



Zwischenbericht der Arbeitsgruppe 5

Materialien und Recycling



1 Einleitung

Ausreichende Reichweite, angemessene Fahrleistungen, Erfüllung ökologischer Anforderungen und letztendlich eine attraktive Preisgestaltung sind zu erfüllende Herausforderungen, um die nötige Akzeptanz für Elektrofahrzeuge beim Kunden zu erzielen. Neue Materialien mit angepassten Recyclingstrategien müssen hierfür einen wesentlichen Beitrag leisten und sind die treibende Kraft zu einer wirtschaftlichen und nachhaltigen Elektromobilität.

Zur Erreichung des Ziels der Nationalen Plattform Elektromobilität – Deutschland soll Leitmarkt und -anbieter werden – sind in diesem Zusammenhang erfolgskritische Schlüsselbedarfsfelder:

- I. **Materialien für Batterien:** Die effiziente und kostengünstige Speicherung elektrischer Energie mit Hilfe von Batterien wird über den Markterfolg von Elektroautos entscheiden. Die Leistungsfähigkeit der Batterien wird dabei maßgeblich durch die eingesetzten Materialien der chemischen Zellkomponenten (Kathode, Anode, Elektrolyt, Separator, Additive) und deren Wechselwirkung bestimmt.
- II. **Materialien für Konstruktions- und Werkstoffleichtbau:** Durch Verringerung des Energieverbrauchs ergeben sich Vorteile in Bezug auf Reichweite, Komfort und Betriebskosten des Elektrofahrzeugs. Im Fokus der Entwicklungstätigkeiten steht der Einsatz neuer Materialien im Leichtbau.
- III. **Rohstoffsicherungs- und Recyclingkonzepte:** Rohstoffsicherungskonzepte müssen frühzeitig entwickelt werden, um Versorgungsengpässe zu vermeiden. Recyclingkonzepte reduzieren zusätzlich die Abhängigkeit bei Schlüsselrohstoffen und verbessern Wirtschaftlichkeit und Ökoeffizienz der Elektromobilität, wobei insbesondere die Recyclierbarkeit der Batterien ein vollständig neues Technologiefeld darstellt.
- IV. **Materialien für weitere Schlüsselkomponenten:** Durch die Entwicklung neuer Werkstoffe für Elektromotoren, Range-Extender, Wärme- und Akustikmanagement etc. werden der Energieverbrauch der Haupt- und Nebenaggregate und die Leistung und Effizienz des Antriebsstrangs optimiert.

2 Berichte aus den Unterarbeitsgruppen (UAGs)

I. UAG „Materialien für Batterien“

2.1.1 Einleitung und Status

Die mit den gegenwärtig verfügbaren Materialien erreichbaren Energiedichten in Batterien der Generation I und II und damit verbundene Limitierungen bei der Reichweite stellen ein großes Hindernis für eine großzahlige Kommerzialisierung von (reinen) Elektrofahrzeugen dar. Für eine breite Markteinführung besteht darüber hinaus Optimierungspotenzial bei den Key-Performance-Parametern Lebensdauer, Sicherheit und Kosten der Energiespeichersysteme.

Die genannten Parameter werden im Wesentlichen bestimmt aus dem Zusammenspiel der Zellkomponenten, also Anode, Kathode, Separator und Elektrolyt. Daher ist das Verständnis der Interaktionen zwischen den einzelnen Komponenten für die Weiterentwicklung der Aktivmaterialien von entscheidender Bedeutung.

2.1.2 Zielsetzung und Erfolgsfaktoren

2.1.2.1 Elektrodenmaterialien für Batterien der II. und III. Generation

Die Arbeit der AG2 hat aufgezeigt, dass für die Generation II (Markteintritt Fahrzeug Ende 2017) und III (Markteintritt Fahrzeug Ende 2020) nur heute bereits in der Vorentwicklung verfügbare Aktivmaterialien für die Weiterentwicklung von Li-Ionenbatterien zum Einsatz kommen werden. Primäre Ziele in dieser Phase sind die Erhöhung der Lebensdauer und Sicherheit, die Senkung der Kosten sowie eine Erhöhung der Energiedichte der eingesetzten Materialien. Neue Hochvoltkathoden-Materialien im Bereich von 5V bei gleichzeitig höheren Betriebstemperaturen stellen einen ersten Schritt zur Darstellung höherer Energiedichten dar. Stabile Elektrolyte und Separatoren sind hierfür zu entwickeln.

■ Kathoden

Die aktuell im Konsumerbereich eingesetzte Kathodentechnologie (Marktanteil von >50 %) basiert auf LiCoO_2 . Dieses Material zeichnet sich durch eine sehr gute Stabilität bei relativ guten Energiedichten aus (ca. 160 Wh/kg). Nachteile liegen auf der Kostenseite und beim Thema Sicherheit. Mangan-Spinelle haben im Gegensatz dazu ihre Vorteile auf den Gebieten der Sicherheit und der Kosten. Jedoch ist die thermische Stabilität für den Automobileinsatz nicht ausreichend. Weltweit konzentriert sich daher die Entwicklung auf NMC-Materialien ($\text{LiNi}_x\text{Co}_y\text{Mn}_z\text{O}_2$, ca. 175 Wh/kg) und Lithium-Eisenphosphat (LFP, ca. 130 Wh/kg). Diese Materialien stellen derzeit den besten Kompromiss zur Erfüllung der Key-Performance-Parameter einer Traktionsbatterie dar. Über die Verbesserung der heute bekannten Kathodenmaterialklassen (Schicht, Spinelle, Olivine) hinaus werden auch neue Strukturtypen mit hohem elektrochemischem Potenzial, wie z. B. fluoridierte Phosphate, betrachtet.

■ Anoden

Als Anodenmaterial in der Li-Ionen-Batterie ist heute Graphit das Material der Wahl. Für neue Anwendungen mit höheren Leistungsdichten sowie verbesserter Sicherheit rücken zunehmend amorphe Kohlenstoffe (Hard Carbons und Soft Carbons) in den Blickpunkt des Interesses. Eine deutliche Steigerung der Lithiumspeicherkapazität über jene von Graphit hinaus ist auch durch Verwendung der Elemente Si oder Sn sowie deren Legierungen (beispielsweise mit Übergangsmetallen) möglich. Die bislang noch mangelhafte Zyklenstabilität dieser Systeme kann beispielsweise durch den Einsatz von leitfähigen Skeletten aus hierarchisch porösen Kohlenstoffen verbessert werden.

2.1.2.2 Elektrodenmaterialien für Batterien der IV. Generation

Mit Batterien der IV. Generation auf Basis von Post-Lithium-Ionen-Technologien werden im Vergleich zur Generation II und III deutlich höhere Energiedichten (300–1000 Wh/kg) verbunden mit einer Absenkung der Kosten erwartet. Gemeinsam ist allen Ansätzen, dass auf der Kathode keine Insertionsverbindungen mehr eingesetzt werden, die pro Äquivalentkristall nur ein bis zwei Lithium-Ionen aufnehmen können, sondern meist Elemente verwendet werden, die eine entsprechende Steigerung der Energiedichte ermöglichen.

Die zur IV. Generation zählenden Metall-Chalkogen-Systeme (wie z. B. Lithium-Luft, Lithium-Schwefel, Zink-Luft) sind als Primärzellen schon seit langem bekannt, bisher aber bis auf erste Prototypen bei Lithium-Schwefel nicht in sekundären Systemen realisiert worden. Dies liegt daran, dass grundlegende stoffliche und systemseitige Herausforderungen (bei Li vornehmlich die Ausbildung von Dendriten und damit verbunden einem schnellen Versagen der Batterie betreffend) zu lösen sind.

■ Zink-Luft (Zn-Luft)

Batterien auf Basis Zink-Luft mit Zink als Anode verfügen über eine vergleichsweise hohe Energiedichte (~300 Wh/kg) und eine gegenüber Lithiumsystemen deutlich höhere Betriebssicherheit. Es kommen hierbei nicht-brennbare wässrige Elektrolyte zum Einsatz, die zudem sehr kostengünstig sind. Als Primärzellen haben sich Zink-Luft-Systeme im Markt seit vielen Jahren im Bereich Hörgeräte- und Industriebatterien bewährt. Bisher ist es jedoch nicht gelungen, mit Zink-Luft-Systemen eine Zyklenzahl entsprechend der Anforderungen im Automobilbereich zu erreichen (3.000 Zyklen bei 80 % Restkapazität).

■ Lithium-Schwefel (Li-S)

Lithium-Schwefel-Systeme (~600 Wh/kg) zeigen in aktuellen Laborversuchen die höchste verfügbare Kapazität aller Sekundärbatterien auf, werden bislang jedoch nur in Spezialanwendungen genutzt. Die größte technische Herausforderung ist die Zyklenstabilität. Lithium scheidet sich beim Ladevorgang je nach Struktur der Anode dendritisch ab, was sicherheitstechnisch ein Problem darstellt und zu einem schnellen Versagen der Batterie infolge interner Kurzschlussbildung führt. Daneben sind die geringe elektronische Leitfähigkeit des Schwefels und die dadurch benötigte Nanostrukturierung der Kathode sowie die Löslichkeit der beim Entladevorgang an der Anode entstehenden Polysulfide im Elektrolyten für die bislang ungenügende Zyklenstabilität von Li-S-Systemen verantwortlich.

Erste Forschungsergebnisse zeigen jedoch, dass das Herauslösen der Lithium-Polysulfide durch den Einsatz mesoporöser, dreidimensionaler Kohlenstoff-Skelettstrukturen vermindert werden kann. Hinsichtlich des Sicherheitsaspekts von Lithiummetall sind durch den Einsatz neuer Separator-materialien und Festkörperelektrolyte durchgreifende Verbesserungen zu erwarten.

■ Lithium-Luft (Li-Luft)

Lithium-Luft-Systeme sind in Bezug auf die mögliche (theoretische) Energiedichte optimal (> 1.000 Wh/kg). Eine zusätzliche Herausforderung zu der bereits erwähnten dendritischen Abscheidung des Lithiums ist die halb-offene Zelle, die dazu führt, dass die Anode indirekt über den sauerstoffpermeablen Separator der Umgebungsluft ausgesetzt ist. Dadurch kommt es zu einer sicherheitstechnisch kritischen Reaktion des Metalls mit Wasser sowie zur Ausfällung von Carbonaten und somit starker Degradation des Systems. Darüber hinaus müssen für das System Mischkatalysatoren entwickelt werden, die ein effektives und wiederholtes Laden und Entladen ermöglichen.

2.1.2.3 Elektrolyte

Für den Einsatz von Hochvoltssystemen der Generation III mit höheren Zellspannungen von bis zu 5 V werden zersetzungstabile Elektrolyte benötigt.

Innovative Elektrolyte sind auch die Basis für Batterien der IV. Generation. Für Anwendungen im Bereich Li-S ist es beispielsweise von großer Wichtigkeit, Elektrolyte mit einem geringeren Lösungsvermögen für die entstehenden Polysulfide zu finden. Darüber hinaus wird die Erhöhung der Betriebssicherheit durch den Einsatz von nicht brennbaren Elektrolyten angestrebt.

Aktuelle Ansätze sind im Bereich der ionischen Flüssigkeiten (RTILs) zu finden, die jedoch im gegenwärtigen Entwicklungszustand für eine breite mobile Anwendung zu kostspielig sind. Feste Elektrolyte wie z. B. $\text{Li}_{1,3}\text{Ti}_{1,7}\text{Al}_{0,3}(\text{PO}_4)_3$ weisen im Allgemeinen eine zu geringe Leitfähigkeit für Li-Ionen auf.

2.1.2.4 Additive

Durch Additivierung kann das Eigenschaftsprofil (u. a. Lebensdauer, elektrische Leistung, Hochtemperatur-Stabilität, Sicherheitsaspekte) von Lithium-Ionen-Zellen gezielt verbessert werden.

Die mit Abstand wichtigste Kategorie von Additiven stellen die sog. „Deckschichtbildner“ dar, die in Generation II/III-Zellen eine Schicht auf der Anode bilden und den direkten Kontakt mit dem Elektrolyten unterbinden, um so das wirksame Potenzialfenster für den Elektrolyten einzuschränken. Ohne diese Schutzschicht würde sich der Elektrolyt kontinuierlich zersetzen und ein konstanter oder gar reversibler Betrieb wäre nicht möglich.

