Die
Bundesregierung

Nationaler Entwicklungsplan Elektromobilität der Bundesregierung

August 2009

Inhaltsverzeichnis

1 Kurzfassung 2

2 Einleitung 3

3 Potenziale, Herausforderungen und Ziele 6

3.1 Was ist Elektromobilität im Kontext des Entwicklungsplans? 6

3.2 Potenziale der Elektromobilität 8

3.3 Herausforderungen durch Elektromobilität 9

3.4 Stärken-Schwächen-Chancen-Risiken der Elektromobilität in Deutschland 16

3.5 Zielsetzungen des Entwicklungsplans 17

4 Aktivitäten der Bundesregierung - Bestandsaufnahme 19

5 Handlungsempfehlungen 24

5.1 Erste Umsetzungsschritte – Elektromobilität im Rahmen des Konjunkturpakets der Bundesregierung 24

5.2 Deutschland zum Leitmarkt für Elektromobilität entwickeln 26

5.2.1 Forschung und Entwicklung 27

5.2.2 Rahmenbedingungen 36

5.3 Nationale und internationale Zusammenarbeit 42

6 Ausblick 44

Anhang: Glossar 48

1 Kurzfassung

Nach weit mehr als 100 Jahren Entwicklungsgeschichte des Verbrennungsmotors im Straßenverkehr deutet sich mit der Elektromobilität eine technologische Zeitenwende im Verkehrsbereich an. Die Elektrifizierung der Antriebe ist eine ganz wesentliche Stellschraube für eine zukunftsfähige Mobilität. Sie bietet die Chance, die Abhängigkeit vom Öl zu reduzieren, die Emissionen zu minimieren und die Fahrzeuge besser in ein multimodales Verkehrssystem zu integrieren.

Auch wenn auf absehbare Zeit der Verbrennungsmotor seine Bedeutung für den Verkehr noch behalten wird und hier weitere Effizienzverbesserungen sowie die Nutzung biogener Kraftstoffe auf der verkehrspolitischen Agenda bleiben müssen, gilt es, bereits heute den schrittweisen Übergang zu neuen Effizienztechnologien zu gestalten. Um im internationalen Wettbewerb zu bestehen, muss Deutschland zum *Leitmarkt Elektromobilität* werden und die Führungsrolle von Wissenschaft sowie der Automobil- und Zulieferindustrie behaupten.

Ziel des *Nationalen Entwicklungsplans Elektromobilität* ist es, die Forschung und Entwicklung, die Marktvorbereitung und die Markteinführung von batterieelektrisch betriebenen Fahrzeugen in Deutschland voranzubringen. Die im *Konjunkturpaket II* der Bundesregierung aufgegriffenen Maßnahmen wirken dabei wie Katalysatoren. Sie müssen auf der Zeitachse verstetigt und dem Technologiefortschritt angepasst werden.

Die Technologien für elektrische Antriebe, Energiespeicher und Netzinfrastruktur sind in ihren Grundlagen entwickelt. Allerdings besteht an zahlreichen Stellen der Wertschöpfungskette noch Forschungs-, Optimierungs- und Vernetzungsbedarf. Vor allem in der Schlüsseltechnologie der Batteriespeicher sind erhöhte Anstrengungen erforderlich, um die globale Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Automobilindustrie zu behaupten und zu stärken.

Der Einstieg in die Elektromobilität ist kurzfristig über Demonstrationsvorhaben und Feldversuche möglich. Erste Plug-In-Hybridfahrzeuge und reine Elektrofahrzeuge können in wenigen Jahren Marktreife erlangen. Der Aufbau der Batterieladeinfrastruktur muss dabei schrittweise und zunächst lokal bzw. regional konzentriert erfolgen. Für eine breite Markteinführung sind insbesondere die Kostenstrukturen sowie die Alltagstauglichkeit der Fahrzeuge zu verbessern. Aufgrund der heute noch bestehenden technologischen und wirtschaftlichen Herausforderungen wird es wohl noch mehr als eine Dekade dauern, bis Elektrofahrzeuge einen signifikanten Marktanteil erreichen. Ziel der Bundesregierung ist es, dass bis 2020 eine Million Elektrofahrzeuge auf Deutschlands Straßen fahren.

Deutschland startet mit dem *Nationalen Entwicklungsplan Elektromobilität* von einer starken und breiten Basis. Um auf dem beschriebenen Weg schneller voranzukommen, sind verstärkte Anstrengungen des Staates und insbesondere der Wirtschaft notwendig. BDEW, VDA und ZVEI haben sich erst jüngst zu ihrer Verantwortung bekannt. Notwendig für eine breite Einführung von Elektrofahrzeugen in den kommenden Jahren ist die Schaffung einer Reihe von politischen, regulatorischen, technischen und infrastrukturellen Voraussetzungen. So müssen z.B. zur Gewährleistung von Interoperabilität, Sicherheit und Akzeptanz offene europäische Standards geschaffen werden, die global hohe Maßstäbe setzen. Die Bundesregierung wird im Rahmen des Nationalen Entwicklungsplans Elektromobilität in den nächs-

ten 10 Jahren ihren Beitrag leisten. Neben ordnungsrechtlichen Maßnahmen, die insbesondere Fortschritte bei der Batterietechnologie, der Netzintegration sowie bei der Marktvorbereitung und -einführung unterstützen, wird ein Marktanreizprogramm und dessen Ausgestaltung geprüft. Soweit zusätzliche Aktivitäten auf den Bund entfallen, stehen sie unter dem Vorbehalt der geltenden Finanzplanung und der politischen Entscheidungen in der nächsten Legislaturperiode.

Grundsätzlich muss berücksichtigt werden, dass Elektrofahrzeuge sich letztlich nur dann durchsetzen werden, wenn die Entwicklung ihrer Gesamtkosten inklusive Infrastruktur die Gewähr dafür bietet, dass im Wettbewerb keine dauerhaften Subventionen erforderlich sind.

Die Umsetzung des *Nationalen Entwicklungsplans Elektromobilität* erfordert daher von Anfang an eine enge Abstimmung zwischen allen beteiligten Akteuren. Hierzu ist eine *Nationale Plattform Elektromobilität* zu etablieren, die sich aus Vertretern der Politik, der Industrie und Wissenschaft, der Kommunen sowie der Verbraucher zusammensetzt und die Einrichtung aufgabenbezogener Arbeitsgruppen ermöglicht.

Die Bundesregierung setzt mit der Elektromobilität ihre Strategie „weg vom Öl“ weiter um. In Verbindung mit erneuerbaren Energien leistet sie, wie bereits im *Integrierten Energie- und Klimaprogramm (IEKP)* dargelegt, einen bedeutenden Beitrag zur Umsetzung der Klimaschutzziele der Bundesregierung. Wichtig ist es auch, die Elektromobilität im Kontext der *Kraftstoffstrategie* und der *Hightech-Strategie der Bundesregierung (HTS)* zu betrachten. Darüber hinaus kann einer neuen Mobilitätskultur und einer modernen Stadt- und Raumplanung zum Durchbruch verholfen werden.

Die Elektromobilität bedeutet für den Verkehrs- und Energiebereich einen Paradigmenwechsel. Wir haben es heute in der Hand, die richtigen Weichen für die Mobilität der Zukunft zu stellen und die offenen Fragen und Herausforderungen in einem kontinuierlichen Entwicklungsprozess anzugehen und zu lösen.

2 Einleitung

Das Integrierte Energie- und Klimaprogramm der Bundesregierung benennt Elektromobilität als wichtigen Bestandteil und enthält im Umsetzungsbericht den Auftrag, einen Nationalen Entwicklungsplan Elektromobilität zu erstellen.

Die langfristige Sicherung der Mobilität erfordert hoch effiziente Fahrzeuge, die mit alternativen Energien betrieben werden können. Elektrische Antriebe (Hybrid-, Batterie- und Brennstoffzellenfahrzeuge) bieten große Potenziale zur Verringerung der Abhängigkeit von Erdöl als Energieträger sowie zur Reduzierung von CO_2- und lokalen Schadstoffemissionen. Plug-In- und Batterie-Elektrofahrzeuge – die Gegenstand des Entwicklungsplans sind – sind dabei unter dem Gesichtspunkt der Energieeffizienz die erste Wahl. Dies haben europäische Nachbarländer und auch Staaten wie die USA, Japan und China bereits erkannt, die ihre Industrien mit umfangreichen Programmen auf dem Weg zur Elektromobilität unterstützen. Für Deutschland gilt es, sich in der Spitzenposition zu etablieren.

Elektromobilität ist daher ein Thema von hoher strategischer Bedeutung für die Bundesregierung, das in Verbindung mit der Energieversorgung aus erneuerbaren Quellen im Integrierten Energie- und Klimaprogramm verankert wurde. Die zuständigen Ressorts (BMWi, BMVBS, BMU, BMBF) sind mit den Akteuren aus Wirtschaft und Wissenschaft in einen in-

tensiven Dialog eingetreten, um gemeinsam die Herausforderungen und die Chancen zu diskutieren und Leitlinien für die Umsetzung eines auf zehn Jahre angelegten Plans zur Realisierung von Elektromobilitätszielen zu entwickeln. Die Ergebnisse dieser Gespräche sind in den Nationalen Entwicklungsplan Elektromobilität eingeflossen, der den Rahmen für künftige Forschungsarbeiten, Technologieentwicklungen und die Markteinführung in Deutschland darstellt.

In der aktualisierten Kraftstoffstrategie der Bundesregierung wird die Elektromobilität zu einem wichtigen Baustein, der die Abhängigkeit von Erdöl als Energieträger schneller reduzieren kann. Auch in der *Hightech-Strategie* der Bundesregierung haben alternative Antriebskonzepte und neue Verkehrstechnologien eine große Bedeutung. Letztlich bringt die Elektromobilität auch Chancen für neue Fahrzeugkategorien und moderne Verkehrskonzepte mit sich.

Elektrische Energie ist in der Gesamtbetrachtung der Effizienz des Energietransports - von der Herstellung über den Transport bis zum Rad - den fossilen Kraftstoffen überlegen. Zudem lässt sie weitreichende Freiheiten bei der Wahl der primären Energiequelle zu. Insbesondere durch die Nutzung regenerativer Energiequellen, wie z.B. Sonne und Wind, kann die Emission von Treibhausgasen durch den Straßenverkehr erheblich verringert werden. Die Batterien der Fahrzeuge könnten in das Stromnetz eingebunden werden und so mittel- und längerfristig dazu dienen, die Netzstabilität zu steigern, was bei einem wachsenden Anteil an fluktuierenden Energieeinträgen zunehmend an Bedeutung gewinnen wird.

Mit dem Integrierten Energie- und Klimaprogramm vom 5. Dezember 2007 hat die Bundesregierung wichtige Weichen für eine hochmoderne, sichere und klimaverträgliche Energieversorgung in Deutschland – vor allem auf Basis von mehr Energieeffizienz und erneuerbaren Energien – gestellt. Zugleich hat sie die Maßnahmen für einen ehrgeizigen und effizienten Klimaschutz festgelegt. In Kapitel 26 werden die Ziele der Bundesregierung zur Elektromobilität dargestellt.

Im Nationalen Entwicklungsplan Elektromobilität soll gemeinsam mit Wissenschaft, Industrie und Politik eine konzertierte Strategie von der Grundlagenforschung bis hin zur Markteinführung entwickelt und vorangebracht werden. Dabei wird die gesamte Wertschöpfungskette – von den Materialien, Komponenten, Zellen, Batterien bis hin zum Gesamtsystem und seiner Anwendung – berücksichtigt. Außerdem soll ein Konzept zur Netzintegration der durch Elektromobilität zusätzlich generierten Stromnachfrage, zur Verknüpfung dieser Nachfrage mit erneuerbaren Energiequellen und zum Beitrag der Elektromobilität zum Lastmanagement im Stromnetz erarbeitet werden. Letztlich soll Deutschland damit zu einem Leitmarkt für Elektromobilität entwickelt werden und damit die Wettbewerbsfähigkeit der Automobil- und Zuliefererindustrie als eine der wichtigsten Säulen der deutschen Industrie langfristig ausgebaut werden.

Im Bereich der Elektromobilität ist in den nächsten zehn Jahren mit einer dynamischen technischen und wirtschaftlichen Entwicklung zu rechnen, der mit einem „lernenden Programm“ Rechnung zu tragen ist.

Zur Unterstützung der Umsetzung des Nationalen Entwicklungsplans Elektromobilität hat die Bundesregierung im Sinne eines abgestimmten Handelns aller nationalen Akteure Initiativen zum Austausch, zur Vernetzung und zum Wissenstransfer ergriffen. Hierzu wurden auf der am 25. und 26. November 2008 von der Bundesregierung veranstalteten Strategiekonferenz

die Eckpunkte für einen Nationalen Entwicklungsplan Elektromobilität zur Diskussion gestellt. Die Konferenz bestätigte die Elektromobilität als ein zentrales Innovationsfeld und zeigte auf, dass die Industrie bereit ist sich in einer branchenübergreifenden Zusammenarbeit für die Entwicklung Deutschlands zum Leitmarkt für Elektromobilität zu engagieren. Ebenso wurde deutlich, dass staatliches Handeln in Kooperation mit Wissenschaft und Wirtschaft in den Feldern Forschung und Entwicklung, Marktvorbereitung und -einführung sowie bei den Rahmenbedingungen erforderlich ist. Die diesem Entwicklungsplan zugrunde liegenden Ziele der Bundesregierung fanden breite Unterstützung.

Die mit dem *Pakt für Beschäftigung und Stabilität in Deutschland zur Sicherung der Arbeitsplätze, Stärkung der Wachstumskräfte und Modernisierung des Landes (Konjunkturpaket II)* möglichen Maßnahmen sollen dabei als Katalysator wirken, um es der deutschen Automobil- und Zulieferindustrie in einer für sie krisenhaften konjunkturellen Lage zu erleichtern, ihre eigenen Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten auszubauen und sich im Bereich der Elektromobilität – wie dies auch in anderen Bereichen gelungen ist – die technologische Führerschaft zu erarbeiten und entsprechende Marktpositionen zu besetzen. Von den Maßnahmen werden auch andere Wirtschaftsbereiche wie z.B. Energieversorger, Stadtwerke, IKT-Dienstleister und Forschungseinrichtungen profitieren.

AUSGANGSSITUATION	**ZIELSETZUNG**
Elektromobilität ist als ein wesentliches Element identifiziert und damit als strategisches Thema von der Bundesregierung auf die politische Agenda gesetzt worden.	Das Konjunkturpaket II der Bundesregierung hat das Ziel, kurzfristige kunjunkturelle Effekte mit der langfristigen Stärkung der Zukunftsfähigkeit Deutschlands zu verbinden.

Im Bereich der Elektromobilität ist in den nächsten zehn Jahren weltweit mit einer dynamischen technischen und wirtschaftlichen Entwicklung zu rechnen. Elektromobilität ist dabei ein komplexes Gestaltungsfeld, das über den rein technischen Ansatz (Fahrzeuge, System und Infrastruktur) hinausgeht.

Elektromobilität:

- wird sich in Phasen entwickeln,
- muss aktiv – auch politisch - gestaltet werden,
- muss im Zusammenspiel von global agierenden Akteuren und regionalen Umsetzungsverantwortlichen entwickelt und realisiert werden.

Die notwendigen Förderschwerpunkte wurden – ausgehend von den gesetzten politischen Zielen und den realistischen Ausgangsbedingungen hinsichtlich Technik, Infrastruktur etc. – auf Basis des Entwurfs des *Nationalen Entwicklungsplans Elektromobilität* entwickelt, der laufend fortgeschrieben wird.

3 Potenziale, Herausforderungen und Ziele

3.1 Was ist Elektromobilität im Kontext des Entwicklungsplans?

Die Elektrifizierung der Antriebe ist die wesentliche Stellschraube für einen zukunftsfähigen Verkehr. Die Batterie- und die Brennstoffzellentechnologien sind aus Sicht der Bundesregierung dabei sich ergänzende, komplementäre Pfade, die es gilt, beide weiter zu entwickeln. Neben dem bereits erfolgreich gestarteten *Nationalen Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NIP)* werden mit dem Nationalen Entwicklungsplan Elektromobilität nunmehr die Batterietechnologie und die Technologien für rein elektrische Antriebe verstärkt verfolgt.

Elektrische Antriebe spielen neben dem Straßenverkehr auch im Schienenverkehr und bei der Schifffahrt eine Rolle. Im Luftverkehr werden derzeit keine relevanten Ansätze für elektrische Antriebskonzepte verfolgt. In Schiffen und Flugzeugen werden jedoch Teilsysteme u. a. auf Basis von Brennstoffzellen elektrifiziert, um den Verbrauch der fossilen Energieträger zu verringern.

Im Kontext des nationalen Entwicklungsplans wird der Begriff Elektromobilität auf den Straßenverkehr begrenzt. Hierbei handelt es sich insbesondere um Personenkraftwagen (PKW) und leichte Nutzfahrzeuge, ebenso werden aber auch Zweiräder (Elektroroller, Elektrofahrräder) und Leichtfahrzeuge einbezogen. Die Strategie zur Elektromobilität kann auch Stadtbusse und andere Fahrzeuge umfassen. Kurz- und mittelfristig bieten auch Hybridkonzepte CO_2- und Energieeinsparpotenziale, die nicht zu vernachlässigen sind.

Das Abgrenzungskriterium bei den verschiedenen Antriebskonzepten ist der von den Fahrzeugen jeweils überwiegend genutzte Energieträger (Otto- und Dieselkraftstoff, Gas, Wasserstoff, elektrischer Strom). Vor dem Hintergrund des IEKP betrachtet der Nationale Entwicklungsplan Elektromobilität rein batteriegetriebene Elektrofahrzeuge (BEV) und Plug-In-Hybridfahrzeuge (PHEV), einschließlich Range Extender (REEV). Beide Fahrzeugtypen können rein elektrisch angetrieben und am Stromnetz der elektrischen Energieversorgung aufgeladen werden. Die Nutzung erneuerbarer Energien birgt hierbei das Potenzial für eine deutliche Reduktion der CO_2-Emissionen dieser Fahrzeuge.

Plug-In-Hybridantriebe haben ein größeres Kraftstoff-Einsparpotenzial als die derzeitigen Hybridfahrzeuge. Diese zeichnen sich dadurch aus, dass ein Elektromotor den konventionellen Verbrennungsmotor ergänzt und kurzzeitig einen elektrischen Betrieb ermöglicht. Aufbauend auf diesen energiesparenden und bereits am Markt verfügbaren Fahrzeugkonzepten geht es im Rahmen des vorliegenden Nationalen Entwicklungsplans Elektromobilität darum, die Marktvorbereitung von Plug-In-Hybridantrieben sowie von Elektrofahrzeugen zu beschleunigen.

Vergleich von Elektrofahrzeugen zu anderen Fahrzeugtypen

Fahrzeugtyp	**Akronym**	**Anteil der Nutzung des Stromnetzes für die Batteriespeisung**	**Gegenstand des Nationalen Entwicklungsplans Elektromobilität**	**Typische Charakteristika**
Elektrofahrzeug	BEV (Battery Electric Vehicle)	100 %	ja	• Elektromotor mit am Netz aufladbarer Batterie • Personenkraftwagen, aber auch Zweiräder • Hohes Potenzial zur CO_2-Reduktion durch Nutzung erneuerbarer Energien
Elektrofahrzeuge mit Reichweitenverlängerung	REEV (Range Extended Electric Vehicle)	teilweise, abhängig von Batteriereichweite und Nutzung	ja	• Elektromotor mit am Netz aufladbarer Batterie • Modifizierter Verbrennungsmotor kleiner Leistung oder Brennstoffzelle
Plug-In-Hybridfahrzeug	PHEV (Plug-In Hybrid Electric Vehicle)	teilweise, abhängig von Batteriereichweite und Nutzung	ja	• Elektromotor mit am Netz aufladbarer Batterie • Kombination von klassischem Verbrennungsmotor und Elektromotor • PKW und auch Nutzfahrzeuge (z. B. Lieferverkehr)
Hybridfahrzeug	HEV (Hybrid Electric Vehicle)	Keine Netzanbindung	nein, jedoch wichtige Voraussetzung für die Entwicklung von PHEV und BEV	• Klassischer Verbrennungsmotor plus Elektromotor • Ladung der Batterie durch Rückgewinnung der Bremsenergie • PKW und Nutzfahrzeuge
Brennstoffzellenfahrzeug	FCHEV (Fuel Cell Hybrid Electric Vehicle)	Keine Netzanbindung	nein (Nutzung von Synergien über den Austausch mit dem NIP)	• Elektromotor mit Brennstoffzelle zur Energieversorgung

3.2 Potenziale der Elektromobilität

1. Klimaschutz:

Elektromobilität kann einen wesentlichen Beitrag zur Verringerung der CO_2-Emissionen im Verkehrssektor leisten

Der PKW-Verkehr verursacht ca. 14% der Emissionen des für den Treibhauseffekt verantwortlichen Gases CO_2 in Deutschland. In der Energiebilanz (well to wheel) sind elektrische Antriebe im Vergleich zum Verbrennungsmotor bereits beim heutigen Kraftwerksmix effizienter und können damit zu einer Verringerung des CO_2-Ausstoßes beitragen. Erhebliche Klimavorteile werden aber erst dann erreicht, wenn der Strom aus anderen Quellen als den fossilen Energieträgern stammt.

2. Sicherung der Energieversorgung:

Fahren mit elektrischem Strom kann unsere Abhängigkeit vom Öl vermindern

Die Elektromobilität ermöglicht eine breitere Diversifizierung der für die Mobilität eingesetzten Primärenergieträger. Neben der damit erreichbaren Reduzierung der Abhängigkeit vom Erdöl eröffnet sich damit vor allem auch der Zugang zu dem gesamten Spektrum der erneuerbaren Energien.

3. Ausbau des Technologie- und Industriestandortes:

Deutschland kann zum Leitmarkt für Elektromobilität werden und der deutschen Wirtschaft einen neuen Innovationsschub bringen

Die Automobilindustrie ist eine der wichtigsten Exportbranchen der deutschen Wirtschaft. Die Fahrzeuge deutscher Hersteller werden weltweit als innovativ, sicher und zuverlässig geschätzt. Strategische Kooperation bei der Elektrifizierung des Antriebsstrangs mit den traditionell gut aufgestellten deutschen Automobilzulieferern könnte einen erheblichen Innovationsschub für die deutsche Automobilindustrie bewirken, der die gesamte Volkswirtschaft stärkt.

