundenakzeptanz und die Marktfähigkeit von Elektro- und Plug-In-Hybridfahrzeugen deutlich verbessern. ■

## Förderschwerpunkte und Projekte

---

---

### Verbund

Chancen und Risiken beim kabellosen Laden von Elektrofahrzeugen, Technologiefolgenabschätzung für eine Schlüsseltechnologie in der Durchbruchphase der Elektromobilität

### Projektpartner

ifak - Institut für Automation und Kommunikation e. V. Magdeburg an der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Magdeburg  
Kiefermedia GmbH, Offenburg

### Laufzeit

01.10.2010 – 30.09.2011

---



## JustPark

### Ziele des Projekts

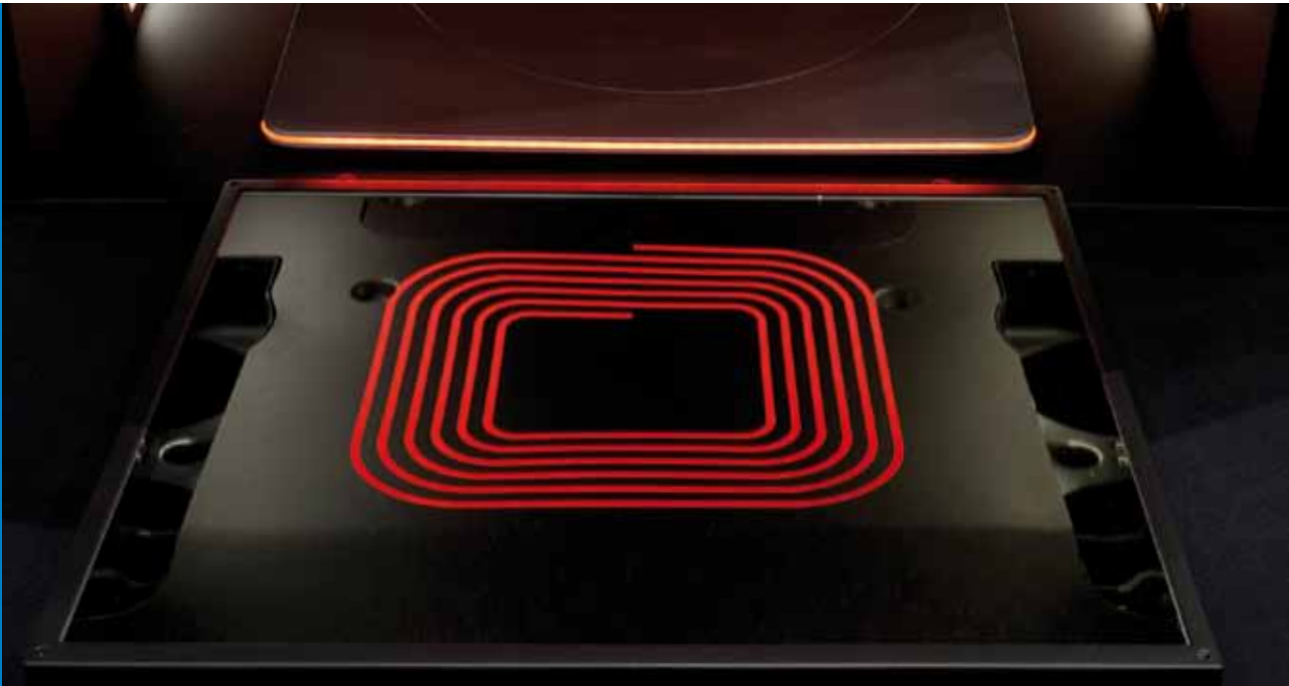
Flankierend zu den drei FuE-Projekten zum kabellosen Laden von Elektrofahrzeugen wurde ein Forschungsvorhaben durchgeführt, das die Vor- und Nachteile gegenüber konventionellen Ladetechnologien untersuchen sollte.

### Ergebnisse

Hinsichtlich des Systemwirkungsgrades wird das kabellose Laden ab circa 2015 dieselben Werte wie das kabelgebundene Laden erreichen. Der heute durchschnittlich erreichte Wirkungsgrad im Falle der resonanten Induktionsladung von circa 90 Prozent wird sich bis 2015 auf eine Größenordnung von circa 95 Prozent steigern lassen. Bei der Wirkungsgradbetrachtung wird der Systemwirkungsgrad betrachtet, das heißt von der Einspeisung in die Primärseite bis zu den Batterieklemmen im Fahrzeug sowie die Feststellung, dass sich durch das nutzer-, netz- und batteriefreundliche kabellose

Laden mit geringer Ladeleistung und Ladedauer aufgrund hoher, steuerbarer Regelmäßigkeit und Automatisierbarkeit des Ladeprozesses die Nutzung erneuerbarer Energie steigern lässt. Aus der Gesamtbetrachtung resultiert auch eine schnellere Senkung der Lebenszykluskosten gegenüber denen des kabelgebundenen Ladens.

Die Nachteile des Ladekabels sowie entstehende Kosten aufgrund von Vandalismus, Diebstahl, Verschmutzung und Verschleiß rücken mit zunehmender Verbreitung und Erfahrung mehr in das Bewusstsein von Nutzern und Flottenbetreibern von Elektrofahrzeugen. Es wird damit gerechnet, dass ab 2015 das kabellose Laden wesentlich zur Verbreitung der Elektromobilität beitragen wird. Bereits heute ist der Ladevorgang der zweitwichtigste „Deal Breaker“ bei der Nutzung der Elektromobilität, der jedoch im Gegensatz zum derzeit wichtigsten Kaufhinderungsgrund, der begrenzten Reichweite, noch



wenig aufgegriffen wird. Auf Basis der Untersuchungen wurde prognostiziert, dass sich dieses Verhältnis umkehren wird, weil die möglichen Reichweiten aufgrund von Effizienzsteigerungen im elektrischen Antriebsstrang, Weiterentwicklungen bei den Batterien und vor allem aufgrund sinkender Kosten schneller als erwartet zunehmen werden. Ferner wird davon ausgegangen, dass die erforderlichen Komponenten für das kabellose Laden für Kaufinteressenten schon ab 2013 zur Verfügung stehen. Ein weiterer positiver Effekt ergibt sich dadurch, dass die Nutzer/Verbraucher sehr schnell lernen, wie viel Reichweite sie tatsächlich benötigen und für welches Fahrprofil sich Elektrofahrzeuge am besten eignen. Daher tritt die Reichweitendiskussion gegenüber der komfortablen Nutzung (Barrierefreiheit) von Elektrofahrzeugen zurück. Hierzu gehört auch der Einsatz von Parkassistenzsystemen, mit denen die Positionierung des Fahrzeugs über der Primärspule millimetergenau und vollautomatisch

gelingt und damit die beste Übertragungsrate erreicht wird. Es wird angenommen, dass zukünftig das fahrerlose, vollautonome Einparken (Valet Parking) zu einem Haupttreiber des kabellosen, vollautomatischen Ladens werden kann.

Vor dem Hintergrund der Energiewende und der seit Jahren steigenden Netzbelastung ist reguläres Standardladen (220 V, 16 A) dringend geboten. Dies wird auch dazu beitragen, dass sich kabelloses Laden mit 3,3 kW Ladeleistung durchsetzt. ■

---

### Vorhaben

Netz-Flotten-Management: Energieeffizienz- und Betriebskostenoptimierung für Elektrofahrzeuge

### Projektpartner

Siemens AG, München

### Laufzeit

01.07.2010 – 30.09.2011

---



## 4S

### Ziele des Projekts

Hauptziel des Vorhabens 4S war die Verbesserung der Energieeffizienz und die Minimierung der Betriebskosten von Elektrofahrzeugflotten. Dies sollte einerseits durch die Entwicklung einer neuen Antriebsarchitektur für die Fahrzeuge, andererseits durch ein sich selbst optimierendes Betreibersystem erreicht werden. Im Vordergrund stand dabei auch die Absicht, für Flottenbetreiber wie zum Beispiel Autovermieter, kommunale Fuhrparks oder Stadtwerke, ein gleichermaßen einfach handhabbares und effizientes Flottenmanagementtool zu konzipieren.

### Ergebnisse

Wesentliche Arbeiten betrafen die Erhöhung der Energieeffizienz, zum Beispiel durch Reduzierung der Verluste beim Laden wie auch beim Fahren. Gleichzeitig sollten die Betriebskosten weiter reduziert werden, zum Beispiel durch Flottendisposition, vollautomatische Abrechnung, Vermeidung von

Parkplatzsuchverkehr und Erhöhung der Fahrzeugauslastung. Eine entwickelte Simulationssoftware leistet wichtige Beiträge zur Verbesserung der Planungs- und Versorgungssicherheit.

Für das im Projekt umgesetzte betriebliche Car-Sharing wurden Fahrzeuge auf Basis des Suzuki Splash zum Elektroauto umgebaut. Hierzu wurde ein leistungsfähiges 800 V-Fahrzeugnetz einschließlich des zugehörigen Antriebsstranges nebst Batterie- und erforderlichem Lademanagement entwickelt und in die Flottenfahrzeuge integriert. Während die im Car-Sharing eingesetzten Fahrzeuge über einen Zentralmotor verfügten, wurde ein weiteres Fahrzeug als Erprobungsträger mit zwei Radnabenmotoren an der Hinterachse aufgebaut, das weitere Vorteile im Flottenbetrieb bietet (zum Beispiel weniger Gewicht und mehr Platz im Fahrzeug zum Beispiel durch Entfall des Differenzialgetriebes, rein elektromotorisches Bremsen über die Hinterachse etc.).

## 1 - Feldversuche Elektromobilität im PKW-Verkehr



Inzwischen werden 100 Fahrzeuge im Rahmen eines Flottenversuchs von Siemens an den Unternehmensstandorten in Erlangen, München und Berlin betrieben wobei die verschiedenen Standorte auch mit entsprechender Infrastruktur (Ladestationen) ausgestattet wurden. Die Steuerung und Verwaltung der Fahrzeugflotte erfolgt mit Hilfe des entwickelten Netz-Flotten-Managements (eCar-Sharing Managementsoftware) über eine zentrale Leitwarte. Mit ihr werden unter anderem Reservierungen von Fahrzeugen im Intranet ermöglicht. Die On-Board-Unit im Fahrzeug kann dabei den Fahrer anhand seines Mitarbeiterausweises identifizieren, entriegelt das Auto und deaktiviert die Wegfahrsperrung. Während der Fahrt zeigt sie freie Ladesäulen an und bietet die Möglichkeit, diese zu reservieren. Nach der Fahrt werden die Abrechnungsdaten nach Zeitdauer und Strecke per Mobilfunk an die Leitwarte übermittelt. Auf diese Weise konnten zeitliche und ortsabhängige Parameter des Betriebs der Flotte sichtbar und steuer-

bar gemacht werden. Anhand der Erfahrungen aus dem Projekt können der elektrische Antrieb, die Ladestationen, die Netzsteuerung und das Flottenmanagement optimiert und weiterentwickelt werden. Im Projekt 4S wurden konzeptionell bisher wenig greifbare Zusammenhänge und Wechselwirkungen zwischen verschiedenen Faktoren wie zum Beispiel Reichweite, Nutzungsintensität und -bedarf, zeitliche und räumliche Verfügbarkeit erneuerbarer Energie nachvollziehbar und praktisch überprüft. Es konnten verschiedene Geschäfts- und Betreibermodelle getestet und deren Auswirkungen hinsichtlich der Anforderungen an Elektromobilitätslösungen untersucht werden. ■

---

### Vorhaben

Batteriefahrzeug mit Range Extender (REX)

### Projektpartner

Daimler AG

### Laufzeit

01.09.2009 – 31.03.2011

---



## REX

### Ziele des Projekts

Hinsichtlich der Weiterentwicklung batterieelektrischer Fahrzeuge mit erhöhter Reichweite, hoher Kundenakzeptanz und eines energieeffizienten Betriebs ist die Umsetzung eines Range-Extender-Konzepts von hoher Relevanz. Vorteil des Range Extenders (engl. für Reichweitenvergrößerer) gegenüber einem rein batterieelektrischen Fahrzeug sind die vergleichsweise kleine Batterie und damit geringere Batteriekosten. Zudem kombiniert das technische Konzept des Range-Extender-Fahrzeugs den Vorteil des lokal emissionsfreien Fahrens (E-Antrieb) mit dem Komfort einer großen Reichweite (Verbrennungsmotor). Ziel des Projektes REX war daher die Hybridisierung eines Elektrofahrzeuges durch einen Verbrennungsmotor. Der Verbrennungsmotor treibt dabei in der Regel einen Generator an, der wiederum durch den erzeugten elektrischen Strom den Elektroantrieb des Fahrzeuges auch dann sicherstellt, wenn die Batteriekapazität

zur Neige geht und keine Möglichkeit zum Laden besteht. In einigen Fällen ist aber auch ein direkter Antrieb der Räder durch den Verbrennungsmotor möglich.