Bereits die Generation II stellt hohe Anforderungen an die Auswahl geeigneter Elektrolyte und -additive, da sich die verschiedenen als Anoden-Aktivmaterial verwendeten Graphite meist sehr unterschiedlich und unvorhersehbar gegenüber den verschiedenen Additiven verhalten, obwohl sie ähnliche elektrochemische und physikalische Eigenschaften aufweisen.

2.1.2.5 Separatormaterialien

Nach dem Stand der Technik sind Polyolefin-Membranen mit Porositäten von etwa 35–45 % das heute in Konsumerzellen häufigste eingesetzte Separatormaterial. Die hohe Porosität ist notwendig, um die in der Hoch-Energiebatterie gespeicherte Ladung mit hohem Wirkungsgrad freizusetzen. Es besteht daher ein klarer Bedarf an verbesserten Separatoren mit erhöhter Porosität und Temperaturbeständigkeit, die zudem über das weite Potenzialfenster der Batterien und die geforderte Lebensdauer stabil sind. Ein technischer Ansatz besteht in einer Beschichtung aus keramischen Partikeln, die durch ein dünnes Trägervlies die zur Verarbeitung erforderliche Stabilität verliehen wird. Während konventionelle Separatoren auf Basis von Polyolefinen bereits bei Temperaturen um 165 °C schmelzen und bereits deutlich darunter merklich zu schrumpfen beginnen, was zum Kurzschluss und zur Explosion der Zelle führen kann, sind keramische Separatoren selbst bei Temperaturen von mehreren hundert Grad formstabil und trennen Anode und Kathode zuverlässig.

2.1.2.6 Trägerwerkstoffe/Stromableiter

Bestehende Batterien nutzen i. A. als Trägerwerkstoffe auf der Anode Kupfer und der Kathode Aluminium. Die Dicke der Kupferfolie ist entscheidend für die großtechnische Verarbeitbarkeit bei der Beschichtung mit den Aktivmaterialien. Durch den Einsatz innovativer niedrig legierter Kupferlegierungen kann bei gleich bleibender Stabilität die Dicke der Folie reduziert und damit ein weiterer Material- und Kosteneinsparungseffekt erzielt werden.

2.1.2.7 Materialien für Batteriegehäuse

In zukünftigen Konzepten für Elektrofahrzeuge wird es darum gehen, das Gewicht verschiedener Fahrzeugbauteile und Komponenten deutlich zu reduzieren. Dazu kann eine Gewichtsoptimierung des Batteriegehäuses einen wichtigen Beitrag leisten. Dabei ist es zugleich wichtig, den nötigen Aspekten zu einem sicheren Betrieb Rechnung zu tragen, wie ausreichender Crash-Schutz und Schadensbegrenzung im Falle einer Fehlfunktion der Batterie. Zudem sind thermische Anforderungen im Brandfall zu erfüllen (Flammschutz). Dies kann durch den Einsatz von für den Anwendungsbereich optimierten metallischen Werkstoffen oder von entsprechend flammgeschützten Kunststoffen, wie sie heute im Elektrobereich verwendet werden, erreicht werden.

2.1.2.8 Zellfertigung und Batteriemangement

Aufgrund des veränderten Zellaufbaus zukünftiger Batteriegenerationen müssen Produktionstechnologien und Batteriemangementkonzepte (Leistungselektronik) angepasst bzw. neu entwickelt werden. Gerade bei Zellen der IV. Generation sind grundlegende Änderungen in den Produktionsschritten notwendig; weder die Verarbeitung von metallischem Lithium oder Zink war in den früheren Generationen nötig, noch sind Verarbeitungsschritte für neuartige Separatoren, die z. B. einen Schutz der Anode bei der Li/Luft-Technologie gewährleisten, bisher etabliert.

Das Batteriemangement spielt bei dieser Generation eine entscheidende Rolle für die Haltbarkeit und Zyklenstabilität und muss entsprechend optimiert werden. Da es an dieser Stelle noch keine praktischen Erfahrungen gibt, sind gerade hier gemeinsame Aktivitäten von Material- und Systementwicklern der Schlüssel zum Erfolg.

2.1.3 Wettbewerbssituation

2.1.3.1 Vergleich nationale/ internationale Position

Heute ist der Know-how- und Produktionsvorsprung der Asiaten (Japan, Korea, China) im Bereich von Konsumerzellen (Laptops, Handys) und der Zellen für HEV-Anwendungen in der Automobilindustrie sehr groß. Der Wettbewerb um die optimale Zelltechnologie für den Einsatz in der Elektrotraktion (PHEV/EV) ist jedoch noch gestaltbar. Aufgrund der Entwicklungskompetenz der deutschen Automobil- und Chemieindustrie auf dem Gebiet liegt hier die wahrnehmbare Chance für den Standort Deutschland.

Bei Zukunftstechnologien wie der Post-Lithium-Ionen-Technologie (Batterien IV. Generation) befindet sich Deutschland in einer guten Ausgangsposition, da hier die Aktivitäten frühzeitig gestartet wurden. Es sind jedoch erhebliche Forschungsanstrengungen sowohl systemseitig als auch darauf folgend für den Aufbau entsprechender Prozessketten notwendig, um auf diesem Gebiet eine Technologieführerschaft erlangen zu können. Wenn Deutschland sich seine Chancen zum Thema Elektromobilität erhalten möchte, muss die Unterstützung durch die Bundesregierung schnell einsetzen und langfristig angelegt sein.

2.1.3.2 SWOT-Analyse

Stärken	Chancen
<ul style="list-style-type: none"> ■ Hohe Qualifikationsstandards in den Bereichen Physik, Chemie, Ingenieurwissenschaften und verwandten Bereichen. Früher Einstieg in die Entwicklung von Batterietechnologien der IV. Generation 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Technologieführerschaft im Bereich Batterien und damit Stärkung des Wirtschaftsstandorts Deutschland (v. a. Automobilindustrie) ■ Umsetzung elektrischer Antriebsformen als energieeffiziente und emissionsarme Alternative zum Verbrennungsmotor – möglichst unter Beibehaltung des gewohnten Komforts (Reichweite, Parallelverbraucher)
Schwächen	Risiken
<ul style="list-style-type: none"> ■ Fehlendes Know-how bzw. anwendungstechnische Kompetenz in Zell- und Batteriefertigung ■ Mangel an Produktionskapazitäten über die gesamte Wertschöpfungskette, insbesondere im Bereich der Zell- und Batteriefertigung 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Investitionszurückhaltung aufgrund politischer und wirtschaftlicher Unsicherheiten ■ Wettbewerbssituation bei den Endabnehmern (Automobilindustrie wählt nicht zwangsweise deutsches Produkt) ■ Rohstoffarmut (z. B. Co) ■ Potenzialverlust durch unkonzertiertes Vorgehen – kaum Bildung vertikaler Allianzen

2.1.4 Roadmap

	2014	2017	2020
Generation I/II	<ul style="list-style-type: none"> ■ Optimierung und Bereitstellung funktionaler Materialien 		
Generation III	<ul style="list-style-type: none"> ■ Entwicklung von Hochvoltkathoden und hochvoltstabiler Elektrolyte und Separatoren ■ Materialeitig ausgereifte Zellen für Hochvoltbatterien ■ Aufbau Expertise zu Alterungsverhalten (Zelltests) ■ Entwicklung Hochdurchsatzmethoden 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Prozessausarbeitung Zellfertigung/Optimierung von Design bei beginnender Serienfertigung ■ Erprobung der neu entwickelten Materialien und Komponenten an realen Bauteilen ■ Erstellung B-Muster 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Aufbau von Produktionsstraßen – Start der Massenfertigung
Generation IV	<ul style="list-style-type: none"> ■ Grundlagenforschung – Verständnis von Ursache-Wirkungsmechanismen ■ Optimierung der Elektrolytsysteme mit Fokus auf Stabilität ■ Entwicklung Hochdurchsatzmethoden ■ Entwicklung sekundärer Speichersysteme auf Basis wässriger Systeme wie Zn-Luft 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Entwicklung von Schutzschichten für Anode bzw. Kathode (z. B. ionenleitende Festkörperkeramiken od. Polymermembrane) ■ Entwicklung geeigneter Lade- und Entladekatalysatoren für Lufterkroden mit hoher Effizienz ■ Optimierung der Kathodenstruktur und -morphologie für Li-S ■ Entwicklung optimierter Gasdiffusionselektroden für Li-Luft-Kathoden 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Optimierung des Zelldesigns auf Basis der entwickelten Materialien bei beginnender Prototypenfertigung (zunächst vsl. Li-S)

Abbildung: Forschungsroadmap für Batteriematerialien der Generation IV (Post-Lithium-Ionen Ionen-Technologie)

Für die Post-Lithium-Ionentechnologie ist noch ein hoher Forschungs- und Entwicklungsaufwand notwendig, um die technischen Herausforderungen bezüglich Zyklisierbarkeit, Stabilität und Sicherheit zu lösen (siehe Abbildung 2). Daran angeschlossen müssen weitere Schritte bis zur Nutzung im Fahrzeug erfolgen, die mehrere Jahre in Anspruch nehmen werden: Die weitere Optimierung auf Materialeite, die entsprechende Auslegung des Zell- und Batteriedesigns, die Entwicklung von Prozesstechniken für die Zell- und Batteriefertigung sowie die Umsetzung in massentaugliche Produktionsprozesse. Dazu kommen Tests unter realistischen Fahrbedingungen. Der Einsatz im Fahrzeug ist damit erst nach 2025 zu erwarten.

Trotz des Langfristzeitraums sind die Arbeiten auf dem Gebiet zu intensivieren, um Deutschland die Technologieführerschaft zukünftig auf dem Gebiet der Batterietechnologie zu sichern.

2.1.5 Förderprogramme und deutscher Handlungsbedarf

Für die nächste Generation der Elektrofahrzeuge gibt es in den USA, China, Japan Förderprogramme unterschiedlicher Inhalte und finanzieller Dotierung, teilweise in Milliardenhöhe (siehe Zusammenstellung AG2). Um den Standort Deutschland im internationalen Wettbewerb attraktiv zu machen, muss der Aufbau der gesamten Batterieprozesskette (von der Herstellung der Materialien über die Zellkomponenten und Zellen bis zu Zellpacks und Batterien) vorangetrieben werden. Dazu sind Anreize von staatlicher Seite und die Zusammenführung der Kompetenzen und Anstrengungen aller beteiligten Branchen nötig.

2.1.5.1 Förderung von Forschung und Entwicklung

Am Standort Deutschland ist eine deutliche Intensivierung der Forschungs- und Entwicklungsarbeiten notwendig, um signifikante Fortschritte bei der Optimierung der Energiespeichersysteme machen zu können. Daneben ist die Entwicklung von Systemverständnis über die gesamte Prozesskette erforderlich. Deshalb sollte die Bildung von branchenübergreifenden Industriekonsortien sowie die enge Verzahnung mit Forschungsinstituten angestrebt werden. Eine fokussierte Herangehensweise ist entscheidend, um die zur Verfügung stehenden Ressourcen zielgerichtet einzusetzen. Eine gut koordinierte Umsetzung der Forschungsprogramme in einer eigenständigen Organisation nach dem Vorbild der NOW (Nationale Organisation Wasserstoff und Brennstoffzellen) ist anzustreben.