4. Verringerung lokaler Emissionen (Umweltschutz):

Elektrofahrzeuge können die Städte von Schadstoffen, Feinstaub und Lärm befreien und so die Lebensqualität steigern

Das Mikroklima der Innenstädte und Ballungsräume ist heute durch verkehrsbedingte Emissionen von Abgasen, Feinstaub und Lärm stark beeinträchtigt. Sowohl der Bedarf nach Maßnahmen zur Minderung von Lärm- und Feinstaubemissionen in solchen Ballungsräumen, wie auch der zunehmende Wettbewerb von Gemeinden und Regionen als nachhaltige Lebens- und Arbeitsräume, beschleunigen die Bereitschaft zu einer emissionsfreien Mobilität im städtischen Raum. Elektrofahrzeuge stoßen lokal keine Schadstoffe aus und sind zudem äußerst leise. Eine Elektrifizierung des gewerblichen Flotten- und Verteilerverkehrs (z.B. Müllabfuhr, Stadtreinigung) bietet zusätzliches Potenzial, lokale Emissionen zu reduzieren.

5. Fahrzeuge in das Stromnetz integrieren:

Batteriefahrzeuge tragen zur Verbesserung der Effizienz der Netze bei und fördern den Ausbau der erneuerbaren Energien

Die intelligente Nutzung der Batterien von Elektrofahrzeugen als Stromspeicher bietet die Möglichkeit, die Gesamteffizienz der Stromversorgung zu erhöhen. Dies geschieht über eine verbesserte Abnahme von Erzeugungsspitzen, Annäherung von Erzeugungs- und Lastkurven sowie perspektivisch auch durch Bereitstellung von Regelenergie. Die Möglichkeit der Speicherung in einer Vielzahl von Fahrzeugbatterien vermindert ungünstige Fluktuationseffekte und wirkt sich so fördernd auf den weiteren Ausbau der erneuerbaren Energien im Gesamtsystem aus. Durch eine künftige Netzintegration von Elektrofahrzeugen als Anbieter von Regelenergie kann auch eine Erhöhung der Effizienz konventioneller Kraftwerke erreicht werden, da diese weniger als bisher für Regelenergieleistung an- und abgefahren werden müssen. Dies trägt zur Reduktion des Verbrauchs fossiler Energieträger bei. Die damit verbundene Reduzierung der Batterielebensdauer ist dem gegenüberzustellen.

6. Neue Mobilität:

Elektrofahrzeuge können ein Baustein für intelligente und multimodale Mobilitätskonzepte der Zukunft sein

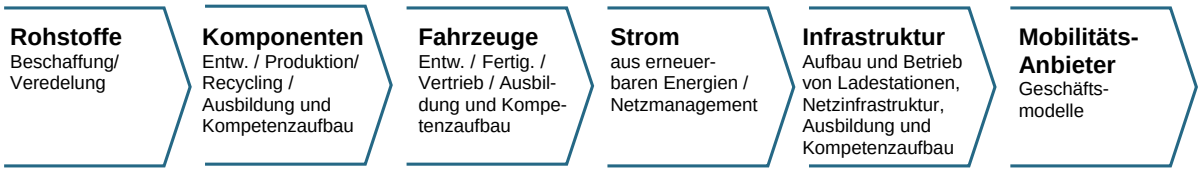
Die Formen heutiger Mobilität werden sich verändern. Sie werden vielfältiger, individueller und besser an moderne Stadtbilder und fortschrittliche Mobilitätskonzepte angepasst werden. Elektrofahrzeuge werden dazu beitragen, die Lebensqualität vor allem in Ballungsräumen deutlich zu erhöhen. Nicht zuletzt werden die emotionalen Faktoren des Autofahrens zur Akzeptanz der Elektromobilität beitragen.

3.3 Herausforderungen durch Elektromobilität

Die Nutzung der Potenziale der Elektromobilität ist mit zahlreichen Herausforderungen verbunden, die ein branchenübergreifendes Handeln, die Einbeziehung neuer Akteure und neue Formen der Zusammenarbeit erfordern. Schwerpunkte sind vielfältige Themen in der Forschung und Entwicklung, bei der Schaffung geeigneter Rahmenbedingungen und der Marktvorbereitung und -einführung.

Der komplexe Charakter von Elektromobilität und die strategische Bedeutung des Themas für den Standort Deutschland erfordern es, sich nicht nur auf einzelne Komponenten oder Teilbereiche zu beschränken, sondern die gesamte Wertschöpfungskette in die Gestaltung und Förderung des Leitmarktes Elektromobilität einzubeziehen.

Wertschöpfungskette



Dies beginnt bei den Materialien und Rohstoffen für Lithium-Ionen-Batterien und Elektromotoren, umfasst neue Komponenten für Elektroantriebe und reicht bis hin zum gesamten Energiemanagement. Neue Fahrzeugkonzepte sind ebenso notwendig wie die Modernisierung der Energieversorgungssysteme, der Aufbau neuer Infrastrukturen (z.B. Batterieladestationen) sowie die Entwicklung spezifischer Angebotsstrukturen und Geschäftsmodelle. Zudem liegt eine der Herausforderungen darin, mögliche Beiträge der Elektromobilität zum intelligenten Management des Stromnetzes zu erschließen. Durch die Nutzung des Potenzials dieser Technologie kann der Ausbau des Anteils an erneuerbaren Energien im deutschen Strommix unterstützt werden (z. B. durch Ausgleich fluktuierender Windenergie).

Forschung und Entwicklung - Energiespeicher:
Elektromobilität erfordert leistungsfähige, sichere und bezahlbare Batteriesysteme

Als wichtigste Anforderungen der Automobilindustrie an Batteriesysteme für zukünftige Elektrofahrzeuge sind zu nennen:

- Batteriekosten: Die Senkung der Batteriekosten ist eine wesentliche Voraussetzung für eine breitere Markteinführung. Heutige Kosten von 1000 – 1200 Euro pro kWh Speicherkapazität liegen noch um ein Mehrfaches über den international formulierten Zielsetzungen (für typische, kleine Elektroautos mit einer Reichweite von 100 km entstehen derzeit Batteriekosten von 10.000 bis 15.000 Euro). Das anzustrebende Kostenziel liegt bei dreihundert bis fünfhundert Euro pro Kilowattstunde. Die Erreichung dieses Zieles ist unabdingbar, um einen Massenmarkt für Elektrofahrzeuge generieren zu können.
- Erhöhung der Energiedichte und/oder Leistungsdichte: Die allgemein geforderte Energiedichte von 200 Wh/kg für Batteriesysteme bis 2015 bedeutet nahezu eine Verdopplung gegenüber heute verfügbaren Lithium-Ionen-Batterien. Eine hohe Energiedichte erlaubt lange Reichweiten, eine hohe Leistungsdichte dagegen eine schnelle Leistungsabgabe, z.B. bei einem Beschleunigungsvorgang und eine schnelle Speicherung von Bremsenergie (Rekuperation). Derzeit sind keine Batterien verfügbar, die beide Eigenschaften in gleich hohem Maße aufweisen.
- Um langfristig eine Reichweite vergleichbar mit heutigen PKW zu erreichen, ist eine weitere drastische Erhöhung der spezifischen Energiedichte der Batterie notwendig. Hierfür kommen ganz neuartige Batterietypen, wie z.B. aufladbare Metall-Luft-Batterien, mit möglichen Energiedichten von bis zu 1000 Wh/kg, infrage. Zur Erforschung dieser neuen Ansätze ist eine langfristige Grundlagenforschung notwendig.
- Erhöhung der Lebensdauer und Zyklenfestigkeit: Aufgrund der hohen Batteriekosten besteht die Forderung, dass die Batterielebensdauer der des Fahrzeugs entsprechen muss. Eine geforderte Lebensdauer von 10 - 15 Jahren bedeutet aber auch die Fähigkeit, 3000 – 5000 Ladezyklen ohne wesentliche Parametereinbußen zu verkraften. Auch die Verbesserung des Schnellladeverhaltens für Plug-In- und EV-Batterien (um geringere Ladezeiten und damit die Erhöhung der Mobilität zu verbessern) ist als Herausforderung anzusehen.
- Verbesserung der Sicherheitsmerkmale: Im Normalbetrieb sorgt ein Batteriemanagementsystem für die notwendige Sicherheit. Diese muss auch bei Unfällen oder Missbrauch, die zu Bränden oder Explosionen führen können, gegeben sein.

- Hochleistungs-Doppelschicht-Kondensatoren sind besonders vorteilhaft bei hohen und schnellen Leistungsanforderungen und bilden daher eine gute Ergänzung zu Batterien mit hohen Energiedichten. Treibende Kraft bei der Weiterentwicklung von Superkondensatoren muss eine Energieeffizienzsteigerung, die starke Verbesserung der Herstellungsqualität und der Zuverlässigkeit sowie die nachhaltige Senkung der Herstellungskosten sein.
- Das Gewicht, das Volumen, die Aufladezeiten, die starke Temperaturabhängigkeit im Betrieb sowie der Einsatz toxischer Komponenten müssen reduziert werden.

Forschung und Entwicklung - Fahrzeugtechnik:

Elektromobilität erfordert neue Konzepte für Fahrzeuge, Antriebe und Komponenten

Elektrisch angetriebene Fahrzeuge werden für die Nutzer und deren Bedürfnisse entwickelt – beispielsweise als PKW für die Nutzung auf kurzen innerstädtischen Strecken, als Lieferfahrzeug für die letzte Meile im Stop-and-go-Verkehr oder als sparsamer Hybrid-PKW mit großer Reichweite. Um die Wirtschaftlichkeit und Akzeptanz von Plug-In-Hybrid- und Elektrofahrzeugen zu verbessern, ist die Entwicklung und Optimierung der elektrischen und mechanischen Komponenten und deren Integration in ein Fahrzeug erforderlich.

Da der Elektromotor im Hybridfahrzeug sowohl motorisch als auch generatorisch arbeitet, sind Fragen zu den unterschiedlichen Maschinenkonzepten sowie zu den verwendeten Materialien zu klären. Ein weiteres Optimierungspotenzial bei der Kombination von Verbrennungsmotor und Elektromaschine ist auch beim Verbrennungsmotor selbst zu sehen. Die je nach Betriebsart, Steuerung und Fahrzeuggröße erforderliche, unterschiedliche Auslegung soll systematisch analysiert werden.

Die Leistungselektronik für die Motorensteuerung sowie die übrigen elektronischen Steuergeräte für Antriebs- und Fahrdynamiksysteme sind für die jeweils aktuelle Leistungsklasse ebenso weiterzuentwickeln wie die Elektrifizierung von (Hilfs-)Aggregaten, z.B. bei Arbeitsfahrzeugen. Die notwendige Kühlung von Leistungselektronik und Batterien erfordert neue Lösungsansätze der Bordtechnik in Bezug auf Bauraum, Insassenschutz, Gewicht, Zuverlässigkeit und elektromagnetische Verträglichkeit.

Erste Forschungsarbeiten zum Management des Antriebsstranges von Hybridfahrzeugen zeigen, dass die Kenntnis des vor dem Fahrzeug liegenden Streckenprofils für weitere Verbrauchsoptimierungen relevant sein kann. Dabei ist die Kopplung mit der Fahrzeugnavigation und mit Fahrerassistenzsystemen ein möglicher Ansatz.

Forschung und Entwicklung - Netzintegration:

Elektromobilität erfordert neue Lösungen für die Einbindung der Fahrzeuge in die Stromnetze

In der ersten Phase der Netzintegration von Elektrofahrzeugen wird es um das Laden der Fahrzeugbatterien gehen. Die Überwachung von Batterieladezuständen wird zunächst fahrzeugseitig erfolgen. Kapazitätsengpässe durch die zusätzliche Versorgungsaufgabe für das Stromnetz könnten weitgehend durch intelligente Steuerung von Beladungsvorgängen außerhalb von Spitzenlastzeiten vermieden werden.

In der zweiten Phase der Netzintegration von Elektrofahrzeugen übernimmt die Fahrzeugbatterie neben Traktionsaufgaben auch die Funktion einer Netzspeicherkomponente mit Rückspeisungsmöglichkeiten in das Stromnetz. Die Überwachung, Regelung und Steuerung der Rückspeisung erfolgt netzseitig. Aufgrund der in dieser Phase angewachsenen Anzahl von Elektrofahrzeugen sind zunehmend auch zusätzliche Stromversorgungskapazitäten erforderlich, die durch Ausbau erneuerbarer Energien bereitgestellt werden. Die dann mögliche Pufferung fluktuierender Strombeiträge zur Verbesserung der Verfügbarkeit ist eine viel versprechende Synergie der Elektromobilität. Fahrzeugbatterien, insbesondere von größeren Fuhrparks, könnten als Speicherelement in regenerative Kombikraftwerke (IKT-basierte Zusammenschaltung z. B. von Wind-, Biomasse- und Photovoltaik-Anlagen) eingebunden werden und so zur Verstetigung, Kostensenkung und besseren Vermarktbarkeit von Strom aus erneuerbaren Energien beitragen.

Ein weiterer Vorteil der Nutzung zusätzlicher Speicherkomponenten könnte durch verbesserte Lastmanagementstrategien und die Bereitstellung von schnellen Reserveleistungen entstehen, wovon die Effizienz der Stromversorgung insgesamt profitiert.

- Beladung von Energiespeichern: Fortgeschrittene Lösungen auf Basis von Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) zur Vermeidung von Ladestoßzeiten sind erforderlich. Steuerungs- und Abrechnungssysteme müssen auch Kleinstabnehmer erfassen.
- Be- und Entladung von Speichern: Die Kompensation von Fluktuationseffekten erneuerbarer Energien durch Zwischenspeicherung erfordert Regel- und Steuermechanismen auf Mittel- und Niederspannungsebene.
- Der Einsatz fortgeschrittener Informations- und Kommunikationstechnologien ist zur Verstetigung von Lastverläufen, zur Vermeidung ungünstiger Betriebszustände bei Kraftwerks- und Netzkomponenten sowie zur Reduzierung von Regel- und Reservekapazitäten erforderlich.

Rahmenbedingungen:

Aus- und Weiterbildung

Recyclingwirtschaft

Standardisierung und Normung

Ordnungsrecht

- Der Mangel an Naturwissenschaftlern, Ingenieuren und technischen Fachkräften droht zur vielleicht größten Wachstumsbremse für die Elektromobilität zu werden.
- Um auch bei höheren Marktanteilen von Elektrofahrzeugen die Verfügbarkeit der für die Traktionsbatterien wichtigen Rohstoffe, wie z.B. Lithium oder Kobalt zu sichern, kommt der Entwicklung wirtschaftlicher Recyclingverfahren und der Realisierung hoher Rücklaufquoten eine große Bedeutung zu. Der Aufbau entsprechender Rücknahmesysteme und Recyclingkapazitäten wird ein wichtiger Wettbewerbsfaktor.
- Damit Elektromobilität nicht durch Ländergrenzen behindert wird und Produkte weltweit vertrieben werden können, bedarf es internationaler Normung und Standardisierung (z.B. bei Steckern, Anschlussleistungen oder Sicherheitsmaßnahmen). Als führende Exportnation muss Deutschland hier frühzeitig initiativ werden.

- Neue Mobilitätskonzepte können sich positiv auf das Stadtbild auswirken. Die damit verbundenen Anpassungen im Stadtplanungsrecht sowie der künftigen Flächennutzung (z.B. hinsichtlich der Aufstellung und des Zugangs zu Ladestationen im öffentlichen Raum) müssen schon heute vorbereitet werden, damit ein Ausbau der Elektromobilität zügig vorangehen kann.
- Es sind bereits kurzfristig Rahmenbedingungen für den Einsatz der Hybrid-, Plug-In-Hybrid- und Batterie-Elektrofahrzeuge zu schaffen, die sich vor allem an den potenziellen Gefahren der Batterien, insbesondere der Lithium-Ionen-Batterien, orientieren. Dazu gehören insbesondere Vorschriften zum Transport, zur Lagerung, zur Rücknahme, zur Entsorgung, zum Löschen von Batteriefeuer, etc.

Märkte:

Marktvorbereitung (Geschäftsmodelle entwickeln)

Nutzer einbinden, Anwendungen diversifizieren

Markteinführung organisieren

- Die Elektromobilität führt zunächst zwei Branchen zusammen, die bisher kaum miteinander verknüpft waren, die Automobilindustrie und die Energieversorgungswirtschaft. Ob es gelingt, Synergiepotenziale dieser neuen Konstellation zu nutzen, wird erheblich von der Definition der Schnittstelle zwischen Elektrofahrzeug und Stromnetz abhängen. Wichtige Beiträge werden von Unternehmen und Forschungseinrichtungen der Informations- und Kommunikationstechnologien zu leisten sein. Darüber hinaus dürfte die Zulieferindustrie eine zunehmend wichtige Rolle als Innovationsquelle spielen.
- Sowohl die Frage, wer die noch hohen Zusatzkosten für die Fahrzeugbatterie finanziert, wie auch die Implikationen der Netzintegration der Fahrzeugbatterie, lassen aus heutiger Sicht die dahinter liegenden Geschäftsmodelle und die sie aufgreifende Branche offen.
- Aktuell befindet sich die Elektromobilität, bis auf Nischenprodukte, noch in der Phase der Marktvorbereitung. Die Akzeptanz von Elektrofahrzeugen und von Modellen der Netzintegration durch die Verbraucher muss erst noch entwickelt werden. Dazu sind frühzeitig die Nutzer neuer Produkte in die sich jeweils ergebenden Anwendungen einzubeziehen, damit der Erkenntnisgewinn aus Demonstrationen und Feldtests allen Beteiligten zur zielgerichteten Weiterentwicklung von Fahrzeugen für bestimmte Anwendungen zugänglich wird. Hier sollten auch Fuhrparks der öffentlichen Verwaltung eine Vorreiterrolle übernehmen.
- Die in ersten Prognosen beschriebene Marktentwicklung würde zu langsam und auf zu niedrigem Niveau verlaufen, um die Vermarktung von Elektrofahrzeugen aus heutiger Sicht der Hersteller wirtschaftlich attraktiv erscheinen zu lassen. Zwar erwarten deutsche Batteriehersteller bereits für 2010/2011 die Markteinführung von Plug-In- und Batterie-Elektrofahrzeugen. Aber die meisten Studien sehen die Verbreitung von Elektrofahrzeugen erst mittelfristig zunehmen, weil Lebensdauer, Temperaturtoleranz und Herstellungskosten der Speichermedien und elektrischen Leistungswandler vorläufig noch nicht den Anforderungen breiterer Anwendungen genügen. So wird davon ausgegangen, dass auch in 20 Jahren nur etwa 50% aller verkauften Fahrzeuge entweder Hybrid- oder Elektrofahrzeuge sein werden. Das elektrisch betriebene Fahrzeug wird schon mittelfristig ei-

ne immer wichtigere Rolle spielen. Zur Realisierung der mit der Elektromobilität verbundenen Potenziale ist eine schnellere und höhere Marktdurchdringung als prognostiziert erforderlich. Hier ist insbesondere auch die Industrie gefordert, Strategien zur Beschleunigung der Markteinführung zu entwickeln.

Internationaler Vergleich:

Andere führende Industrienationen erarbeiten Strategien zur Elektromobilität

Die Bundesregierung hat die Bedeutung der Elektromobilität frühzeitig erkannt und sich den Herausforderungen mit der Erarbeitung eines Nationalen Entwicklungsplans gestellt. Vor dem Hintergrund der Dimension der bevorstehenden Herausforderungen liefert ein internationaler Vergleich weitere Impulse für eine Diskussion des Handlungsbedarfs von Industrie, Wissenschaft und Politik. Beispielhaft seien hier mit dem Stand Anfang 2009 genannt:

- Die Europäische Union hat in der Verordnung zur Verminderung der CO_2-Emissionen von PKW den durchschnittlichen CO_2-Ausstoß bei Neuwagen begrenzt. Bis 2015 sollen die Emissionen aller neuzugelassenen Fahrzeuge im europaweiten Durchschnitt stufenweise auf 130 Gramm CO_2 pro Kilometer gesenkt werden. Weitere 10 Gramm pro Kilometer sollen durch andere technische Verbesserungen und einen erhöhten Einsatz von nachhaltigen Biokraftstoffen eingespart werden.

  Die Verordnung, die in den ersten Jahren auch eine erhöhte Anrechnung von Elektrofahrzeugen vorsieht, schafft auch Anreize für die Einführung alternativer Antriebe, wie z. B. von Elektrofahrzeugen.

- Der Ende November 2008 veröffentlichte *European Economic Recovery Plan* der Europäischen Kommission enthält eine *Green Cars Initiative*, die Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten im Bereich der sicheren und energieeffizienten Mobilität - insbesondere der Elektromobilität - fördern soll. Die Green Cars Initiative enthält sowohl ein Kreditprogramm der Europäischen Investitionsbank als auch die Bereitstellung von Fördermitteln durch Ergänzungen der in den Jahren 2009 und 2010 zur Veröffentlichung anstehenden Ausschreibungen des 7. Forschungsrahmenprogramms. Sie soll als eine Public-Private-Partnership von Europäischer Kommission und Industrie umgesetzt und eng mit entsprechenden Programmen der Mitgliedsstaaten verzahnt werden. Seitens der Europäischen Kommission sind die Generaldirektorate für Forschung, Informationsgesellschaft und Medien, Transport und Energie sowie Unternehmen beteiligt.

- Frankreich will in den kommenden vier Jahren Forschung und Entwicklung für Hybrid- und Elektrofahrzeuge mit einem Gesamtbudget von 400 Mio. EUR fördern. Daneben werden mit einem Bonus/Malus-System Kaufzuschüsse für Fahrzeuge mit geringem CO_2-Ausstoß gegeben, die bei weniger als 60g CO_2/km 5000 EUR betragen. In Großbritannien wird 2009 im Rahmen des *Low Carbon Vehicle Program* die Forschung und Entwicklung von Subkomponenten für Elektro- und Hybridfahrzeuge gefördert. Zudem wird es Kaufzuschüsse für die ersten Elektro- und Plug-In-Hybridfahrzeuge geben.