### Ergebnisse

Voraussetzung für den prototypischen Aufbau des Range-Extender-Fahrzeugs war die Entwicklung neuer Komponenten und einer speziell auf das Antriebskonzept abgestimmten ganzheitlich optimierten Betriebsstrategie. Das im Rahmen des Vorhabens entwickelte Fahrzeug enthält eine Range Extender-Einheit, bestehend aus Traktionselektromotor, Getriebe, Verbrennungsmotor, Generator und Leistungselektronik. Diese Range Extender-Einheit ist so konzipiert, dass der Verbrennungsmotor einerseits einen Generator zum Laden der Batterie antreiben, andererseits seine Antriebsleistung durch einen mechanischen Durchtrieb aber auch direkt an die Antriebsräder übertragen kann. In gewissen Betriebs-





zuständen (zum Beispiel Überholvorgänge) kann die Leistung des Verbrennungsmotors und Elektroantriebs gemeinsam genutzt werden. Durch eine intelligente Betriebsstrategie wird der Verbrennungsmotor in den meisten Fahrzuständen im optimalen Wirkungsgradbereich betrieben, so dass jeweils nur verhältnismäßig geringe CO<sub>2</sub>-Emissionen entstehen. Als Ergebnis des Projekts liegt ein nachhaltiges Fahrzeug- und Antriebskonzept zur Reduktion der CO<sub>2</sub>- und Schadstoffemissionen vor. Dabei wurde sowohl eine Verringerung der Belastung für den innerstädtischen Bereich als auch das ländliche Umfeld erreicht. Für den innerstädtischen Bereich kann dies mit dem rein elektrischen Betrieb (keine Schadstoffemissionen) sichergestellt werden, im ländlichen Umfeld wird die Reduktion der Emissionen durch den gemischten Betrieb von Elektroantrieb und Verbrennungsmotor erreicht. Die Leistungsfähigkeit des Range Extenders wurde durch den Einsatz im Alltagsbetrieb nachgewiesen. Das

entstandene Fahrzeug hat eine Reichweite von circa 80 km im reinen E-Betrieb, mit Verbrennungsmotor wird eine Reichweite von bis zu 600 km ermöglicht.

Vor dem Hintergrund, dass für rein elektrisch angetriebene Fahrzeuge die Energiespeicher noch nicht über eine ausreichende Leistungsfähigkeit (Reichweite) verfügen, legt die Entwicklung des Range Extenders einen wichtigen Grundstein für die sinnvolle Nutzbarkeit von energieeffizienten und emissionsarmen Fahrzeugen. Das entstandene Range-Extender-Fahrzeug auf Basis eines Kompaktwagens soll zukünftig für eine Serienanwendung weiterentwickelt werden. ■

---

### Verbund

Emotion ohne Emission

### Projektpartner

RUF Automobile GmbH, Pfaffenhausen

Siemens AG, München

### Laufzeit

01.10.2009 – 30.09.2011

---



## Emotion ohne Emission

### Ziele des Projekts

Die Dynamik des Elektroantriebes ermöglicht ein sportliches, aber gleichzeitig emissionsfreies Fahren. Daher können Hochleistungs-Elektrofahrzeuge dazu beitragen, die CO<sub>2</sub>-Emissionen im Sportwagensegment erheblich zu reduzieren. Im Projekt Emotion sollte daher gezeigt werden, wie ein nachhaltiges Konzept für ein elektrisch betriebenes Personenkraftfahrzeug am Beispiel eines Sportwagens aussehen kann. Dabei wurde neben dem Fahrzeugkonzept selbst auch die effektive Einbindung der Fahrzeuge in das Stromnetz sichergestellt.

### Ergebnisse

Im Bereich der Antriebstechnologie konnte zunächst ein hocheffizienter und leistungsfähiger Antrieb entwickelt werden, der aufgrund seiner modularen Bauart verschiedene Antriebskonzepte zulässt. So konnten ein Zentralantrieb mit fester Getriebeübersetzung, ein Doppelmotorkonzept mit schaltbarem

Getriebe mit zweistufiger Übersetzung sowie ein Doppelmotorkonzept mit der Möglichkeit des „TorqueVectoring“ realisiert werden. Jedes Konzept bietet spezifische Vorteile in Bezug auf Kosten, Längsdynamik, Querdynamik und Effizienz. Der Elektromotor bei den Doppelmotorkonzepten ist eine permanent erregte Synchronmaschine mit einer Peakleistung von 125 kW bei einer Nennspannung von 700 V. Sie sorgt in Verbindung mit einem zweistufigen Schaltgetriebe für eine optimierte Längsdynamik und als Doppelmotorkonzept auf der Hinterachse mit elektronischem Differenzial für neue Möglichkeiten bei der Querdynamik. Zusätzlich wurde eine leistungsfähige, klimatisierte Batterie zur effizienten Nutzung der gespeicherten Energie entwickelt. Die effektive Einbindung ins Stromnetz wurde durch die Entwicklung einer integrierten bidirektionalen Ladetechnik mit 22 kW sowie durch eine entsprechende Ladeinfrastruktur sichergestellt. Die Bidirektionalität in Kombination



mit hoher Anschlussleistung bietet die Möglichkeit, die Synergien zwischen elektrischen Fahrzeugen und einem intelligenten Stromnetz zu nutzen. „Integrierte Ladetechnik“ bedeutet hierbei eine Integration der Ladetechnik in die bereits für das Fahren verwendete Leistungselektronik. Dies konnte durch ein Hochvoltkonzept realisiert werden, bei dem die Batteriespannung je nach Ladezustand zwischen 650 V und 800 V liegt. Zusätzlich wurde die für die Versuchsflotte benötigte Energie von der RUF Automobile GmbH durch die hauseigenen Wasserkraftwerke regenerativ bereitgestellt. Damit zeigt das Projekt einen ganzheitlichen Ansatz der Elektromobilität: Effektive Integration der Fahrzeuge in das Stromnetz und hocheffiziente Antriebe in Kombination mit regenerativen Energien.

Insgesamt wurden zehn Versuchsfahrzeuge aufgebaut und in anwendungsnahen Feldversuchen in Berlin und im Großraum München getestet. Die

aus technologischer Sicht sehr anspruchsvollen Arbeiten und Ergebnisse können auf andere Fahrzeugklassen übertragen werden und stellen somit einen wesentlichen Beitrag zur zukünftigen Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Automobil- und Zulieferindustrie dar. ■

## Förderschwerpunkte und Projekte

---

---

### Vorhaben

Integration von elektrischen Radnabenmotoren in vorhandene herkömmliche Antriebstechnologie zur Verbesserung des CO<sub>2</sub>-Wertes und der allgemeinen Lärmreduktion mit praxisnahem Bezug (E-Ramo)

### Projektpartner

BRABUS GmbH, Bottrop

### Laufzeit

01.12.2010 – 30.09.2011

---



## E-Ramo

### Ziele des Projekts

Die Nachrüstung von konventionellen PKW mit einem zusätzlichen elektrischen Antrieb ist ein noch weitgehend unerschlossenes Marktsegment. Dabei kann gerade diese Alternative zur Anschaffung eines neuen Hybridfahrzeugs ein wesentlicher Schritt auf dem Weg zu einer höheren Marktdurchdringung der Hybridtechnologie im PKW-Sektor sein. An dieser Stelle knüpft das Vorhaben E-Ramo an. Ziel des Projektes war die Entwicklung eines auf Radnabenmotoren basierenden Hybridsystems, das in ein konventionell angetriebenes Fahrzeug (hier Mercedes Benz E-Klasse) integriert werden soll. Um die Potenziale der Technologie in einem der möglichen Hauptanwenderkreise, wie zum Beispiel dem Taxibetrieb, zu untersuchen, wurde im zweiten Teil des Vorhabens der Prototyp in einer dreimonatigen Testphase erprobt.

### Ergebnisse

Mit dem Projekt E-Ramo konnte gezeigt werden, dass es möglich ist, die innovative Radnabentechnologie in vorhandene Fahrzeugkonzepte zu integrieren. In diesem Vorhaben wurden die Radnabenmotoren auf der Antriebsachse eines Mercedes E220 cdi Bluetech eingebunden. Durch kurze Wege bei der Hochvolt-Vernetzung konnte die bauliche Veränderung am Fahrzeug auf den Wegfall der Reserveradmulde zur Aufnahme der Li-Ionen-Batterie reduziert werden. Das Reserverad wurde durch ein handelsübliches Pannenset ersetzt, Innenraum und Kofferraum blieben funktional erhalten. Die Batterie wurde aus zehn einzelnen Modulen mit je zehn Lithium-Ionen-Einzelzellen hergestellt, wobei eine Speicherkapazität von 18,6 kWh erreicht werden konnte. Diese ermöglicht eine Reichweite von bis zu 120 km im reinen Elektrobetrieb. Das Aufladen der Batterie kann sowohl über das On-Board Ladegerät als auch über die Radnabenmotoren erfolgen, wenn



diese bei Bremsvorgängen Energie zurückspeisen. Die Motoren leisten jeweils 80 kW und geben somit insgesamt 160 kW rein elektrische Antriebsleistung ab. Diese Leistung kann einzeln, aber auch kombiniert mit dem Diesel-Motor abgerufen werden, was zu einer Spitzenleistung von 207 kW / 418 PS im kombinierten Modus führt. Trotz dem auf 1990 kg gestiegenen Leergewicht ist eine Beschleunigung von 0 - 100 km/h in 7,4 Sekunden sowie eine Höchstgeschwindigkeit von 220 km/h möglich. Das fertige Prototypenfahrzeug wurde im Rahmen des Projekts umfangreich bezüglich Reichweite, Rekuperation, Energieverbrauch, Geräusch- und Schadstoffemissionen sowie CO<sub>2</sub>-Ausstoß getestet. Auch das Fahr- und Bremsverhalten sowie verschiedene Sicherheitsaspekte waren Inhalt der Untersuchungen.

Die Ergebnisse des Vorhabens sind gerade für den Wirtschaftsverkehr von Bedeutung. Insbesondere der

Wirtschaftszweig der Taxibetriebe stellt ein mögliches Nutzersegment dar. Aktuell ist eine Nutzung von Hybridfahrzeugen durch die Taxibetreiber aufgrund der hohen Anschaffungskosten eher selten, obwohl der Imagegewinn bei den Kunden einen nicht unerheblichen Marktvorteil in diesem Verkehrsegment darstellen kann. Eine preislich vorteilhaftere Nachrüstung mit einem zusätzlichen elektrischen Antriebsstrang kann hier eine attraktive Alternative sein und mittelfristig zur Steigerung des Anteils von Hybridfahrzeugen in diesem Segment des Wirtschaftsverkehrs beitragen. ■

---

### Vorhaben

Erarbeitung und Erprobung eines neuartigen Antriebskonzepts auf der Basis der Volkswagen Plug-In-Hybrid-Technologie:  
Leistungsdichte Elektro-Maschine (LDE-M)