Ausbau der Grundlagenforschung

- Entwicklung eines fundierten technisch-wissenschaftlichen Verständnisses zu Ursache-Wirkungs-Zusammenhängen und Modellierung, Entwicklung neuartiger Untersuchungsmethoden
- Etablierung und Finanzierung entsprechender Lehrstühle und Kompetenznetzwerke aus Wissenschaft, Industrie und Materialforschungszentren (Cluster)
- Frühzeitige Einbeziehung der Industrie nach US-Vorbild

Weiterentwicklung aktueller Materialienkonzepte (Batterien der III. Generation, Hochvolt-Systeme)

- Verbesserung der Kathodentechnologie basierend auf Stand der Technik 2010 mit dem Ziel der Verbesserung der Leistungs- und Energiedichte
- Optimierung des Anodenmaterials für eine bessere Kompatibilität mit neuen Elektrolyten und Bindersystemen
- Entwicklung von Leitsalzen und Additiven für eine stabile Filmbildung (SEI)
- Entwicklung hochvoltstabiler Elektrolyte und Separatoren
- Entwicklung weiterer Materialien zur Optimierung des Batteriesystems (gewichtsarme Kompositmaterialien für das Gehäuse, Kupferlegierungen zur Herstellung dünnerer Ableiterfolien)
- Entwicklung von Hochdurchsatz-Technologien und -Methoden für die Entwicklung chemischer Zellkomponenten

Neuartige Batteriekonzepte (Batterien der IV. Generation, Post-Lithium-Ionen Ionen-Systeme)

- Entwicklung von Kathoden auf Chalkogenbasis, wie Luft-Sauerstoff oder Schwefel (Optimierung von Leitfähigkeit, elektrochemische Aktivität und Zyklenstabilität)
- Entwicklung von kompatiblen Separatoren, Elektrolyten und Additiven, die Sicherheit, Stabilität und Leistung des Gesamtsystems gewährleisten
- Entwicklung von Lade- und Entladekatalysatoren mit geringer Überspannung für Lufterlektroden
- Entwicklung von Schutzschichtkonzepten für Anoden und Kathoden

Internes Zelldesign und Prozessentwicklung

- Prozessentwicklung und Automatisierungstechnik für die Herstellung der funktionalen Komponenten und Zellen, u. a. Beschichtungstechnologien
- Aufbau eines Testzentrums für Funktionsmaterialien (Realbedingungen)
- Ausarbeitung von up-scalebaren Produktionstechnologien und Anlagenkonzepten
- Erprobung der Konzepte zur Zellfertigung in einer Pilotanlage

Massenfertigung

- Entwicklung großtechnischer Lösungen zur Herstellung von Kathoden- und Anodenmaterialien
- Entwicklung einer geeigneten Pulver-Verfahrenstechnik (z. B. Mühlen) zum Zerkleinern und zur Partikelformung
- Entwicklung und Umsetzung des dazugehörigen Anlagenbaus, um die kosteneffiziente Massenfertigung in Deutschland zu ermöglichen und zu stärken

2.1.5.2 Investitionsförderung

Entscheidend für die industrielle Entwicklung des Standortes Deutschland im Bereich Elektromobilität wird sein, eine stabile Zuliefererkette von der Materialproduktion bis hin zur Batteriefertigung zu etablieren.

Zur Herstellung von Aktivmaterialien, Zellkomponenten und Zellen auf Basis Lithium-Ionen-Technologie hat Deutschland heute gegenüber Asien nur sehr geringe Produktionskapazitäten und dementsprechend besteht Aufholbedarf bei der Produktionstechnik. Darüber hinaus existieren in Asien starke vertikale Allianzen zwischen den Zellproduzenten und den Automobilherstellern. Ohne eigene Zellproduktion wären deutsche Batterie- und Autohersteller damit in einer technologischen Abhängigkeit. Aus diesem Grund muss gerade auf dieser Stufen der Wertschöpfungskette der Aufbau von Produktionskapazitäten vorangetrieben werden. Dies wird erleichtert durch staatliche Investitionshilfen und eine entsprechende branchenübergreifende Kooperation mit der deutschen und europäischen Automobilindustrie.

Bei Zukunftstechnologien (Generation IV) stellt sich die Ausgangslage deutscher Unternehmen deutlich positiv dar, weil in der Forschung bereits wesentliche Voraussetzungen geschaffen wurden. Da sich Chemie und Zelldesign dieser Batteriesysteme gegenüber heutigen Systemen deutlich unterscheiden werden, ist auch das – vor allem in Asien vorhandene – Know-how zur Zellfertigung nur teilweise verwertbar. Deutschland kann sich bei zukünftigen Batteriegenerationen die Leitanbieterfunktion und Technologieführerschaft sichern, sofern rechtzeitig mit der Erarbeitung der Prozesstechnologie und dem Aufbau entsprechender Prozessketten begonnen wird.

Aufgrund der Aussichten, dass Batterien der IV. Generation besonders nachhaltig die Wettbewerbsfähigkeit des Standortes Deutschland stärken können, besteht hierfür eine besondere Notwendigkeit zur intensiven Forschungs- und Investitionsförderung. Diese sollte frühzeitig und gezielt vorgenommen werden.

II. UAG Materialien für Konstruktions- und Werkstoffleichtbau

2.II.1 Einleitung und Status

Reichweite und Fahrdynamik eines Elektrofahrzeugs werden im Wesentlichen durch die Fahrzeugmasse bestimmt, wobei das Batteriegewicht aufgrund der z. Zt. noch geringen Energiedichte einen erheblichen Massenanteil darstellt. So sind z. B. bei konventionellen Fahrzeugen 75 % der Fahrwiderstände masse-induziert. Trotz der zu erwarteten Leistungssteigerung der Energiespeichersysteme werden Elektrofahrzeuge aufgrund der – relativ zu mineralölbasierten Kraftstoffen immer noch – geringen Energiedichte ein deutliches Mehrgewicht mitführen müssen, um den Kundenanforderungen hinsichtlich Reichweite und Geschwindigkeit zu entsprechen. Die Reduzierung des Fahrzeuggewichts als auch der Einsatz von Rekuperationsstrategien führt hierbei zu einer Senkung des Leistungsbedarfs und so zu kleineren Energiespeichern. Es gilt somit, die Kosten- und Gewichtsspirale umzukehren und z. B. durch geeignete Leichtbaumaßnahmen die notwendigen Einsparungen zu realisieren. Dem ressourceneffizienten, bezahlbaren Leichtbau kommt somit gerade bei Elektrofahrzeugen mit ihrem veränderten Fahrzeugpackage und ihren veränderten Sicherheitsanforderungen eine Schlüsselfunktion für den Aufbau nachhaltiger Wertschöpfungsketten in Deutschland zu.

Einen zielführenden Lösungsansatz bietet hier das Modell eines „Funktionsintegrativen¹ Systemleichtbaus² in Multi-Material-Design^{3a}“. Hierfür sind durch den Aufbau durchgängiger Forschungs- und Entwicklungsketten bestehende Werkstoff- und Prozesstechnologien deutlich zu erweitern und ggf. Durchbruchinnovationen zu initiieren. Dies bedingt jedoch den Übergang von der themenspezifischen Projektförderung hin zu einem systemischen interdisziplinären Ansatz, in dem die gesamte Entwicklungs- und Fertigungskette für ein generisches Demonstratorfahrzeug betrachtet werden kann. Die isolierte Betrachtung von Einzelaspekten, welche in keinem direkten inneren Zusammenhang stehen, ist für die schnelle Entwicklung der Elektromobilität in Deutschland nicht sinnvoll. Denn Fehlstellen in den Technologieketten zeigen sich erst bei einer ganzheitlichen Betrachtung von Werkstoff, Prozess, Simulation, generischer Demonstrator (Komponente bis zum System) und deren Wechselwirkung untereinander sowie im Bezug auf das Gesamtsystem. Beispiele hierfür finden sich bei exzellenten DFG-Sonderforschungsbereichen (SFB) mit ihrer inhärenten Vernetzung.

2.II.2 Zielsetzung und Erfolgsfaktoren

Grundsätzlich bieten sich zur Erreichung der Leichtbauziele sowohl metallische Werkstoffe (wie höchstfeste und hochduktilen Stähle, Aluminium, Magnesium oder Titan) als auch verstärkte und unverstärkte Kunststoffe an. Abhängig vom Anwendungszweck bzw. Fahrzeugkonzept unterscheiden sich die Anforderungen zur Reduzierung des Fahrzeuggewichts, die Auslegungskriterien für Fahrzeugstruktur und Komponenten sowie die ausgewählten Werkstoffe. Jedoch bietet gerade die Kombination verschiedener Materialien (Multi-Material-Design) ein hohes, bislang nur teilweise erschlossenes Potenzial für einen kosten- und ressourceneffizienten Leichtbau. Ein repräsentatives Beispiel hierfür ist die Kombination von Stahlblechen mit angespritzten Kunststoffrippen. Diese sog. Hybridbauteile sind seit mehreren Jahren Stand der Technik im Automobilbau und stehen stellvertretend für diese noch junge Werkstoffklasse.

Um der großen Anwendungsbreite von Fahrzeugen gerecht zu werden, wurden NPE-übergreifend drei generische Referenzfahrzeuge definiert, die beispielhaft typische Fahrzeuge für die Elektromobilität im Jahr 2020 verkörpern sollen. Alle Fahrzeuge sollen im metro-urbanen Raum eingesetzt werden, sodass z. B. der Neue Europäische Fahrzyklus (NEFZ) zur Bewertung des spezifischen Energieverbrauchs dienen kann. Hierbei zeigt sich eindrucksvoll die hohe Bedeutung des Leichtbaus für Mobilitätsanwendungen.



Abbildung: Abschätzung des Energieverbrauchs im Neuen Europäischen Fahrzyklus bei unterschiedlichen Fahrzeugmassen und verschiedenen Betriebsarten [ILK, TU Dresden]

- 1 **Funktionsintegration** beschreibt die Einbettung zusätzlicher Funktionalitäten (Energieabsorber, Elektronische Elemente, Compliant-Elemente etc.) in den Werkstoff oder die Struktur.
- 2 **Systemleichtbau** beinhaltet eine übergreifende Masse- und Kostenbetrachtung des technischen Systems, wobei nicht die einzelne Komponente im Vordergrund sondern vielmehr deren Wechselwirkung im Gesamtsystem zu sehen ist.
- 3 **Multi-Material-Design** oder Mischbauweise beschreibt ein Zusammenwirken von Werkstoffen, mit dem Ziel, die jeweils besten Eigenschaften der einzelnen Materialien im Verbund nutzen zu können.

Die Zielstellung, sowohl das Mehrgewicht als auch die Mehrkosten, die durch den Einsatz eines batterieelektrischen Antriebsstrangs entstehen, durch geeignete Materialkombinationen, beanspruchungsgerechte Konstruktionen und eine höhere Funktionsintegration zu kompensieren, stellt eine der großen technologischen Herausforderungen bei der erfolgreichen Entwicklung Deutschlands als Leitanbieter und Leitmarkt für Elektrofahrzeuge dar.

Gleichzeitig können die neu zu entwickelnden Werkstoffe, Bauweisen und Verfahren synergetisch auch für konventionelle Verbrennungsfahrzeuge oder den Maschinen- und Anlagenbau herangezogen werden. Damit leistet der Leichtbau mit seiner inhärenten Material- und Energieeffizienz produkt- und branchenübergreifend einen existenziellen Beitrag zur nachhaltigen Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit deutscher Zukunftsprodukte.

2.II.2.1 Erfolgsfaktoren

Signifikante Reduzierung des Fahrzeuggewichts: Elektrofahrzeuge in konventioneller, nicht leichtbaugerechter Bauweise werden bei gleichen Leistungsanforderungen zunächst aufgrund des noch hohen Batteriegewichtes deutlich schwerer sein als vergleichbare Verbrennungsfahrzeuge. Langfristig sind somit geeignete Leichtbaumaßnahmen zur Kompensation dieses Mehrgewichtes notwendig, um (a) die Reichweite von Elektrofahrzeugen zu erhöhen und (b) den Leistungsbedarf zu reduzieren. Letzteres führt wiederum zu niedrigeren Batteriemassen und wohl auch Batteriekosten, sodass die Gewichtsspirale hin zu stetig sinkenden Gesamtfahrzeugmassen umgedreht werden kann. Weiteres Einsparpotenzial bieten intelligente Werkstoffverbunde, die auf das andersartige Klimamanagement von Elektrofahrzeugen abgestimmt sind, so dass möglichst wenig der für die Fahrleistung wertvolle Energie für Heizung bzw. Kühlung vergeudet wird.

Kosteneffizienter Leichtbau: Elektrofahrzeuge und zugehörige Komponenten aus Deutschland werden nur dann langfristig im globalen Wettbewerb erfolgreich sein, wenn sie, auch nach dem Auslaufen von staatlichen Förderungen oder anderen Kaufanreizen, sowohl in der Anschaffung als auch im Betrieb erhebliche Vorteile bieten. Der Leichtbau als Faktor für nachhaltige Mobilität muss für den Kunden zukünftig sowohl ökonomisch als auch ökologisch einsichtig sein, d. h. etwa einen sinnvollen Beitrag zur Erhöhung der Lebensqualität liefern.