Andere Staaten wie die USA und Japan, aber auch China, unterstützen ihre Industrien und Forschungslandschaften bereits mit umfangreichen Programmen auf dem Weg zur Elektromobilität:

- China fördert mit einem ca. 1 Mrd. EUR Fonds technologische Innovationen im Bereich effizientere Antriebstechnologien. Weiterhin unterstützt das chinesische Ministerium für Wissenschaft und Technologie den Ausbau von über 10 Pilotregionen mit insgesamt mehr als 10.000 Fahrzeugen und ca. 2 Mrd. EUR für die Dauer von 2009 – 2011.
- Die US Regierung plant, 150 Mrd. Dollar in Energietechnologie über die nächsten 10 Jahre hinweg zu investieren und weitere 2 Mrd. Dollar, um fortschrittliche Batterie-Technologie und Komponenten für Elektrofahrzeuge voranzutreiben. Zudem sollen Demonstrationsvorhaben im Bereich der Infrastrukturen für Elektromobilität mit insgesamt 400 Mio. Dollar gefördert werden. 25 Mrd. Dollar sollen Automobilherstellern und Zulieferern als Kredit zur Verfügung gestellt werden, um die Produktionswerke für Kraftstoff sparende Fahrzeuge auszurüsten/aufzubauen (*ATVM = Advanced Technology Vehicles Manufacturing Loan Program*). Weiterhin sollen bei PKW und einigen anderen Fahrzeugtypen *Fuel Economy Regulations* für die Modelljahre 2012-2016 mit einer 2016 zu erreichenden durchschnittlichen CO_2-Emission von ca. 155 g/km für in den USA verkaufte Fahrzeuge eingeführt werden.
- Japan unterstützt mit 200 Millionen US Dollar über fünf Jahre die Entwicklung verbesserter Traktionsbatterien mit dem Ziel der Halbierung der Zellkosten bis 2010.

3.4 Stärken-Schwächen-Chancen-Risiken der Elektromobilität in Deutschland

Als Ausgangspunkt der Strategiefindung bietet sich eine Standortbestimmung an. Das gängigste Werkzeug hierzu ist die aus dem amerikanischen Sprachgebrauch stammende SWOT-Analyse, auch als Potenzialanalyse bekannt. Dabei sind Stärken (Strengths) und Schwächen (Weaknesses) interne Faktoren, die aktiv beeinflusst werden können, während die Chancen (Opportunities) und Risiken (Threats) als externe Faktoren nur bedingt beeinflusst werden können.

Potenzial-Analyse: **Elektromobilität in Deutschland**	
Stärken	**Schwächen**
• weltweite Spitzenposition in den Bereichen Automobilbau, Antriebstechnik und Leistungselektronik • führend in der Energietechnik (insbesondere bei erneuerbaren Energien) • herausragende Position im Bereich industrieller Informations- und Kommunikationstechnik (IKT) • dynamische Entwicklung der erneuerbaren Energien im Strommix • moderne Infrastruktur und hoher technischer Standard der Energieversorgungsnetze • gute Forschungsinfrastruktur in wichtigen Hightech-Bereichen • Deutschland ist bei Entwicklung und Aufbau komplexer Systemtechnologien gut aufgestellt • etablierte und leistungsfähige Systeme in der Kreislaufwirtschaft • allgemein gute Infrastruktur für Prüfung und Zulassung technischer Produkte • hohe Innovationsbereitschaft und ausgeprägtes Umweltbewusstsein	• Produktion von Zellen und Batteriesystemen kaum etabliert • Batterieforschung und Ausbildung von wissenschaftlichem Nachwuchs ausbaufähig • branchenübergreifende Kooperation zwischen Automobilindustrie, Stromwirtschaft und Batterieherstellern noch am Anfang • fehlende Serienerfahrung mit Hybridantrieben • weltweit hohe Batteriekosten • fehlende Normen und Standards, z. B. bei Schnittstellen zwischen Fahrzeug und Ladeinfrastruktur, bei Sicherheitsaspekten oder Prüf- und Messverfahren • europäische und weltweite Standards und Normen noch offen

Chancen	Risiken
• Deutschland wird Leitmarkt für Elektromobilität • Reduzierung der Importabhängigkeit vom Erdöl; langfristige Sicherung der Mobilität • Beitrag zu Klimaschutz und Minderung lokaler Emissionen • zusätzlicher Schub für die erneuerbaren Energien und Stärkung der Versorgungssicherheit • Verbesserung der Netzeinbindung fluktuierender erneuerbarer Energien und der Effizienz der Stromerzeugung insgesamt durch mobile Speicher • Innovationsschub für die deutsche Automobil-, Zulieferer- und IKT-Industrie • branchenübergreifende Kooperationen • Schaffung neuer Arbeitsplätze für hoch qualifizierte Fachkräfte	• hoher Investitionsbedarf • unzureichender Zugang zu Schlüsseltechnologien im Bereich der Zell- und Batteriesysteme • Kostendegressionspfad für Batteriesysteme ist nicht gesichert • technische Insellösungen könnten die Marktdurchdringung behindern • Rohstoffabhängigkeit und –verfügbarkeit könnte Wachstum bremsen • Akzeptanzprobleme von Elektrofahrzeugen (z. B. Kosten, Sicherheit, Reichweite) • unrealistische Erwartungshaltungen in der Öffentlichkeit können zu Enttäuschungen führen • schnellere Entwicklung bei Wettbewerbern

3.5 Zielsetzungen des Entwicklungsplans

Elektromobilität trägt zur Umsetzung der energie- und klimapolitischen Ziele bei

1. Die Elektromobilität soll einen signifikanten Beitrag zum Erreichen der Klimaschutzziele leisten.
2. Durch die Nutzung regenerativer Quellen zur Deckung des Energiebedarfs von Elektrofahrzeugen soll gleichzeitig ein Beitrag zur Umsetzung der Ausbauziele für erneuerbare Energien und zur verbesserten Integration fluktuierender Erzeuger in die Netze geleistet werden. Damit kann langfristig ein Beitrag zur Erhöhung der Versorgungssicherheit geleistet werden.
3. Die Stromnetze in Deutschland sollen durch Nutzung moderner Informationstechnologien und die Integration von Elektrofahrzeugen effizienter werden.
4. Der zusätzliche Bedarf an elektrischer Energie in diesem Sektor ist durch Strom aus erneuerbaren Energien zu decken. Vorrangig sollte dafür der anderweitig nicht nutzbare Strom aus fluktuierenden Erneuerbaren Energien im Rahmen des Lastmanagements durch Elektromobilität genutzt werden. Für den darüber hinaus gehenden Strombedarf für Elektromobilität sind weitere Ausbaupotentiale der Erneuerbaren Energien zu erschließen.

Deutschland soll zum Leitmarkt für Elektromobilität werden

5. Die Führungsrolle der deutschen Automobil- und Zulieferindustrie soll gesichert und ausgebaut werden.

6. Die Möglichkeiten eines innovationsorientierten Beschaffungsmanagements des öffentlichen Sektors sollen genutzt werden.

7. Durch den Aufbau von Produktionskapazitäten für Zell- und Batteriesysteme in Deutschland und eine zugehörige Kreislaufwirtschaft soll die strategische Handlungsfähigkeit der deutschen Industrie gesichert werden.

8. Die Etablierung neuer Geschäftsmodelle im Kontext der Elektromobilität soll Chancen für mehr Wachstum durch neue Produkte und Dienstleistungen eröffnen.

9. Durch Unterstützung von Normung und Standardisierung (z.B. bei Steckern, Anschlussleistungen oder Sicherheitsmaßnahmen) soll Elektromobilität international ermöglicht und eine starke Positionierung der deutschen Industrie befördert werden.

Innovationen sind der Schlüssel zu Erhalt und Ausbau der Wettbewerbsfähigkeit

10. Ziel ist es, Wirtschaft und Wissenschaft im Bereich der Forschung möglichst eng zu verzahnen. Die Vernetzung der Branchen Automobil, Energie und Informationstechnik entlang der neuen Wertschöpfungsketten für die Elektromobilität wird dann einen Innovationsschub zünden.

11. Zur Erreichung dieses Zieles soll die Forschung in allen Bereichen verstärkt werden, Forschungsinfrastrukturen sollen miteinander vernetzt und ausgebaut und der Austausch von Forschern aus Industrie und Wissenschaft gefördert werden.

12. Es gilt auch, Spitzenkompetenzen und Innovationsdynamik im Bereich der Elektromobilität langfristig zu sichern. Hierzu wird eine Ausbildungsinitiative für den technisch-wissenschaftlichen Nachwuchs gestartet.

Neue Mobilität

13. Mit der Elektromobilität wird die Strategie „weg vom Öl“ weiter umgesetzt.

14. Mit der Elektromobilität soll auch einer neuen Mobilitätskultur und einer modernen Stadt- und Raumplanung zum Durchbruch verholfen werden.

15. Die Markteinführung von Elektrofahrzeugen, insbesondere auch im Nahverkehr, soll beschleunigt werden: Die Bundesregierung strebt das ambitionierte Ziel an, dass bis 2020 eine Million Elektrofahrzeuge auf Deutschlands Straßen fahren. Im Jahr 2030 können es über fünf Millionen Fahrzeuge sein. Bis 2050 kann der Verkehr in Städten überwiegend ohne fossile Brennstoffe auskommen. Dazu gehört auch die Schaffung einer bedarfsgerechten Infrastruktur für das Laden der Fahrzeuge. Die Bundesregierung wird dies durch geeignete Rahmenbedingungen unterstützen.

16. Neben dem Individualverkehr werden auch Konzepte zur Einführung der Elektromobilität bei Nutzfahrzeugen (z.B. innerstädtischer Lieferverkehr, öffentlicher Nahverkehr) und bei Zweirädern unterstützt.

Gesellschaftliche Rahmenbedingungen schaffen

17. Die Aufgeschlossenheit der Gesellschaft gegenüber den sich abzeichnenden Veränderungen ist eine Grundvoraussetzung für die Umsetzung der klima- und wirtschaftspolitischen Ziele.
18. Transparenz und Information über die Umsetzung des Entwicklungsplans und ein breiter Dialog sind daher Ziele der Bundesregierung. Die Bewertung von Chancen, Herausforderungen und Zielen soll der Entwicklung laufend angepasst werden.
19. Die Akzeptanz und Marktentwicklung der Elektromobilität soll durch einen geeigneten regulatorischen Rahmen und zu prüfende Anreizsysteme unterstützt werden.

Fazit:

Deutschland muss sich im internationalen Wettbewerb stark aufstellen

- Der Einstieg in die Elektromobilität ist kurzfristig über Hybrid- und Elektrofahrzeuge möglich. Viele Technologien für elektrische Antriebe, Energiespeicher und Netzinfrastruktur sind in ihren Grundlagen entwickelt, obwohl bei den Batterien noch ein hoher Innovations- und Optimierungsbedarf besteht. Plug-In-Hybridfahrzeuge und kleine Elektrofahrzeuge mit Reichweite für den Stadtverkehr werden daher in wenigen Jahren Marktreife erlangen. Die heute noch bestehenden technologischen und wirtschaftlichen Herausforderungen werden die Phase bis zu einem signifikanten Marktanteil von Elektrofahrzeugen jedoch über deutlich mehr als eine Dekade ausdehnen.
- Deutschland startet bei seinen Anstrengungen für einen *Nationalen Entwicklungsplan Elektromobilität* von einer starken und breiten Basis, steht aber vor weiteren großen Herausforderungen. Um auf dem beschriebenen Weg schneller voranzukommen, sind verstärkte Anstrengungen von Wirtschaft und Staat notwendig. Dazu ist insbesondere ein branchenübergreifendes, koordiniertes Vorgehen der beteiligten Akteure erforderlich.

4 Aktivitäten der Bundesregierung - Bestandsaufnahme

Die Aktivitäten und Maßnahmen der Bundesregierung gründen sich auf eine Vielzahl bereits laufender Programme und Aktivitäten, die hier im Überblick dargestellt werden. Dabei hat sich die Förderung bislang auf die folgenden Schwerpunkte konzentriert:

- Forschung und Entwicklung
- Rahmenbedingungen
- Märkte

Forschung und Entwicklung:

Energiespeicher

Fahrzeugtechnik

System- und Netzintegration

Das *5. Energieforschungsprogramm Innovation und neue Energietechnologien* der Bundesregierung (Federführung BMWi) ist Teil des *Integrierten Energie- und Klimaprogramms*. Auf-

grund seines hohen Beitrags zur Gesamtenergiebilanz in Deutschland flankiert die Energieforschung FuE-Aktivitäten im Verkehrssektor. Eine kontinuierliche Abstimmung mit dem *3. Verkehrsforschungsprogramm Mobilität und Verkehrstechnologien*, der *Hightech-Strategie* der Bundesregierung und den Energieforschungsaktivitäten der Bundesregierung (s. u.) dient der Bündelung von Kompetenzen und gewährleistet die Nutzung wichtiger Synergien. Alternative Antriebskonzepte auf Basis von Brennstoffzellen sind Gegenstand des Nationalen Innovationsprogramms Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (Federführung BMVBS).

1. Energiespeicher

- Der heutige Stand der Technik im Bereich elektrochemischer Energiespeicher ist für den breiten Einsatz der Elektromobilität nicht gerüstet. Es bedarf neuer Konzepte, um sowohl in den elektrochemischen Funktionsparametern als auch in Hinblick auf Sicherheit und Wirtschaftlichkeit die Anforderungen einer realen Fahrzeugflotte zu erfüllen. Die notwendigen Forschungs- und Entwicklungsanstrengungen hierfür sind erheblich und erfordern die konsequente Bündelung wichtiger Kompetenzen aus Wissenschaft und Wirtschaft. In besonderer Weise trägt dieser Bündelung das neue Förderinstrument der Innovationsallianzen Rechnung. Hier verpflichtet sich die teilnehmende Industrie in einem erheblichen, die öffentliche Förderung übersteigenden Maße, zusätzliche Investitionen in FuE zu leisten. Im Rahmen der *Hightech-Strategie* der Bundesregierung wurde die *Innovationsallianz Lithium-Ionen-Batterie (LIB 2015)* initiiert (BMBF). Die FuE-Aktivitäten von LIB 2015 wurden Ende 2008 begonnen. Die Bundesregierung stellt für die Förderung der Initiative LIB 2015 ein Budget von 60 Mio. Euro bereit (BMBF); die Industrie wird sich mit weiteren 360 Mio. Euro beteiligen. Die Initiative LIB 2015 stellt dabei die konsequente Fortsetzung der Förderaktivitäten im Bereich Lithium-Ionen-Batterien dar. Hier sind aktuell insbesondere die Verbundprojekte LISA (1,7 Mio. Euro), REALIBATT (2,1 Mio. Euro) und LIHEBE (2,2 Mio. Euro) zu nennen. Mit LIB 2015 werden die FuE-Anstrengungen im Bereich effiziente Energiespeicher massiv verstärkt.
- Bei der Komponentenentwicklung für Energiespeicher bilden insbesondere die Ergebnisse eines im Oktober 2007 veranstalteten Expertenworkshops die Grundlage für das im Jahr 2008 veröffentlichte *BMWi-Förderkonzept Stromspeicher* für den mobilen und stationären Einsatz. Ziel ist es, in Deutschland Kapazitäten zur Umsetzung der vollständigen Wertschöpfungskette bei der Herstellung von Stromspeichern zu schaffen. Die Projekte dienen der Erhöhung der spezifischen Energie und Leistung sowie der Zyklenfestigkeiten, der Verbesserung der Sicherheitseigenschaften sowie der Erforschung und Nutzung von Kostensenkungspotenzialen. Darüber hinaus ermöglicht das Förderkonzept die Durchführung wichtiger Begleituntersuchungen und die schnelle Reaktion auf neue Speicherverfahren, z.B. auf Basis supraleitender Materialien. Die Bundesregierung unterstützt mittels des Förderkonzeptes Stromspeicher von 2009 bis 2012 mit 35 Mio. Euro neue Entwicklungen im Bereich elektrische Speicher (BMWi).

2. Fahrzeugtechnik

- Das 3. Verkehrsforschungsprogramm Mobilität und Verkehrstechnologien der Bundesregierung (Federführung BMWi) beschreibt die Ziele der Forschungsförderung in der Antriebstechnik. Dabei hat die Entwicklung neuer Fahrzeugkonzepte und -technologien zur Senkung des Energieverbrauchs und der Umweltbelastungen durch den Straßenverkehr einen besonderen Stellenwert.
- Im Jahr 2005 wurde die Förderung im Bereich der Antriebstechnologien mit der Veröffentlichung des *Positionspapiers Alternative Antriebe/Hybridkonzepte* auf die Entwicklung von Hybridantrieben konzentriert (BMWi). Seitdem werden fortlaufend Projekte zur Entwicklung von Hybridantrieben finanziert. Ziel der aktuellen Forschungsarbeiten ist die Weiterentwicklung der Kernkomponenten des Hybrid-Antriebsstrangs sowie die anwendungsorientierte Entwicklung und Integration von neuen Funktionsmodulen. Der für die Förderung identifizierte FuE-Bedarf konzentriert sich für PKW und Nutzfahrzeuge auf die elektrischen Fahrantriebsmotoren, auf Getriebe und Antriebsvarianten, auf elektrische Energiespeicher für mobile Anwendungen, auf Steuergeräte und Energiewandler sowie auf das Energie- und Antriebsmanagement. Die Entwicklungen zielen auf eine weitgehende Standardisierung und Modularisierung des Gesamtsystems. Hierdurch sollen besonders effiziente, zuverlässige und aufgrund der dadurch möglichen größeren Stückzahlen auch wirtschaftlich tragfähige Lösungen vorbereitet werden. Zur Verfolgung dieser Ziele stellt die Bundesregierung bis 2010 etwa 30 Mio. € für Forschungseinrichtungen und Industrieunternehmen zur Verfügung (BMWi). In 10 Verbundvorhaben mit 35 Partnern sollen Lösungen erarbeitet werden, die praxisnah demonstriert werden können, um die Vorgabe einer Reduktion des Kraftstoffverbrauchs um 30 % unter Beweis zu stellen. Aufgebaut wird auf den Ergebnissen des Elektrofahrzeug-Großversuchs auf Rügen Anfang der 90er Jahre und des *Förderschwerpunkts Minimalemission* aus dem Jahr 1999.
- Im Rahmen des *BMBF-Forschungsprogramms IKT2020* wird eine *Innovationsallianz zur Automobilelektronik (EENOVA)* zwischen führenden Herstellern und Zulieferern der deutschen Automobilindustrie unterstützt. Zu den zentralen Arbeitsschwerpunkten der EENOVA gehört auch das Energiemanagement im Fahrzeug. Insgesamt wird das BMBF in den nächsten Jahren bis zu 100 Mio. Euro für diese Innovationsallianz aufwenden. Im Gegenzug hat sich die Industrie verpflichtet, in diesem Forschungsbereich rund 500 Mio. Euro zu investieren. Daneben werden weitere Aktivitäten im Bereich Automobilelektronik etwa über die *Förderbekanntmachung Leistungselektronik zur Energieeffizienz-Steigerung* unterstützt.

3. System- und Netzintegration

- Intelligente Stromversorgungs- und Netzinfrastrukturen, aber auch effiziente Lösungen zur Integration der Elektromobilität in solche Energiesysteme der Zukunft, sind wichtige Voraussetzungen, um die Potenziale der Elektromobilität optimal nutzen zu können. Einen entscheidenden Beitrag hierzu können moderne Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) leisten. Die Bundesregierung (BMWi, BMU) hat Ende 2008 das *Forschungsprogramm E-Energy: IKT-basiertes Energiesystem der Zukunft* gestartet. Ziel ist es, in sechs Modellregionen neue Konzepte für die digitale Vernetzung und intelligente

Steuerung der technischen Systeme und Marktbeziehungen in der Elektrizitätsversorgung zu entwickeln und breitenwirksam zu erproben („Internet der Energie“). Es werden Lösungen bereitgestellt, die die Strom-Erzeugung, die -Netze, die -Speicherung und den -Verbrauch intelligenter machen, die Integration erneuerbarer Energien vorantreiben und eine Kommunikation über alle Wertschöpfungsstufen ermöglichen. E-Energy wurde auf dem IT-Gipfel der Bundeskanzlerin im Dezember 2007 zum Leuchtturmprojekt erklärt. Für die Förderung des bis 2012 laufenden Technologieprogramms werden bis zu 60 Mio. Euro bereitgestellt (BMWi, BMU). Mit den Eigenmitteln der Industriepartner wird im E-Energy-Programm insgesamt ein Projektvolumen von etwa 140 Mio. Euro mobilisiert.

- Eine fortgeschrittene Netzintegration, die über die Versorgung der Fahrzeuge hinaus auch eine Rückspeisung von Strom aus Batteriefahrzeugen in das Netz erlaubt, war Gegenstand eines Expertenworkshops im April 2008 (BMWi). Vertreter der Kraftfahrzeug- und der Energieversorgungsbranche haben hier gemeinsam mit Komponentenherstellern und Wissenschaftlern die notwendigen Schritte in ein ‚vollständiges’ Elektromobilitätsszenario diskutiert und sprachen sich vor diesem Hintergrund dezidiert für die Integration eines neuen BMWi-Förderschwerpunktes *Stromnetze der Zukunft* im Rahmen des Energieforschungsprogramms der Bundesregierung aus. Zwei neu gestartete Projektverbünde dienen der Entwicklung von Handlungsstrategien, u. a. auch in Hinblick auf die forschungspolitische Behandlung des Themas. Grundlage ist das Verständnis der komplexen Abhängigkeiten des Verkehrs- und des Elektrizitätssektors in technischer und wirtschaftlicher Hinsicht.
- Das zentrale Instrument zum Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland, die für eine CO_2-arme Energieversorgung von Elektrofahrzeugen benötigt werden, ist das *Erneuerbare-Energie-Gesetz (EEG)*. Damit konnte der Anteil an der Stromerzeugung in den vergangenen zehn Jahren auf rund 15% mehr als verdreifacht werden. Bis 2020 soll der Anteil auf mindestens 30% ansteigen und danach weiter kontinuierlich erhöht werden. Darüber hinaus fördert die Bundesregierung die angewandte Forschung, insbesondere bei Entwicklungen, die zur Realisierung hoher Anteile erneuerbaren Stroms erforderlich sind, z.B. virtuelle Kraftwerke, Energiespeicher und Lastmanagement sowie die Verbesserung von Vorhersageverfahren der Wind- und Solar-Stromerzeugung (BMU).
- Durch Zwischenspeicherung in Elektrofahrzeugen könnte regenerativ erzeugter Strom zu Spitzenlastzeiten eingespeist werden und so dazu beitragen, dass die erneuerbaren Energien den Lastbedarf besser befriedigen und so insgesamt mehr Strom aus erneuerbaren Energien zur Verfügung steht. Hier kann an laufende Projekte zur Untersuchung der Potenziale stationärer Lithium-Ionen-Batteriespeicher angeknüpft werden (BMU).