### Projektpartner

Volkswagen AG, Wolfsburg

### Laufzeit

01.01.2010 – 30.09.2011

---



## LDE-M

### Ziele des Projekts

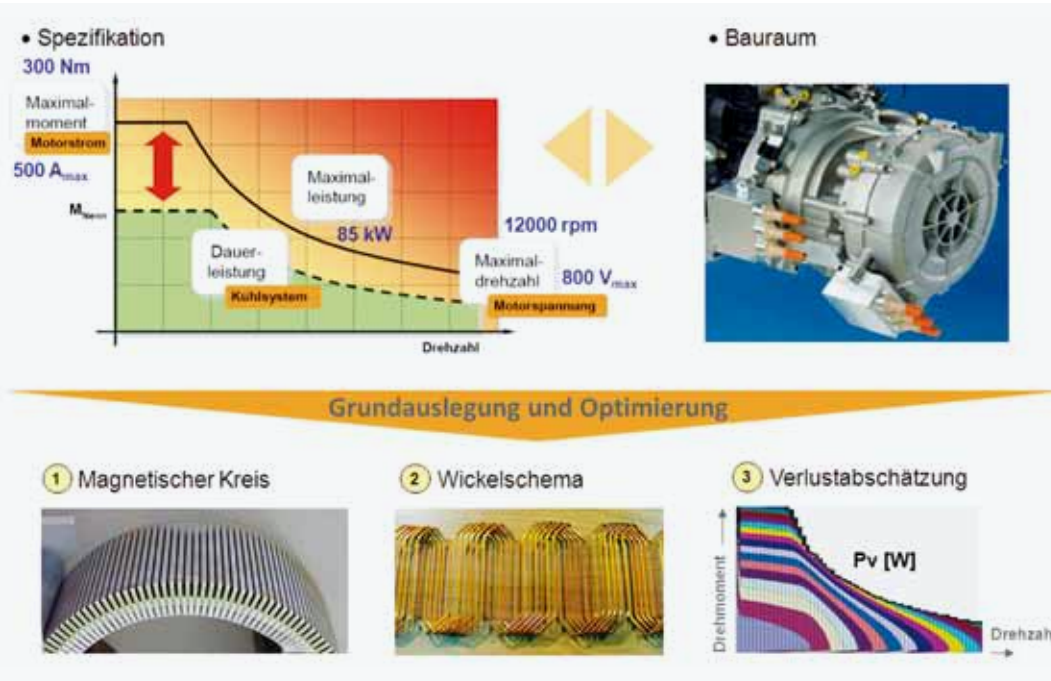
Mit verbesserten Antriebskonzepten von Elektrofahrzeugen lässt sich sowohl die effiziente Nutzung gespeicherter Energie als auch eine Vergrößerung der elektrischen Reichweite realisieren. Allerdings werden hierzu sehr kompakte und gleichzeitig leistungsstarke Elektroantriebe benötigt. Die Antriebssysteme, bestehend aus Elektromotoren und leistungselektronischen Stellgliedern, müssen nicht nur sehr restriktiven Bauraumvorgaben genügen, sondern auch speziell auf die Erfordernisse und Umwelteinflüsse im Automobil abgestimmt sein. In den zurzeit realisierten Elektro- und Hybridfahrzeugen werden Leistungselektronik und Elektromotor als separate Komponenten im Fahrzeug verbaut. Dies erfordert separat ausgeführte Kühlsysteme und einen erheblichen Aufwand hinsichtlich der Verlegung entsprechender Leitungen. Ziel des Vorhabens LDE-M war daher die Entwicklung eines integrierten und optimierten

Kühlverfahrens, das gleichermaßen für die Leistungselektronik und die elektrische Maschine geeignet ist.

### Ergebnisse

Es wurde ein Kühlsystem entwickelt, das bei gleichzeitiger Berücksichtigung von Aufwand und Kosten eine optimale Abführung der Verlustwärme sowohl im Elektronikteil als auch in der E-Maschine gewährleistet. Des Weiteren wurde die Antriebsmaschine auch hinsichtlich des elektromechanischen Motorkonzeptes und der magnetischen bzw. elektrischen Parameter optimiert. Die elektromechanische Auslegung wurde durch einen mit Permanentmagneten bestückten Innenläufer-Rotor in Verbindung mit einem Außen-Stator mit integrierter Leistungselektronik und Kühlsystem realisiert. Die elektromagnetische Konzeption sah eine verbesserte Ausnutzung des zur Verfügung stehenden Wickelraums (Füllfaktor) zur Steigerung der Stromtragfähigkeit

# 1 - Feldversuche Elektromobilität im PKW-Verkehr



und damit zur Erzeugung eines höheren magnetischen Feldes vor. Zusätzlich wurden sowohl hochwertige Elektrobleche als auch verbesserte Drahtmaterialien eingesetzt. Die auf diese Weise erfolgte Optimierung des magnetischen Kreises erhöht das zu stellende Wellen-Drehmoment und verringert gleichzeitig die Maschinenverluste. Auch das Ansteuerkonzept der permanentenregten Gleichstrommaschine mit elektronischer Kommutierung wurde verbessert.

Im Ergebnis des Vorhabens entstand eine elektrische Antriebsmaschine, die gegenüber vergleichbaren Synchronmotoren eine erhöhte Leistungsdichte aufweist. Die Antriebsmaschine erreicht eine Spitzenleistung von circa 85 kW bei einem Drehmoment von 300 Nm. Die Nennleistung (Dauerleistung) beträgt 50 kW bei 150 Nm und einer Drehzahl von 12.000 min<sup>-1</sup>. Von hoher Bedeutung sind die geringen Abmessungen von 28 cm Durchmesser

und 11 cm axialer Länge (das heißt „Breite“ des Motors). Die Ergebnisse wurden durch Simulationen und mehrere Optimierungszyklen bei der Auslegung erzielt. Im Verlauf von Prüfstandserprobungen konnten die Funktion und die Leistungsdaten validiert werden. Bereits bei der Konzeption der Antriebsmaschine wurde darauf geachtet, dass diese in zukünftigen Hybrid- und Elektrofahrzeugen von Volkswagen zum Einsatz kommen kann.

Um die Energieeffizienz und damit das CO<sub>2</sub>-Reduktionspotenzial des Antriebs abschließend zu ermitteln, sollen zukünftig vergleichende Feldtests mit Fahrzeugen im realen Alltagseinsatz durchgeführt werden. Das Vorhaben hat wesentlich zur Leistungssteigerung elektrischer Antriebe beigetragen und fördert somit die Verbreitung der Elektromobilität. ■

---

### Verbund

Flottenversuch Elektromobilität (TwinDrive)

### Projektpartner

Volkswagen AG, Wolfsburg (Koordinator)  
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V.  
E.ON Energie AG  
EvonikLitarion GmbH, Kamenz  
Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der  
angewandten Forschung e. V.  
Ifeu Institut für Energie- und Umweltforschung  
GmbH, Heidelberg  
Westfälische Wilhelms-Universität Münster

### Laufzeit

01.07.2008 – 30.06.2012

---



## Twin Drive

### Ziele des Projekts

Im Rahmen des Projekts sollte eine Kleinflotte von Plug-In-Hybrid-Fahrzeugen aufgebaut und innerhalb eines Flottenversuchs getestet werden. Kern des Vorhabens war die Untersuchung des Nutzungspotenzials von Plug-In-Hybrid-Fahrzeugen unter realen Bedingungen. Es wurden dabei sowohl fahrzeug-technische Forschungsthemen, wie Elektrotraktion und Li-Ionen-Traktionsbatterie für Plug-In-Hybridfahrzeuge, berücksichtigt, als auch versorgungsnetzarchitektonische Fragestellungen bearbeitet.

### Ergebnisse

Es wurde eine Flotte mit 20 Plug-In-Hybriden auf Basis des Volkswagen Golf Variant aufgebaut. Aufgrund der Antriebsstrangarchitektur ist mit diesen Fahrzeugen eine individuelle Mobilität ohne Einschränkung der heute üblichen Fahrzeugreichweite möglich. Die entwickelten Plug-In-Hybridfahrzeuge bieten den Vorteil von lokal emissions-

freiem Fahrzeugbetrieb und entlasten damit auch innerstädtische Gebiete von Schadstoffemissionen und Verkehrslärm. Das intelligente Betriebssystem des Fahrzeugs wählt stets die optimale Betriebsart – individuell auf die jeweilige Strecke und Situation zugeschnitten. So steht immer die effizienteste Kombination aus Elektro- und Verbrennungsmotor zur Verfügung. Im Rahmen des Flottenversuchs mit einer repräsentativen Auswahl an Fahrzeugnutzern wurden unterschiedliche prognostizierte Verkehrsszenarien berücksichtigt. Weitere sozio-ökonomische und ökologische Untersuchungen trugen zusammen mit fahrzeug- und netzseitigen Forschungsthemen zur Realisierung einer intelligenten Fahrzeug-/Netz-Schnittstelle bei. Die interdisziplinäre Projektstruktur ermöglichte eine Weiterqualifizierung der heute noch im Entwicklungsstadium befindlichen Batteriezelltechnologien für automotiv Anwendungen. Die Batterien wurden dabei in Bezug auf Lebensdauer und Kostensenkung





weiterentwickelt, so dass ein weiterer wichtiger Beitrag zum Durchbruch des elektrischen Antriebs in der Großserie geleistet werden konnte. Im Rahmen des Flottenversuchs wurde auch unter Alltagsbedingungen gezeigt, dass Plug-In-Hybrid-Fahrzeuge in der Lage sind, zu einer erheblichen Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen im PKW-Verkehr beizutragen. Damit die Emissionen dabei nicht einfach vom Fahrzeug in das Kraftwerk verlagert werden, ist Nutzung von Strom aus erneuerbarer Energien notwendig. ■

### Golf Variant twinDRIVE

#### Fahrzeugdaten

Kraftstoffverbrauch (Plug-In-Hybrid Richtlinie)	2,1 l/100 km (49 g/km CO <sub>2</sub> )
Höchstgeschwindigkeit (TSI und E-Antrieb)	circa 170 km/h
Höchstgeschwindigkeit elektrisch	circa 120 km/h
Spitzenleistung beim Beschleunigen	bis zu 120 kW / 163 PS
Reichweite elektrisch	bis zu 57 km
Reichweite gesamt (elektrisch und Verbrenner)	bis zu 900 km

#### Antriebsstrang

Li-Ionen-Batterie Gewicht	circa 150 kg
Batteriekapazität	11,2 bis 13,2 kWh
Nennleistung Antrieb elektrisch	65 kW / 88 PS
Spitzenleistung Antrieb elektrisch	85 kW / 115 PS
Spitzenleistung Verbrennungsmotor	1,4 Ltr. TSI, 85/kW / 115 PS



---

## 2 Förderschwerpunkte und Projekte

### Feldversuche Elektromobilität im Wirtschaftsverkehr

---

Im Gegensatz zum individuellen Personenverkehr ist das Einsatzprofil von Transportern deutlich strukturierter. Warenlieferungen bzw. mobile Dienstleistungen erfolgen meist zu den regulären Arbeitszeiten innerhalb eines relativ begrenzten Einsatzgebiets. Die Tagesroute eines Transporters wird meist im Voraus geplant. Außerhalb der Arbeitszeiten (abends und nachts) werden die Fahrzeuge regelmäßig an fest definierten Orten wie Logistikzentren, Betriebshöfen oder einem Firmengelände abgestellt. Das stellt vergleichsweise einfache Anforderungen an die Ladeinfrastruktur und bietet die optimale Möglichkeit eines gesteuerten Ladens und gleichmäßiger Netzauslastung über die Abend- und Nachtstunden

hinweg. Im Betrieb bieten zahlreiche Anfahr- und Bremsvorgänge, wie sie für den urbanen Lieferverkehr typisch sind, eine gute Möglichkeit zur Bremsenergieerückgewinnung. Dies macht den regionalen Verteilerverkehr zum optimalen Einsatzfeld batterieelektrischer Fahrzeuge.

Bei den vom BMU geförderten Feldversuchen ging es vor allem darum, unter Alltagsbedingungen Verfahren zur Netzintegration von erneuerbaren Energien im Wirtschaftsverkehr zu erproben. Außerdem ging es um die Ermittlung des Energiebedarfs der Fahrzeuge und der Akzeptanz der Fahrzeugnutzer.

#### Gegenstand der Förderung waren daher insbesondere folgende Themen

- Erforschung und Erprobung alltagstauglicher Nutzfahrzeugmodelle unter Berücksichtigung der Bedürfnisse des urbanen Verteilerverkehrs,
- Erforschung und Entwicklung einer innovativen Antriebstechnologie und einer neu konzipierten Fahrkarosserie für elektrisch betriebene Kleintransporter,
- Forschung und Entwicklung batteriebetriebener Schwerlastfahrzeuge (Batterie-AGV) und deren Erprobung in einem Feldversuch.