Einhaltung und Erweiterung von Sicherheitsstandards: Der hohe Standard der Fahrzeugsicherheit und des Insassenschutzes sind prägende Markenzeichen deutscher Fahrzeuge. Diese sind mit höchster Anstrengung weiter auszubauen, denn der mobile Einsatz von hochenergetischen Batteriesystemen birgt neben der großen Zahl schon bekannter neue, bislang noch nicht ausreichend erkannte Risiken. Bei der Entwicklung von E-Fahrzeugen kommt z. B. dem Flammenschutz von Kunststoffen oder dem Umgang mit Hochspannung eine herausgehobene Bedeutung zu. So gehen Experten davon aus, dass bei 1 Million Elektrofahrzeugen auf deutschen Straßen auch mit 8.000 Unfällen mit Personenschäden unter Beteiligung eines Elektrofahrzeuges⁴ zu rechnen ist. Bereits eine unkontrollierte Havarie mit Todesfolge kann hierbei genügen, um das aufgebaute Vertrauen in die Zukunftstechnologie Elektromobilität entscheidend zu stören.

Schadenserkennung im täglichen Einsatz und Reparaturkonzepte: Nach einer Kollision muss der Kraftfahrer bzw. die Werkstatt mit eigens geschultem Personal für die neuen Werkstoffe und Werkstoffverbunde in Multi-Material-Design eine Schadenserkennung durchführen können. Hier bieten sich z. B. intelligente Werkstoffe mit eingebetteten elektronischen Überwachungssystemen an. Gleichzeitig sind kosteneffiziente Reparaturkonzepte eine zwingende Voraussetzung für eine breite Akzeptanz der Elektromobilität seitens der Endverbraucher.

Automobile Serienprozessfähigkeit: Nach derzeitigem Kenntnisstand wird die Produktion von Elektrofahrzeugen zunächst bis 2017 nur in Kleinserien (ca. 25.000 Fahrzeuge eines Typs pro Jahr) laufen können. Erst ab ca. 2020 werden ausgereifte Technologien für eine breite Großserienfertigung (> 100.000 Fahrzeuge eines Typs pro Jahr) zur Verfügung stehen. Dies bedeutet, dass die entwickelten Leichtbaukonzepte und Fahrzeugstrukturen zunächst in bestehende auf Kleinserien fokussierte Produktionslinien implementiert oder in die Produktion „konventioneller“ Fahrzeuge mit eingebunden werden müssen.

4 Verkehrsunfallforschung an der TU Dresden GmbH (VUFO)

Einhaltung der Altfahrzeugverordnung: Bereits seit 2006 müssen 80 Gewichtsprozent (bezogen auf das Fahrzeugleergewicht) wieder verwendet oder verwertet werden. Spätestens ab 1. Januar 2015 wird dieser Wert auf 85 Gewichtsprozent angehoben (siehe AltfahrzeugVO §5). Hierbei haben metallische und thermoplastische Werkstoffe wesentliche Vorteile gegenüber duroplastischen Materialien.

Nachhaltigkeit: Verwendete Werkstoffe und Werkstoffverbunde müssen bei Greentech-Entwicklungen hinsichtlich ihrer ökologischen Nachhaltigkeit entlang der Wertschöpfungskette („environmental footprint“) ausgewählt werden.

2.II.2.2 Zielsetzung

Aus den angeführten Erfolgsfaktoren kann abgeleitet werden, dass die Umsetzung der Leichtbauziele nicht auf Basis oder durch Kombination konventioneller Fahrzeugkonzepte, Bauteilstrukturen und Produktionsverfahren erfolgen kann. Vielmehr sind in einem systemischen Forschungsansatz mit seinen besonderen Wechselwirkungsbeziehungen kombinierte Herstellungsverfahren bei geschlossenen Energie- und Stoffkreisläufen für spezifische Werkstoffsysteme zu entwickeln, in denen flexibel immer größere Module in Mischbauweise bei hoher Funktionalität hergestellt werden können.

	2014	2017	2020	Vision 2020++
Signifikante Reduzierung des Fahrzeuggewichts [Fahrzeugmasse zu Nutzlast]	3:1	2:1	2:1	1:1
Sicherheitsstandards	Vergleichbar Verbrennungsfahrzeug	Angepasst auf Batteriegeneration I/II	Angepasst auf Batteriegeneration III	Angepasst auf Batteriegeneration IV+
Schadenserkennung im Feld und Reparaturkonzepte	Spezialwerkstätten; Modulaustausch	Spezialwerkstätten; Komponentenaustausch	Fachwerkstätten; Komponentenaustausch	Fachwerkstätten; Komponentenaustausch
Automobile Serienprozessfähigkeit	bis 25.000 Fahrzeuge/a	bis 25.000 Fahrzeuge/a	bis 100.000 Fahrzeuge/a	bis 1.000.000 Fahrzeuge/a
Einhaltung der Altfahrzeugverordnung	Verwertung min. 85 Gewichts-%	Verwertung min. 95 Gewichts-%	Verwertung min. 95 Gewichts-%	Stoffliche und energetische Verwertung 100 %
Nachhaltigkeit	Gleichwertig kleines Dieselfahrzeug	Gleichwertig kleines Dieselfahrzeug	Besser als kleines Dieselfahrzeug	CO ₂ -neutral über den gesamten Produktlebenszyklus

Hierauf aufbauend lassen sich fünf vordringliche Handlungsfelder auf dem Anbietermarkt der Leichtbaulösungen für eine ressourceneffiziente Elektromobilität der Zukunft ableiten:

- Grundlagen- und Anwendungsforschung zur Entwicklung angepasster Leichtbauwerkstoffe (hochfeste und duktile Stähle, Aluminium, Magnesium, Titan, Kunststoffe) bzw. Verbundwerkstoffe und Werkstoffverbunde für den automobilen Serieneinsatz,
- Entwicklung von spezifischen Elektrofahrzeug-Leichtbaustrukturen,
- Massebezogene Optimierung und Entwicklung neuartiger Leichtbaukomponenten für Elektrofahrzeuge,
- Entwicklung großserientauglicher, ressourceneffizienter Herstellungsprozesse sowie
- Weiterentwicklung der Wertschöpfungsketten zur Sicherung und zum Aufbau zukunftsfähiger Arbeitsplätze in Deutschland.

2.II.3 Wettbewerbssituation und SWOT-Analyse

2.II.3.1 Vergleich der nationalen und internationalen Positionen

Leichtbauwerkstoffe für den automobilen Serieneinsatz

In Deutschland entwickelte und produzierte Leichtbauwerkstoffe nehmen im internationalen Vergleich bislang einen Spitzenplatz ein. Dabei kann auf eine hohe Material- und Prozesskompetenz bei Zulieferern und OEMs sowohl bei der Metall- als auch bei der Kunststoffverarbeitung zurückgegriffen werden. Auch wird bei den Rohstoffen in absehbarer Zeit kein Versorgungsengpass gesehen, sodass z. B. die deutsche Kunststoff- und Stahlindustrie im globalen Umfeld bislang sehr gut aufgestellt sind.

Die aktuell für Leichtbauanwendungen eingesetzten Materialien sind zumeist speziell auf die technischen Anforderungsprofile der konventionellen Automobilindustrie zugeschnitten. Die Optimierung und Steigerung der Verbundeigenschaften beim Multi-Material-Design stellt, gerade auch für großflächige Bauteilstrukturen hoher Oberflächenqualität und Funktionsintegration, eines der vordringlichen Entwicklungsziele dar. Hierbei ist festzuhalten, dass etwa der Einsatz von Hochleistungsfaserverbundwerkstoffen mit Endlosfaserverstärkung bislang weitgehend auf die Luft- und Raumfahrtindustrie bzw. die Sportartikelherstellung und Rennsporttechnik beschränkt ist. Für eine Übertragung der bislang gewonnenen Erkenntnisse auf großserienfähige Automobilstrukturen sind sowohl angepasste Matrixsysteme mit entsprechenden Prozesseigenschaften als auch Faserwerkstoffe mit gesteigerter Ressourceneffizienz bzw. reduzierten Kosten bereitzustellen.

Die hierfür notwendigen Innovationen und die neu aufzubauenden Wertschöpfungsketten stellen gerade die kmU-geprägte Zulieferindustrie vor große Herausforderungen und Anpassungen. Denn sie hat sich häufig auf nur eine Werkstoffklasse oder nur ein Herstellungsverfahren spezialisiert. Der hier skizzierte systemische Lösungsansatz geforderte Bauteileigenschaften durch intelligente Kombination und Weiterentwicklung verschiedener Verfahren und Werkstoffe zu realisieren, übersteigt oftmals das Know-how eines einzelnen Zulieferers. Ein innovativer Weg wäre hier der Aufbau von gemeinsamen Entwicklungs- und Fertigungszentren, in denen die technologischen und ökonomischen Risiken partnerschaftlich getragen werden können.

Systemleichtbau für Elektrofahrzeugstrukturen

Bei der Entwicklung von Leichtbaustrukturen nimmt die deutsche Industrie auf dem Gebiet der Werkstoffvielfalt weltweit eine führende Position ein. Der Einsatz von Polymerwerkstoffen beschränkt sich dabei z. T. vorrangig noch auf nicht sicherheitsrelevante Bauteile, umfasst jedoch eine Vielzahl von Aspekten im In- und Exterieur (ca. 20 Gew.-% bei aktuellen Fahrzeugen). Es bleibt jedoch festzuhalten, dass durch Fortschritte bei der Werkstoffmodellierung und Struktursimulation zunehmend auch crashrelevante Bauteilstrukturen, wie etwa Sitzstrukturen, Motorträger, Ölwanne oder Versteifungselemente für Karosserie-Rahmen durch faserverstärkte Spezialkunststoffe realisierbar sind. Jedoch werden in der Großserie für die Mehrzahl sicherheitsrelevanter Bauteilstrukturen, wie etwa die Karosserie oder die Achsen, aufgrund der Kostenvorteile seitens der Werkstoffe und Prozesse zurzeit noch rein metallische Leichtbaulösungen favorisiert.

Die Entwicklung von Batteriegehäusen ist derzeit eng an die Zellentwicklung gekoppelt und wird in der Regel kundenspezifisch vorgenommen. Somit liegt das Know-how zur Entwicklung von Leichtbau-Sicherheitsgehäusen derzeit vorwiegend bei den Zellenherstellern. Neben einer vorteilhaften, konstruktiv montagegerechten Gestaltung werden die Batteriegehäuse zukünftig auch strukturelle mechanische Vorgaben für einen optimalen Leichtbaugrad des Gesamtsystems Elektrofahrzeug und für besondere Sicherheitsanforderungen erfüllen müssen. Hier bietet sich für Deutschland ein erhebliches Marktpotenzial, da sowohl die Werkstoffentwicklung und -auswahl als auch die fertigungs- und montagegerechte Gestaltung sowie die Demontage und das Recycling ein erhebliches Know-how voraussetzen. Dabei ist Deutschland Technologieführer sowohl auf dem Gebiet der Füge- und Bearbeitungstechnik als auch der Recycling- und Demontagetechnik. Für eine nachhaltige Elektromobilität gilt es, diese Aspekte gerade für die zu entwickelnden großen Funktionsmodule in Multi-Material-Design weiter voranzutreiben.

Leichtbaukomponenten

Die massebezogene Optimierung ist eine wesentliche Forderung bei der Neu- und Weiterentwicklung von Fahrzeugkomponenten. Beispiele hierfür bieten die anhaltende Gewichtsreduzierung der Rohkarosserie und des Antriebsstrangs. Die Entwicklung von Elektrofahrzeugen erfolgt derzeit vor allem auf Basis bestehender Fahrzeugplattformen und -komponenten. Für die Entwicklung von Elektrofahrzeug-spezifischen Leichtbaukomponenten in Multi-Material-Design ist das Verständnis des thermo-mechanischen Bauteilverhaltens von herausgehobener Bedeutung. Nur so können mit validierten Werkstoffmodellen und Simulationsmethoden notwendige Topologieberechnungen durchgeführt und Optimierungen vorangetrieben werden. Darüber hinaus sind für diese Multi-Material-Systeme passende Verbindungstechnologien erforderlich.