Rahmenbedingungen

- Die Herausforderungen bei der Reduzierung von Energieverbrauch und CO_2-Emissionen im Straßenverkehr sowie ökonomisch und ökologisch effiziente Wege ihnen gerecht zu werden, wurden in der Kraftstoffstrategie der Bundesregierung aus dem Jahr 2004 dargestellt. Mit der Kraftstoffstrategie (BMVBS) gibt die Bundesregierung in den Bereichen

der Kraftstoffentwicklung und alternativen Antriebe eine klare, langfristige Orientierung, welche Entwicklungen als tragfähig angesehen und besonders unterstützt werden sollen. Die Kraftstoffstrategie wird im Rahmen der *Nationalen Nachhaltigkeitsstrategie der Bundesregierung* fortlaufend weiterentwickelt. Mit dem *Nationalen Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie* (Federführung BMVBS) wurde bereits ein wichtiger Technologieschwerpunkt aufgegriffen. Die Bundesregierung gibt mit den Maßnahmen im Rahmen des Konjunkturpakets II im Bereich Elektromobilität einen substanziellen Anstoß, um die Anstrengungen der Industrie zu unterstützen und die internationale Wettbewerbsfähigkeit Deutschlands bei dieser Zukunftstechnologie zu stärken. Langfristiges Ziel ist die Entwicklung und Markteinführung wettbewerbsfähiger Elektroantriebe mit einer Energieversorgung über Brennstoffzellen oder über in die Bordnetze integrierte Traktionsbatterien. Parallel zum *NIP* sollen daher im *Nationalen Entwicklungsplan Elektromobilität* bisher nicht im Fokus des *NIP* stehende Antriebskonzepte und Entwicklungen bei Plug-In-Hybrid- und Elektrofahrzeugen unterstützt werden.

- Innovations- und Beschäftigungsimpulse gehen im Bereich der Energiespeicher sowohl von der Großindustrie als auch von kleinen und mittleren bzw. von hoch innovativen Start-up-Unternehmen aus. Deshalb sind solche Gründungen im Anschluss an die Projektförderung (BMBF, BMWi), insbesondere auch im Hinblick auf die Schließung der Wertschöpfungskette, besonders erwünscht. Der *High-Tech-Gründerfonds* der Bundesregierung bietet hierzu Unterstützung an.
- Die Einführung einer Elektromobilitätsstrategie hat auch Auswirkungen auf raum- und städteplanerische Aktivitäten. Moderne Konzepte, wie sie zum Beispiel in der *Förderinitiative Energieeffiziente Stadt* oder dem *Wettbewerb Energieeffiziente Stadt* untersucht werden (BMWi, BMBF, BMVBS), sind geeignet, auch diesem Planungsfaktor Rechnung zu tragen.
- Nachholbedarf besteht bei der Nachwuchsförderung. Daher werden, z. B. im Rahmen der *Innovationsallianz LIB 2015* (BMBF) speziell im Bereich der Energiespeicher erste Nachwuchsgruppen gefördert. Der zukünftige Bedarf kann jedoch mit diesen Gruppen nicht abgedeckt werden, und so besteht weiterhin die Notwendigkeit einer intensiven und umfangreichen Nachwuchsförderung, um die Wettbewerbsfähigkeit der Bundesrepublik Deutschland in diesem außerordentlich wichtigen Technologiesektor herstellen und nachhaltig gewährleisten zu können.

Marktentwicklung

Die Marktvorbereitung der Elektromobilität ist von der Bundesregierung bereits in Einzelinitiativen aufgegriffen worden. Praktische Fragen sollen in einem auf vier Jahre angelegten Feldversuch geklärt werden, den die Bundesregierung im Rahmen der *Klimaschutzinitiative* mit 15 Mio. Euro fördert (BMU). Gegenstand der Förderung sind die Durchführung und Auswertung eines Flottenversuches mit Plug-In-Hybrid-Fahrzeugen, um die Nutzung und Zwischenspeicherung von Strom aus erneuerbaren Energien in Kraftfahrzeugen unter Alltagsbedingungen zu erproben. Die Fahrzeuge können durch ihre Traktionsbatterie zur Optimierung der Energieversorgungssysteme bei einem wachsenden Anteil fluktuierender, erneuerbarer Energien beitragen. Deutliche CO_2-Einsparungen werden aufgrund des hohen Wirkungsgrades und der Substitution fossiler Treibstoffe erreicht. Um die dadurch entstehenden Umwelt-

vorteile von Elektrofahrzeugen zu überprüfen, erfolgt auch eine ökologische Begleitforschung des Flottenversuchs (BMU). Als Teil des *Schwerpunktes Elektrofahrzeuge und Plug-In-Hybride im Kontext erneuerbarer Energie* wird in diesem Rahmen insbesondere eine vergleichende ökologische Bewertung der Elektromobilität vorgenommen. Diese wird sowohl den fahrzeugseitigen Energieverbrauch und die Emissionen als auch die Energiebereitstellung, Fahrzeugherstellung und -entsorgung berücksichtigen und mit konventionellen Fahrzeugen vergleichen. Das Projekt wird von mehreren Instituten wissenschaftlich begleitet.

5 Handlungsempfehlungen

5.1 Erste Umsetzungsschritte – Elektromobilität im Rahmen des Konjunkturpakets der Bundesregierung

Mit den bereits laufenden Aktivitäten der Bundesregierung (siehe Kapitel 4) werden für die Entwicklung der Elektromobilität in einzelnen Feldern, wie der Forschung im Bereich Energiespeicherung oder Fahrzeugtechnik oder in ersten Maßnahmen zur Marktvorbereitung bereits wichtige Impulse gesetzt. Die Bundesregierung stellt im Rahmen des *Konjunkturpakets II* 500 Mio. Euro zusätzlich zur Verfügung, die im Wesentlichen dem gesamten Thema Elektromobilität zugute kommen. Mit den daraus geförderten Maßnahmen und Projekten des Konjunkturpakets II besteht die Möglichkeit diese Einzelaktivitäten auszubauen und durch weitere Maßnahmen zu ergänzen. Damit bietet das Konjunkturpaket II eine hervorragende Chance, den Wirtschaftsstandort Deutschland mit einem Bündel von zielgerichteten Maßnahmen in dem weltweit wichtigen Innovationsfeld Elektromobilität voranzubringen und sich auf die erwartete Kommerzialisierung vorzubereiten. Das Konjunkturpaket zum Themenschwerpunkt Mobilität konzentriert sich inhaltlich auf die F&E Themen (Zell- und Batterieentwicklung, Komponenten und deren Standardisierung für Elektro-Fahrzeuge, Stromnetze, Netzintegration, Batterierecycling, IKT Forschung, Ausbildung, Kompetenzaufbau) sowie Markt- und Technologievorbereitung und legt ein besonderes Augenmerk auf die regionalen Schwerpunkte (Stichwort Modellregionen).

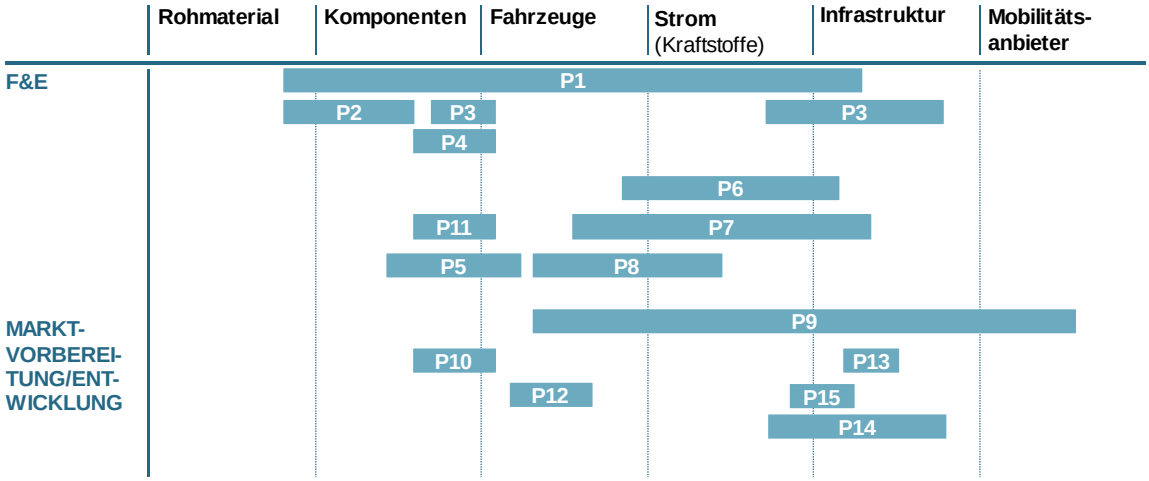
Um möglichst zügig den technologischen Anschluss der deutschen Industrie im Bereich Elektromobilität an die Weltspitze zu ermöglichen und die Marktentwicklung zu befördern, werden im Rahmen des Konjunkturpakets II zusätzlich zu den ohnehin geplanten Aktivitäten bereits eine Reihe von Projekten und Vorhaben gefördert, die ihre konjunkturelle Wirkung in den Jahren 2010 und 2011 entfalten sollen.

Diese Projekte sind eine wichtige Voraussetzung dafür, dass sich in Deutschland schrittweise ein Markt für verschiedene Anwendungen der Elektromobilität entwickeln und auf Dauer ein deutlicher Beitrag zur emissionsarmen Mobilität geleistet werden kann. Um die ambitionierten Zielsetzungen der Bundesregierung im Bereich der Energie- und Klimapolitik zu erreichen, ist es erforderlich, den zusätzlichen Bedarf an elektrischer Energie in diesem Sektor durch Strom aus erneuerbaren Energien zu decken. Vorrangig sollte dafür der anderweitig nicht nutzbare Strom aus fluktuierenden Erneuerbaren Energien im Rahmen des Lastmanagements durch Elektromobilität genutzt werden. Für den darüber hinaus gehenden Strombedarf für Elektromobilität sind weitere Ausbaupotentiale der Erneuerbaren Energien zu erschließen.

Für eine wirkungsvolle Förderung sollte den unterschiedlichen Stufen des Innovationsprozesses Rechnung getragen werden, wobei die Schwerpunkte auf den Themen Forschung & Entwicklung sowie Marktvorbereitung/Demonstration und Rahmenbedingungen liegen. In diese Struktur ordnen sich alle Projektaktivitäten der beteiligten Ressorts ein.

Nachfolgendes Schaubild und die Tabelle geben einen Überblick über die Bandbreite der im Rahmen des Konjunkturpakets II zusätzlich zu fördernden Aktivitäten und die ressortübergreifend abgestimmten Schwerpunktsetzungen im Bereich aller innovativen Antriebstechnologien mit dem Schwerpunkt auf Elektromobilität.

Übersicht Förderprojekte



#	Maßnahme bzw. Projekt
1	Aufbau eines Kompetenznetzwerkes Systemforschung Elektromobilität mit dem Ziel, die Kompetenzen der FhG zur Elektromobilität zu bündeln und für die Automobilindustrie nutzbar zu machen.
2	Etablierung anwendungsorientierter Forschungsschwerpunkte in der Elektrochemie mit Fokus auf Elektromobilität und Batterietechnologie an Hochschulen und außeruniversitären Forschungseinrichtungen; Entwicklung gemeinsamer Curricula zur gezielten Nachwuchsförderung. Inhaltliche Schwerpunkte konzentrieren sich auf zentrale elektrochemische Querschnittsthemen der Elektromobilität. Technologisch steht die Elektrochemie für mobile Energiewandler und -speicher im Zentrum (insbes. Batterien).
3	Energieforschung: neue Förderinitiative *Stromwirtschaftliche Schlüsselelemente der Elektromobilität: Speicher,Netze, Integration* mit den Förderschwerpunkten: *Stromspeicher, Netze der Stromversorgung der Zukunft, Konzepte zur Netzintegration und Brennstoffzellen.*
4	Entwicklung von Produktionstechnologien für Li-Ionen Zellen/Batteriesysteme. Es sollen geeignete Fertigungs- bzw. Verfahrenstechnologien sowie die dazu notwendige Maschinen- und Anlagentechnik entwickelt werden, um eine wettbewerbsfähige, automatisierte Serienproduktion von großformatigen Li-Ionen-Zellen und damit ausgestatteten Batterien zu etablieren.
5	Verkehrsforschung: kurzfristige Umsetzung aktueller Projektvorschläge (z. B. Komponenten u. Systeme zur Bremsenergie-Rückgewinnung, Optimierung des Antriebsstrangs, On-Board Stromerzeugung zur Reichweitenerhöhung, Nutzung der Motorabwärme zur Erzeugung elektrischer Energie, relevante Aspekte der Normung und Standardisierung), wiss. Vorbereitung u. Begleitung von Feldversuchen (Elektro-Pkw,

	Hybrid-Abfallsammelfahrzeug).
6	Erweiterung der Projekte im Rahmen von E-Energy: Neue Forschungs- und Förderschwerpunkte *IKT für Elektromobilität* und *Intelligente Netze, erneuerbare Energien und Elektromobilität.* IKT-basierte Lade-, Steuerungs- und Abrechnungs-Infrastrukturen, elektronische Marktplätze und IKT-basierter Technikbetrieb von E-Mobility-Konzepten und ihre Einbindung in elektronische Versorgungsnetze, Dienstleistungen, Geschäftsmodelle, Normen und Standards.
7	Feldversuche Elektromobilität im Pkw-Verkehr. Forschungsfragen: u. a. Alternative Ladeverfahren, Weiterentwicklung Netzintegration erneuerbarer Energien, Erprobung und Akzeptanz weiterentwickelter Antriebssysteme.
8	Flottenversuch Elektromobilität im Wirtschaftsverkehr. Forschungsfragen: Entwicklung eines Verfahrens zur Netzintegration erneuerbarer Energien unter Nutzungsprofilen im Wirtschaftsverkehr, Erprobung der Fahrzeuge unter Alltagsbedingungen, Ermittlung des Energiebedarfs und der Nutzerakzeptanz.
9	Elektromobilität im öffentlichen Raum – integrierte Mobilitätskonzepte in einer begrenzten Anzahl auszuwählender Modellregionen mit den Schwerpunktelementen: Stadtbusse mit Batteriespeicher für elektrische Fahranteile, mittelschwere Nutzfahrzeuge mit Dieselhybridantrieb, Elektromobilität im Verteilerverkehr, Einsatz von Elektro-Pkw, Elektromotorräder, Elektrofahrräder, Schienenhybridfahrzeuge, Aufbau öffentlicher Ladestationen, Projektkoordinierung in den Modellregionen).
10	Batterietestzentrum (Zellen, Batterien, Systeme, Crashverhalten) für Zellen, Batterien, Systeme.
11	Forschung und Entwicklung für eine Pilotanlage im Bereich Recycling von Lithium-Ionen-Traktionsbatterien.
12	Hybridbusse für einen umweltfreundlichen ÖPNV (über KfW). Kleinflotten von mindestens 10 Bussen bei kommunalen Verkehrsbetrieben
13	Aufbau von 25 Pilot-Wasserstofftankstellen.
14	Modellvorhaben zu *Mobil mit Biomethan* (Demonstration der gesamten Bereitstellungskette zur Produktion und Nutzung von Biomethan als Kraftstoff inkl. systemanalytischer Begleitforschung).
15	Errichtung einer Pilot-Synthese-Anlage zur Herstellung hochwertiger synthetischer Kraftstoffe („Bioliq“ beim Forschungszentrum Karlsruhe).

5.2 Deutschland zum Leitmarkt für Elektromobilität entwickeln

Mit den Zielen des *Konjunkturpakets II* sind wichtige Meilensteine auf dem Weg Deutschlands zum Leitmarkt für Elektromobilität verbunden. Es gilt jetzt, diese Aktivitäten im Rahmen des *Nationalen Entwicklungsplans Elektromobilität* fortzuentwickeln und zielgerichtet umzusetzen. Elektromobilität als Innovationsfeld, das tiefgreifende Veränderungen in Bereichen wie der Fahrzeugtechnik, der Mobilität und der Energiewirtschaft auslösen wird, erfordert daher über das *Konjunkturpaket II* hinaus weitreichende Anstrengungen von Industrie, Wissenschaft und Bundesregierung. Dem Rechnung tragend ist der *Nationale Entwicklungsplan Elektromobilität* auch als langfristiges, über zehn Jahre reichendes Konzept ausgelegt.

Nach heutigem Entwicklungsstand ist absehbar, dass die Unterstützung zur Entwicklung der Elektromobilität auch über die bereits laufenden Aktivitäten hinaus fortgesetzt werden sollte. Soweit diese zusätzlichen Aktivitäten auf den Bund entfallen, stehen sie unter dem Vorbehalt

der geltenden Finanzplanung und der politischen Entscheidungen in der nächsten Legislaturperiode.

5.2.1 Forschung und Entwicklung

Im Bereich Forschung und Entwicklung sind im Zeitraum des Entwicklungsplans folgende Herausforderungen anzugehen:

Batterien, Energiespeicher

Die Entwicklung neuartiger, kostengünstiger, leistungsfähiger und zugleich zuverlässiger Energiespeicher ist realistisch. Die technologischen und wirtschaftlichen Anforderungen an Energiespeicher für Einsätze im mobilen Bereich sind außerordentlich ambitioniert. Zu ihrer Entwicklung werden in den nächsten Jahren allerdings noch erhebliche Anstrengungen erforderlich sein. Mit den laufenden Förderprogrammen (Kapitel 4) ist die Bundesregierung bereits auf einem guten Weg. Diese Fördermaßnahmen werden ergänzt durch die Forschungsinitiative Lithium-Hochleistungsbatterien der Deutschen Forschungsgemeinschaft sowie durch neue Schwerpunktsetzungen innerhalb der Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren.

Die Investitionsmaßnahmen des *Konjunkturpakets II* (Kapitel 5.1) stellen die notwendige Basis für die im Folgenden genannten Handlungsempfehlungen dar, damit in enger Kooperation mit der deutschen Industrie die notwendigen Voraussetzungen für eine schnelle Umsetzung in technische und marktreife Anwendungen geschaffen werden können.

Nachholbedarf besteht bei der Nachwuchsförderung. Im Rahmen der *Innovationsallianz LIB 2015* des BMBF werden zwar erste Nachwuchsgruppen gefördert, der zukünftige Bedarf kann jedoch mit diesen Gruppen nicht abgedeckt werden, und so besteht weiterhin die Notwendigkeit einer intensiven und umfangreichen Nachwuchsförderung, um die Wettbewerbsfähigkeit der Bundesrepublik Deutschland in diesem außerordentlich wichtigen Technologiesektor herstellen und nachhaltig gewährleisten zu können.

Für den mobilen Bereich (reine Elektrofahrzeuge und Plug-In-Hybridfahrzeuge) weisen wieder aufladbare elektrochemische Energiespeicher kurz- bis mittelfristig das größte Potenzial auf. Hier sind insbesondere Lithium-Ionen-Batterien zu nennen, aber auch ZEBRA- (Hochtemperatur-) Batterien, Redox-Flow- und Magnesium-Batterien können zukünftig eine bedeutende Rolle spielen. Zu erwarten ist weiterhin, dass Metall-Luft-Batterien langfristig die geforderten Eigenschaften moderner Hochenergie- und Hochleistungsbatterien aufweisen werden.

Um die in Kapitel 3.3 aufgeführten Ziele zu erreichen, ist die zügige und erfolgreiche Bearbeitung der im Folgenden im Detail beschriebenen FuE-Maßnahmen zwingend erforderlich, um eine verlustarme und kostengünstige Speicherung elektrischer Energie für mobile Anwendungen realisieren zu können. Auf den Ergebnissen der o. g. Initiativen aufbauend, werden weitere Förderaktivitäten notwendig sein, um z.B. im Rahmen einer *Initiative LIB 2020* oder anderer Fachprogramme in der Energieforschung die Entwicklung von Lithium-Hochleistungsbatterien der vierten Generation (s. u.) entscheidend und serienreif voranzubringen.

Entwicklung neuer Materialien bzw. Technologien

Zentrale Aufgabe auf dem Weg zu Hochenergie- und Hochleistungsbatterien der 2. bis 4. Generation ist die Entwicklung neuartiger Elektroden, Elektrolyte und Separatoren, wobei durch die hohe Anzahl möglicher Matetrialkombinationen noch ein erheblicher FuE-Bedarf besteht. Details sind der folgenden Darstellung zu entnehmen.

Lithium-Ionen-Batterien können in verschiedene Generationen unterteilt werden. Bei der heutigen 1. Generation wird als Kathodenmaterial Lithium-Kobalt-Oxid verwendet. Die Anode besteht aus Lithium/Graphit. Dazu werden organische Elektrolyte und Polyethylen als Separator eingesetzt. Diese Batterie findet man im Consumer-Bereich (Laptop, Handy). Problematisch sind allerdings die geringe Energiedichte sowie die mangelnde Sicherheit. Als Vertreter von Batterien der 2. Generation existieren erste Batterien mit Lithium-Eisen-Phosphaten als Kathode sowie Lithium/Kohlenstoff als Anode, bei gleichem Elektrolyt. Als Separatoren dienen Polymere oder keramische Folien. Zukünftig benötigt werden flexible, keramische, nano-strukturierte und besonders dünne Separatoren, als Alternativen zu den bereits am Markt verfügbaren Konzepten. Das schließt aus Sicherheitsgründen die Entwicklung von Separatoren mit höheren Schmelzpunkten mit ein. Batterien der 3. Generation sollen Hoch-Volt-Kathoden mit unterschiedlichen Lithium-Metall-Oxiden oder Lithium-Eisen-Phosphaten enthalten; ggf. werden diese auch mit weiteren Metallen dotiert. Die Anode könnte z.B. aus einem Lithium/Kohlenstoff/Silizium/Zinn-System, aus Lithium-Titanaten oder aus Silizium-Nanoröhren bestehen, wobei derzeit insbesondere für ersteres System die drastischen Volumenänderungen bei Lade-/ Entladevorgängen problematisch sind. Auch bei den Elektrolyten sollte es Neuentwicklungen geben (verbesserte Polymerelektrolyte, anorganische Elektrolyte sowie ionische Flüssigkeiten mit dem Ziel, die Zellspannung auf bis zu 6 Volt zu erhöhen). Langfristig gesehen sollten Batterien der 4. Generation die geforderten Eigenschaften moderner Hochleistungsbatterien aufweisen. Hier werden ganz andere Elektrodensysteme diskutiert; beispielsweise Metall/Luft- bzw. Lithium/Luft- und Lithium/Schwefel-Batterien, oder Magnesium-basierte Batterien.