## Förderschwerpunkte und Projekte

---

---

### Verbund

Erprobung nutzfahrzeugspezifischer E-Mobilität (EMIL)

### Projektpartner

Volkswagen AG, Wolfsburg  
Deutsche Post DHL, Troisdorf  
Hochschule für Bildende Künste Braunschweig,  
Braunschweig

### Laufzeit

01.06.2010 – 30.09.2011

---



## EMIL

### Ziele des Projekts

Hauptziel des Vorhabens war die Erforschung und Erprobung eines Nutzfahrzeugkonzepts, das eine effiziente Abwicklung logistischer innerstädtischer Dienstleistungen ermöglicht und dabei gleichzeitig die spezifischen Bedürfnisse gewerblicher Nutzer für einen effektiven Verteilerverkehr berücksichtigt. Im ersten Teil des Projekts wurden 10 Fahrzeuge eines für konventionelle Antriebe ausgelegten Kastenwagenmodells (VW Caddy) mit Elektroantrieben ausgestattet und rund drei Monate im innerstädtischen Alltagsbetrieb der Deutschen Post DHL erprobt. Auf der dabei gewonnenen Wissensgrundlage wurde dann im zweiten Teil des Vorhabens das Innovationsfahrzeug eT! mit allen e-traktionspezifischen Komponenten komplett neu konzeptioniert, ausgelegt und aufgebaut. Zusätzlich wurden in den entstandenen eT! zahlreiche innovative lieferdienstspezifische Komponenten integriert, um eine erhebliche Zeitersparnis im Zustellbetrieb zu ermöglichen

und somit zu einer zusätzlichen Effizienzsteigerung des urbanen Verteilerverkehrs beizutragen.

### Ergebnisse

Der dreimonatige Praxistest im innerstädtischen Zustellbetrieb der DHL erfolgte in Potsdam und Stahnsdorf. In Potsdam wurden fünf Fahrzeuge mit kurzem Radstand für Briefzusteller eingesetzt, in Stahnsdorf kamen fünf Fahrzeuge mit langem Radstand für Brief- und Paketzusteller zum Einsatz. Der Feldversuch hat gezeigt, dass elektrisch betriebene Zustellfahrzeuge zu keinen signifikanten Mobilitätseinschränkungen führen. Im Durchschnitt haben die Fahrzeuge täglich bis zu 50 km zurückgelegt. Einschränkungen aufgrund der Reichweite im normalen Zustellbetrieb waren eher psychologischer Natur, da die Restreichweitenanzeige von den Fahrern teilweise als zu ungenau empfunden wurde. Als größten Vorteil des elektrischen Fahrens empfanden die Nutzer die durchgängig einfache Bedienung

## 2 - Feldversuche Elektromobilität im Wirtschaftsverkehr



des Fahrzeugs. So kann die Geschwindigkeit des Fahrzeugs in den meisten Fällen über ein Pedal gesteuert werden, da durch die Rekuperation der Elektromotor des Fahrzeugs auch abbremsen kann. Dies stellt eine Arbeitserleichterung und Optimierung des Zustellbetriebs dar. Zusätzlich wurde die leise Fortbewegung mit dem Fahrzeug als positiv empfunden. Die gemessenen Energieverbräuche im Flottenversuch waren zudem im Vergleich zu Verbrennungsmotoren geringer. Im Normalfall war eine Ladezeit von circa 1 Stunde ausreichend. Nicht zuletzt spiegeln Elektrofahrzeuge somit eine umweltbewusste Unternehmensphilosophie nach außen wider. Im Flottenversuch hat sich aber auch gezeigt, dass nicht nur das Fahrzeug, sondern auch flankierende Maßnahmen wie die Infrastruktur, Organisation und die Betreuung von entscheidender Bedeutung sind. Eine weitere wichtige Erkenntnis ist daneben auch die Notwendigkeit einer durchgängigen Prozesskette vom Stromversorger bis hin zum Fahrzeug.

Auf Grundlage der Ergebnisse aus dem Flottentest und einer umfangreichen Nutzerbefragung wurde der eT! als neuartiges elektrisches Zustellfahrzeug konzipiert, ausgelegt und aufgebaut. Zum elektrischen Antriebsstrang gehören zwei Radnabenmotoren und je Motor eine Steuerungselektronik. Ein fahrzeugspezifisches Beladungskonzept stellt einen sicheren und raumsparenden Transport sowie für den Zusteller ergonomisch günstige Bewegungsabläufe in den Mittelpunkt. Zusätzliche Zeiteinsparungen werden durch den Schnellausstieg auf der rechten Fahrzeugseite, den integrierten Stehsitz mit Drive Stick-Steuerung sowie durch die FollowMe-Funktion erzielt, die für den Fahrer zusätzliche Laufwege zurück zum Fahrzeug überflüssig macht. Zudem wird durch den engen Wendekreis von 8,50m das Wenden in einem statt drei Zügen möglich. ■

## Förderschwerpunkte und Projekte

---

---

### Verbund

Elektrifizierung von Mercedes-Benz Kleintransportern in Entwicklung und Produktion - EMKEP

### Projektpartner

Daimler AG, Stuttgart  
Vattenfall Europe Innovation GmbH, Hamburg

### Laufzeit

01.08.2009 – 30.09.2011

---



## EMKEP

### Ziele des Projekts

Es ist davon auszugehen, dass der Wirtschaftsverkehr, und hier insbesondere der urbane Lieferverkehr, einer der ersten Anwendungsbereiche für Elektrofahrzeuge sein wird. Für die in diesem Bereich vorherrschenden Fahrprofile mit den zahlreichen Anfahr- und Bremsvorgängen sowie die durchschnittlichen Tagesfahrleistungen sind Elektrofahrzeuge mit ihrer derzeitigen Leistungsfähigkeit besonders gut geeignet. Zudem sind die notwendigen Voraussetzungen bezüglich der Infrastruktur verhältnismäßig einfach zu schaffen, da die Fahrzeuge in der Regel nachts zu einem gemeinsamen Standort zurückkehren. Das Hauptziel des Projektes EMKEP war daher die Erforschung des Einsatzes von batteriebetriebenen Transportern im Hinblick auf ihre Alltagstauglichkeit. Hierzu wurden Kleintransporter der zukünftigen Baureihe Vito E-CELL entwickelt, aufgebaut und in Tests erprobt. Der Fokus der Erprobung war dabei neben den Nut-

zungsaspekten (zum Beispiel Fahreigenschaften, Zuverlässigkeit) auf die Energiebilanz gerichtet.

### Ergebnisse

Durch ein vollständig neues Design gegenüber dem vergleichbaren Fahrzeug mit Verbrennungsmotor (zum Beispiel Umgestaltung zu einem Frontantrieb, Integration der Batterie im Unterflurbereich) gelang es, ein vollwertiges Fahrzeug für den innerstädtischen Verteilerverkehr zu entwickeln. Mit einer Reichweite von rund 130 km, einer möglichen Nutzlast von bis zu 900 kg und keinen Einschränkungen in Bezug auf die Bodenfreiheit erfüllt der Vito E-Cell die durchschnittlichen Nutzeranforderungen im betrachteten Anwendungsbereich. Für eine hohe Energieeffizienz wurde die Energierückgewinnung durch Rekuperation in das Fahrzeug integriert. Herausforderung war dabei die Optimierung des Zusammenspiels mit den Brems- und Stabilitätsregelsystemen (zum Beispiel ABS, ESP ASR). Hitze- und

## 2 - Feldversuche Elektromobilität im Wirtschaftsverkehr



Kälteerprobungen mit Versuchsfahrzeugen bestätigten, dass ein sicherer Betrieb des Vito E-CELL auch bei tiefen und hohen Temperaturen gewährleistet ist. Die Ergebnisse der Crashtests zeigten, dass die hohen Sicherheitsstandards der Daimler AG für die Fahrzeugklasse der Kleintransporter auch in Bezug auf Batterie und HV-System vollständig erreicht werden. Nach der Prüfung durch das KBA wurde die Europäische Typgenehmigung für den Vito E-CELL erteilt. Dadurch entfällt die nötige Fahrzeugeinweisung mit HV-Schulung eines Fahrzeugführers, so dass die im Transportwesen übliche Schichtnutzung des Fahrzeuges leichter umgesetzt werden kann.

Im Projektverlauf wurden 65 Erprobungsfahrzeuge an Nutzer zum Flottentest übergeben. Durch den Partner Vattenfall wurde ein Ladekonzept mit den Funktionen Wind-to-Vehicle (Integration von asynchron zur Nachfrage schwankendem Windstrom) und lokales Lastmanagement (optimaler Ausgleich der vor Ort existierenden Leistungskapazitäten) entwickelt und

bei Nutzern installiert. Somit konnten auch im Probebetrieb die Umwelt- und Klimapotenziale der Elektrofahrzeuge genutzt werden. Einsatzfelder waren die Bereiche Lieferdienst (zum Beispiel Brief- und Paketzustellung), Servicefahrzeuge und Werksverkehr. In den Feldversuchen, an denen sich namhafte Unternehmen wie Deutsche Post DHL, Hermes Logistik, WISAG oder die Deutsche Bahn beteiligten, wurden wichtige Erkenntnisse zu Geschwindigkeitsverteilungen, Streckenlängen pro Fahrt, Batterieladezustand oder Ladedauer gesammelt. Auch nach Projektende werden die Erprobungen fortgeführt.

Insgesamt zeigte das Projekt EMKEP, dass Transporter im innerstädtischen Verkehr ein sinnvolles Segment für Elektromobilität sein werden. Das Projekt stellt die Basis für den Einsatz weiterer Vito E-CELL auch in anderen Anwendungen und Regionen sowie für die Übertragung der Erkenntnisse auch auf andere Transporterbaureihen dar. ■

## Förderschwerpunkte und Projekte

---

---

### Vorhaben

Elektromobilität bei schweren Nutzfahrzeugen zur Umweltentlastung von Ballungsräumen (ENUBA)

### Projektpartner

Siemens AG, Erlangen

### Laufzeit

01.07.2010 – 30.09.2011

---



## ENUBA

### Ziele des Projekts

Um die Ziele zur CO<sub>2</sub>-Reduktion im Verkehrssektor zu erreichen, muss auch der Güterverkehr einen Beitrag leisten. Dies ist umso wichtiger, da für die Verkehrsleistungen im Güterverkehr eine erhebliche Zunahme prognostiziert wird. Hinzu kommt, dass gerade in Ballungsräumen durch schwere Nutzfahrzeuge erhebliche lokale Belastungen (NO<sub>x</sub>, Feinstaub, Lärm) verursacht werden. Die Verbesserung der Effizienz der Verbrennungsmotoren, die Verlagerung auf die Schiene (erheblicher Ausbau des Schienennetzes notwendig) oder der Einsatz von Biokraftstoffen (nur begrenzt verfügbar) wird nicht ausreichen, um die Emissionen im notwendigen Maße zu reduzieren. Ziel des Projektes ENUBA war es daher, den elektrischen, fahrdrahtgebundenen Betrieb schwerer Nutzfahrzeuge für den Straßengüterverkehr zu untersuchen und die technische Realisierbarkeit des Systems auf einer Teststrecke zu demonstrieren.

### Ergebnisse

Ein Schwerpunkt der Arbeiten war die Entwicklung der notwendigen Systeme zur Elektrifizierung und zum Betrieb der Nutzfahrzeuge. Hierzu gehörte die Elektrifizierung des Antriebsstrangs (serieller diesel-elektrischer Hybridantrieb) einschließlich der Integration von Doppelschichtkondensatoren sowie die Entwicklung eines geeigneten Stromabnehmersystems. Eine besondere Herausforderung war dabei die notwendige Automatisierungstechnik und Sensorik. So wurden Systeme zur Isolationsüberwachung, zur Kontrolle des Fahrdrahtanhubes oder zur automatischen Fahrdrahtüberwachung (zum Beispiel für Unterbrechung und Kurzschluss) entwickelt. Im Zusammenspiel mit weiteren Sensoren ist ein automatisches An- und Abbügeln des Stromabnehmers zum Beispiel bei nicht elektrifizierten Streckenabschnitten oder Überholvorgängen möglich. Eine Kommunikation der Fahrzeuge mit der Infrastruktur wurde realisiert, um zukünftig entspre-



## 2 - Feldversuche Elektromobilität im Wirtschaftsverkehr



chende Fahrzeugdaten zum Beispiel einer Betreiberzentrale oder einer Leitstelle zur Betriebsführung und -überwachung übermitteln zu können. Ein weiterer Schwerpunkt war die Entwicklung des Fahrleitungs- und Energieversorgungssystems, das für den Demonstrationsbetrieb auf eine Gleichspannung von 750 V ausgelegt wurde. Hier wurde mit einem Sensor zur Überwachung der Güte des Stromabnehmers ein System integriert, das Beschädigungen des Fahrleitungssystems verhindert.