Großserientaugliche, ressourceneffiziente Herstellungsprozesse

Die Bereitstellung großseriengerechter Herstellungsprozesse für Leichtbaustrukturen in Multi-Material-Design bedingt die Entwicklung angepasster Handhabungs- und Bearbeitungsverfahren für alle Werkstoffgruppen. Bereits heute sind kurz- und langfaserverstärkte Kunststoffe Schlüsselwerkstoffe bei der Fahrzeugproduktion. Diese Werkstoffe werden in unterschiedlichen Verfahren aus verschiedenen Kombinationen von Verstärkungsmaterial und polymerer Matrix hergestellt. Für den Einsatz in Strukturbauteilen sind sie aufgrund ihres ungenügenden Eigenschaftspotenzials in der Regel allerdings nicht geeignet. Hier ist der Einsatz von gerichteten Endlosfasern unabdingbar, wobei deren Verarbeitung bislang zu wenig automatisiert ist.

Der mangelnde Automatisierungsgrad bei der Verarbeitung von endlosfaserverstärkten Faserverbundwerkstoffen (CFK, GFK) lässt einen direkten Transfer in die automobilen Großserienfertigung noch nicht zu. Japanische und amerikanische Unternehmen besitzen hier die Technologieführerschaft, obgleich Deutschland auch außerordentlich gute Voraussetzungen sowohl von Seiten der Kunststoffhersteller als auch bezüglich einschlägig ausgewiesener Forschungsinstitute besitzt. Die Entwicklung entsprechender großserientauglicher und ressourceneffizienter Prozesse für Strukturbauteile in automobilen Leichtbauanwendungen der Zukunft könnte somit ein neues Alleinstellungsmerkmal werden.

2.II.3.2 SWOT-Analyse

Stärken	Chancen
<ul style="list-style-type: none"> ■ Nutzung von Leichtbau als Weg zu Elektrofahrzeugen mit attraktiven Reichweiten, hoher Fahrdynamik und Preisattraktivität ■ Deutschland bietet eine dichte Vernetzung von Forschung und Industrie und ist prädestiniert für komplexe Entwicklungen auf dem Gebiet des materialgetriebenen Leichtbaus ■ Hohes Ausbildungsniveau von der Facharbeiter- (duales Ausbildungssystem) bis zur Akademikerebene ■ Erhebliche Erfahrungen bei der Umsetzung neuartiger Leichtbaukonzepte in Multi-Material-Design ■ Hohe Innovationsstrahlkraft der dt. Automobil- und Zulieferindustrie 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Ausbau des Wissens- und Technologievorsprungs zum Leitmarkt Deutschland ■ Leichtbau als Differenzierungsmerkmal dt. Elektrofahrzeuge am Weltmarkt und/oder Kompensation von Defiziten anderer EV-Schlüsseltechnologien (z. B. Batterien) ■ Aufbau neuer, nachhaltiger Prozess- und Wertschöpfungsketten mit hohem Zukunftspotenzial ■ Durch intelligente Vernetzung der innovativen Zulieferindustrie ergibt sich eine starke Hebelwirkung auf dem Weltmarkt ■ Paradigmenwechsel der Verbraucher zum Greentech nutzbar
Schwächen	Risiken
<ul style="list-style-type: none"> ■ Strukturelle Schwäche bei der Entwicklung systemischer Lösungen in der Zulieferkette aufgrund bisheriger Förderung von Einzelaspekten (Insellösungen) ■ Kostennachteile im internationalen Vergleich (Energie, Löhne, ...) ■ Durchgängigkeit der Wertschöpfungs- und Fertigungsprozessketten nicht für alle Schlüsselwerkstoffe und -prozesse gewährleistet ■ Fehlende interdisziplinäre strategische Partnerschaften ■ Neue Ausbildungsberufe und Studienrichtungen für die nachhaltige Elektromobilität notwendig 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Nur unzureichende Nutzung des bestehenden hohen technologischen Potenzials ■ Fachkräftemangel, insbesondere Facharbeiter, Ingenieure und Naturwissenschaftler ■ Zu hohe technologische Ansprüche – Gefahr eines verspäteten globalen Markteintritts deutscher Elektrofahrzeuge ■ Zu geringe technologische Vernetzung der Beteiligten ■ Technologische Umsetzung durch fehlende Folgeindustrien nicht (mehr) möglich

2.II.4 Roadmap

	2014	2017	2020	Vision 2020++
Fahrzeugkonzept	Überwiegend Conversion-Design	Überwiegend Conversion-Design, erste Purpose-designed Fzg.	50/50 Conversion/Purpose	Fast ausschließlich Purpose-Design
Struktur	–	Einsatz neuer Werkstoffe in Strukturbauteilen; Erste Pilot-Serien-Karosserien in profilintensivem Multi-Material Design	Großserienfähigkeit (Kosten) von Multi-Material Design	Topologische Gesamtoptimierung von Multi-Material-Bauweisen
Oberfläche, Sichtteile	–	–	Lösung der Oberflächenproblematik bei FVW-Bauteilen	–
Komponenten	Optimierung bestehender Komponenten	Einsatz neuer Werkstoffe	Multi-Material-Lösungen	Integriertes Klimamanagement
Fertigungsprozesse	Definition Zulieferstruktur	Aufbau Zulieferstruktur für Leichtbauwerkstoffe; prototypische Testfertigung, Kleinserienfertigung einzelner Strukturbauteile	Serientaugliche, kosteneffiziente Herstellungsprozesse für Multi-Material-Komponenten	–
Verbindungstechnologie	–	Korrosionsproblematik bei profilintensivem Multi-Material-Design gelöst	–	–
Werkstoffe	(Weiter-) Entwicklung von Leichtbaumaterialien und Werkstoffverbunden	Erste alternative Werkstoffsysteme	Gezielt einstellbare Werkstoffsysteme, Fail-Safe-Werkstoffe für den breiten Serieneinsatz	Weltweit breite Materialauswahl für Leichtbau

2.II.5 Förderprogramme und deutscher Handlungsbedarf

Der Aufbau durchgängiger Forschungs- und Entwicklungsketten bedingt den Übergang von der themenspezifischen Projektförderung hin zu einem systemischen interdisziplinären Ansatz, in dem die gesamte Entwicklungs- und Fertigungskette für ein generisches Demonstratorfahrzeug betrachtet werden kann. Eine Förderung von isolierten Forschungsthemen, welche in keinem inneren Zusammenhang stehen, ist somit für die effiziente Weiterentwicklung der Elektromobilität in Deutschland nicht sinnvoll. Handlungsbedarf besteht insbesondere auf den nachfolgend dargestellten Themenfeldern.

Grundlagen- und Anwendungsforschung zur Entwicklung angepasster Leichtbauwerkstoffe für den automobilen Serieneinsatz

Für die Realisierung der gesteckten Leichtbauziele sind die Eigenschaftscharakteristiken vorhandener Werkstoffe deutlich auszubauen. Speziell der Einsatz in Multi-Material-Systemen erfordert eine spezifische Optimierung der Werkstoffpartner sowohl hinsichtlich der vorherrschenden fahrdynamischen Belastungszustände als auch hinsichtlich ihres Verhaltens bezüglich des Klimamanagements, woraus sich ein kontinuierlicher Forschungsbedarf ableiten lässt. Hierbei sind mit Rücksicht auf die stark unterschiedlichen Bauteilanforderungen an Fahrzeuge unterschiedlicher Klassen und Stückzahlen alle Werkstoffgruppen zu berücksichtigen.

Entwicklungsschwerpunkte	Module
Entwicklung angepasster Multi-Material-Systeme für eine effektive Implementierung in bestehende Prozessketten	Rohkarosserie, Exterieur
Entwicklung von robusten Qualitätssicherungswerkzeugen für Faserverbundstrukturen	alle Bereiche
Untersuchung des Korrosionsverhaltens von Verbundwerkstoffen und Werkstoffverbunden	alle Bereiche
Entwicklung von Fail-Safe-Strukturen (sukzessives Versagen, Selbstheilung etc.)	Fahrwerk, Rohkarosserie
Entwicklung präziser Werkstoffmodelle als Basis für die numerische Simulation in der Bauteil- und Prozessauslegung	alle Bereiche
Entwicklung von Fertigungs- und Fügeverfahren für nicht artgleiche Werkstoffe zum Einsatz in Multi-Material-Systemen unter Berücksichtigung von Recyclings-Gesichtspunkten	alle Bereiche

Entwicklung von Elektrofahrzeug-Leichtbaustrukturen

Der strukturelle Aufbau eines Elektrofahrzeugs der Zukunft wird sich deutlich von den derzeitigen Verbrennungs- oder Hybridfahrzeugen unterscheiden. Hierfür sind neuartige Strukturkonzepte zu entwickeln und anhand von antizipierten Technologieträgern zu validieren. Dabei steht auch die Entwicklung höchst integrierter Module zur Vereinfachung und Beschleunigung der Montage und Demontage im Fokus der Entwicklungen.

Entwicklungsschwerpunkte	Module
Entwicklung von Leichtbaukarosserien und Karosserieelementen in Metall- und FVW-Mischbauweise sowie der zugehörigen Gestaltungshinweise	Rohkarosserie
Entwicklung von Leichtbau-Batterie-Integrationsstrukturen mit optimierter Explosions- und Crashesicherheit	Rohkarosserie
Entwicklung von Konzepten zur direkten Integration von Energiespeichern in die Fahrzeugstruktur (z. B. Unterboden, Schweller, etc.)	Rohkarosserie
Entwicklung profilintensiver skalierbarer Leichtbauweisen	Rohkarosserie
Entwicklung von Plattformkonzepten mit getrennten Antriebs- und Passagiermodulen	Rohkarosserie, Exterieur

Gewichtsbezogene Optimierung und Entwicklung von neuartigen Leichtbaukomponenten für Elektrofahrzeuge

Die Realisierung eines effizienten Antriebsstranges für Leichtbau-Elektrofahrzeuge erfordert die Weiter- und Neuentwicklung wesentlicher Funktionskomponenten. Neben der E-Maschine und der Batterie umfasst dies vor allem die Systeme zur Momenten- und Kraftübertragung im Antriebsstrang. Die radikal veränderten Topologien und Randbedingungen erlauben hier den Einsatz neuartiger Werkstoffe und Werkstoffverbunde. Hierbei steht die Funktionsintegration zur deutlichen Reduktion der Komponentenzahl und zur Online-Systemüberwachung während der Herstellung und Nutzung im Fokus der anwendungsorientierten Forschung.

Entwicklungsschwerpunkte	Module
Entwicklung von gewichtsoptimierten E-Motor und Getriebe-Einheiten (verschiedene Leistungsklassen und Einsatzszenarien)	Antriebsstrang
Entwicklung von aktiven Leichtbau-Feder/Dämpfer-Systemen für stark veränderte Fahrprofile und reduzierte Fahrzeugmassen	Fahrwerk
Entwicklung eines wirkungsgrad-optimierten Leichtbau-Differenzials unter Nutzung von Gehäusekomponenten aus höherfesten Stahl- und/oder Verbundwerkstoffen	Antriebsstrang

Großserien-taugliche ressourcen-effiziente Herstellungsprozesse

Die erfolgreiche Überführung der gewonnenen Erkenntnisse in serienfähige Produkte erfordert die Entwicklung angepasster effizienter Prozesstechniken sowie deren Implementierung in bestehende Prozessketten. Insbesondere die Herstellung von Leichtbaustrukturen in Multi-Material-Design setzt Kombinationsverfahren höchster Ressourceneffizienz zur reproduzierbaren, qualitätsgesicherten Fertigung voraus. Dies umfasst sowohl die Verknüpfung bislang getrennter Verfahrensschritte für eine deutlich erhöhte Prozesseffizienz als auch die gezielte Erarbeitung von Bearbeitungs- und Verbindungstechniken für Multi-Material-Systeme.

Entwicklungsschwerpunkte	Module
Serientaugliche Verarbeitungsverfahren für FVW-Werkstoffe	alle Bereiche
Konzeption von durchgängigen Fertigungsketten für die ressourcen-effiziente Herstellung von Fahrzeugstrukturen in Multi-Material-Design	alle Bereiche
Entwicklung von angepassten Bearbeitungs- und Fügeverfahren für Werkstoffverbunde	alle Bereiche
Kontinuierliche Verfahren zur Trennung von Leichtbaustrukturen	alle Bereiche
Entwicklung von Demontage- und Recyclingverfahren bis zum wiedereinsatzfähigen Werkstoff	alle Bereiche

III UAG Rohstoffsicherungs- und Recyclingkonzepte

2.III.1 Einleitung und Status

Der Erfolg einer elektromobilen Transformation des Verkehrswesens ist unmittelbar mit der Verfügbarkeit von notwendigen Rohstoffen und Materialien verbunden. Diese Verfügbarkeit ist bestimmt durch den Umfang der primären Rohstoffressourcen sowie ihrer geopolitischen Zugänglichkeit und umwelt- und gesellschaftskonformen Ausbeutung einerseits und der zukünftigen Bündelung von Sekundärquellen in Abhängigkeit ihrer Recyclingfähigkeit andererseits. Die elektromobilen Rohstoffe werden Einfluss auf die Preisbildung des Fahrzeuges haben und üben damit einen entscheidenden Faktor auf die Marktakzeptanz des Gesamtproduktes Elektromobil aus.