Generelle Ansätze sind die Unterdrückung der Oberflächenpassivierung (Untersuchung des Solid Electrolyte Interface (SEI), soweit vorhanden), Optimierung der Elektrodenarchitektur (Performance-Steigerung durch gezielte Elektrodenarchitekturen mit Nano-Kompositen), Ersetzen von Kobalt (toxisch, wenig verfügbar, teuer) sowie die Beschichtung einzelner Komponenten zur Erhöhung der Leitfähigkeit.

Effizientes Batterie- und Thermomanagement

Dies ist für den Betrieb moderner Hochleistungsbatterien unerlässlich. Jede einzelne Zelle einer Batterie muss ständig überwacht und gesteuert werden (Spannung, Stromstärke, Temperatur, Ladungszustand). Es müssen gezielte Lade-/Entladestrategien entwickelt und optimale Temperaturbedingungen gewährleistet werden, wobei ggf. zusätzliche Kühlmaßnahmen erforderlich sein können (Erhöhung von Leistung, Sicherheit und Lebensdauer).

Sicherheitsmaßnahmen

Neben den technischen und wirtschaftlichen Aspekten kommt den Sicherheitsanforderungen an die Energiespeicher im Fahrzeug besondere Bedeutung zu. Die geforderten hohen Energiedichten erweisen sich in der Regel als nachteilig für das gleichzeitig geforderte hohe Maß an Sicherheit. Hier gilt es, z.B. durch die Bereitstellung geeigneter Separatoren, die Brand- und Explosionsgefahr zu minimieren. Entscheidend ist weiterhin der Einsatz unkritischer und optimal aufeinander abgestimmter Elektroden- und Elektrolytmaterialien. Komplettiert werden die notwendigen Sicherheitsmaßnahmen durch einen geeigneten Überladungsschutz.

Computer-Simulationen

Diese können zu einem besseren Verständnis der chemischen, elektronischen und elektrochemischen Vorgänge in verschiedenen Batteriesystemen beitragen (insbesondere Passivierungs- und Degradationsprozesse). Erforderlich sind u. a. Modellierungen und Simulationen zum Zell- und Batterieverhalten unter Betriebsbedingungen, z.B. für die Analyse struktureller Veränderungen der Komponenten bei längerem Betrieb sowie von Hystereseeffekten bei wiederholten Lade-/Entladezyklen. Erstrebenswert sind auch zuverlässige Lebensdauerprognosen, um u. a. die Entwicklungszeiten für neue Batteriesysteme erheblich reduzieren und damit kostengünstiger gestalten zu können.

Mess- und Prüfeinrichtungen

Diese werden maßgeblich zum Entwicklungsprozess von Komponenten und Subsystemen von Energiespeichern beitragen. Einheitliche Messverfahren zur Ermittlung des Ladezustands und Alterungstests sind für die Entwicklung neuer Lade- und Entladestrategien erforderlich. Auch setzt die Serienreife von Batterien zuverlässige und umfangreiche Testverfahren zur Überprüfung der Sicherheitsanforderungen voraus.

Entwicklung einer präzisen und ausgereiften Prozesstechnik

Diese ist erforderlich, um die geforderten Qualitätsansprüche an moderne Hochleistungsbatterien erfüllen zu können. Sie muss dem aktuellsten Stand der Technik entsprechen. So werden zuverlässige Fertigungsprozesse zur Konfektionierung der Elektroden-, Elektrolyt- und Separatormaterialien und zur Optimierung der Schnittstellen zwischen den einzelnen Batteriekomponenten benötigt.

Standardisierte Verpackungsverfahren

Entwicklung von standardisierten Verpackungsverfahren für die Zellherstellung und für die Konfektionierung der Zellen.

Recycling

Von besonderem Interesse ist die möglichst sortenreine marktfähige Rückgewinnung der eingesetzten Metalle, wie z. B. Lithium, Kobalt, Mangan, Nickel, Titan, etc., ebenso wie die marktfähige Rückgewinnung der Elektrolyte (organisch, ionisch, Leitsalze). Auf Grund der begrenzten Verfügbarkeit bestimmter Elemente empfehlen sich Bedarfsanalysen und die Ermittlung der tatsächlichen Rohstoffressourcen. Insbesondere die Identifizierung strategischer Metalle (wie z.B. Kobalt) ist hier anzustreben. Auch übergeordnete Aspekte wie die Erfüllung gesetzlicher Vorgaben (z.B. *EU-Batteriedirektive*: quantitative Recyclingeffizienz von mindestens fünfzig Prozent bei Lithium-Ionen-Batterien) sind zu berücksichtigen. Es be-

steht ein wachsender Bedarf an spezifischen und angepassten Recyclingkonzepten, da je nach Anwendung verschiedene Baueinheiten und Elektrodenkonzepte mit unterschiedlichen Stoffzusammensetzungen eingesetzt werden. Lösungen bieten intelligente kombinatorische Recyclingkonzepte, die die Rückgewinnung der Metalle und der Elektrolyte unter Berücksichtigung der Wirtschaftlichkeit und Nachhaltigkeit zum Ziel haben. Daneben gilt es die Entwicklung und den Einsatz ökologisch verträglicher bzw. unbedenklicher und wirtschaftlicher Rohstoffgewinnungs- und Produktionsverfahren voranzutreiben. Eine Weiterentwicklung in Bezug auf die Eignung für unterschiedliche Materialkombinationen sowie die Erhöhung von Rückgewinnungsquoten und Wirtschaftlichkeit sowie der Aufbau entsprechender Recyclingkapazitäten in Deutschland erscheint notwendig. Zusammengefasst wird einer hohen Recyclingquote eine erhebliche Bedeutung zukommen.

Entwicklung von Doppelschichtkondensatoren

Diese sind neben Batterien eine weitere wichtige Option für den Einsatz in Elektrofahrzeugen. Doppelschichtkondensatoren sind besonders vorteilhaft bei hohen und schnellen Leistungsanforderungen und bilden daher eine gute Ergänzung zu Batterien mit hohen Energiedichten. Die Anhebung des spezifischen effektiven Speicherinhaltes auf das Niveau von heutigen Lithium-Ionen-Batterien und die Erweiterung des Temperaturbereichs bei marktverträglichen Kosten sind das Ziel der Forschung. FuE-Bedarf besteht bei den Komponenten, einem serienfähigen, skalierbaren Produktionsprozess, einer qualitativen Reproduzierbarkeit unter Einbeziehung z. B. der Werkstoffe, der Prozessparameter und der Umwelt sowie der Zuverlässigkeit.

Fahrzeugtechnik für Elektromobilität

Im Rahmen des *Nationalen Entwicklungsplans Elektromobilität* wird die Entwicklung von energieeffizienter elektrischer Fahrzeugtechnik in zwei Linien unterstützt: Kurzfristig werden auf der Basis bestehender Fahrzeugkonzepte elektrische Antriebe und Energiespeicher zu Plug-In-Hybriden und Elektrofahrzeugen integriert. Diese Fahrzeuge werden in kleinen Stückzahlen aufgebaut und erprobt. Sie dienen in Feldversuchen der Sammlung von Anwendererfahrung und zur Bewertung der technischen Komponenten. Die damit verbundenen Entwicklungsarbeiten und der Aufbau erster kleinerer Testflotten werden bis Ende 2011 aus bisherigen Maßnahmen und den Mitteln des *Konjunkturpakets II* finanziert.

Es ist unstrittig, dass der Übergang zur Elektromobilität über diverse Fahrzeugklassen mit diversen elektrischen Leistungsklassen erfolgt. Aus heutiger Sicht wird der Markteinstieg über kleine Stadtfahrzeuge erfolgen. Höhere Leistungsklassen werden folgen.

Je nach Fahrzeug und Leistungsklasse ergeben sich damit künftig Anforderungen an die elektrischen Systeme, die durch eine reine Skalierung der Komponenten mit heutiger und absehbarer Technologie nicht erfüllt werden können. Bei Energiespeichern, elektrischen Antriebs- und elektronischen Kontrollsystemen werden daher langfristig FuE-Arbeiten zu Materialien, Komponenten, Schaltungsentwürfen und deren Systemintegration notwendig sein, um den Anforderungen gerecht zu werden. Die bisherigen (Kapitel 4) und im Rahmen des *Konjunkturpakets II* begonnenen Arbeiten (Kapitel 5.1) werden dafür eine dringend benötigte Ausgangsbasis schaffen.

Die Durchführung der Feldversuche und die Entwicklung von völlig neuen, auf den Einsatz elektrischer Energiespeicher und Antriebe abgestimmter Fahrzeugkonzepte wird sich im

Rahmen des *Nationalen Entwicklungsplans* anschließen. Dabei ist das Fahrzeugkonzept abhängig vom primären Einsatzzweck. Diese Abhängigkeit ist auf dem Weg zu besonders energieeffizienten Elektrofahrzeugen voraussichtlich größer als bei Fahrzeugen mit klassischen Antriebsaggregaten. Die Herausforderung liegt darin, das neue Fahrzeugkonzept im Hinblick auf Reichweite und Fahreigenschaften auch unter den Beschränkungen eines elektrischen Antriebes zu optimieren. Ein Mindestmaß an Vielseitigkeit ist für die Akzeptanz durch die Autokäufer von großer Bedeutung.

Um die Wirtschaftlichkeit und Akzeptanz von Plug-In-Hybrid- und Elektrofahrzeugen zu verbessern, ist eine weitere, auf den automobilen Einsatz bezogene Optimierung der elektrischen, elektronischen und mechanischen Komponenten notwendig. Beispiele für thematische Schwerpunkte der Forschungsarbeiten sind nachfolgend aufgeführt:

Motoren und Komponenten

Da der Elektromotor im Hybrid- und Elektrofahrzeug sowohl motorisch als auch generatorisch arbeitet, sind beide Wirkungsgrade von Bedeutung. Hierbei sind Fragen zu den unterschiedlichen Maschinenkonzepten sowie zu den verwendeten Materialien zu klären. Die je nach Betriebsart, Steuerung, verwendetem Energiespeicher und Fahrzeuggröße erforderliche, unterschiedliche Auslegung soll systematisch analysiert werden:

a) Entwicklung und Auswahl von geeigneten Elektromotor-Konzepten (z.B. Synchronmotor mit Permanentmagneten, Asynchronmotoren, ggf. auch Transversalflussmaschine, geschaltete Reluktanzmaschine) mit der Optimierung von Leistungsverhalten, Baugröße und Gewicht sowie Sicherheit und Wirtschaftlichkeit (auch bei Radnabenmotoren).

b) Entwicklung und Optimierung von elektrischen Komponenten bzw. Systemen zur Bremsenergierückgewinnung sowie deren elektronische Steuerungen.

c) Nutzung der Brennstoffzelle als Lieferant für zusätzliche elektrische Energie bei reinen Elektrofahrzeugen (Range Extender).

d) Entwicklung spezifisch angepasster und auch spezieller Verbrennungsmotoren für den Einsatz in elektrisch angetriebenen Fahrzeugen (z. B. Range Extender).

Ein weiteres Optimierungspotential bei der Kombination von Verbrennungsmotor und Elektromaschine ist auch beim Verbrennungsmotor selbst zu sehen. Hier bietet beispielsweise das so genannte „Downsizing“ Möglichkeiten, das zusätzliche Gewicht des Hybridaggregates zu kompensieren, ohne einen Verlust im Vergleich zur ursprünglichen Gesamtleistung (ohne Hybridaggregat) zu haben. Der Übergang von der heutigen Kennfeld-Antriebssteuerung auf eine Echtzeitsteuerung wird aufgrund der damit möglichen Regelungsgüte Emissionsreduzierung und Verbrauchseinsparungen im zweistelligen Prozentbereich ermöglichen. Dafür notwendig ist die Umstellung der Steuergeräte und Bordnetze auf Technologien mit erheblich höheren Rechenleistungen und Zuverlässigkeit als bisher und absehbar möglich ist.

Mit dem Begriff „Range Extender“ wird eine kleine Verbrennungsmaschine oder eine Brennstoffzelle als Hilfs-Energiequelle bei Elektrofahrzeugen bezeichnet. Diese Komponenten unterscheiden sich von den in einem Hybridkonzept verwendeten nicht nur durch die Dimensionierung sondern auch durch das Betriebsverhalten und das -management.

Systemintegration Antrieb

Optimierung des Gesamtsystems oder der einzelnen Bauteile hinsichtlich Effizienz, Gewicht, Bauraum, Sicherheit, Kosten, Qualität, Zuverlässigkeit, Leistungsdichte und verwendeter Materialien sowie Integration in das Fahrzeugkonzept. Es sollen Wege aufgezeigt werden, wie die Komponenten für den Hybrid- bzw. Elektroantrieb und vor allem deren Zusammenwirken mit den übrigen Fahrzeugsystemen wie z. B. Fahrdynamik und Sicherheitssysteme in Abhängigkeit von der Fahrzeuggröße und dem Einsatzspektrum optimiert werden können.

Getriebe

Eine wichtige Komponente bei der Kombination der Antriebe und der Realisierung von verschiedenen Antriebsvarianten ist das Getriebe. An diesem Aggregat wird die Bauteil- und Strategieoptimierung besonders deutlich. Um die Leistungen der Antriebe bzw. Maschinen (Verbrennungs- und Elektromotor) zu kombinieren, sind geeignete mechanische Kopplungen bzw. Getriebe, z.B. in Form von Planeten-Getrieben erforderlich. Je nach Betriebsstrategie ergeben sich zahlreiche Schaltkombinationen, deren Wirkungsgrade nicht immer optimal sind. Wirkungsgrade von 98 % sind für eine mechanische Getriebestufe durchaus realisierbar, allerdings ist mit einer derartigen Konfiguration keine differenzierte Strategie möglich. Elektromagnetische Wandler können mittelfristig hier ein Untersuchungsfeld für Verbesserungen sein. Um die Leistungen der beiden Antriebe (VM und EM) zu kombinieren, sind beispielsweise Planetensätze im Getriebe erforderlich.

Optimierung der Leistungselektronik

Die Schnittstellen zwischen den verschiedenen Komponenten sind Steuergeräte und Wandler. Diese elektronischen Bauteile steuern die elektrischen Komponenten (Speicher, Antriebsmotoren, Hilfsaggregate, etc.) an und machen die energetische Versorgung der Motoren erst möglich. Durch die Anpassung von Strom und Spannung während der Antriebs- oder Rekuperationsphase treten Verluste innerhalb der Wandler auf. Notwendig ist die Optimierung der Leistungselektronik hinsichtlich verwendeter elektronischer Baugruppen und neuer Halbleiter-Materialien im Hinblick auf die Anforderungen der Antriebskomponenten eines Elektrofahrzeuges, der Lebensdauern und auf die Reduzierung des Bauraums sowie des technologischen Aufwandes (u. a. Kühlung). Hierbei ist eine erhebliche Abhängigkeit der eingesetzten Technologie von der elektrischen Leistungsklasse und damit der betrachteten Fahrzeugklasse zu erwarten, die langfristig F&E Arbeiten zu Materialien, Komponenten, Schaltungsentwürfen und deren Systemintegration erfordern, um den Anforderungen gerecht zu werden.

Nachrüstung

Untersuchung der Möglichkeiten einer kostengünstigen nachträglichen Umrüstung auf Hybridantrieb bzw. zu einem Plug-In Hybridfahrzeug.

Sicherheit und Elektromagnetische Verträglichkeit

Elektromobilität bringt eine Vielzahl von neuen Herausforderungen im Bereich der Sicherheit von Fahrzeugen mit sich: Über die Sicherheit der Batterien hinaus erfordern die elektrischen Komponenten besondere Aufmerksamkeit bei der Auslegung bezüglich möglicher Unfallfolgen: Die Fahrzeug-struktur muss den Schutz von Insassen und Rettungskräften nach einem Crash gewährleisten. Die Hochspannung des elektrischen Antriebs erfordert passende Isolierungs-, Kennzeichnungs- und Abschalteinrichtungen.

Zudem sind Anforderungen an elektrische Komponenten im Fahrzeug hinsichtlich der elektromagnetischen Verträglichkeit zu erfüllen. Einerseits Schutz der Bauteile gegen Überspannungen, andererseits Minimierung des Störpotenzials der elektrischen Komponenten eines Elektro-Antriebes gegenüber anderen Komponenten, der Umwelt und der Gesundheit.

Auch für den Schutz schwächerer Verkehrsteilnehmer ergeben sich neue Anforderungen: Das fehlende Motorengeräusch der elektrischen Maschine verlangt neue Konzepte für die Verkehrssicherheit. Adaptive, auf Sensorik und Fahrzeugkommunikation beruhende aktive Sicherheitssysteme könnten dabei eine Schlüsselrolle spielen.

Die Zusicherung, dass Elektrofahrzeuge zumindest denselben Grad an Sicherheit bieten wie konventionell angetriebene, könnte auf Dauer zum wichtigsten Unterscheidungsmerkmal von Fahrzeugen aus deutscher Produktion gegenüber Mitbewerbern aus Fernost werden.

Zuverlässigkeit

Neben dem Nachweis der technologischen Machbarkeit ist die Zuverlässigkeit der elektrischen/elektronischen Systeme ein äußerst wichtiges Zukunftsthema.

Hochrechnungen auf Basis heutiger Fahrzeuge (Stand 2009) ergeben, dass – trotz der extrem geringen Fehlerwahrscheinlichkeit eines einzelnen elektronischen Bauteiles – aufgrund der großen Anzahl verbauter Bauteile etwa jedes 200. Fahrzeug der Ober- und Mittelklasse einen „ab Werk“ eingebauten Elektronikfehler enthält. Die stark steigende Anzahl der verbauten Komponenten und eine mögliche Fehlerfortpflanzung macht die weitgehende Fehlerfreiheit des einzelnen elektronischen Bauteiles unter Umständen zunichte. Die zunehmende Elektrifizierung der Fahrzeuge erfordert daher völlig neue Konzepte zur Vermeidung von Fehlern und zur Steigerung der Zuverlässigkeit elektrischer und elektronischer Komponenten. Die laufenden Arbeiten (Kapitel 5.1) werden dazu erste grundlegende Ergebnisse liefern.

Kühlung

Berücksichtigung der thermischen Anforderungen der Antriebe und der Batterien im Gesamt-Fahrzeugkonzept. Nutzung der unvermeidbaren Abwärme zur Fahrzeugklimatisierung bzw. zur Gewinnung elektrischer Energie über thermoelektrische Systeme.

Bordtechnik

Weiteres Potential zur Verbesserung des Gesamtsystems bietet eine optimale Integration der neuen Antriebskonzepte in die Bordtechnik und Bordelektronik. Für Nutzfahrzeuge und PKW kann die Elektrifizierung der Komponenten zusätzliche Effizienzgewinne ermöglichen, die den Elektroantrieb in der Summe erst attraktiv machen. Komponenten wie Türöffner bei Stadtbussen und Hilfsaggregate bei Arbeitsfahrzeugen sind in das ganzheitliche Energiemanagement zu integrieren. Insbesondere im Bereich Heizung und Klimatisierung (auch Batterieklimatisierung) sind Ansätze zu verfolgen, die innovative Lösungen vorantreiben (z.B. Abwärmenutzung, Solarenergie).

Erste Forschungsarbeiten zum Management des Antriebsstranges von Hybridfahrzeugen zeigen, dass die Kenntnis des vor dem Fahrzeug liegenden Streckenprofils für weitere Verbrauchsoptimierungen relevant sein kann. Es ist zu untersuchen, unter welchen Randbedingungen dieses Potential genutzt bzw. vergrößert werden kann. Dabei ist die Kopplung mit der Fahrzeugnavigation, On-Board-Geräten für Fahrerinformationen und mit Fahrerassistenzsystemen ein möglicher Ansatz. Unter Einbeziehung sämtlicher bekannter Randbedin-

gungen (z. B. Topologie, Verkehrszustände, Geschwindigkeiten) wäre die Möglichkeit zu untersuchen, energieoptimale Routen und Geschwindigkeiten als Option vorzugeben. Weiteres Optimierungspotential in Zusammenhang mit Car2Car-Kommunikations- oder mit Navigationsdiensten ist denkbar, hängt aber letztlich auch von der Bereitschaft der Kartenhersteller ab, die entsprechenden Informationen vorzuhalten und zu pflegen.

Technik für Infrastruktur / System- und Netzintegration

Für die Netzinfrastruktur bildet der Einsatz von Elektrofahrzeugen in der Einführungsphase Anforderungen im Bereich der Beladungs- und Abrechnungsvorgänge. Die Anwendung moderner Kommunikationstechniken ist hierfür ein wesentliches Schlüsselelement. Fortgeschrittene Elektromobilitätskonzepte hingegen, in denen die Stromversorgung der Fahrzeuge einen nennenswerten Anteil der Stromnachfrage ausmacht, Fahrzeugbatterien in größerer Zahl als Regelkomponenten des Stromnetzes zum Einsatz kommen und gleichzeitig ein deutlich höherer Beitrag erneuerbarer Energien zur Energieversorgung geleistet wird, erfordern weitergehende technische Lösungen. In dieser Phase werden interaktive Speicherbe- und –entladevorrichtungen, umfassende Netzmanagementstrategien, neue Netzkomponenten und eine veränderte Netzarchitektur die Infrastruktur der Zukunft prägen.