Für eine anwendungsnahe Demonstration des Gesamtsystems wurden zwei Nutzfahrzeuge mit diesel-elektrischem Antrieb und Stromabnehmer sowie eine geeignete Teststrecke mit einem Fahrleitungssystem und entsprechender Energieversorgung aufgebaut. In zahlreichen Testfahrten wurden Vorgänge wie das automatische An- und Abbügeln des Stromabnehmers an die Fahrleitung, das elektrische Bremsen mit Energierückspeisung ins Netz

oder die Fahrleitungserkennung bei extremen Wittersituationen untersucht. Insgesamt konnte auf der Teststrecke die technische Machbarkeit des gewählten Systems aus Fahrzeug, Fahrleitungssystem und Energieversorgung zur Elektrifizierung des Straßengüterverkehrs nachgewiesen werden. Begleitende ökologische Analysen, in denen verschiedene Faktoren wie zum Beispiel die Anteile elektrischer und „verbrennungsmotorischer“ Fahrleistungen betrachtet wurden, belegen die Umweltentlastungspotenziale eines fahrdrahtgebundenen Güterverkehrs.

Auch wenn noch weiterer Entwicklungsbedarf besteht, so ist zusammenfassend festzustellen, dass mit dem Projekt ENUBA der Grundstein für ein neuartiges, ökologisch orientiertes Güterverkehrskonzept gelegt wurde. ■

---

### Verbund

Forschung und Entwicklung sowie Bau batteriebetriebener Schwerlastfahrzeuge (Batterie-AGV) und deren Erprobung in einem Feldversuch im Container-Terminal Altenwerder in Hamburg

### Projektpartner

Gottwald Port Technology GmbH, Düsseldorf  
HHLA Container-Terminal Altenwerder GmbH, Hamburg  
ifeu - Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH  
RWTH Aachen - Institut für Kraftfahrzeuge

### Laufzeit

01.06.2010 – 30.09.2011

---



## B-AGV

### Ziele des Projekts

Ziel des Projekts B-AGV war es, durch die Entwicklung und den Test batterieelektrisch betriebener, automatisch fahrender Transportfahrzeuge (Battery-Electric Automated Guided Vehicles – B-AGV) für den Containertransport im Hafengebiet einen Beitrag zur Senkung der globalen und lokalen Emissionen sowie der Lärmbelastung zu leisten. Da auch für Häfen die Anforderungen bezüglich der Luftreinhaltung stetig zunehmen, ist vor allem die Senkung der Belastungen durch lokale Schadstoffe (Stickoxide, Rußpartikel) von hoher Bedeutung, da nur so auch ein weiterer Ausbau des Containerumschlags gewährleistet werden kann. Dabei ist zu berücksichtigen, dass für eine Exportnation wie Deutschland Seehäfen eine hohe Bedeutung für den Warenumsatz haben.

### Ergebnisse

Bei der Umrüstung der diesel-elektrischen AGV auf rein elektrischen Betrieb waren verschiedene

Herausforderungen zu bewältigen. Neben der Entwicklung des elektrischen Antriebskonzepts betraf dies die Integration der Batterie und die elektronische Steuerung. Um eine hohe Verfügbarkeit der Fahrzeuge zu sichern, wurde ein Batteriewechselrahmen mit entsprechenden Führungsstrukturen entwickelt, der einen automatischen Batteriewechsel in einer Batteriewechselstation ermöglicht. In der Fahrzeugsteuerung wurde eine Reihe neuer Funktionen, wie die Kontrolle des Batterieladestands und das automatische Ansteuern der Batteriewechselstation, umgesetzt. Für den Batteriewechsel und das Aufladen wurde eine völlig neuartige Wechsel- und Ladestation entwickelt. Sie besteht aus einer Kombination eines Hochregallagers mit schienengeführten Regalbediengeräten (RBG), die einen speziellen Teleskopauszug besitzen. Das RBG ist in der Lage, Batterien mit einer Masse von bis zu 12 t zu handhaben und exakt im B-AGV und im Lagerregal zu positionieren.

## 2 - Feldversuche Elektromobilität im Wirtschaftsverkehr



Für den automatischen Betrieb der Fahrzeuge im Containerterminal mussten verschiedene Softwaresysteme, wie die AGV-Steuerung, die Steuerung der Wechsel- und Ladestation oder die Terminalleitsteuerung angepasst werden. Ebenso wurden Ladestrategien entwickelt, die die Vorgaben und Randbedingungen aus Ladestation, Energieangebot und Batteriebedarf in einem Lademanagementsystem kombinieren und so zur Ermittlung der richtigen Ladezeiträume beitragen. Für den Feldtest im Container-Terminal wurden zwei B-AGV aufgebaut. Diese Fahrzeuge führen im regulären Hafetrieb Testroutinen ab, um Erkenntnisse über das Fahrzeug- und Batterieverhalten, die Einbindung in das Logistiksystem sowie ökonomische und ökologische Aussagen gewinnen zu können. Die Fahrzeuge führen im 24h-Betrieb bisher nahezu fehlerfrei und können über zwölf Stunden im Dauerbetrieb eingesetzt werden. Ein Batteriewechsel in weniger als fünf Minuten sorgt für eine hohe Verfügbarkeit.

Ein über den gesamten Lebenszyklus – von der Herstellung der Fahrzeuge über den Betrieb bis zum Recycling – durchgeführter ökobilanzieller Vergleich der bisherigen diesel-elektrischen Fahrzeuge mit dem neuen batterieelektrischen Antriebssystem zeigt, dass die Gesamt-CO<sub>2</sub>-Bilanz entscheidend verbessert wird. Lokale Emissionen werden fast vollständig vermieden. Die Ergebnisse des Projekts B-AGV zeigen, dass die entwickelten batterieelektrischen Antriebskonzepte auch Potenzial für den Einsatz in anderen Hafenumschlaggeräten und Schwerlastfahrzeugen eröffnen. ■



---

# 3 Förderschwerpunkte und Projekte

## Hybridbusse für einen umweltfreundlichen ÖPNV

---

Mit dem Förderprogramm „Hybridbusse für einen umweltfreundlichen ÖPNV“ unterstützte das Bundesumweltministerium (BMU) die breite Markteinführung von Hybridbussen im öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV). Hierfür wurden rund 10 Mio. Euro Förderung zur Verfügung gestellt. Gerade bei Linienbussen, die häufig bremsen und wieder anfahren, zahlt sich der Einsatz der Hybrid-Technologie aus. Denn ein großer Teil der Energie, die bei den vielen Bremsvorgängen verlorengeht, kann damit zurückgewonnen und für den Betrieb eines Elektromotors verwendet werden. Dieser treibt die Linienbusse vor allem beim Anfahren und unterstützend im geringen Drehzahlbereich des Dieselmotors an. Das spart nicht nur Kraftstoff und verringert die CO<sub>2</sub>-Emissionen, sondern gerade im Haltestellenbereich sinkt die Belastung durch Luftschadstoffe und Lärm merklich. Durch die daraus resultierende Senkung der Umweltbelastungen des Busverkehrs wird vor allem in Städten zur Steigerung der

Attraktivität und Akzeptanz des umweltfreundlicheren ÖPNV beigetragen.

Insgesamt wurden durch das Programm in 12 Verkehrsbetrieben 50 Hybridbusse in den regulären Linienbetrieb integriert. Die Förderung wurde mit der Einhaltung anspruchsvoller Umweltauflagen verknüpft, um bereits im Zuge der Markteinführung hohe Umweltstandards zu etablieren. So mussten die Hybridbusse eine Effizienzverbesserung von mindestens 20 Prozent gegenüber vergleichbaren Dieselmotoren sowie strenge Lärm- und Luftschadstoffstandards nachweisen. Zudem mussten sie über ein geschlossenes Partikelfiltersystem verfügen.

Mit einem umfangreichen Begleitprogramm wurde die Einhaltung der Umweltkriterien überprüft und die Wirtschaftlichkeit und technische Zuverlässigkeit der Hybridbusse während der Inbetriebnahme untersucht.

### Gegenstand der Förderung waren daher insbesondere folgende Themen

- Senkung der CO<sub>2</sub> Emissionen sowie der Luftschadstoff- und Lärmbelastung aus dem ÖPNV-Sektor,
- Ergänzung laufender Maßnahmen der Bundesregierung zur Erfüllung der Klima- und Umweltschutzziele,
- Unterstützung der Marktdurchdringung mit vorhandenen, hocheffizienten Fahrzeugtechnologien,
- Setzen konjunktureller Impulse für die Bus- und die dazugehörige Zuliefererindustrie,
- Etablierung der Hybridtechnologie als festes Element in die Busflotten der Verkehrsbetriebe.

## Förderschwerpunkte und Projekte

---

---

### Projekte

Verbundvorhaben RegioHybrid  
Üstra Hannoversche Verkehrsbetriebe AG  
Stadtverkehr Lübeck GmbH

### Laufzeit

01.05.2010 – 30.09.2011

---



### Einzelprojekte des Förderprogramms

#### „Hybridbusse für einen umweltfreundlichen ÖPNV“

Insgesamt nahmen an dem Fördervorhaben 12 Verkehrsbetriebe teil. So beschaffte die üstra Hannoversche Verkehrsbetriebe AG zehn Solaris-Gelenkhybridbusse, die seit September 2011 in der Südstadt eingesetzt werden. Der erfolgreiche Betrieb der Hybridfahrzeuge trug dazu bei, dass sich die üstra im Rahmen des Klimapakets der Region Hannover zum Ziel gesetzt hat, bis 2016 für den Stadtverkehr in Hannover 61 weitere Hybridbusse zu erwerben. Bis 2020 soll kein Bus mit reinem Diesel- oder Erdgasantrieb in der Landeshauptstadt mehr fahren, das heißt die üstra beschafft ausschließlich Hybridbusse. Weiterhin führte die Stadtverkehr Lübeck GmbH im August 2011 fünf Solohybridbusse der Firma MAN sowie fünf Gelenkhybridbusse der Carosserie HESS AG in ihren Linienverkehr ein, um beide Größenkonzepte in ihren Fuhrpark zu integrieren. Im Verbundvorhaben RegioHybrid, an dem zehn sächsische Verkehrsbetriebe beteiligt waren, wurden

insgesamt 24 Solohybridbusse von MAN und sechs Gelenkhybridbusse der Carosserie HESS AG beschafft. Folgende 10 Verkehrsbetriebe waren beteiligt:

- Leipziger Verkehrsbetriebe AG und Leobus GmbH
- Dresdner Verkehrsbetriebe AG
- Regionalverkehr Dresden GmbH
- REGIOBUS Mittelsachsen GmbH, Verkehrsgesellschaft Döbeln mbH, Verkehrsbetriebe Freiberg GmbH
- Verkehrsgesellschaft Meißen mbH
- Müller Busreisen GmbH und
- Satra Eberhardt GmbH.

Durch eine intensive Öffentlichkeitsarbeit der beteiligten Verkehrsbetriebe, wie Stadtfeste, Presseveranstaltungen, Internetauftritte oder eine besondere Gestaltung der Hybridbusse, erreichten die Linienbusse mit der Effizienztechnologie eine hohe und positive Resonanz in der Bevölkerung. So konnte neben der Umweltbilanz des ÖPNV auch dessen Wahrnehmung in den teilnehmenden Städten verbessert werden.

## 3 - Hybridbusse für einen umweltfreundlichen ÖPNV



### Das Begleitprogramm

Zum Förderprogramm wurde vom TÜV NORD ein gesondertes Begleitvorhaben durchgeführt. Ein Ziel war hierbei die Überprüfung der Einhaltung der umweltrelevanten Fördervoraussetzungen durch die Hybridbusse. Dazu gehörten die CO<sub>2</sub>-Einsparung, die Wirksamkeit der Abgasbehandlungssysteme sowie die Einhaltung der Lärmgrenzwerte. Ein weiterer Kernpunkt des Programms war die Sammlung ökonomischer und technischer Daten, anhand derer die Wirtschaftlichkeit des Hybridbusbetriebs sowie die technische Zuverlässigkeit der Hybridbusse untersucht wurde. Daneben diente das Begleitprogramm vor allem auch dazu, Optimierungsvorschläge für Verkehrsbetriebe zu entwickeln, die in Zukunft die Integration von Hybridbussen in ihre Fahrzeugflotte anstreben. Denn die ökonomischen, ökologischen und technischen Daten sowie die Erfahrungswerte bei der Integration in den alltäglichen Betrieb leisten einen wichtigen Beitrag zum Abbau von Hürden bei zukünftigen Beschaffungsvorhaben.