Die politischen Entscheidungsträger auf europäischer und nationaler Ebene bearbeiten derzeit aktiv das Thema der geostrategischen Rohstoffverfügbarkeit. Die Aktivitäten der Rohstoffrückgewinnung aus elektromobilen Sekundärquellen zur Erhöhung der Ressourceneffizienz sind bisher auf Forschungs- und Entwicklungsanstrengungen ausgerichtet.

2.III.2 Rohstoffsicherung

Die Grundlage einer erforderlichen Initiative zur Rohstoffsicherung basiert zunächst auf einer kontinuierlichen Begleitung durch der Wirtschaft übergeordnete Funktionsstellen. Diese müssen der Industrie frühzeitig relevante Indikatoren für die globale Entwicklung strategischer Rohstoffressourcen zur Verfügung stellen. Ihre Zugänglichkeit kann sich je nach geopolitischer Lage auch kurzfristig ändern, und Basismaterialien der Elektromobilität signifikant verknappen respektive verteuern. Bereits in der Vergangenheit sind von diesen Veränderungen Metalle zeitweise betroffen gewesen, die am Beispiel der nachfolgenden typischen elektromobilen Materialien beschrieben werden, jedoch ebenso weitere Metalle wie Kupfer, Magnesium, Zink etc. betreffen können.

2.III.2.1 Lithium

Die Ressourcen, d. h. Vorkommen, die prinzipiell abgebaut werden können, werden derzeit auf ca. 35 Mio. t Lithium geschätzt⁵. Ein wesentlicher Teil davon liegt in Staaten wie Bolivien, China oder Zaire, deren zukünftige Politik bezüglich Lithium-Förderung, Export und Öffnung gegenüber ausländischen Investoren nur schwer abgeschätzt werden kann.

Derzeit sind sehr viele Lithium-Lagerstätten (auch in Europa) in der Untersuchungsphase. Es ist realistisch extern nicht abschätzbar, welche Vorkommen in absehbarer Zeit tatsächlich ausgebeutet werden.

Die Vielzahl der Marktprognosen für den Lithiumverbrauch inklusive der Nachfrage für die Elektromobilität geht im Mittel von ca. 100.000 t Li im Jahr 2030 aus, heute beträgt die Nachfrage etwa ein Viertel davon.

Aus dem Verhältnis von Ressourcen zu Nachfrage und der fehlenden Dominanz problematischer Staaten ist davon auszugehen, dass die Verfügbarkeit von Lithium gewährleistet sein wird.

2.III.2.2 Seltene Erden

Bei den Seltenen Erden geht es im Rahmen dieses Berichts vor allem um das Element Neodym. Es findet im Bereich der Elektromobilität Verwendung als Permanentmagnet in den Elektromotoren. Grundsätzlich können Elektromotoren auch ohne Neodym produziert werden, allerdings sind solche Motoren deutlich weniger effizient. Im Jahr 2006 wurden 16.800 Tonnen Neodym produziert, 4.000 t davon für neuartige Technologien, wozu die Elektromobilität gerechnet wird. Es wird geschätzt, dass im Jahr 2030 27.900 Tonnen benötigt werden, was dem 1,66fachen der augenblicklichen Produktion entspricht⁶.

Bei der Gewinnung von Neodym gibt es anders als bei Indium oder Germanium kein eigentliches Trägerelement, sondern es tritt in geringer Konzentration gekoppelt an die anderen Seltenen Erden auf. 97 % der Produktion von Seltenen Erden finden in China statt. Dabei ist aber nicht auszuschließen, dass die Entdeckung einer einzigen neuen Lagerstätte das Bild ändern könnte. Für den Export bestehen Quoten und andere Beschränkungen.

Aufgrund der erwarteten hohen Nachfrage nach einzelnen „Seltene Erden“-Produkten (z. B. Nd) ist der Aufbau effektiver Recycling-Verfahren als Beitrag zur Rohstoffsicherung von großer Bedeutung.

2.III.2.3 Kobalt

Die Hauptanwendungsgebiete für Kobalt liegen in den Bereichen Batterien, Superlegierungen und -magnete und Hartmetalle.

Kobalt kommt geologisch im Allgemeinen zusammen mit Nickel und Kupfer vor. Die weltweiten Reserven werden auf ca. 7,1 Millionen Tonnen geschätzt. Der größte Teil dieser Reserven (51,5 %) liegt in Afrika – vor allem im Kongo – und damit in politisch instabilen Regionen. Weitere Minenkapazitäten für Kobalt findet man in Nord- und Südamerika und Australien.

Kobalt ist grundsätzlich in ausreichender Menge vorhanden, denn die Weltjahresproduktion lag 2008 lediglich bei 75.900 Tonnen. Jedoch hat sich die Menge seit 1995 vervierfacht und chinesische Kobalt-Produzenten kaufen mit staatlicher Unterstützung afrikanische Kobalt-Erze oder Minen auf.

Unter den genannten Umständen ist das Recycling von Kobalt einer der wichtigen Bausteine zur Sicherung des europäischen Zugangs zu diesem wichtigen Technologiemetall.

⁵ Keith Evans: Reserves and Resources, Industrial Minerals Lithium Conference, Las Vegas, Jan. 2010.

⁶ EC Enterprise and Industry Directorate General: Critical raw materials for the EU, 30 July 2010

2.III.3 Recycling

Die zweite strategische Säule einer nachhaltigen Rohstoffbewirtschaftung entwickelt sich aus der Schließung von Wertstoffkreisläufen durch Recycling.

Großtechnische Recyclingsysteme verlangen Mindestmengenströme an Batterien oder Antrieben, um eine Mindestauslastung zu erlangen. In dieser Übergangsphase kann der Beitrag zur Importreduzierung naturgemäß nur eine marginale Rolle darstellen und unterstreicht die Rohstoffabhängigkeit trotz aller zu erwartenden positiven Entwicklungsanstrengungen im Recyclingsektor. Daneben ist zu berücksichtigen, dass aus organisatorischen Gründen, z. B. der Dissipation von Sekundärrohstoffquellen durch Export von Altfahrzeugen oder aus verfahrenstechnischen Gründen durch Verzettelung einzelner Rohstoffe, Verluste entstehen können, die durch geeignete Maßnahmen zu minimieren sind. Die anfangs zu erwartende hohe Nachfrage nach Batteriematerialien führt dazu, dass bei hoher Recyclingrate bereits ca. 25–30 % der Rohstoffe durch Sekundärmaterialien abgedeckt werden können. Diese Recyclingrate wird sich im weiteren Zeitablauf sukzessive erhöhen.

Spezifisch für die Elektromobilität und ihre Rohstoffsicherung lässt sich allgemein gültig formulieren, dass

- mit der Elektromobilität neuartige, hochinnovative Materialien, Komponenten und Verbundstoffe entwickelt werden, die dem Recycling zugeführt werden
- aufgrund der beschleunigten Entwicklung sich ebenso schnell der Sektor der Recyclingwirtschaft in seiner Prozesstechnik und seiner Struktur wie auch Organisation diesen zügigen Veränderungen anpassen muss, woraus sich die technische Forderung eines komplexen und hochflexiblen Verwertungsprozesses ableitet, der unmittelbar mit erheblichen Forschungs- und Entwicklungsanstrengungen verbunden ist. Es ist darüber hinaus unabdinglich, Stoffströme transparenter zu gestalten und Schnittstellen zwischen den Akteuren der Kette in Hinblick auf ein Optimum des Recycling-Gesamtsystems zu verbessern.
- auf Basis bestehender Systemerfahrungen über innovative Rückführsysteme und -prozesse für wertreiche Komponenten wie Hochvoltbatterien, Antriebssysteme und Peripheriebauteile (v. a. Regelelektronik) ein Rohstoffzugriff der Recyclingindustrie ermöglicht wird. Hierbei sind auch Geschäftsmodelle zu entwickeln, die sicherstellen, dass am Lebensende die Batterien in leistungsfähige Recyclingsysteme eingesteuert werden.
- technologisch neu zu entwickelnde Recyclingprozesse eine inländische, wettbewerbsfähige Rückgewinnung ermöglichen.

Ebenso spezifisch ist die Herausforderung des Recyclings von Leichtbauwerkstoffen, die nicht unmittelbar mit der Rohstoffsicherung zusammenhängen.

2.III.4 Zielsetzung und Erfolgsfaktoren

Zur Rohstoffsicherung von Materialien spezifisch für die Elektromobilität sind aus heutiger Sicht für Batterien die Werkstoffe Lithium und Kobalt und für den Antriebsstrang die seltenen Erden von besonderer Relevanz. Ihre sichere Primärversorgung hängt unmittelbar mit der gegebenen geopolitischen Situation zusammen und muss daher auch politisch adressiert werden. Die sekundäre Rohstoffsicherung durch Recycling von komplexen Systemen unterliegt unterschiedlichsten technischen und wirtschaftlichen Aspekten. Diesen Recyclingverfahren vorgelagert müssen Sammel- und Rückführungskonzepte entwickelt werden, die Transport/Lagerung und Systemidentifikation sicher stellen können. Hierfür müssen Geschäftsmodelle entwickelt werden, die sowohl die Logistikkette als auch eine mögliche Zweitnutzung berücksichtigen. Der Erfolg einer Erstbehandlung als Teilschritt des Recyclings hängt von der sachgerechten Demontage sowie der mechanischen, thermischen und chemischen Aufbereitung bzw. Separation ab. Hinsichtlich Batterien kommt zusätzlich noch der Verfahrensschritt der elektrischen Entladung hinzu. Für die eigentlichen Recyclingverfahren kommen hydrometallurgische oder thermochemische Verfahren in Frage. Von großer Wichtigkeit wird hier der rechtzeitige Betrieb von Recycling-Pilotanlagen sein. Recycling und Wiederverwendung werden erleichtert durch demontage- und wiederverwendungsgerechte Konstruktion der entsprechenden Fahrzeugkomponenten.

2.III.5 Wettbewerbssituation

Hinsichtlich der Primärrohstoffe lässt sich eine wachsende Tendenz von nicht wirtschaftsliberalen, aber rohstoffreichen Ländern beobachten, die Exploration bzw. den Export zu kontrollieren. Auch wird der Versuch unternommen, gezielt das technische Know-how zur Vertiefung der Wertschöpfungskette zu fördern. Hinsichtlich der Sekundärrohstoffgewinnung sind die internationalen Aktivitäten in der folgenden Tabelle aufgelistet.