Wichtige Schritte für die Entwicklung, Erprobung und Umsetzung der Elektromobilitätsstrategie werden mit Mitteln des *Konjunkturpakets II* der Bundesregierung in der *Förderinitiative Stromwirtschaftliche Schlüsselelemente: Speicher, Netze, Integrati*on des BMWi eingeleitet. Durch die Bereitstellung von Testeinrichtungen, aber auch durch die Erprobung fortgeschrittener Netzkomponenten wird die technische Basis für die zügige Entwicklung einer leistungsfähigen Netzinfrastruktur geschaffen. Künftige Fördermaßnahmen im Rahmen der Energieforschung werden sich hieran nahtlos anschließen. Diese umfassen Konzeptstudien, in denen die graduellen Auswirkungen einer zunehmenden Massenmobilität mit Elektro- und Hybridfahrzeugen untersucht werden. So gilt es, Stromerzeugung und -verteilung mit hoher zeitlicher und räumlicher Auflösung unter besonderer Berücksichtigung erneuerbarer Energien abzubilden. Die Verpflichtungen innerhalb des internationalen UCTE-Verbunds sind dabei zu berücksichtigen. Darauf aufbauend werden die Auswirkungen auf Kraftwerkspark, Leitungsnetze und Energieverbrauch ermittelt und klimapolitisch bewertet. Ergänzende Wirtschaftlichkeits-, Machbarkeits- und Hemmnisanalysen erlauben die Identifikation technisch-ökonomischer Randbedingungen und Restriktionen.

Stromerzeugungs- und Netzinfrastrukturen

Aufgrund langer Kapitalbindungszeiten vollzieht sich ein Wandel im Bereich der Stromerzeugungs- und Netzinfrastrukturen nur sehr langsam. Längerfristig sind jedoch neue Netzstrategien erforderlich, um die Effizienz in der Strombereitstellung zu erhöhen. Ziel der Forschungs- und Entwicklungsarbeiten muss es sein, die Auslastung des Kraftwerksparks, der Verteilnetze, aber auch einzelner Netzkomponenten so zu optimieren, dass der Lastfluss verstetigt, die Reservehaltung minimiert und der Beitrag erneuerbarer Energien erhöht werden kann. Hierfür werden im Rahmen der Energieforschung Komponenten und Systeme zur Regelung und Steuerung entwickelt und in Verbindung mit dezentralen KWK-basierten Versorgungsstrukturen einschließlich stationären Energiespeichern im Pilotmaßstab getestet. Die Einbindung von Energieversorgern, aber auch von Städteplanern, Kommunen und Verbrauchern spielt dabei eine wesentliche Rolle. Zusammen mit Energieversorgungsunter-

nehmen, Netzbetreibern, Parkraumeigentümern sowie KFZ- und Batterieherstellern werden technische Voraussetzungen für unterschiedliche Betreibermodelle entwickelt.

Schnittstelle Netz - Fahrzeug

Für die Schnittstelle Netz - Fahrzeug müssen geeignete Infrastrukturen und Geräte entwickelt werden. Dazu gehören z.B. Lade- und Netzstationen sowie Regler, Zähler und Messeinrichtungen. Für einen abgestimmten Betrieb von Erzeugung, Verteilung und Speicherung müssen darüber hinaus innovative Kommunikationsstrukturen (Smart Metering) entwickelt und erprobt werden. Dazu müssen netzseitige Restriktionen mit dem Ladezustand von Traktionsbatterien und der individuellen Betriebssituation einer Vielzahl von Fahrzeugen in Einklang gebracht werden. Ferner gilt es, unter Berücksichtigung der Wirtschaftlichkeit und der wettbewerblichen Rahmenbedingungen lastvariable Tarife, Abrechnungsmodi und datenschutzrechtliche Bestimmungen zu entwickeln und zu erproben.

Im internationalen Rahmen sollen auf EU-Ebene künftig systemübergreifende Wechselwirkungen von Elektrofahrzeugen und Stromnetzen im Bereich intelligentes Netzmanagement bei der Festlegung von Förderschwerpunkten berücksichtigt werden. Ziel ist die bessere Integration von erneuerbaren Energien sowie der dezentralen Erzeugung und Stromeinspeisung. Die internationale Zusammenarbeit im Rahmen der *Internationalen Energieagentur (IEA)* auf dem Gebiet der Netzintegration von Elektro- und Hybridfahrzeugen wird von Deutschland derzeit beobachtend begleitet.

Informations- und Kommunikationstechnik für Elektromobilität

Wichtige Grundlagen des Zusammenspiels von Elektrofahrzeugen mit Netz- und Verkehrsinfrastrukturen sollen im Rahmen von zwei korrespondierenden Förderschwerpunkten des BMWi (*IKT für Elektromobilität*) und des BMU (*Intelligente Netze, erneuerbare Energien und Elektromobilität*) untersucht werden. Hierfür sind insgesamt 57 Mio. Euro im Zeitraum 2009 bis 2011 vorgesehen. Ziel der beiden an E-Energy anknüpfenden Förderschwerpunkte ist es, mit Hilfe moderner Informations- und Kommunikationstechnik Schlüsseltechnologien und Dienste für die Integration von Elektro- und Hybridfahrzeugen in bestehende Energie- und Verkehrsnetze zu entwickeln und zu erproben. Im Mittelpunkt stehen IKT-basierte Lade-, Steuerungs- und Abrechnungsinfrastrukturen sowie darauf aufbauende Geschäftsmodelle, Dienste, Normen und Standards. Untersucht werden soll auch das Potenzial von Elektrofahrzeugen als mobile Energiespeicher und ihre Einbindung in elektronische Marktplätze für eine optimale Netzführung. Die dafür notwendige Integration und Optimierung der bisher weitgehend getrennten Bereiche Fahrzeug, Verkehr und Energie erfordert einen umfassenden Einsatz von IKT. So sollen z.B. durchgängige Datenübertragungssysteme, intelligente Leitwarten und hiermit kommunizierende Lade- und Batteriewechselstationen aufgebaut und erprobt werden. Ferner soll die IKT-gesteuerte Be- und Entladung von Fahrzeug-Batterien in Abhängigkeit von Stromangebot und –nachfrage und das Potenzial von Elektrofahrzeugen für Speicher- und Netzdienstleistungen sowie für die Stromversorgung von Privathaushalten in Spitzenlastzeiten (Smart-Home) untersucht werden. Zur Sicherung der Akzeptanz zukünftiger Elektromobilitätskonzepte sollen darüber hinaus kundenfreundliche Abrechnungs- und Roamingmodelle entwickelt und erprobt werden. Dabei spielt auch die Einbeziehung des Öffentlichen Personen-Nahverkehrs eine wichtige Rolle (z. B. Ladestationen an öffentlichen P+R-Parkplätzen).

5.2.2 Rahmenbedingungen

Mit der Entwicklung von geeigneten Rahmenbedingungen für die Elektromobilität will die Bundesregierung zwei Hauptziele verfolgen: Erstens, einen möglichst großen Anteil von Elektrofahrzeugen unter den Neuzulassungen zu erreichen, und zweitens, die Nutzung von Strom aus regenerativen Energiequellen für die Elektromobilität zu fördern.

Gerade für eine erfolgreiche Markteinführung und eine weitere Verbreitung der Elektrofahrzeuge ist eine unkomplizierte und kostenbewusste Organisation der Lademöglichkeiten notwendig. Ziel sollte deshalb sein, eine Infrastruktur zu schaffen, die zum einen das Laden von Elektrofahrzeugen zu Hause und auch unterwegs ermöglicht. Reine Elektrofahrzeuge werden für den Verbraucher erst interessant, wenn Lademöglichkeiten in ausreichendem Maße vorhanden und zu einem angemessenen Preis zugänglich sind.

Erneuerbare Energien

Durch Nutzung von erneuerbaren Energien können Elektrofahrzeuge ihr ökologisches Innovationspotential voll entfalten. Während Elektrofahrzeuge bei Verwendung des durchschnittlichen Strommixes bei einer Well-to-Wheel-Betrachtung nur geringe CO_2-Emissionsvorteile gegenüber effizienten Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor aufweisen, weil CO_2-Emissionen bei der Stromerzeugung anfallen würden, werden sie durch erneuerbare Energien praktisch zu Nullemissionsfahrzeugen. Zudem trägt das weitere Wachstum der erneuerbaren Energien – gemeinsam mit weiteren Fortschritten bei der Energieeffizienz – auch mit dazu bei, immer teurer werdende Energieimporte zu vermeiden und stärkt damit die Versorgungssicherheit in Deutschland.

Aus diesen Gründen will die Bundesregierung die durch Elektrofahrzeuge zusätzlich generierte Stromnachfrage durch die Bereitstellung erneuerbarer Energien decken. Elektrofahrzeuge werden einen relativ geringen Anteil am gesamten Bruttostromverbrauch in Deutschland beanspruchen. So würden 1 Mio. vollelektrische Pkw ca. 0,3 % des aktuellen Gesamtverbrauchs benötigen. Diese Größenordnung wird mittelfristig (bis 2020) sicherlich nicht überschritten, langfristig wird jedoch ein deutlich größerer Anteil an Elektro-Pkw angestrebt. Der Ersatz eines Drittels der heutigen PKW-Gesamtfahrleistung mit Elektrobetrieb (erst deutlich nach 2020) benötigt nur rund 5 % des aktuellen Bruttostromverbrauchs.

Trotz dieser relativ geringen zusätzlichen Stromnachfrage müssen die Auswirkungen auf die vom Emissionshandel erfassten Sektoren der Energieversorgung und Industrie betrachtet werden. Dies hängt damit zusammen, dass der für Elektrofahrzeuge benötigte Strom nicht dem Verkehrssektor, sondern dem Emissionshandelssektor zugerechnet würde, für den Obergrenzen für CO_2-Emissionen gelten.

Darüber hinaus muss vermieden werden, dass der Marktzugang von Elektrofahrzeugen durch ein falsches Image in der öffentlichen Wahrnehmung erschwert wird, weil Elektrofahrzeuge in der Öffentlichkeit mit neuen Emissionen in der Stromerzeugung verbunden werden könnten. Deshalb sollten die umweltfreundlichen Aspekte der Elektrofahrzeuge betont werden, insbesondere weil sie insgesamt energieeffizient sind, mittelfristig einen geringen Zuwachs der Stromnachfrage generieren und durch die im IEKP festgelegte Kopplung an die erneuerbaren Energien emissionsarm fahren.

Entsprechende Maßnahmen könnten auch dazu beitragen, das Mindestanteilsziel für erneuerbare Energien im Verkehrsbereich der *Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates zur Förderung der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen im Elektrizitätsbinnenmarkt (EU-Richtlinie zur Förderung der erneuerbaren Energien)* zu erfüllen, nämlich im Verkehrssektor bis 2020 zehn Prozent der Energie aus erneuerbaren Energien bereitzustellen. Derzeit erfolgt eine Anrechnung entsprechend dem Anteil von erneuerbaren Energien am nationalen oder dem EU-Strommix.

Zudem besteht eine der relevanten ökonomischen Perspektiven der Elektromobilität in dem Beitrag der Elektrofahrzeuge zum intelligenten Management des Stromnetzes und zur bedarfsgerechten Einspeisung von Strom aus erneuerbaren Energien. Erst durch die Nutzung dieser Möglichkeiten kann das Potenzial dieser Technologie voll ausgeschöpft und der angestrebte Anteil an erneuerbaren Energien im deutschen Strommix unterstützt werden (z.B. durch Ausgleich fluktuierender Windenergie). Wird der Zeitpunkt der Beladung von Batterien für Elektrofahrzeuge im Rahmen des Last- und Speichermanagements sinnvoll an den übrigen Strombedarf und die Verfügbarkeit von Strom insbesondere aus Solarstrahlung und Windenergie angepasst, kann die Integration der erneuerbaren Energien in das deutsche Stromsystem deutlich verbessert werden.

Durch den Ausbau der Stromnetze mit informations- und kommunikationstechnischen Fähigkeiten (Smart Grid) können die Batterien der Elektrofahrzeuge mittel bis längerfristig zu Regel- und Speicherzwecken (u. a. Lastmanagement) in die Stromnetze aktiv eingebunden werden und diese stabilisieren. So kann z. B. ein im Fahrzeug installierter intelligenter Stromzähler (Smart Meter) über das Stromnetz ein Signal erhalten, zu welchen Zeiten das Laden der Fahrzeugbatterie sinnvoll bzw. besonders preisgünstig ist. Auch eine individuelle Anpassung des Ladevorgangs an die aktuellen Bedürfnisse des Verbrauchers wird möglich: schnelles Laden, weil eine baldige Weiterfahrt nötig wird, langsames Laden zum günstigsten Preis, wenn z. B. über Nacht oder am Wochenende keine Eile besteht. Als Instrumente sind hier Anreize zur Optimierung der Aufladevorgänge entsprechend dem teilweise fluktuierenden Eintrag von erneuerbaren Energien, den individuellen Ladeanforderungen und den Fahrzeugzuständen anzubieten, z.B. durch die Einführung zeitvariabler Tarife.

Noch wichtiger als die Energiespeicherung in den Batterien der Elektrofahrzeuge im Rahmen eines Lastmanagements ist langfristig die Fähigkeit auch Strom ins Netz zurückzuspeisen und so zur Bereitstellung von weiterer Regelleistung beizutragen. Eine größere Zahl von Elektrofahrzeugen könnte mit dezentralen Anlagen zur Erzeugung erneuerbarer Energien zu einem virtuellen Kraftwerk zusammengeschaltet werden. Sie würden damit eine wichtige Funktion im Sinne einer regionalen Energie- und Leistungsautonomie übernehmen. Mit etwa einer Million Elektrofahrzeugen kann im Prinzip bereits die doppelte Speicherleistung aller heute installierten Pumpspeicherkraftwerke erbracht werden. So ist eine größtmögliche Nutzung von zu bestimmten Zeiten nicht nachgefragtem Strom aus erneuerbaren Energien möglich. Um die Kopplung erneuerbarer Energien mit Elektromobilität voranzutreiben sind folgende Maßnahmen erforderlich:

- Anzustreben ist eine Berücksichtigung von Elektrofahrzeugen bei Maßnahmen zur Systemintegration von Strom aus erneuerbaren Energien im Rahmen des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (Verordnungsermächtigung nach § 64 Abs. 1 Punkt 6 zur Integration des Stroms aus erneuerbaren Energien).

- Bei der 2013 anstehenden Überprüfung der spezifischen Emissionsziele der CO_2-PKW-Verordnung (Artikel 13 Abs. 5) ist im Rahmen der nachfolgenden Verhandlungen anzustreben, dass Elektrofahrzeuge bei Verwendung von erneuerbarer Energie mehrfach auf den Flottengrenzwert angerechnet werden. Damit soll auch sichergestellt werden, dass die Ziele der CO_2-PKW-Verordnung noch kosteneffizienter erreicht werden können.
- Es sollte gewährleistet werden, dass der von Elektrofahrzeugen in Deutschland genutzten Strom aus erneuerbaren Energien auf das in der EU-Richtlinie zur Förderung erneuerbarer Energien vorgegebene nationale Ziel im Verkehrssektor in vollem Umfang angerechnet wird.

Mobilitätskonzepte, Demonstrationen und Feldtests zur Marktvorbereitung

Bisherige PKW-Konzepte gingen, bei aller segmentspezifischen Differenzierung (Kleinwagen, Van etc.) von einem mehr oder minder universellen Nutzungsprofil aus. Das heißt, sowohl urbane Kurzstreckenmobilität für Einzelpersonen als auch Langstrecken im Bereich des Urlaubsreiseverkehrs mit der ganzen Familie sollten mit einem Fahrzeug realisierbar sein. Sowohl die noch bestehenden technischen Restriktionen bei reinen Elektrofahrzeugen, wie auch das Streben nach besonders energieeffizienten Fahrzeugen wird wahrscheinlich eine Abkehr von diesem universellen Nutzungsprofil erfordern. Die Herausforderung liegt daher darin, das für den jeweiligen Einsatzzweck günstigste Mobilitätskonzept zu finden. Dabei sollte nicht nur eine Betrachtung nach den Konzepten wie Hybrid, Plug-In-Hybrid oder reinem Elektrofahrzeug erfolgen, sondern auch der Mobilitätsbedarf des einzelnen Verkehrsteilnehmers oder Unternehmens Berücksichtigung finden. Hier sind neue Fahrzeugkonzepte – sowohl im PKW- als auch Nutzfahrzeug-Bereich - gefragt, die auf Grund ihrer speziell auf die Bedürfnisse zugeschnittenen Lösungen ein hohes Maß an Energieeinsparpotential bieten. Im Bereich der Lieferfahrzeuge und Stadtbusse sind die typischen Fahrzyklen grundsätzlich für eine Hybridisierung und Elektrifizierung geeignet, Bei Müll-Sammelfahrzeugen sind die Hilfsaggregate in die Auslegung des Antriebes mit einzubeziehen um günstige Effekte im sensiblen städtischen Einsatzgebiet zu erreichen.

Die theoretische Abschätzung und die praktische Demonstration spezifischer, neuer Lösungen im realen Verkehrsgeschehen sind für die Beurteilung der Wirksamkeit, der Akzeptanz durch die Nutzer sowie der technischen und logistischen Machbarkeit von entscheidender Bedeutung. Stadtplanerische Konzepte sowie die Verknüpfung der Elektromobilität mit neuen, öffentlichen Verkehrskonzepten spielen hier eine wichtige Rolle.

Gerade wenn bisher verfolgte Paradigmen über Anwendungsszenarien, Nutzungsprofile und Akzeptanzen nicht einfach weiterverfolgt werden, bedarf es eines Fundamentes neuer Erkenntnisse aus Demonstrationen und Feldtests, die insbesondere die Ziele verfolgen:

- Nachweise von Funktionalität, Zuverlässigkeit und Alltagstauglichkeit neuer Fahrzeug- und Energieversorgungskonzepte (insb. kundenfreundliche, sichere, diskriminierungsfreie, interoperable Ladeinfrastruktur).
- Gewinnung von Erkenntnissen für zukünftige Mobilitätskonzepte, im dem auch Fragen, wie z. B. die Kundenakzeptanz oder mögliche Geschäftsmodelle Untersuchungsgegenstand sind.

- Gewinnung wichtiger Erkenntnisse zu Nutzerverhalten, zum Energiebedarf und dessen zeitlicher Entwicklung sowie zu den Möglichkeiten der Netzstabilisierung durch zeitlich flexible Lade- und Rückspeisevorgänge.
- Um aus Aspekten wie Stromverbrauch, Mehrkosten bei der Fahrzeuginvestition, Infrastrukturkosten, Stromkosten in Abhängigkeit von der Lastsituation, steuerliche Belastungen usw., kilometerbezogene Kosten zu ermitteln, sind geeignete Kostenmodelle und detaillierte Rechnungen anhand real untersuchter Szenarien notwendig.
- Ordnungsrechtliche Fragen, etwa Überprüfung der Straßenverkehrsordnung oder Führerscheinregelungen, Sicherheitsstandards z.B. bei Rettungs- und Bergungsfragen (Crashverhalten oder Hochvoltproblematik in Fahrzeugen);

Als Anwendungsszenarien für Flottenversuche sind dabei nicht nur Logistikketten des Wirtschaftsverkehrs oder Abläufe eines öffentlichen Verkehrsunternehmens bzw. gewerblichen Flottenbetreibers, sondern vor allem auch privat genutzte Fahrzeuge zu betrachten.

Demonstrationen und Feldtests sind somit ein wesentlicher Schritt der Marktvorbereitung am Standort Deutschland. Dabei ist darauf zu achten, dass von den Betreibern der Feldversuche konkrete Schritte für die Phase nach den Demonstrationen und Feldtests sowie Angaben zur Nutzung nationaler Wertschöpfungsketten vorgelegt werden. Mit der Schaffung von Modellregionen werden auch die Voraussetzungen für künftige Demonstrationen und Feldtests geschaffen, die den Anforderungen hinsichtlich Vergleichbarkeit und anderer Voraussetzungen für aussagekräftige Ergebnisse und Analysen erfüllen können.

Die Ergebnisse aus Feldtests sowie den begleitenden Untersuchungen werden auch als Entscheidungsgrundlage für die weitere Flankierung der Elektromobilität benötigt.

Normung und Standardisierung

Die Bundesregierung fördert privatwirtschaftlich organisierte Normungs- und Standardisierungsaktivitäten im Bereich Elektromobilität. Für die erfolgreiche Positionierung der deutschen Wirtschaft ist es wichtig, auch bei der Entwicklung technischer Lösungen im Zusammenhang mit Elektromobilität verstärkt auf Normung und offene Standards zu setzen. Mit der frühzeitigen Einbringung von technischen Regeln in den internationalen Kontext kann die Entwicklung nachhaltig in diesem Sinne beeinflusst werden.

Damit Elektromobilität nicht durch Ländergrenzen behindert wird und Produkte weltweit vertrieben werden können, bedarf es internationaler Normung und Standardisierung (z. B. bei Steckverbindungen, Anschlussleistungen oder Sicherheitsmaßnahmen). Als führende Exportnation muss Deutschland hier frühzeitig initiativ werden. Dabei sind langfristig internationale Normen anzustreben, die dem Warenaustausch dienen. Um dies zu bewerkstelligen, müssen die Arbeiten frühzeitig aus Deutschland so beeinflusst werden, dass die deutsche Wirtschaft davon profitieren kann. Hierfür sind auch schnell wirkende, innovationsfördernde Effekte der nationalen Standardisierung zu nutzen (Erarbeitung so genannter Spezifikationen). Dabei sind neben den technischen Schnittstellen auch Querschnittsaspekte wie Qualität, Sicherheit und Umwelt zu beachten.