### Wichtigste Ergebnisse

Sämtliche getestete Hybridbusmodelle konnten im standardisierten Braunschweigzyklus auf dem Rollenprüfstand die geforderten Fördervoraussetzungen bezüglich CO<sub>2</sub>-Minderung und Wirksamkeit der Abgasnachbehandlung einhalten. Auch bei den Geräuschmessungen wurden die Anforderungen des Bundesumweltministeriums erfüllt. Die Lärmemissionen lagen bei allen Modellen unter den EU-Grenzwerten. Insgesamt besteht ein wesentlicher Vorteil bezüglich der Lärmbelastung gegenüber konventionellen Dieselnissen. Die Verfügbarkeit der Hybridbusse lag durchschnittlich bei etwa 250 km/Tag, wobei die tägliche Einsatzzeit im Mittel 15 Stunden betrug. Die Resonanz der Fahrgäste und des Personals der Verkehrsbetriebe gegenüber den eingesetzten Hybridbussen wurde mittels Befragung untersucht und war überaus positiv. ■

CO<sub>2</sub>





---

# 4 Förderschwerpunkte und Projekte

## Wissenschaftliche Begleitforschung

---

Um die ökologischen und wirtschaftlichen Effekte der Elektromobilität umfassend bewerten zu können, hat das BMU mehrere übergreifende Forschungsprojekte auf den Weg gebracht. Im Rahmen dieser Vorhaben haben das Öko-Institut und ISOE erstmals ganzheitlich die Emissionswirkungen des Systems Elektromobilität untersucht. Eine wichtige Rolle spielte dabei die Makroebene, genauer gesagt die Wechselwirkungen zwischen der Stromnachfrage der Fahrzeuge und dem Kraftwerkspark aus erneuerbarer und konventioneller Energie.

Das Institut für Energie- und Umweltforschung ifeu nahm die Mikroeffekte auf Ebene des Fahrzeugs ins Blickfeld: Welche Antriebs- und Nutzungsform verspricht höchste Effizienz und damit geringste Emissionen und Treibstoffkosten für den Nutzer? Um Wachstums- und Beschäftigungseffekte verschiedener Entwicklungspfade der Elektromobilität ging es im Forschungsprojekt der European School of Management and Technology.

### Gegenstand der Förderung waren daher insbesondere folgende Themen

- Entwicklung eines Modells zur ökonomischen und ökologischen Langfristbetrachtung von Elektromobilität für den Zeitraum bis 2050,
- Bilanzierung der Umweltentlastungspotenziale von Elektrofahrzeugen, die neben der fahrzeugseitigen Betrachtung auch die Interaktionen mit dem Energiemarkt berücksichtigt,
- Zusammenführung und Analyse der Erkenntnisse aktueller Flottenversuche der Bundesregierung,
- Neu- und Weiterentwicklung von Instrumenten, die Markteinführung und Förderung von Elektromobilität in Deutschland an die Nutzung von Strom aus heimischen erneuerbaren Energien koppeln.

---

### Verbund

Optimierung der Umweltentlastungspotenziale von Elektrofahrzeugen – Integrierte Betrachtung von Fahrzeugnutzung und Energiewirtschaft (OPTUM)

### Projektpartner

Öko-Institut e.V., Berlin  
Institut für sozial-ökologische Forschung (ISOE)  
GmbH, Frankfurt/M.

### Laufzeit

01.09.2009 – 30.09.2011

---

## OPTUM

### Ziele des Projekts

Im Vorhaben OPTUM wurde ein integrativer Ansatz zur Bilanzierung der Umweltentlastungspotenziale von Elektrofahrzeugen verfolgt, der neben der fahrzeugseitigen Betrachtung auch die Interaktionen mit dem Energiemarkt berücksichtigt. In dem mehrstufig angelegten Vorhaben wurde zunächst das Marktpotenzial von Elektrofahrzeugen auf Basis von Befragungen und Mobilitätsdaten ermittelt. Eine Übertragung der Marktdaten auf konkrete Fahrprofile ermöglichte dann die Erstellung einer zeitlich aufgelösten Stromnachfrage. Anhand des Strombedarfs wurde schließlich in einem Strommarktmodell die Erzeugungsstruktur simuliert. Auf diese Weise lässt sich der Fahrstrom den unterschiedlichen Kraftwerkstypen mit ihren spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen zuordnen. Der Zeithorizont des Vorhabens ist 2030.

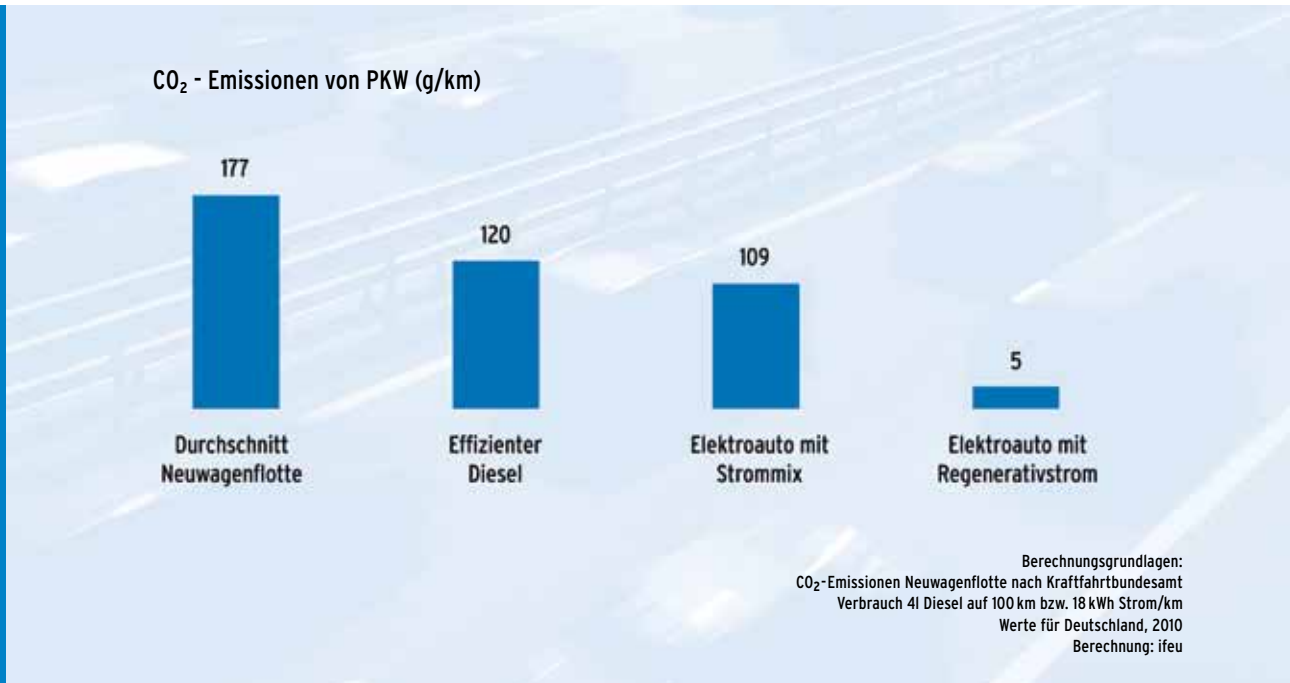
### Ergebnisse

Die Berechnungen zeigen, dass das Umweltentlas-

tungspotenzial der Elektromobilität entscheidend von der Form der Stromerzeugung sowie der Marktdurchdringung der Elektrofahrzeuge abhängt und sich zukünftig nur vollumfänglich erschließen lässt, wenn die Energiebereitstellung über zusätzliche erneuerbare Energien erfolgt. Die Kopplung von Elektroautos an Strom aus Wind und Sonne ist demnach besonders vorteilhaft. Ein zusätzliches Sicherheitsnetz kann zudem der EU-weite Emissionshandel bieten, der unter anderem die CO<sub>2</sub>-Emissionen der Stromerzeugung deckelt. Das Vorhaben zeigt aber auch, dass in den kommenden Jahren Effizienzsteigerungen bei konventionellen Fahrzeugen unerlässlich sind, um die Emissionen des gesamten Autoverkehrs weiter zu senken.

Weitere wichtige Ergebnisse des Vorhabens zeigen:

- Die empirische Untersuchung der Nutzerakzeptanz ergab ein erhebliches Käuferpotenzial für Plug-in-Hybride (PHEV) und rein batterieelektri-



sche Fahrzeuge (BEV). Im Jahr 2020 würden sich demnach in allen Fahrzeugkategorien etwa 60 Prozent der Käufer gegen den Verbrennungsmotor entscheiden. Besonders relevante Einflussfaktoren stellten insbesondere die Stromkosten von Elektrofahrzeugen, der Benzinpreis und die elektrische Reichweite dar.

- Das alltägliche Mobilitätsverhalten decken Elektrofahrzeuge gut ab. Der unter Berücksichtigung von Nutzerakzeptanz und Marktdiffusion realisierbare Bestand beträgt der Analyse nach für 2022 1 Mio. und für 2030 6 Mio. Elektrofahrzeuge in Deutschland. Darüber hinaus erreichen Elektrofahrzeuge bis zum Jahr 2030 einen Anteil von über 11 Prozent an der PKW-Gesamtfahrleistung.
- Die zeitliche Struktur der Stromnachfrage ist für den Kraftwerkseinsatz (Merit Order) entscheidend. Beim Einsatz von Regenerativstrom kann von nahezu emissionsfreiem elektrischem Fahren ausgegangen werden. Die Emissionen des PKW-Bestands

können dann um über 5 Mio. Tonnen im Jahr 2030 gegenüber einer Referenzentwicklung ohne Elektromobilität gesenkt werden. Dies entspricht einer Minderung der Gesamtemissionen um 6 Prozent bis zum Jahr 2030.

- Der Stromverbrauch durch Elektromobilität beträgt im Jahr 2020 insgesamt rund 1 TWh und damit unter 0,2 Prozent der heutigen gesamten jährlichen Nettostromnachfrage. Im Jahr 2030 sind es etwa 10 TWh, was gut 1,5 Prozent des Nettostromverbrauchs entspricht.
- Bei der Analyse der verschiedenen Möglichkeiten der Interaktion mit dem Energiesystem zeigt sich, dass das Lademanagement mittelfristig die wirtschaftlichste Option darstellt, Flexibilität für die erneuerbaren Energien seitens der Elektrofahrzeuge bereitzustellen.