Region/ Land	Projektart Recycling	Unternehmen	Fördermittel	Metalle	Zusatzinformationen Einschränkungen
USA	Pilot bzw. Produktionsanlage für Li-Batt.-Recycling	Toxco Inc. Anaheim, CA	7,3 Mio. €	Ni, Co, Li	keine Angaben
Japan	Installation einer Pilotanlage für Li-Batterien	JX Nippon Mining & Metals, Tsuruga Waseda and Nagoya University	11,3 Mio. €	SE, Li, Co, Mn	Ausgerichtet auf Co und Mn-haltige Li-Ion Batterien
Japan	Recyclingverfahrens zur Rückgewinnung von SE aus Magneten	Hitachi, Ministry of Economy and Industry, Tokyo	unbekannt	SE, Li, Co, Mn	2009–2013, kein spezifisches E-Mobility Thema
EU Germany	Recycling von Lithium-Ionen-Batterien	Audi, Chemetall, Evonik Litarion GmbH, TU Braunschweig u. a.	8,4 Mio. €	Co, Ni, Li	LithoRec Projekt/BMU
EU Germany	Recycling – Prozessentwicklung für Co-basierte Li-Bs aus EVs	Accurec Recycling, Universität RWTH Aachen	0,60 Mio. €	Co, Ni, Li	BMBF/PTJ eingeschränkt auf Co-basierte Batt.
EU Germany	Recyclingkonzept für die Hochleistungsbatterien zukünftiger EVs	Umicore, Daimler, Öko-Institut Darmstadt, TU Clausthal	1,6 Mio. €	Co, Ni, Li	BMU-Projekt LIBRI
China Jiangsu	Entwicklung und Aufbau einer Pilotanlage für 1.000 t/a Li-Batt.-Recycling	Yancheng Ltd., Jiangsu, Yandu CEEA, Ministry of Industry, Inform. Techn.	FM > 10 Mio. €	Co, Ni	nicht spezif. E-Mobilität

2.III.6 SWOT-Analyse

Rohstoffsicherung und Recycling		
	Stärken	Schwächen
regulativ	<ul style="list-style-type: none"> ■ gut implementierte Umsetzung der EU-basierten Altkraft- und Batterie-Rücknahmeverordnung 	<ul style="list-style-type: none"> ■ unklar definierte quantitative Recyclingvorgaben, teilweise ohne Beachtung ökonomischer Effizienzen, Umweltrelevanz und Ressourcen-Schonung ■ Anpassungsbedarf Transportvorschriften (ADR) für Batterien
ökonomisch	<ul style="list-style-type: none"> ■ langjährige Erfahrung aus bestehenden Sammel-, Behandlungs- und Recycling-systemen 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Nachteil hoher Lohnstruktur muss durch effiziente Recycling-techniken kompensiert werden
technisch	<ul style="list-style-type: none"> ■ etablierte und starke Recycling-industrie mit Know-how Vorsprung 	<ul style="list-style-type: none"> ■ erheblicher Know-how Rückstand Batterieindustrie
	<ul style="list-style-type: none"> ■ etablierte und leistungsstarke Chemie- und Metallindustrie 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Verfahren und Prozesse zur SE-Aufbereitung und Raffination nicht in EU etabliert
	Chancen	Risiken
regulativ	<ul style="list-style-type: none"> ■ Schaffung von Rahmenbedingungen für eine wettbewerbsfähige Rohstoffrückgewinnung 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Entwicklung und Investition in Technologien gefährdet, wenn uneinheitliche Qualitäts- und Effizienzmaßstäbe in EU 27 gelten ■ Ohne verbesserte Vollzugskontrolle bestehender Regularien Risiko des Abflusses von Wertstoffen
	<ul style="list-style-type: none"> ■ frühzeitige Unterstützung durch Politik (F&E) 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Elektromobilität verzögert sich oder setzt sich nicht durch
ökonomisch	<ul style="list-style-type: none"> ■ Umweltbewusstsein ■ langfristige Rohstoffsicherung strategischer Metalle ■ zusätzliches Marktpotenzial für Recyclingindustrie ■ finanzielle Stärke und Umsetzungskraft des Landes 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Rohstoffzugang wird eingeschränkt ■ Aufbau von Recyclingkapazitäten und Know-how im Ausland entwickelt sich schneller als in Deutschland ■ Preisanhebungen aufgrund der Marktmacht der Rohstofflieferanten ■ Wirtschaftlichkeit Recyclingverfahren ■ Verwendung kostengünstiger Materialien in Komponenten macht Recycling nicht selbsttragend
technisch	<ul style="list-style-type: none"> ■ Ausbau Know-how Vorsprung Recyclingindustrie 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Verzettelung von strategischen Metallen durch minderwertige, nicht angepasste Recyclingverfahren

2.III.7 Roadmap

Handlungsfeld	2014	2017	2020
Primärrohstoffe	Begleitende Identifizierung von Risk-Supply-Battery-Materials unter Berücksichtigung alternativer Marktszenarien	Aufbau und Förderung verarbeitender und -veredelnder Rohstoffindustrie in Sektoren mit Know-how-Gap (z. B. SE)	(Anpassung Rohstoffstrategie)
Sekundärrohstoffe	Abschluss Prozessentwicklung der F&E priorisierten Themen (Handlungsempfehlung s. u.) Nachweis der Machbarkeit des Recyclings im Pilotmaßstab über die gesamte Recyclingkette	Wirtschaftlichkeitsnachweis des Recyclings im Pilotmaßstab	Implementierung/Integration Rückführungssystem für Alt-Elektromobile/Altbatterien Up-scaling Recyclinganlagen in den Industriemaßstab (gesamte Wertschöpfungskette)
politisch- regulative Erfordernisse bzw. Anpassungen	Bedarfsermittlung/Anpassung von Transportvorschriften für große Lithiumbatterien/ Module (ADR)	BattG bzw. 66/2006/EU hinsichtlich Recyclingeffizienzen für Batterien AltfahrzG bzw. 2000/53/EG hinsichtlich Recyclingquoten an techn./ökonomische Erfordernisse für Elektrofahrzeuge	1013/2006/EG Abfallverbringungsverordnung hinsichtlich effizienter Wertstoffrückführung durch unkontrollierten Export ELV bzw. WEEE

2.III.8 Handlungsempfehlungen

Elektromobilität stellt für die deutsche, automobil-orientierte Industriegesellschaft in besonderer Weise ein innovatives Entwicklungspotenzial der Zukunft dar. Um ihre Abhängigkeit von Rohstoffimporten deutlich reduzieren zu können, sind neben den erforderlichen in der Tabelle aufgeführten Forschungs- und Entwicklungsmaßnahmen auch flankierende Maßnahmen an die Politik adressiert und umzusetzen. Neben dem Ausbau der Rohstoffstrategie der Bundesregierung sind insbesondere die Regularien für gefahrgutrechtliche Transporte auf die Bedürfnisse von Hochenergiebatterien abzustimmen. Darüber hinaus sollten die Durchführungsmaßnahmen für den EU-Export wirtschaftsstrategischer Metallkomponenten verbessert werden, sodass ein erleichterter Rohstoffzugriff der Recyclingindustrie unter wettbewerblichen Bedingungen entsteht. Die Recyclingziele als rein quantitative gesetzliche Vorgabe sind im Lichte erster Erfahrungen mit bestehenden Gesetzgebungen kritisch zu überarbeiten.

Konzepte für Rohstoffsicherung und Kreislaufführung

- Wiederverwertungsgerechte Konstruktion für E-Mobility-spezifische Komponenten
- Entwicklung von Geschäftsmodellen zur Schließung von offenen Werkstoffkreisläufen (Rückführung, Zweitnutzung, Wiederverwendung)

Recycling von strategischen Metallen aus Batteriewerkstoffen

- Prozessentwicklung zur metallurgischen Rückgewinnung strategischer Kathoden- (Kobalt, Nickel, Mangan ...) und Anodenmaterialien (Lithium, Kupfer, ...)
- Pilotanlage (Vorkonditionierung, mechanische Trennung, thermische bzw. hydromet. Aufbereitung der Batteriematerialien)

Recycling von strategischen Metallen (bsd. seltene Erden) aus Antriebsstrangmaterialien

- Neue Technologien für die Vorkonditionierung und Aufkonzentrierung aus ELV- und WEEE-Schrott
- Entwicklung Recyclingverfahren bis zum wiedereinsatzfähigen Produkt
- Nachhaltigkeitsbetrachtung, Datenbasis Mengenströme
- LCA-Betrachtungen, begleitend

Politische Themen

- Rohstoffzugriff der Recyclingindustrie durch verbesserten Vollzug erleichtern und eine inländische Rohstoffgewinnung von wirtschaftsstrategischen Metallen wirtschaftlich ermöglichen
- Exportkontrolle von ELV- und WEEE-Schrott
- Fortschreibung der Rohstoffstrategie durch die Bundesregierung (Schnittstelle AG5-AG7; Primär- und Sekundärrohstoffe)
- Richtlinien Transport, Lagerung, Verpackung (Technischer Input aufgrund der Besonderheiten von EV-Batterien notwendig; Berücksichtigung von Erfahrungen mit ähnlichen Systemen: Anpassung BattG/AltAutoV)
- Anforderungen an Erstbehandlung und Demontagebetriebe (Schadstoffseparierung, Wertstoffanreicherung (Quoten))

IV. UAG Materialien für weitere Schlüsselkomponenten

2.IV.1 Einleitung und Status

Weitere Schlüsselmaterialien für eine erfolgreiche und vor allem effiziente Elektromobilität sind:

- Weich- und Hartmagnet-Materialien für die Sicherstellung der Leistung der Elektromotoren,
- Materialien für Range-Extender, für die sowohl leistungsfähige Brennstoffzellen als auch auf einen einzigen Betriebspunkt optimierte Verbrennungsmotoren mit Tieftemperatur-Katalysatoren eingesetzt werden können,
- Materialien für ein leistungsfähiges Solar- und Wärmemanagement,
- Materialien für die Weiterentwicklung von Kondensatoren, Widerstände und Induktivitäten (pass. Bauelemente),
- Materialien für die Leistungselektronik sowie die Aufbau- und Verbindungstechnik.

2.IV.1.1 Magnetmaterialien

Hartmagnete

Eine grundsätzliche und wesentliche Voraussetzung für die Entwicklung optimaler Motoren und Generatoren für E-Fahrzeuge ist die Verfügbarkeit von Hochleistungs- und Hochenergie-Hartmagneten. Bisher basieren die E-Bauteile auf magnetischen Ferrit-Werkstoffen sowie magnetischen Seltenerdmetall-Übergangsmetall-Systemen (RE-TM: rare-earth-transition-metal). Für letztere hat sich das vor etwa 20 Jahren entdeckte $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ -System als der herausragende Hartmagnetwerkstoff etabliert und wird folglich in fast allen E-Bauteilen eingesetzt.

Aufgrund der eingeschränkten Verfügbarkeit von RE-Metallen wie Nd oder Dy ist schon kurzfristig ein großer Forschungsbedarf notwendig, damit neue RE-TM-Hartmagnete entdeckt und verbessert werden, die bei gleichwertiger Leistungsfähigkeit weniger Nd bzw. Dy enthalten oder gar RE-frei sind.

Um in der Vielzahl denkbarer Materialsysteme effizient nach potentiellen neuen Magnetwerkstoffen zu suchen, sind neuartige experimentelle und theoretische Strategien notwendig, wie beispielsweise High-Throughput-Screening, theoretische atomistisch-simulatorische oder mathematisch-statistische Methoden.

Das Mikrogefüge und die daraus resultierenden technologischen Eigenschaften der Magnetmaterialien können durch spezielle Prozessmodifikation (Einsatz von Strip-Casting und/oder HD-Prozessen) deutlich verbessert werden. Im europäischen Raum hat es hierzu in den vergangenen Jahren nur sehr wenige Aktivitäten der Hersteller (namentlich Fa. Vacuumschmelze, als einziger verbliebener Hersteller relevanter Magnetqualitäten in Europa) und der Forschung gegeben.

Weichmagnete (Elektroband, Pulververbundwerkstoffe)

Nicht-kornorientiertes Elektroband (NO-Elektroband) ist bereits heute als Basiswerkstoff für Elektromotoren in zahllosen Nebenaggregaten des Fahrzeugs enthalten. Für den Einsatz in elektrisch angetriebenen Fahrzeugen unterscheiden sich die Werkstoffanforderungen jedoch deutlich und gehen in vielen Fällen weit über diese hinaus. Gute weichmagnetische Eigenschaften wie niedrige Ummagnetisierungsverluste und hohe magnetische Polarisierung gehören zu den wesentlichen Anforderungen an das Elektroband. Weiterhin spielen Begrenzungen von Baugröße und Gewicht, Erzeugungs- und Verarbeitungskosten sowie ausreichende Verfügbarkeit eine entscheidende Rolle.

Deshalb ist eine anwendungsspezifische Weiterentwicklung und Charakterisierung neuer Elektrobandsorten für den Einsatz in hocheffizienten Antriebsmotoren zwingend notwendig. Durch innovative Werkstoffe ergeben sich hierbei neue konstruktive Freiheitsgrade zur Optimierung von Leistungsdichte und Energieeffizienz des Elektromotors. Seit einiger Zeit werden außerdem weichmagnetische Pulververbundwerkstoffe (SMC, Soft Magnetic Compound) entwickelt. Sie bestehen im Gegensatz zu herkömmlichen Anordnungen nicht aus geschichteten Blechen, sondern es werden kleine Partikel aus weichmagnetischem Material mit einer Isolierschicht überzogen und anschließend verpresst und über die pulvermetallurgische Route hergestellt.