Zentrale Herausforderungen für Standardisierungs- und Normungsaktivitäten sind u. a.:

- Schlüsselelement für den Erfolg der Elektromobilität ist der Energiespeicher. Normungs- und Standardisierungsrelevanz weisen hier bspw. die nötigen Sicherheitsanforderungen, die Leistungsfähigkeit und die Verschleißfestigkeit auf. Die daraus resultierenden Informationen über verfügbare Energiespeicher schaffen Markttransparenz.
- Standardisierte Komponenten und Schnittstellen bspw. innerhalb des künftigen Hochvolt-Netzes im Fahrzeug schaffen einen offenen Markt und reduzieren die Abhängigkeiten zwischen Marktteilnehmern. Standards mit Anforderungen und Leistungsmerkmalen für Systeme und Komponenten ermöglichen eine effiziente und Kosten senkende Einführung neuer Technologien.
- Ebenfalls ist auf Materialanforderungen, Messmethoden sowie Qualität und Qualitätssicherung einzugehen. Schließlich werden Standards für eine geeignete Mensch-Maschine-Schnittstelle (HMI) für die neuen Antriebskonzepte benötigt.
- Die Ladestationen sollten standardisiert und genormt sein. Hierzu gehören auch geeignete Zählertechniken und entsprechende Abrechnungssysteme, die noch zu entwickeln sind. Insbesondere künftige öffentliche Ladestellen sollten für jeden Stromlieferanten und jedes Fahrzeugmodell diskriminierungsfrei nutzbar sein. Es wäre nicht wünschenswert, wenn jeder Anbieter eine separate Infrastruktur von Ladestationen für seine Kunden schaffen müsste. Die Strombelieferung von Elektrofahrzeugen muss ebenso im Wettbewerb erfolgen können wie eine Strombelieferung der Haushalte.
- Auch die Integration der standardisierten Ladeschnittstelle in die Hard- und Softwarearchitektur des Fahrzeuges stellt eine wesentliche Herausforderung dar. Die Schnittstelle zwischen Ladestation und Energiespeicher ist hier ebenso entscheidend wie Aspekte der intelligenten Laststeuerung, Netznutzung/-stützung.
- Standardisierte Sicherheitsanforderungen für das Elektrofahrzeug (Crashtestverhalten; Rettungs- und Bergungsfragen) sind zu entwickeln.

Schließlich weisen auch geeignete Geschäftsmodelle Normungs- und Standardisierungsbedarf auf, um später bspw. bei der Vertragsgestaltung Transaktionskosten zu reduzieren. Für die Zuordnung und Abrechnung bezogener Leistungen müssen bei gleichzeitiger Berücksichtigung des Datenschutzes und der Privatsphäre der Kunden geeignete Konzepte standardisiert werden.

Arbeit und Qualifikation

Elektromobilität führt zu einem Wandel der Tätigkeiten vieler Beschäftigter, die heute in der Automobil- und Zuliefererindustrie arbeiten. Diese Arbeitsplatzeffekte sollen in enger Absprache mit den zuständigen Unternehmensverbänden und den Arbeitnehmervertretern analysiert werden. Eine wesentliche Voraussetzung dafür, dass Deutschland sein Ziel Leitmarkt der Elektromobilität zu werden erreichen kann, ist die Qualifikation und Weiterbildung der Beschäftigten in der Automobilindustrie, aber auch bei den Kfz-Werkstätten, Autohäusern und anderen Teilen des Automobilsektors.

Im Sinne eines proaktiven Handelns soll eine Ausbildungsinitiative gemeinsam mit der Industrie und den Arbeitnehmervertretern alle für die Elektromobilität relevanten Bereiche stärken:

- Ingenieurstudiengänge,
- Doktorandenprogramme,
- Stiftungslehrstühle,
- Forschungsschwerpunkte in Universitäten und Instituten,
- Gewerbliche Ausbildung bis zu Technikern und Meistern.

Ein weiterer Schwerpunkt muss auf der Fortbildung der schon heute in der Industrie tätigen Fachkräfte liegen. Hierdurch und durch die Konzentration zentraler Komponenten der Wertschöpfungskette in Deutschland, können der bevorstehende Strukturwandel sozialverträglich gestaltet und Arbeitsplätze erhalten und geschaffen werden.

Rohstoffverfügbarkeit

Einer der wichtigsten Rohstoffe im Bereich der Traktionsbatterien ist Lithium, für das eine große Spannbreite bei der Abschätzung der Vorräte existiert. Die Gesamtvorräte allein können jedoch nicht zur Bewertung der zukünftigen Lithium-Verfügbarkeit für Fahrzeugbatterien herangezogen werden, vor allem folgende zeitabhängige Faktoren sind zusätzlich zu berücksichtigen:

- Schnelligkeit eines möglichen Ausbaus der jährlichen Produktionskapazitäten von Lithiumkarbonat (2007 etwa 80.000 Tonnen),
- Möglichkeiten des Zugangs zu bekannten bzw. vermuteten Ressourcen,
- Entwicklung des Lithiumverbrauchs in Nicht-Automobilanwendungen, insbesondere für die Energieversorgung mobiler Kommunikationsendgeräte,
- Penetrationsraten von Hybrid-, Plug-In- und Elektrofahrzeugen in den Markt,
- zukünftige Rücklauf- und Recyclingquoten (siehe Kapitel 5.1.1).

Schon aufgrund der zu erwartenden Nachfrage in nicht automobilen Anwendungen lassen sich langfristige Engpässe in der Rohstoffverfügbarkeit nicht ausschließen. Dies wird verschärft, falls Elektrofahrzeuge weltweit größere Marktanteile gewinnen sollten. Dies betrifft nicht nur Lithium, sondern auch weitere, strategisch wichtige Metalle, wie z. B. Kupfer, Kobalt oder auch seltene Erden. Perspektivisch muss die Rohstoffverfügbarkeit gesichert werden. Die Bundesregierung wird die Industrie durch eine kohärente Rohstoffpolitik unterstützen. Zur Sicherung der Rohstoffverfügbarkeit können auch hohe Recyclingquoten beitragen.

Weitere Maßnahmen

Elektromobilität wird sich in Deutschland zu einem Leitmarkt entwickeln, wenn insbesondere folgende Maßnahmen ergriffen werden:

- Ein Markterfolg von Elektrofahrzeugen kann das tatsächliche Verbrauchsverhalten der Netznutzer in ihrer Gesamtheit verändern. Dies betrifft insbesondere die Lastspitzen im Netz und unter Umständen deren zeitliche Verschiebung. Sollte es in einzelnen Netzgebieten im Falle einer spürbaren Lasterhöhung infolge von Elektromobilität zu Netzengpässen kommen, sind geeignete marktkonforme Steuerungsmechanismen zu prüfen.

- Um eine kostengünstige Strombelieferung zu ermöglichen, bedarf es standardisierender Mechanismen zur Abwicklung der Stromeinspeisung. Ein Weg hierfür wäre, die für die Belieferung von Haushalten heute verwendeten Lastprofile an das besondere Verbrauchsverhalten anzupassen. Über geeignete (z.B. zeit- oder lastvariable) Tarife könnten Preissignale gesetzt werden, die den Verbraucher zu einem bestimmten Ladeverhalten anreizen, um den energiewirtschaftlichen Nutzen des Einsatzes von Elektrofahrzeugen zu optimieren. Die Verbraucher werden allerdings ausreichend Flexibilität fordern, jederzeit laden zu können. Würde ihnen diese verwehrt, würde die Markteinführung solcher Fahrzeuge behindert.
- Nutzervorteile wie z. B. Sonderfahrspuren, Sonderparkplätze und weitere bevorzugte Nutzungsrechte für Elektrofahrzeuge können sowohl für den privaten Nutzer als auch den gewerblichen Güterverkehr einen zusätzlichen Anreiz darstellen. Hierfür ist eine Kennzeichnung von Elektrofahrzeugen zu entwickeln.
- Beschaffungsrichtlinien für Behörden könnten dazu genutzt werden, dass der Staat beim Einsatz von Elektrofahrzeugen mit gutem Beispiel vorangeht.
- Zur Unterstützung der Markteinführung von Elektrofahrzeugen prüft die Bundesregierung im Rahmen des Nationalen Entwicklungsplans ein Marktanreizprogramm, das Anreize für den Absatz von 100.000 Elektroautos schafft. Das Programm soll Investitionsentscheidungen positiv beeinflussen, den Herstellern Planungssicherheit geben und den Absatz von Elektrofahrzeugen unterstützen.

Insgesamt werden sich Elektrofahrzeuge letztlich nur dann durchsetzen, wenn die Entwicklung ihrer Gesamtkosten inklusive Infrastruktur die Gewähr dafür bietet, dass im Wettbewerb keine dauerhaften Subventionen erforderlich sind.

5.3 Nationale und internationale Zusammenarbeit

Zusammenarbeit von Politik, Wissenschaft und Industrie

Mit den Maßnahmen unter Ziffer 9 des zweiten Konjunkturpakets knüpft die Bundesregierung kurzfristige konjunkturelle Hebel an das mittel- und langfristige industriepolitische Ziel der Entwicklung Deutschlands zum Leitmarkt für Elektromobilität. Sie ist bereit, in den kommenden zehn Jahren Förderprogramme aufzulegen, Anreizsysteme zu schaffen und ordnungsrechtliche Maßnahmen zu ergreifen, die diese Entwicklung unterstützen. Zugleich erwartet sie auch von der Industrie weit über das Jahr 2010 hinausreichende Zusagen, die Marktvorbereitung und Markteinführung im Bereich Elektromobilität voranzutreiben. Die Umsetzung des *Nationalen Entwicklungsplans Elektromobilität* erfordert daher von Anfang an eine enge Abstimmung zwischen Politik, Industrie und Forschung. Dazu können folgende Maßnahmen ins Auge gefasst werden:

- Die Fortschreibung und Begleitung der Umsetzung des *Nationalen Entwicklungsplans Elektromobilität* ist Aufgabe des *Ressortkreises Elektromobilität* (BMWi, BMVBS, BMU, BMBF).
- Um eine effiziente Umsetzung des *Nationalen Entwicklungsplans Elektromobilität* sicher zu stellen, ist ein enger Abstimmungsprozess zwischen allen beteiligten Akteuren notwendig. Hierzu ist eine *Nationale Plattform Elektromobilität* zu etablieren, die sich aus

Vertretern der Politik, der Industrie und Wissenschaft, der Kommunen sowie der Verbraucher zusammensetzt und die Einrichtung aufgabenbezogener Arbeitsgruppen ermöglicht.

- Zur Unterstützung der Bundesregierung wird eine Koordinierungsstelle eingerichtet, die zunächst die Aufgabe hat, die Zusammenarbeit der Projektträger sicherzustellen.
- Evaluierungsprozesse: Nach Abschluss der Fördermaßnahmen sollte im Jahr 2011 vor dem Hintergrund der Ergebnisse der Projekte des *Konjunkturpakets II* durch die Bundesregierung eine Neubewertung der Ziele vorgenommen werden. Ein weiterer Evaluierungsschritt bietet sich etwa zur Mitte der Laufzeit an, d. h. im Jahr 2015.
- Internationale Konferenz Elektromobilität: Um die Entschlossenheit von Politik, Industrie und Forschung zu einer internationalen Führungsrolle bei der Elektromobilität zu demonstrieren und für die Wettbewerbsfähigkeit Deutschlands im internationalen Umfeld nutzbar zu machen, soll auf Einladung der Bundesregierung 2010 eine Internationale Konferenz Elektromobilität stattfinden. Ziel ist auch die Verzahnung der Umsetzungsschritte des Nationalen Entwicklungsplans mit dem weltweiten Geschehen.

Zusammenarbeit in Europa

Aus der Sicht der Bundesregierung ist zum Erreichen der Ziele des *Nationalen Entwicklungsplans Elektromobilität* eine kohärente Entwicklung von Roadmaps, Technologien, Infrastrukturen, Märkten, Normen und Standards sowie Rahmenbedingungen für die Elektromobilität erforderlich. Daher sind die Maßnahmen in Deutschland so früh wie möglich mit den Programmen in den europäischen Nachbarstaaten und der Europäischen Kommission zu verzahnen. Auch seitens der Europäischen Kommission wird aus Effizienzgründen eine Harmonisierung angestrebt und die Green Cars Initiative als Public-Private Partnership von Industrie, Mitgliedsstaaten und Kommission aufgefasst. In diesem Zusammenhang erwachsen der Bundesregierung bei der Umsetzung des Nationalen Entwicklungsplans folgende Aufgaben:

- Beobachtung der Aktivitäten der europäischen Nachbarstaaten und der Europäischen Union bei der Förderung der Entwicklung von Technologien, Infrastrukturen, Normen und Standards sowie Rahmenbedingungen für die Elektromobilität und Bewertung vor dem Hintergrund der Ziele und Maßnahmen des Nationalen Entwicklungsplans.
- Mitgestaltung europäischer Roadmaps, Maßnahmen und Programme bei der Elektromobilität durch strategische Nutzung der Mitbestimmungsmöglichkeiten bei der Europäischen Kommission und in anderen Beratungsgremien, z.B. den Europäischen Technologieplattformen.
- Abstimmung von Förderprogrammen in Deutschland mit denen der Europäischen Kommission.
- Bilaterale Abstimmung von politischen Positionen und gemeinsame Auflage von Programmen zur Elektromobilität zwischen Deutschland und einzelnen Nachbarstaaten.
- Information von Akteuren aus Industrie und Wissenschaft über Förderprogramme der Europäischen Kommission und Kreditprogramme der Europäischen Investitionsbank sowie Beantwortung von Anfragen und Beratung bei der Antragstellung.

Bei der Umsetzung des *Nationalen Entwicklungsplans Elektromobilität* sollen Instrumente geschaffen bzw. bestehende Instrumente (z.B. ERA-Netze) genutzt werden, mit denen diese Aufgaben ressortabgestimmt aus einer Hand erledigt werden.

6. Ausblick

Der Aufbruch in eine neue Ära der individuellen Mobilität hat begonnen. Noch stehen wir auf dem Weg zur Elektromobilität am Anfang. Die im Rahmen des Konjunkturprogramms II beschlossenen Maßnahmen zur Forschung, Entwicklung und Marktvorbereitung werden dabei als Initialzündung wirken. Sie sollen der Industrie und Wirtschaft mit einem Bündel von zielgerichteten Fördermaßnahmen Know-how und Exzellenz im Innovationsfeld Elektromobilität sichern und den Wirtschaftsstandort Deutschland damit auf den weltweiten Wettbewerb in der Phase der Kommerzialisierung vorbereiten.

An diese Startphase wird sich eine Phase des Markthochlaufs anschließen, an deren Ende Deutschland zu einem Leitmarkt der Elektromobilität entwickelt sein soll.

Um dieses Ziel zu erreichen, müssen parallel zu den drei Phasen Marktvorbereitung, Markthochlauf und Volumenmarkt (s. Tabelle) intensive Anstrengungen im Bereich Forschung und Entwicklung erfolgen, um Deutschland dauerhaft zu einem technologischen Vorsprung zu verhelfen und um so eine wesentliche Voraussetzung für die Etablierung eines Leitmarktes zu erfüllen. Notwendig sind insbesondere FuE-Maßnahmen in den Bereichen Energiespeicher (Batterien), Fahrzeugtechnik, System- und Netzintegration sowie Rohstoffverfügbarkeit.

Hierzu ist es erforderlich, dass die Aktivitäten in den kommenden Jahren unter dem Vorbehalt der geltenden Finanzplanung bis 2012 und der politischen Entscheidungen in der nächsten Legislaturperiode weiterentwickelt werden, um die spätere Phase des Markthochlaufs politisch zu flankieren. Dabei werden sich die notwendigen Handlungsschwerpunkte naturgemäß verschieben, aber es ist wichtig, die Entwicklung des Leitmarktes Elektromobilität von Beginn an längerfristig anzulegen (siehe Tabelle), um den Akteuren Planungssicherheit zu geben.

Während für die Phase der Marktvorbereitung Umsetzungsplan und Meilensteine durch die Maßnahmen des Konjunkturpakets II definiert sind, ist zur Präzisierung und weiteren Ausgestaltung des Markthochlaufs ein permanenter Abstimmungsprozess zwischen Politik, Industrie und Forschung und Gesellschaft notwendig, der durch die Etablierung einer *Nationalen Plattform Elektromobilität* sichergestellt werden soll. Nur so wird es gelingen, die Phase des Markthochlaufs gemeinsam mit allen involvierten Akteuren zu gestalten und Deutschland eine Führungsrolle im Bereich der Elektromobilität zu sichern. Die nachfolgende Tabelle stellt – beginnend mit der Marktvorbereitung – wichtige Etappen auf dem Weg Deutschlands zum Leitmarkt Elektromobilität dar.

Der Weg zum Leitmarkt Elektromobilität

	Phase 1 (2009 - 2011) **Marktvorbereitung**	**Phase 2 (2011 – 2016)** **Markthochlauf**	**Phase 3 (2017 – 2020)** **Volumenmarkt (Ziel: Leitmarkt Elektromobilität)**
Forschung und Entwicklung	FuE ist in allen Phasen in den Bereichen Batterien/Doppelschichtkondensatoren, Fahrzeugtechnik und Infrastruktur/Netzintegration von besonderer Bedeutung.		
Batterien und Doppelschichtkondensatoren	• Forschung und Entwicklung sowie Produktionsanlauf von Li-Ionen-Batterien der 1. Generation • Forschung und Entwicklung (FuE) an Li-Ionen-Batterien der 2. Generation und an Doppelschichtkondensatoren	• Demonstration und Feldtests Li-Ionen-Batterien und Doppelschichtkondensatoren • Massenproduktion von Li-Ionen-Batterien der 1. Generation • Produktionsanlauf von Li-Ionen-Batterien der 2. Generation u. von Doppelschichtkondensatoren • FuE an Li-Ionen-Batterien der 3. + 4. Generation	• Massenproduktion von Li-Ionen-Batterien der 2. Generation und von Doppelschichtkondensatoren • Produktionsanlauf von Li-Ionen-Batterien der 3. Generation • Fortsetzung von FuE an Li-Ionen-Batterien und an alternativen Speichertechnologien
Fahrzeugtechnik	• Fertigung von PHEV und BEV auf Basis bestehender Fahrzeugplattformen als Prototypen • Antriebstechnologien (Motoren / Wandler) angepasst an Leistungsklasse, Bauraum, Sicherheit und Zuverlässigkeit • FuE für elektrische, elektronische und	• Herstellung von PHEV und BEV auf Basis bestehender Plattformen durch alle OEMs in Kleinserie • Serienreife der Plattform des PHEV / BEV der 2. Generation • FuE für kostengünstige Antriebstechnologien und Fahrzeugkomponenten für	• Massenfertigung von PHEV / BEV der 2. Generation • Fertigung von BEV PHEV höherer Leistungsklassen

	mechanische Fahrzeugkomponenten für PHEV und BEV	Plattformen der 2. Generation	
Infrastruktur	• Forschung und Entwicklung von neuen Komponenten • Test- und Simulationseinrichtungen zur Erprobung der Netzeinbindung • Erste öffentliche Ladestationen • Studien und Demonstrationen zur Kopplung mit erneuerbaren Energien	• Ladeinfrastruktur in vielen Städten und Regionen • Forschung, Entwicklung sowie Ersterprobung der Netzeinbindung (Lastmanagement) • Kopplung mit erneuerbaren Energien • Entwicklung fortgeschrittener Lade- und Energieübertragungssysteme	• Feldtests kompletter Systeme unter Realbedingungen • Flächendeckende Ladeinfrastruktur • Netzeinbindung und Rückspeisung • Ersterprobung der Schnell-Ladung, kontaktlose Energieübertragung
Rahmenbedingungen	• Sicherheitsstandards • Ordnungspolitischer Rahmen • Normung von Schnittstellen	• Nutzung der Beschaffungsrichtlinien für die öffentliche Hand • Prüfung von Anreizsystemen	
Marktentwicklung	• Einsatz in Flottenversuchen	• Erste private Nutzer • Geschäftsmodelle für Laden, Rückspeisen und Batterien	• 1 Million Elektrofahrzeuge auf Deutschlands Straßen im Jahr 2020 • Deutschland ist Leitmarkt für Elektromobilität

Elektromobilität muss Bestandteil integrierter Mobilitätskonzepte sein. Es kommt darauf an, die Nutzer von Anfang an mit veränderten Mobilitätsangeboten vertraut zu machen. Die offensichtlichen Einsatzpotentiale von reinen Elektro-Fahrzeugen (Pkw, Transporter, Zweirad) legen einen Ersteinsatz in Ballungsräumen bzw. bestimmten Clustern nahe. Zudem liegen im Sinne einer Langfriststrategie in den Ballungsräumen die größten Verkehrsaufkommen und erschließbaren Kundenpotentiale. Nur ein ganzheitlicher Ansatz einschließlich der Gestaltung der Rahmenbedingungen stellt sicher, dass Elektromobilität bei den Kunden auf Dauer Akzeptanz findet.

Um im internationalen Wettbewerb zu bestehen, muss Deutschland zum Leitmarkt Elektromobilität werden und die Führungsrolle der Wissenschaft sowie der Automobil- und Zulieferindustrie behaupten. Die Bundesregierung strebt daher das ambitionierte Ziel an, dass bis 2020 eine Million Elektrofahrzeuge auf Deutschlands Straßen fahren und wichtige Ballungsgebiete über eine flächendeckende Ladeinfrastruktur verfügen. Eine Mio. Fahrzeuge sind

erst der Anfang, aber bereits das Fundament einer sich selbst tragenden Struktur. Damit können bereits wichtige Beiträge zu Klimaschutz, zu verbesserter Netzintegration von erneuerbaren Energien und zu einer Verminderung lokaler Emissionen erreicht werden. Im Jahr 2030 können es über fünf Millionen Fahrzeuge sein. Bis 2050 kann der Verkehr in Städten überwiegend ohne fossile Brennstoffe auskommen.

Der Weg zu einer weitgehend CO_2-freien Mobilität muss konsequent weiter gegangen werden. Die Bundesregierung wird hierzu im Rahmen des *Nationalen Entwicklungsplans Elektromobilität* und darüber hinaus alle notwendigen Anstrengungen unternehmen.

Anhang: Glossar

Eine **Anode** ist eine Elektrode, die Elektronen aus einem Elektrolyten oder dem Vakuum aufnimmt (und an der somit Oxidationsprozesse stattfinden). Als Bestandteil einer Batterie ist sie von negativer Polarität. Die positive Gegenelektrode heißt Kathode.

Der **Asynchronmotor** ist der heute am häufigsten verwendete Elektromotor. Bestehend aus Stator und „passivem" Läufer, kommt er ohne Bürsten und Schleifkontakte aus und ist somit sehr verschleißarm. Zur Regelung seiner Drehzahl werden Frequenzumrichter eingesetzt. Diese liegt bauartbedingt immer um einige Prozentpunkte (um den sog. Schlupf) unterhalb der des am Stator angelegten Drehfelds, bzw. unterhalb der zugehörigen Synchron-Drehzahl (daher der Name „Asynchron"-Motor). Er kann im übrigen auch als Generator eingesetzt werden.