Die Vorhabensergebnisse im Einzelnen sind in einer Broschüre illustriert, die unter [www.erneuerbar-mobil.de](http://www.erneuerbar-mobil.de) zur Verfügung steht. ■

# Förderschwerpunkte und Projekte

---

---

## Verbund

Umweltbewertung Elektromobilität –  
Zusammenführung und Analyse der Erkenntnisse  
aktueller Flottenversuche der Bundesregierung  
(UMBReLA)

## Projektpartner

ifeu – Institut für Energie- und Umweltforschung  
Heidelberg GmbH

## Laufzeit

01.10.2009 – 30.09.2011

---

## UMBReLA

### Ziele des Projekts

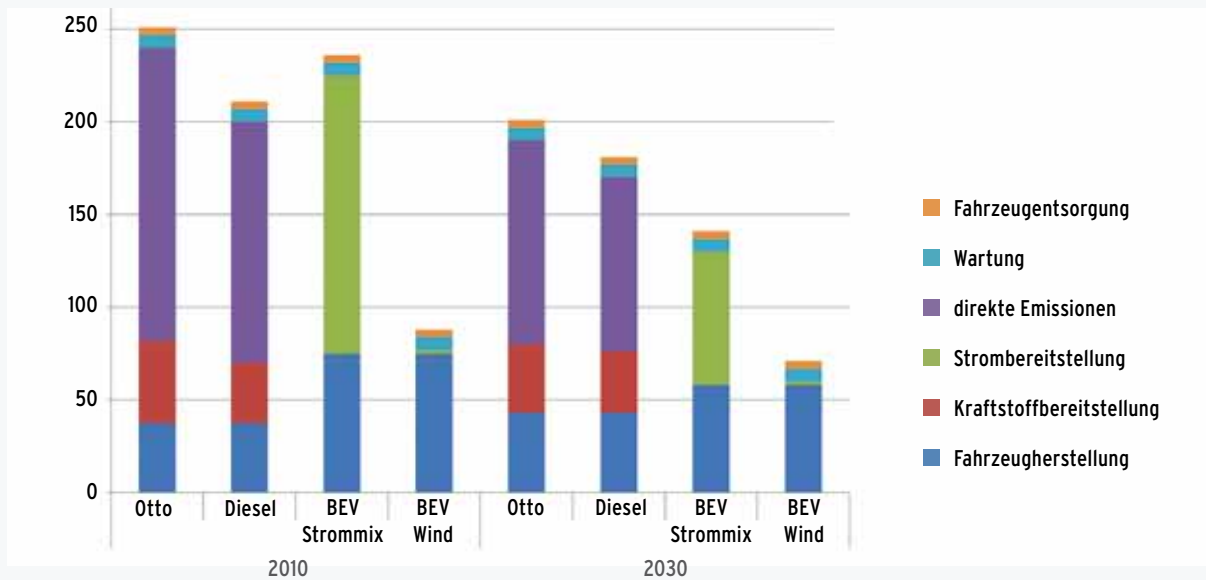
Mit dem Vorhaben wurde eine umfassende Umweltbewertung von Elektrofahrzeugen und eine übergeordnete Zusammenführung der umweltrelevanten Ergebnisse der Flottenversuche des Bundesumweltministeriums und weiterer aktueller Forschungsprojekte im Bereich der Elektromobilität verfolgt. Ziel dabei war es, die Umweltwirkungen der Fahrzeuge „von der Wiege bis zur Bahre“ zu untersuchen. Dazu wurden eine Vielzahl von Projektergebnissen aufbereitet und sind in das neu entwickelte Ökobilanzmodell eLCAr (Electric Car Life Cycle Assessment) eingeflossen. Das Modell umfasst mit der Fahrzeugherstellung, der Energiebereitstellung, der Nutzungsphase und der Entsorgung den gesamten Lebensweg und berücksichtigt unterschiedliche Fahrzeugarten. Durch die Anwendung von Sensitivitätsanalysen und Fallstudien konnten darüber hinaus Bedingungen für besonders vorteilhafte Einsatzfelder von Elektrofahrzeugen beschrieben werden. Zusätzlich wurde ein

Systemvergleich mit Brennstoffzellenfahrzeugen durchgeführt. Der Betrachtungshorizont des Vorhabens reicht bis 2030.

### Ergebnisse

Das Vorhaben zeigt, dass Elektrofahrzeuge unter heutigen Produktions- und Energiebereitstellungsbedingungen eine ähnliche Klimabilanz aufweisen wie verbrennungsmotorische Fahrzeuge. Die Klimawirkung der Batterieherstellung kann im Vergleich zum Benziner erst ab einer Fahrleistung von 100.000 km ausgeglichen werden. Bei Nutzung von zusätzlichen erneuerbaren Energien kann ein Ausgleich schon ab 30.000 km erreicht werden. Im Innenstadtbereich erweist sich der Elektroantrieb als besonders effizient, aber aufgrund der geringeren Fahrleistungen bei Privatnutzung schlägt die Batterieherstellung hier deutlicher in der Bilanz zu Buche. Im innerstädtischen Wirtschaftsverkehr hingegen können Elektrofahrzeuge bereits heute hohe Entlastungen bieten.

CO<sub>2</sub> - Äquivalente pro km



Mit einem steigenden Anteil an erneuerbaren Energien im Strom-Mix sowie effizienteren und langlebigeren Batterietechnologien verbessern sich die Umweltwirkungen von Elektrofahrzeugen deutlich. Unter Einsatz eines Lademanagements und zusätzlicher erneuerbarer Energien liegen die Treibhausgasemissionen von Elektroautos über den gesamten Lebensweg erheblich unter denen konventioneller Fahrzeuge. Auch die Umweltwirkungen in den weiteren untersuchten Wirkungskategorien wie Versauerungspotenzial, Feinstaub, Sommersmog und Eutrophierung vermindern sich stark und liegen in der Regel niedriger als bei Benziner oder Diesel.

Der Vergleich von Elektroautos und brennstoffzellenbetriebenen Fahrzeugen zeigt, dass die Klimabilanz der Fahrzeugarten grundsätzlich ähnlich ist: Kommt sauberer Strom zum Einsatz bieten beide Technologien signifikante Vorteile. In den weiteren Wirkungskategorien schneiden Brennstoffzellen-PKW tenden-

ziell schlechter ab. Ein deutlicher Unterschied jedoch zeigt sich im Gesamtwirkungsgrad: Von 100 Prozent elektrischer Energie kommen beim batterieelektrischen PKW etwa 77 Prozent am Rad an, beim Brennstoffzellen-Fahrzeug sind es nur etwa 26 Prozent. Dies liegt daran, dass bei der Wasserstoffgewinnung per Elektrolyse und der anschließenden Wiederverstromung in der Brennstoffzelle hohe Verluste entstehen, während die Batteriespeicherung bei Elektroautos bereits sehr effizient ist.

Unter [www.emobil-umwelt.de](http://www.emobil-umwelt.de) können alle Ergebnisse des Vorhabens eingesehen werden. Zusätzlich zeigt ein Umweltrechner Ökobilanzen für verschiedene Anwendungen von Elektrofahrzeugen und bietet darüber hinaus einen individuellen Vergleich mit herkömmlichen Fahrzeugen. ■

# Förderschwerpunkte und Projekte

---

---

## Vorhaben

Marktmodellierung Elektromobilität (MMEM)

## Projektpartner

ESMT European School of Management  
and Technology GmbH, Berlin

## Laufzeit

01.12.2009 – 30.09.2011

---

## MMEM

### Ziele des Projekts

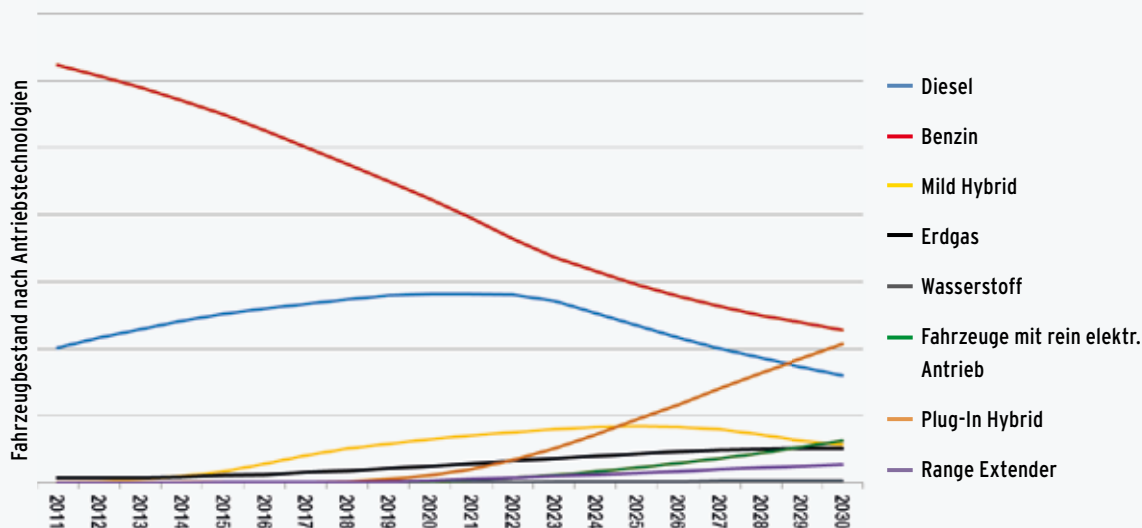
Elektromobilität wird zukünftig neben dem klimapolitischen Aspekt auch wirtschaftlich eine bedeutende Rolle spielen. Und insbesondere die transparente, detaillierte Darstellung des ökonomischen und ökologischen Kosten-Nutzen-Verhältnisses ist geeignet, die Markteinführung von Elektromobilität in Deutschland schneller voranzubringen. Das MMEM-Vorhaben hat die Marktdurchdringung unterschiedlicher Antriebstechnologien (Benzin, Diesel, verschiedene Hybridtechnologien, Gas, Biokraftstoff, Elektroautos, Brennstoffzelle) unter verschiedenen Rahmenbedingungen wie Treibstoff- und Strompreis oder Batteriekostenentwicklung simuliert. Hierbei wurden verschiedene Politikoptionen wie zum Beispiel CO<sub>2</sub>-Grenzwerte und Forschungsförderung untersucht, um deren Einfluss auf die betrachteten volkswirtschaftlichen Bereiche Konsumenten, Produzenten, Staat und Umwelt und auf die Technologiediffusion von Elektrofahrzeugen prognostizieren

und bewerten zu können. Das Modell zeigt im Ergebnis die Nutzenwerte der Politikentscheidungen, ihren Beitrag zur Emissionsreduktion und die Rückwirkungen auf Beschäftigung und Wachstum im Vergleich zum Referenzszenario.

### Ergebnisse

Im Referenzszenario ohne Politikeingriff setzen sich vor allem Mild-Hybride, Plug-In-Hybride und Fahrzeuge mit Range Extender durch. Das Ziel der Bundesregierung von sechs Millionen Fahrzeugen mit Elektroantrieb in 2030 wird erreicht. Für das Jahr 2020 werden im Referenzszenario ohne jegliche Art von Förderung allerdings nur 460.000 Elektrofahrzeuge prognostiziert. Rein batterieelektrische Fahrzeuge erreichen im Referenzszenario nur eine geringe Marktdurchdringung, Brennstoffzellenfahrzeuge spielen keine Rolle.

Markthochlaufkurve alternativer Technologien im deutschen Kraftfahrzeugbestand



Durch die weitere Optimierung von Verbrennungsmotoren in Kombination mit Hybridisierung lässt sich langfristig ein sehr großes Emissionsreduktionspotential erschließen. Im Referenzszenario wird eine Reduktion der jährlichen CO<sub>2</sub>-Emissionen um 50 Prozent bis 2035 ohne weitere Eingriffe bei einem Flottenemissionsstandards von 95g/km erreicht. Unter dem Schirm eines europäischen Emissionshandels (ETS) führen elektrische Fahranteile keine zusätzlichen Emissionen herbei, wenn das Elektrofahrzeug ein verbrennungsmotorisches Fahrzeug ersetzt. Eine weitere wichtige Erkenntnis des Vorhabens ist, dass Rahmeninstrumente wie Flottenemissionsstandards mit anderen Instrumenten interagieren. Zum Beispiel wirkt sich die Förderung von Elektrofahrzeugen auf die Stringenz von CO<sub>2</sub>-Grenzwerten für die gesamte Neuwagenflotte aus. Aufgrund solcher Nebenwirkungen müssen verschiedene Instrumente daher aufeinander abgestimmt und gemeinsam weiterentwickelt werden.

Die Studie empfiehlt vor diesem Hintergrund einen zeitlich begrenzten Einsatz ausgewählter Maßnahmen mit einer Volumendeckelung, wobei es auf den richtigen Startzeitpunkt und die richtige Kombination von Maßnahmen ankommt. Bei jedem Instrument ist ferner zu beachten, dass ein Nutzen in einem bestimmten volkswirtschaftlichen Bereich (zum Beispiel Konsumenten oder Produzenten) mit einem negativen Nutzen in einem anderen Bereich (zum Beispiel Steuereinnahmen des Staates) einhergeht. Mit den Ergebnissen der Studie wird eine Abwägung der Auswirkungen einzelner Maßnahmen erleichtert.

In Zukunft ist mit einer deutlich besseren Datenlage zu rechnen, welche flexibel in das modulare Simulationsmodell eingepflegt werden kann, um noch aussagekräftigere Ergebnisse zu liefern. Über eine Website und ein integriertes Online-Tool ([www.mmem.eu](http://www.mmem.eu)) sind die Ergebnisse aus dem Vorhaben auch für die breite Öffentlichkeit zugänglich. ■





---

# 5 Förderschwerpunkte und Projekte

## Batterierecycling

---

Verfahren zum Recycling von Lithium-Ionen-Batterien für Fahrzeuge befinden sich derzeit international noch in einem frühen Entwicklungsstadium. Daher förderte das BMU Forschungs- und Entwicklungsarbeiten zu Recyclingprozessen für Lithium-Ionen-Traktionsbatterien unter wirtschaftlichen und ökologischen Gesichtspunkten.