Batterieklimatisierung dient dazu, die Temperaturdifferenz zwischen einzelnen Zellen in bestimmten Grenzen zu halten (i. d. R. unter 5K). Erforderlich ist dies bei Batterien, die aus sehr vielen Einzelzellen aufgebaut sind (per „packaging"), da sich die innen liegenden Zellen (wegen der geringeren Wärmeabfuhr) stärker aufheizen. Die Klimatisierung erfolgt i. d. R durch einen Lüfter. Zur Messwerterfassung sind einzelnen Zellen mit Temperatursensoren ausgestattet.

Aufgabe eines **Batteriemanagementsystems** ist es, für einen Temperaturausgleich zwischen den einzelnen Modulen zu sorgen, die Zellenspannung innerhalb zulässiger Grenzen zu halten, Lade- und Entladeprozess im vorgeschriebenen Rahmen zu halten und mittels Strombegrenzung einen Tiefentladungsschutz zu gewährleisten. Hierzu es erforderlich, für die genannten physikalischen Größen in vorgegebenen Intervallen Messdaten zu erfassen.

Eine **Brennstoffzelle** ist eine galvanische Zelle, welche die chemische Reaktionsenergie eines kontinuierlich zugeführten Brennstoffes und eines Oxidationsmittels in elektrische Energie wandelt. Diese Wandlung erfolgt direkt, also nicht über den Zwischenschritt der Gewinnung thermischer Energie. Bisher erzielte Wirkungsgrade übersteigen den von Otto- und Dieselmotoren und erreichen (oder überschreiten geringfügig) den moderner Gasturbinen. Häufige Bauart ist die Wasserstoff-Sauerstoff-Brennstoffzelle.

BEV steht für „battery electric vehicle", also für ein batteriebetriebenes Elektrofahrzeug. Dabei meint dieser Begriff ein Fahrzeug mit Elektroantrieb, das *rein* batteriebetrieben ist (also nur die Batterie als Energiequelle nutzt) – im Gegensatz zu hybriden Antriebskonzepten, bei denen beispielsweise zusätzlich ein Verbrennungsmotor genutzt wird (sei es für Antriebszwecke, sei es zum Aufladen der Batterie).

CCS wird als Abkürzung für „carbon-dioxid capture and storage" verwendet, also für die Abscheidung von CO_2 in einem Kraftwerksprozess und dessen anschließende Speicherung in geologischen Strukturen.

Die **europäischen CO_2-Flottenzielwerte** (Verordnung Nr. 443/2009 vom 23. April 2009) besagen, dass der durchschnittliche CO_2-Ausstoß bei Neuwagen in der EU bis zum Jahr 2015 auf 130 Gramm CO_2 pro Kilometer gesenkt werden sollen. Diese Absenkung soll stufenweise erfolgen (z. B. bis 2012 sollen 65 Prozent der Neuwagen die Vorgaben der Verordnung erfüllen). Weitere 10 Gramm pro Kilometer sollen durch andere technische Verbesserungen und einen erhöhten Einsatz von nachhaltigen Biokraftstoffen eingespart werden.

Doppelschichtkondensatoren sind zwischen den klassischen Kondensatoren und den Akkus anzusiedeln. Sie können als Energiespeicher (elektrostatische anstatt elektrochemische) eingesetzt werden. Ihr Speichervermögen ist zwar deutlich geringer als das von Batterien bzw. Akkus, aber sie können die jeweiligen Energiemengen in wesentlich kürzerer Zeit aufnehmen bzw. abgeben.

Downsizing bedeutet den Umfang einer materiellen Ausstattung zu verringern unter Beibehaltung der bisherigen Leistungsfähigkeit. Letzteres wird dabei oftmals durch Effizienzsteigerungen aus Synergieeffekten erleichtert, die sich bei der Verkleinerung einzelner Bauteile innerhalb eines Systems ergeben, da dann häufig auch andere Bauteile verkleinert werden können, damit das Gesamtgewicht sinkt, usw.

Effizienz des Energietransports „von der Herstellung bis zum Rad“ meint den Gesamtwirkungsgrad, der sich ergibt von der Erzeugung der Energie aus den jeweiligen Primärenergieträgern (fossiler oder erneuerbarer Art, in stationären Anlagen oder Verbrennungsmotor eines Fahrzeugs) bis zur Umsetzung in mechanische Energie an den Antriebsrädern eines Kraftfahrzeugs. Diese Betrachtung berücksichtigt somit die Gesamtheit der Umwandlungsverluste und gibt somit Aufschluss über die energetische Gesamteffizienz eines Kraftfahrzeug-Antriebskonzepts.

Elektrochemie ist ein Teilgebiet der Physikalischen Chemie, welches sich mit dem Zusammenhang zwischen elektrischen und chemischen Vorgängen befasst. Elektrochemische Reaktionen laufen in galvanischen Zellen ab, beispielsweise in Akkumulatoren oder Brennstoffzellen.

Der **Elektrofahrzeug-Großversuch auf Rügen** wurde 1992 bis 1996 im Auftrag des BMBF durchgeführt – mit dem Ziel, die Potenziale der Elektromobilität zu testen. Er umfasste 60 Fahrzeuge, die konventionell ausgelegt waren (nur auf Elektroantrieb umgerüstet). Dieser Umstand sowie insbesondere die geringe Leistungsfähigkeit der damals verfügbaren elektrischen Energiespeicher führten zu einem negativen Ergebnis, sowohl hinsichtlich Praxistauglichkeit als auch hinsichtlich erzielbarer ökologischer Vorteile.

Ein **Elektrolyt** ist ein (zumeist flüssiger) Stoff, der beim Anlegen einer Spannung unter dem Einfluss des dabei entstehenden elektrischen Feldes elektrischen Strom leitet. Seine elektrische Leitfähigkeit und der Ladungstransport beruht auf der gerichteten Bewegung von Ionen.

Elektromagnetische Verträglichkeit definiert sich gemäß der Europäische EMV-Richtlinie als die Fähigkeit eines Apparates, einer Anlage oder eines Systems, in der elektromagnetischen Umwelt zufrieden stellend zu arbeiten, ohne dabei selbst elektromagnetische Störungen zu verursachen, die für alle in dieser Umwelt vorhandenen Apparate, Anlagen oder Systeme unannehmbar wären.

Energiedichte bezeichnet die Energiemenge, die pro Masseneinheit oder pro Volumeneinheit einer Batterie gespeichert werden kann (in ersterem Falle gemessen in kJ pro kg oder kWh pro kg).

Als **Erzeugungsspitze** wird eine überdurchschnittlich hohe Stromproduktion von im allgemeinen fluktuierenden Energieerzeugern bezeichnet. Beispiele hierfür sind Photovoltaik-Anlagen bei hoher Sonnenstrahlung oder die Stromerzeugung von Windkraftanlagen bei Windböen.

Die **EU-Batteriedirektive** (September 2006) regelt die Herstellung und Entsorgung von Batterien innerhalb der Europäischen Union. Für besonders gefährliche Inhaltsstoffe werden dabei Höchstgrenzen festgesetzt (sofern sie nicht ganz verboten werden), Anforderungen an geeignete Entsorgungsverfahren werden festgelegt und Vorgaben hinsichtlich der weiteren Gesetzgebung, beispielsweise hinsichtlich Beschriftung und Kennzeichnung, werden gemacht.

Fahrerassistenzsysteme (Advanced Driver Assistance Systems – ADAS) sind elektronische Zusatzeinrichtungen in Kraftfahrzeugen zur Unterstützung des Fahrers in bestimmten Fahrsituationen. Hierbei stehen oft Sicherheitsaspekte, aber auch die Steigerung des Fahrkomforts oder der Umweltverträglichkeit (z.B. im Rahmen eines zentralen Energiemanagements) im Vordergrund.

Fluktuierende Energieeinträge bezeichnet eine Energieeinspeisung, die von ihrer Höhe her im zeitlichen Verlauf starken Schwankungen unterworfen ist. Dies ist beispielsweise bei Wind- und (abhängig von der Klimazone) bei Sonnenenergie der Fall.

Ein **Geschäftsmodell** besteht allgemein aus den drei Hauptkomponenten Nutzenversprechen (value proposition), Architektur der Wertschöpfung und Ertragsmodell. Im Bereich der Energieversorgung von Elektrofahrzeugen bestehen zahlreiche Freiheitsgrade zur Gestaltung solcher Modelle, abhängig davon ob der Fahrzeughalter die Batterie kauft oder nur least, ob der Energie-Provider gegebenenfalls Batterie-Kaufzuschüsse gewährt unter Vereinbarung von Stromabnahmeverpflichtungen zu definierten Tarifen, etc.

Grid Parity (auf deutsch: Netz-Gleichwertigkeit) ist erreicht für den Fall, dass Strom aus alternativen Energiequellen zu den gleichen Kosten hergestellt bzw. zu den gleichen Preisen angeboten werden kann, wie der reguläre (aus konventionellen Quellen stammende) Netzstrom

Hochtemperaturbatterie bezeichnet eine Batterie, deren erforderliche Betriebstemperatur deutlich über den normalen Umgebungstemperaturen liegt. Bekanntester Vertreter dieses Typs ist die „Zebra“-Batterie, eine wieder aufladbare Natrium-Nickelchlorid-Batterie. Ihre Arbeitstemperatur liegt bei ca. 300° Celsius.

HEV steht für „hybrid electric vehicle”, somit für ein Fahrzeug, das einen konventionellen verbrennungsmotorischen Antrieb mit einem elektromotorischen Antrieb – gespeist von einer wieder aufladbaren Batterie – kombiniert. Falls die elektrische Komponente nur einen kleinen Anteil am Antriebskonzept hat, spricht man von einem „Mild Hybrid“.

Hysterese bezeichnet allgemein einen Verharrungszustand, dessen Wirkung auch nach dem Wegfall der Energiezufuhr andauert. Solche Effekte sind auch beim Ummagnetisieren ferromagnetischer Materialien (magnetische Hysterese) oder beim Laden/Entladen von Batterien zu beobachten. Die zu ihrer Überwindung einzusetzende Energie schlägt i. d. R. als Verlust zu Buche.

Eine **Kathode** ist eine Elektrode, die Elektronen an einen Elektrolyten oder das Vakuum abgibt (und an der somit Reduktionsprozesse stattfinden). Als Bestandteil einer Batterie ist sie von positiver Polarität. Die negative Gegenelektrode heißt Anode.

Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) bezeichnet die gleichzeitige Gewinnung von mechanischer Energie zur Stromerzeugung und nutzbarer Wärme (für Heizzwecke oder Produktionsprozesse), wie es zentral in Heizkraftwerken oder dezentral in Blockheizkraftwerken (BHKW)

geschieht. Ergebnis sind deutlich höhere Wirkungsgrade (bis zu 90%) hinsichtlich der eingesetzten Primärenergie und eine deutliche Verringerung der an die Umwelt abzuführenden Abwärme.

Leistungsdichte bezeichnet „Leistung pro Masse“ oder „Leistung pro Volumen“ und stellt eine wichtige Kenngröße für elektrische Energiespeicher dar. Sie beschreibt den Energiedurchsatz pro Zeiteinheit, bezogen auf Masse oder Volumen (im Gegensatz zur Energiedichte, die die entsprechende Energiemenge beschreibt). Bei Elektrofahrzeugen hat sie somit wesentlichen Einfluss auf das erzielbare Beschleunigungsverhalten.

Leistungselektronik bezeichnet das Teilgebiet der Elektrotechnik, welches die Umformung elektrischer Energie mit elektronischen Bauelementen zur Aufgabe hat.

Leitmarkt bezeichnet einen Markt, der künftige Nachfragetrends frühzeitig bedient – der Leitfunktion hat, weil dort innovative Konzepte früher als andernorts in marktverfügbare Produkte und Leistungen umgesetzt (und von den Nachfragern akzeptiert) werden. Dies dient den beteiligten industriellen Branchen als Grundlage zur Schaffung von Wettbewerbsvorteile, insbesondere in internationaler oder globaler Hinsicht.

Die **Lithium-Ionen-Batterie** (kurz: Li-Ion) zeichnet sich durch eine sehr hohe Energiedichte aus. Sie gilt als thermisch stabil, liefert weitgehend konstante Spannung im Entladezeitraum und unterliegt nahezu keinem Memory-Effekt. Die Energiespeicherung beruht auf der Einlagerung von Lithium-Ionen (Li+) in die Schichtgitter der Kathode (z.B. aus Graphit). Weitere wesentliche Bestandteile sind Anode (z. B. aus Lithium-Metall-Oxiden), Elektrolyt (wasserfrei) und Separator (aus Polymer oder Keramik). Alle Bestandteile sind derzeit in intensiver Weiterentwicklung begriffen.

Bei der **Magnesium-Batterie** wird eine spezielle Magnesium-Legierung als Anode eingesetzt, die Kathode besteht aus einer Molybdänsulphid-Verbindung, der Elektrolyt hat Gelartige Konsistenz. Die Batterie wurde entwickelt, um giftige Metalle wie Blei oder Cadmium abzulösen. Ihre Energiedichte ist deutlich geringer als die von Li-Ion-Batterien.

Bei **Metall-Luft-Batterien** wird in alkalischem Elektrolyt das Anodenmetall (z.B. Eisen, Aluminium oder Zink) oxidiert, während an der katalytischen Kathode Luftsauerstoff mit Wasser zu Hydroxidionen umgesetzt wird. Einer breiten industriellen Herstellung wieder aufladbarerer Systeme stehen derzeit noch technische Probleme bei der Herstellung einer geeigneten Kathode entgegen. Als besonders zukunftsträchtig gilt die Zink-Luft-Batterie (mit Zink als Anodenmaterial).

Ein **Multimodales Verkehrsystem** basiert auf der komplementären Nutzung der einzelnen Verkehrsarten, wie Schienen-, See- und Straßentransport. Es ist darauf ausgerichtet, diese entsprechend ihrer spezifischen Vorteile und Nachhaltigkeitsaspekte zu nutzen und zu einem Gesamtsystem zu integrieren.

Netzintegration bezeichnet den Vorgang, elektrische Energie aus externen Quellen in das reguläre Stromnetz einzuspeisen – in einer Weise, dass die Stabilität dieses Netzes (hinsichtlich Spannung, Frequenz, etc.) nicht beeinträchtigt wird. Insbesondere bei fluktuierenden Energieeinträgen (wie bei vielen Erneuerbaren Energien der Fall) bedarf es hierfür gesonderter Konzepte.

PHEV steht für “plug-in hybrid electric vehicle”, also einem Fahrzeug, das einen verbrennungsmotorischen mit einem elektromotorischem Antrieb kombiniert und dessen Batterie aus

dem allgemeinen Stromnetz („plug-in“, also per Stecker) aufgeladen werden kann (im Gegensatz zum normalen HEV, dessen Batterie nur vom Verbrennungsmotor bzw. per Rekuperation aufgeladen wird).

Als **Primärenergie** bezeichnet man die von der Natur zur Verfügung gestellten Energieformen, insbesondere in Form fossiler Energieträger (Kohle, Erdöl und Erdgas) sowie regenerativer Energiequellen (Sonnenstrahlung, Wind, usw.). Den Gegensatz bildet Sekundärenergie – diese wird durch (verlustbehaftete) Umwandlungsprozesse aus Primärenergie hergestellt.

Als **Range Extender** bezeichnet man Aggregate, die dazu geeignet sind, die Reichweite von Elektrofahrzeugen über die aus der eingebauten Batterie resultierende Reichweite hinaus zu erhöhen. Hierzu kommen insbesondere Verbrennungsmotore und Brennstoffzellen in Betracht.

Recycling beschreibt allgemein den Vorgang, Abfall so aufzubereiten, dass er als Sekundär-Rohstoff wieder in den Produktionsprozess einfließen kann. Auf dem Gebiet der Elektromobilität ist insbesondere das Recycling von Rohstoffen begrenzter Verfügbarkeit oder hoher Gewinnungskosten von Relevanz. Hierzu zählen beispielsweise zahlreiche im Bereich der Energiespeicher eingesetzte Metalle (Lithium, Kobalt, etc.), aber auch die Leitsalze der verwendeten Elektrolyte.

Redox-Flow-Batterien bestehen aus zwei flüssigen Elektrolyten, die durch eine Membran getrennt sind und in externen Tanks gelagert werden – wodurch eine Entkopplung von Leistung (Membran) Kapazität (Tankinhalt) erleichtert wird. Die eigentliche Energiespeicherung erfolgt in chemischen Verbindungen (mittels Reduktion und Oxidation), analog zu klassischen Akkumulatoren. Ihr Vorteil liegt u. a. in der Möglichkeit einer schnellen Aufladung durch Flüssigkeitsaustausch („Betankung“). Auf Basis ihrer derzeitigen Leistungsdichte gilt sie allerdings mehr für stationäre als für mobile Anwendungen geeignet.

Als **regenerative Energiequellen** bezeichnet man die Quellen der nachhaltigen, sich stetig erneuernden Energien. Hierzu zählen insbesondere Solarthermie und Photovoltaik, Wasserkraft, Windenergie, Geothermie und Bioenergie

Ein **regeneratives Kombikraftwerk** verknüpft mehrere auf verschiedenen regenerativen Energieträgern – wie Wind, Sonne, Biomasse, etc. – beruhende Anlagen zur Stromerzeugung. Hinzu treten entsprechende Energiespeicher und eine IKT-basierte Regelung. Zielsetzung ist, im Rahmen dieses Verbunds die Leistungsfähigkeit und Zuverlässigkeit herkömmlicher Großkraftwerke zu erreichen.

Unter **Rekuperation** versteht man die Rückgewinnung von Bremsenergie. In Elektrofahrzeugen geschieht dies zumeist durch Umschaltung des Antriebsmotors auf Generatorbetrieb, mit Rückspeisung der Energie in die Fahrzeugbatterie. Aufgrund von Wandlungsverlusten können dabei nur Teile der Bremsenergie zurück gewonnen werden.

Als **Separator** bezeichnet man in Lithium-Ionen-Batterien die Trennschicht zwischen Anode und Kathode. Sie ist als Membran aufgebaut, die nur für bestimmte Stoffe, wie z.B. Ionen (Li+), durchlässig ist. Sie bestehen i. d. R. aus Polymeren oder aus keramischen Materialien.

Ein **Smart Grid** bezeichnet ein „intelligentes Stromnetz“, das moderne Informations- und Kommunikationstechnik einsetzt, beispielsweise zur Integration dezentral erzeugter Energie, zur Optimierung des Lastmanagements oder ggf. zum kundenseitigen Energiemanagement

Unter **Smart Meter** versteht man einen intelligenten, mit Zusatzfunktionen ausgestatteten, elektronischen Stromzähler. Als Zusatzfunktion kann dabei auch die Fähigkeit implementiert werden, den Energieabruf zu steuern oder an übermittelte Begleitinformationen zu koppeln, wie beispielsweise die aktuelle Verfügbarkeit von Windenergie (was die gezielte Betankung von Elektrofahrzeugen mit Strom aus Regenerativen Energien ermöglicht)

Der **Strommix** gibt an, zu welchen Anteilen der Strom aus den einzelnen Primärenergieträgern erzeugt worden ist – also aus den einzelnen fossilen Rohstoffen (Kohle, Erdöl und Erdgas), aus Atomenergie und aus Erneuerbaren Energien.

Der **Synchronmotor** besteht aus einem konstant magnetisierten Läufer und einem umgebenden Stator, an den ein Drehfeld angelegt ist. Zur Regelung seiner Drehzahl werden Frequenzumrichter eingesetzt, wobei sich eine zum angelegten Drehfeld synchrone Drehzahl einstellt (daher der Name „Synchron"-Motor). Er eignet sich daher für Anwendungen, bei denen eine stabile Drehzahl erforderlich ist – Nachteile sind allerdings ein schwieriger Selbstanlauf und oftmals das Auftreten unerwünschter Drehschwingungen. Im übrigen kann er auch als Generator betrieben werden.

Systemintegration beschreibt den Prozess, aus einzelnen technischen Komponenten ein funktionsfähiges Gesamtsystem aufzubauen.

UCTE-Verbund bezeichnet das europäische Stromverbundnetz, das von der UCTE – Union for the Co-ordination of Transmission of Electricity (Union für die Koordinierung des Transports von Elektrizität) koordiniert wird. Die UCTE befasst sich auch mit der Weiterentwicklung der Regeln zum sicheren Betrieb der Netze und Kraftwerke.

V2G (Vehikel to Grid) -Konzepte sehen vor, die Batterien von Elektrofahrzeugen als Netzpuffer einzusetzen, also bei Bedarf Energie aus den Elektrofahrzeugflotten zurück ins Netz zu speisen. Dies kann im Sinne eines effektiven Last- und Speichermanagement sinnvoll sein, beispielsweise um Fluktuationen aus den Energieeinträgen Erneuerbarer Energien auszugleichen.

Well-to-Wheel steht für den ganzheitlichen Ansatz der Gesamtkette von der Kraftstoffbereitstellung bis zur Verwendung in Fahrzeugen. „Well" steht für „Bohrloch" und lehnt sich somit an die klassische Bereitstellungskette für fossilen Kraftstoff an. Wheel" (Rad) steht hierbei für die Verwendung des Kraftstoff im Fahrzeug bis hin zur Bewegung der Reifen.

Der **Wirkungsgrad** ist ein Parameter für die Effektivität der Umwandlung einer Energieform in eine andere. Er ist gewöhnlich mit dem griechischen Buchstaben "Eta" gekennzeichnet. Mathematisch beschrieben wird er als Verhältnis von abgegebener zu aufgenommener Leistung (in Prozent).

Die **Zebra-Batterie** ist eine wieder aufladbare Hochtemperaturbatterie (benannt nach dem Lieblingstier des Entwicklers). Sie basiert auf Natrium-Nickelchlorid, mit den Reaktanden Natriumchlorid (Kochsalz) und Nickel. Die Trennung der verschiedenen Ionen erfolgt durch eine semipermeable Keramikwand. Hinsichtlich mobilen Einsatzes verfügt sie über einige günstige Eigenschaften (Energiedichte, Zyklenfestigkeit), ihr Einsatz wird aber durch die Erfordernis der hohen Betriebstemperatur (ca. 300° Celsius) deutlich erschwert.

Zyklenfestigkeit bezeichnet die Anzahl der Lade- und Entlade-Zyklen, welche eine Batterie durchlaufen kann, bevor die Kapazität der Batterie unterhalb eines bestimmten Prozentsatzes der Anfangskapazität abgefallen ist.