Darüber hinaus ist auch für Batteriehersteller bereits beim Aufbau der Batteriefertigung von hoher Bedeutung, dass ausgefeilte Recyclingkonzepte für Sicher-

heit bei der Rücknahme und der anschließenden Verwertung sorgen. Weiterhin ist davon auszugehen, dass Effizienz- und Umweltstandards in den nächsten Jahren weltweit an Bedeutung gewinnen und auch die Rohstoffpreise für Materialien wie zum Beispiel Kobalt oder Lithium ansteigen werden. Daher ist eine frühzeitige Entwicklung effektiver Recyclingverfahren mit hohen Rückgewinnungsquoten von strategischer Bedeutung für die Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Automobil- und Zulieferindustrie.

### Gegenstand der Förderung waren daher insbesondere folgende Themen

- Entwicklung von Sicherheitskonzepten, die eine gefahrlose Zerlegung der Batterien ermöglichen (sicheres Demontagekonzept),
- Verfahren zur Trennung der verschiedenen Batteriekomponenten,
- Forschung und Entwicklung zur Erfassung von Life-Cycle-Daten und Testverfahren,
- Untersuchung verschiedener alternativer Recyclingverfahren für Lithium-Ionen-Batterien in Abhängigkeit der enthaltenen Materialien zur Rückgewinnung von „batteriefähigem“ Lithium sowie zur Rückgewinnung der anderen enthaltenen Stoffe, um eine möglichst hohe Rückgewinnungsquote zu erzielen,
- Verfahren zur Kopplung von Produktentwicklung und Recyclingprozess, da Produkteigenschaften und Verfahrenstechnik erhebliche Einflüsse auf den Recyclingprozess haben.

## Förderschwerpunkte und Projekte

---

---

### Verbund

Entwicklung eines realisierbaren Recyclingkonzepts für die Hochleistungsbatterien zukünftiger Elektrofahrzeuge (LiBRi)

### Projektpartner

Umicore AG & Co. KG, Hanau (Koordinator)  
Daimler AG, Stuttgart  
Öko-Institut, Darmstadt  
TU Clausthal, Institut für Aufbereitung, Deponietechnik und Geomechanik

### Laufzeit

01.09.2009 – 31.08.2011

---

## LiBRi

### Ziele des Projekts

Eines der Hauptziele im Projekt LiBRi bestand in der Erforschung und Umsetzung von Verfahren zur Demontage von Lithium-Ionen-Traktionsbatterien und zur Aufbereitung von Batteriezellen, so dass diese anschließend in vorhandenen pyrometallurgischen Anlagen weiterverarbeitet werden können. Weiteres Ziel war die Untersuchung von Recyclingverfahren für Lithium und Mangan aus den Schlacken und Stäben des pyrometallurgischen Prozesses.

### Ergebnisse

Die Untersuchungen zur Demontage umfassten den gesamten Prozess, von Verfahren zum Ausbau der Batterie aus dem Fahrzeug und zum sicheren Transport, über den Test und das kontrollierte Entladen und die Trennung des Batteriegehäuses von weiteren Funktionskomponenten (zum Beispiel Kühlsystem) bis hin zur Separation der Lithium-Ionen-Zellen. Die entwickelte Batterietestanlage ermöglicht es, definierte

Entladesequenzen vorzugeben und so individuelle Entladekurven für die unterschiedlichsten Batteriesysteme einzustellen. Gleichzeitig ermöglicht das Gerät auch die Rückspeisung der Restenergie in das Stromnetz. Mit Hilfe der Testanlage wurden auch Untersuchungen zum „Remanufacturing“ von Batterien durchgeführt. Dabei wurden verschiedene Möglichkeiten wie die Weiterverwendung in anderen Applikationen („Second Life“), die Reparatur oder Wiederverwendung einzelner Komponenten betrachtet. Die Untersuchungen zeigten, dass verschiedene Wieder- und Weiterverwendungsoptionen auch unter ökonomischen Gesichtspunkten interessante Optionen sein können. Zur Umsetzung sind jedoch noch weitere Forschungsarbeiten zum Alterungsverhalten von Batterien und Zellen sowie Entwicklungen im Bereich des demontagegerechten Designs notwendig.

Auf der Grundlage der entwickelten Demontageprozesse wurde eine Pilotanlage aufgebaut und in



Betrieb genommen. Die Anlage umfasst alle Prozessschritte, von der Eingangsprüfung der Batterien über das Entladen bis hin zur mechanischen Vorbehandlung und Bildung von definierten Materialfraktionen. Die Anlage erfüllt alle gesetzten technischen und gesetzlichen Anforderungen, auch in Bezug auf die EU-Batterierichtlinie 2006/66/EG, die unter anderem Vorgaben zum umweltgerechten Recycling macht. Die Pilotanlage stellt die Basis für die Aufbereitung und Überführung der Lithium-Ionen-Zellen in den vorhandenen pyrometallurgischen Prozess – und damit ein Recycling wichtiger Rohstoffe wie Nickel oder Kobalt – dar. Weiterhin wurde ein effizientes Rückgewinnungsverfahren für Lithium und Mangan aus den Schlacken und Stäuben des pyrometallurgischen Prozesses entwickelt. Für alle untersuchten Schlacken wurde ein hydrometallurgisches Aufbereitungsverfahren konzipiert, das in Zukunft die Potenziale bietet, Lithium ökologisch und ökonomisch effizienter zurückzugewinnen als dies aus

silikatischen Lithiumerzen (Spodumen) möglich ist.

Die begleitend durchgeführte Ökobilanzierung der Recyclingprozesse des Projekts LiBRi belegt die ökologische Vorteilhaftigkeit der gewählten Verfahren. Weiterhin wurden Analysen zur Ressourcenverfügbarkeit von Lithium und Kobalt durchgeführt. Die Verfügbarkeitsanalysen machen deutlich, dass selbst bei einer starken Marktdurchdringung von Elektrofahrzeugen in Anbetracht der großen Zahl von Lithium-Explorationsprojekten und der globalen Reserven über lange Zeit der Bedarf an Lithium durch Primärrohstoffe gedeckt werden kann. Bei Kobalt ist die Situation kritischer zu bewerten, andererseits stehen mit Lithiumeisenphosphat-Kathoden oder zukünftigen Metall-Luft-Batterien hier auch kobaltfreie Alternativen zur Verfügung. Die Ergebnisse des Projekts LiBRi bieten eine gute Grundlage für die Überführung der entwickelten Recyclingprozesse in einen industriellen Maßstab. ■

## Förderschwerpunkte und Projekte

---

---

### Verbund

Recycling von Lithium-Ionen-Batterien (LithoRec)

### Projektpartner

Technische Universität Braunschweig (Koordinator)  
Audi AG, Ingolstadt  
Chemetall GmbH, Frankfurt  
Electrorecycling GmbH, Goslar  
Evonik Litarion GmbH, Kamenz  
Walch Recycling & Edelmetallhandel GmbH & Co. KG,  
Baudenbach  
H. C. Starck GmbH, Goslar  
I+ME ACTIA GmbH, Braunschweig  
Recylex GmbH, Goslar  
Süd-Chemie AG, Moosburg  
Universität Münster, Münster  
Volkswagen AG, Wolfsburg

### Laufzeit

01.09.2009 – 30.09.2011

---

## LithoRec

### Ziele des Projekts

Ziel des Projekts LithoRec war die Entwicklung und Erprobung von Verfahren zum Recycling von Lithium-Ionen-Batterien. Dabei wurde ein ganzheitlicher Ansatz, der den gesamten Lebenszyklus vom recyclinggerechten Design über die technologischen Prozesse zur Demontage, Materialaufbereitung und metallurgischen Verwertung bis hin zu Wiederverwertungskonzepten umfasste, verfolgt. Der Forschungsschwerpunkt lag im Unterschied zum Vorhaben LibRi in der Entwicklung hydrometallurgischer Prozesse zur Rückgewinnung wichtiger Batteriematerialien, insbesondere von Lithium.

### Ergebnisse

Mit den entwickelten hydrometallurgischen Prozessen kann je nach Materialzusammensetzung bis zu 95 Prozent des Lithiums aus dem separierten Kathodenmaterial wiedergewonnen werden. Ein weiterer Vorteil der Verfahren besteht darin, dass

die zurückgewonnenen Materialien bei mechanischer Aufbereitung im Labormaßstab nachgewiesenermaßen Batteriequalität aufweisen und somit ein geschlossener Kreislauf der strategisch wichtigen Batterierohstoffe erfolgt. So wurde zum Beispiel aus Lithiumeisenphosphat Lithiumhydroxid gefällt und aus NCM-Aktivmaterial wieder neues Lithiumnickelmangankobaltoxid (NCM) in Batteriequalität hergestellt. Zur hydrometallurgischen Aufbereitung separierter Beschichtungspulver aus Lithium-Ionen-Batterien wurden zwei Pilotanlagen realisiert. Eine Anlage umfasst die Prozesse der Extraktion von Lithium und weiteren Übergangsmetallen, eine weitere Anlage dient der Reinigung der Lithium-Salzlösungen und der Umwandlung in Lithiumhydroxid oder Lithiumkarbonat als Ausgangsmaterial für neue Kathodenmaterialien. Beide Anlagen konnten erfolgreich in Betrieb genommen und im Pilotmaßstab betrieben werden.



Neben den metallurgischen Prozessen wurden auch Verfahren zur Demontage der Batterien, das Zerlegen der Zellen und die Abtrennung der Aktivmaterialien von den Elektroden untersucht. Hierbei zeigte sich, dass insbesondere bei der Trennung einzelner Materialfraktionen auf die Vermeidung von Querkontaminationen geachtet werden muss. So wurde zum Beispiel festgestellt, dass Aluminiumverunreinigungen die hydrometallurgische Verarbeitung der Aktivmaterialien behindert. Neben der Verfahrensentwicklung wurden auch Untersuchungen zur Automatisierbarkeit von Demontageschritten durchgeführt. Es konnte gezeigt werden, dass einzelne dezidierte Demontageschritte ein ausgeprägtes Automatisierungspotenzial aufweisen. Zum Beispiel wurde der Prototyp eines Greifersystems zur Entnahme der Batteriezellen bei gleichzeitiger Charakterisierung des Zellzustands aufgebaut. Diese Untersuchungen tragen dazu bei, den Recyclingprozess effizienter zu gestalten. Des Weiteren

wurden neue Ansätze zur Rückgewinnung von Lösungsmitteln und Leitsalzen aus Elektrolyten identifiziert. Erste Erfolge im Labormaßstab wiesen dabei die Verfahren der Unterdruck-Kondensation und der Extraktion mittels überkritischem Kohlenstoffdioxid auf.

Die im Labormaßstab entwickelten Prozesse zur Demontage, Zerkleinerung und Separation verschiedener Materialfraktionen soll anschließend im Aufbau einer entsprechenden Pilotanlage münden. Die Pilotanlagen zur hydrometallurgischen Rückgewinnung von Aktivmaterialien stellen die Basis für die zukünftige Umsetzung in großtechnische Recyclingprozesse dar. Auch die begleitenden Ökobilanzen wiesen in allen Wirkungskategorien positive Umwelteffekte der Verfahren nach. ■

„Der Staat schützt auch in Verantwortung für die künftigen Generationen die natürlichen Lebensgrundlagen...“

Grundgesetz, Artikel 20 a

**BESTELLUNG VON PUBLIKATIONEN:**

Publikationsversand der Bundesregierung

Postfach 48 10 09

18132 Rostock

Tel.: 01805 / 77 80 90\*

Fax: 01805 / 77 80 94\*

E-Mail: [publikationen@bundesregierung.de](mailto:publikationen@bundesregierung.de)

Internet: [www.bmu.de/bestellformular](http://www.bmu.de/bestellformular)

(\*0,14 Euro/Minute aus dem deutschen Festnetz; abweichende Preise aus den Mobilfunknetzen möglich)

Diese Publikation ist Teil der Öffentlichkeitsarbeit des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Sie wird kostenlos abgegeben und ist nicht zum Verkauf bestimmt. Gedruckt auf Recyclingpapier.