Neben der Weiterentwicklung der weichmagnetischen Materialien, muss auch die Fertigungstechnologie sowohl für das Elektroband als auch für die SMC-Werkstoffe angepasst werden. Durch eine die Werkstoffentwicklung und Fertigungstechnik begleitende Modellierung und Simulation kann die Konstruktion der Bauteile abgeleitet und optimiert werden.

2.IV.1.2 Range-Extender

Die größten Herausforderungen für batteriegetriebene Fahrzeuge liegen in der geringen Reichweite sowie der langen Ladedauer. Diese können mit so genannten Range-Extendern, also Zusatzaggregate auf Basis von Brennstoffzellen oder klassischen Verbrennungsmotoren, überbrückt werden.

Die energieeffiziente Brennstoffzelle kann dabei als Ladeinheit für die Batterie – als Range-Extender – eingesetzt werden oder in einem intelligenten Hybrid-Konzept im Zusammenspiel mit Batterie und Elektromotor den Dauerantrieb unterstützen, während die Hauptlast z. B. bei Beschleunigungsvorgängen über die Batterie abgefangen wird. Die optimale Auslegung und Abstimmung der Einzelkomponenten sowie des gesamten Hybridisierungs- und Regelungskonzepts stehen momentan im Schwerpunkt der Automobilhersteller, nachdem die grundsätzliche Alltagstauglichkeit der Brennstoffzelle im Automobil bereits nachgewiesen wurde.

PEM Brennstoffzelle als Range-Extender

Die führende Technologie für die Anwendung von Brennstoffzellen als Hauptantriebskomponente in Fahrzeugen ist die Niedertemperatur-PEM-Brennstoffzelle (NT-PEM-FC), da sie ein dynamisches Startverhalten aufweist und über eine hohe Leistungsdichte und Energieeffizienz verfügt. Jedoch muss die NT-PEM-FC mit reinem Wasserstoff betrieben werden, wofür bisher keine Infrastruktur vorhanden ist.

Für den Einsatz als Range-Extender werden deshalb Hochtemperatur Brennstoffzellen (HT-PEM) favorisiert, da sie direkt an Bord mit aus Kohlenwasserstoffen reformiertem Wasserstoff betrieben werden. Damit ist die Nutzung von konventionellen Treibstoffen, wie Benzin, Erdgas, Methanol oder Biodiesel möglich. In Verbindung mit „on-board“ Reformern ermöglicht die HT-PEM-Technologie einfache, robuste Systeme, die die Verunreinigungen im Reformat tolerieren, kein Wassermanagement benötigen und eine einfache Kühlung ermöglichen. Zudem kann die Abwärme für die Heizung des Fahrzeuges genutzt werden und indirekt zur Entlastung der Batterie beitragen.

Die größten Herausforderungen für die Brennstoffzelle als Hybrid- oder Range-Extender-Konzept in Elektroautos liegen neben der Systemintegration vor allem in der Kostenreduktion, um mit den bereits existierenden Lösungen, z. B. dem Verbrennungsmotor, konkurrieren zu können. Das Ziel der Forschungsarbeiten muss sein, die Kosten für Komponenten der Brennstoffzelle zu senken, z. B. mit kostengünstigere Materialien für die Membranen-Elektroden-Einheit und einem effizienten Herstellungsprozess von Komponenten, Stacks und Systemen.

Verbrennungsmotor als Range-Extender

Für die Verwendung als Range-Extender werden Verbrennungsmotoren auf einen Betriebspunkt optimiert, was bei den heutigen Motoren noch nicht der Fall ist und somit großes Entwicklungspotenzial birgt. Die nötige Emissionsreduktion kann durch mehrere Aspekte erreicht werden:

- Optimierung des Verbrennungsprozesses, angepasst an die im Verbrennungsraum verwendeten Werkstoffe
- Entwicklung von Werkstoffen und Oberflächenbehandlungsverfahren mit niedrigen Reibwerten und hohem Verschleißwiderstand
- Konsequente Nutzung des Leichtbaupotenzials, u. a. im Abgasstrang
- Nutzung der Restwärme durch thermoelektrische Materialien und Dampfmaschinen
- Entwicklung von Niedertemperaturkatalysatoren.

Für Range-Extender mit einem einzigen Betriebspunkt und einem guten Wärmemanagement für den Abgasstrang sind sowohl neue Leichtbaulösungen (siehe UAG Leichtbaumaterialien) als auch neue Katalysatorsysteme für einen Einsatz bei tieferen Temperaturen (Kaltstarteignung) nötig. Eine Niedertemperatur-Katalyse ist beispielsweise durch den Einsatz von hochreaktiven metallischen Nanoclustern auf strukturierten oxidischen Oberflächen oder nanoporösem Al_2O_3 möglich.

Für eine verbesserte Dauerstabilität und Aktivität hinsichtlich zukünftiger Grenzwerte und Sekundäremissionen muss die Katalysatorstruktur mit entsprechender Edelmetallintegration optimiert werden. Daneben wird der Edelmetalleinsatz durch computergestützte Entwicklung von Katalysatorstrukturen und Optimierung der Steuerungsstrategien für Verbrennungsmotoren reduziert.

2.IV.1.3 Wärme- und Solarmanagement

Nichtantriebskomponenten wie Heizung, Klimaanlage sowie Beleuchtung sind wesentliche Energieverbraucher im Auto, die heute ihre Betriebsenergie entweder aus der Abwärme (z. B. Heizung) oder direkt (z. B. Klimaanlage) aus dem Verbrennungsmotor beziehen und nur unwesentlich die Reichweite reduzieren. Im Elektroauto können Heizung und Klimatisierung jedoch gerade im Winter bis zu 40 % des Gesamtverbrauchs ausmachen und damit zur Reichweitenreduktion in der gleichen Größenordnung führen. Aus diesem Grund ist ein energieeffizientes Wärme- und Solarmanagement im Elektroauto unabdingbar, wobei das Gesamtkonzept die unkontrollierte Aufheizung des Fahrzeugs im Sommer und dessen Abkühlung im Winter verhindert. Basis solcher Produktinnovationen sind Materialien, welche den Austausch von Wärmestrahlung (Strahlung im IR Wellenlängenbereich) zwischen Fahrzeug und der Umgebung beeinflussen können. Dazu zählen u. a. IR-reflektierende oder absorbierende Materialien (z. B. Pigmente) in Autolacken, in Fenstern oder im Interieur eines Automobils.

Eine weitere Schlüsselkomponente zur energieeffizienten Kabinenisolation stellen Hochleistungs-dämmmaterialien dar, die sich durch eine extrem geringe Wärmeleitfähigkeit bei einer niedrigen Dichte auszeichnen. Dazu kommen Anforderungen an die Materialien für das Wärmemanagement der Batterien, um punktuelle Isolierungs- und Speicherungsmaßnahmen im Bereich der Batterie und Lüftungseinheiten durchführen zu können.

Hochleistungsdämm-Materialien

Heute verfügbare Standarddämmstoffe können prinzipiell in zwei Kategorien eingeteilt werden, nämlich luft- und gasgefüllte Dämmstoffe. Die Wärmeleitfähigkeit der verfügbaren Materialien ist jedoch für dünnwandige Anwendungen, z. B. im Dachhimmel, noch zu hoch, weshalb gerade im Hinblick auch auf Leichtbauweisen neue Materialien mit noch weiter verbesserten Isolierwirkungen bei gleichzeitig minimierter Dichte benötigt werden. Ein ideales Eigenschaftsprofil könnten neuartige Vakuum-Isolationspaneele aufzeigen. Eine große Rolle bei zukünftigen automobilen Anwendungen wird die intelligente Integration der Wärmedämmfunktion in den strukturellen Leichtbau spielen, insbesondere auch bei der Isolierung der Karosseriekonstruktion und bei Isolierungs- und Speicherungsmaßnahmen im Bereich der Batterie und der Lüftungseinheiten.

Aus heutigem Stand der Technik stellen derartige Werkstoffe jedoch noch eine große Herausforderung dar, so dass gezielte Forschungsprojekte aufgesetzt werden müssen. Da Synergien zum Themenfeld „Leichtbau“ bestehen, wird eine enge Verzahnung beider Themen vorgeschlagen.

Innovative IR-aktive Materialien

IR-aktive Materialien für Fahrzeug-Außenlackierung, Fahrzeuginnenraum (Armaturenbereich) und die Verglasung können einen weiteren wesentlichen Beitrag zur Reduktion des Energieverbrauchs im Auto liefern.

Um ein umfassendes Energiemanagement bei Sonneneinstrahlung und Kälte zu erreichen, müssen neue innovative Materialien für Lacke entwickelt werden, die in Abhängigkeit von der Temperatur die solare Wärmestrahlung sowohl reflektieren (bei hohen Temperaturen) als auch durchlassen (bei niedrigen Temperaturen) und somit einen intrinsischen „Schalter“ besitzen. Dieses Konzept kann auch auf entsprechende Anwendungen im Fahrzeuginnenraum (Armaturen) ausgeweitet werden. Da ein signifikanter Energieaustausch über die Verglasung erfolgt, muss auch hier ein entsprechendes Solarmanagement integriert werden. Hierfür müssen metallfreie Foliensysteme mit IR-reflektierender Wirkung entwickelt werden.

Eine weitere Möglichkeit für ein energieeffizientes Wärme- und Solarmanagement im Elektroauto ist der unabdingbare Einsatz von Dünnschicht-Wärmeschutzverglasung, wie sie heute schon standardmäßig in der Gebäudetechnik und in geringerem Umfang im Automobil (Oberklasse) eingesetzt wird. Dabei werden sogenannte „low-e/solar control“ Beschichtungen mit Schichtdicken von wenigen Nanometern verwendet. Diese optimieren die Reflexionseigenschaften in beiden Richtungen (außen nach innen und innen nach außen) und sorgen so für ein optimales Solarmanagement. Die verwendeten Dünnschichtmaterialien müssen weiterentwickelt, auf die neue Applikation optimiert (gebogene Scheiben) und zur Serienreife geführt werden.

Die Entwicklung von schaltbaren IR-aktiven Materialien, metallfreier Foliensysteme sowie „low-e/solar control“ Beschichtungen sind herausfordernde Forschungsvorhaben und die erhaltenen Produkte müssen auf die jeweiligen Endapplikationen maßgeschneidert werden.

Heute verfügbare Standarddämmstoffe können prinzipiell in zwei Kategorien eingeteilt werden, nämlich luft- und gasgefüllte Dämmstoffe. Die Wärmeleitfähigkeit der verfügbaren Materialien ist jedoch für dünnwandige Anwendungen, z. B. im Dachhimmel, noch zu hoch, weshalb gerade im Hinblick auch auf Leichtbauweisen neue Materialien mit noch weiter verbesserten Isolierwirkungen bei gleichzeitig minimierter Dichte benötigt werden. Ein ideales Eigenschaftsprofil könnten neuartige Vakuum-Isolationspaneele aufzeigen. Eine große Rolle bei zukünftigen automobilen Anwendungen wird die intelligente Integration der Wärmedämmfunktion in den strukturellen Leichtbau spielen, insbesondere auch bei der Isolierung der Karosseriekonstruktion und bei Isolierungs- und Speicherungsmaßnahmen im Bereich der Batterie und der Lüftungseinheiten.

Aus heutigem Stand der Technik stellen derartige Werkstoffe jedoch noch eine große Herausforderung dar, so dass gezielte Forschungsprojekte aufgesetzt werden müssen. Da Synergien zum Themenfeld „Leichtbau“ bestehen, wird eine enge Verzahnung beider Themen vorgeschlagen.

2.IV.1.4 Passive Bauelemente für Kondensatoren, Widerstände und Induktivitäten

Auch bei Optimierung aller anderen erforderlichen Komponenten für die Leistungselektronik ist auch bei den passiven Bauelementen eine höhere Integration und Miniaturisierung erforderlich. Die Eigentümerstruktur der einschlägigen großen Lieferanten zeigt jedoch, dass diese Komponenten von japanischen Herstellern dominiert werden. Dadurch kann für die deutsche Industrie eine äußerst unerwünschte Situation und Abhängigkeit entstehen. Nur wenige deutsche Mittelständler (z. B. Fa. Schaffer, Kaschke, Frolyt, Mikrotech und Vakuumschmelze) sind auf diesem Gebiet tätig und benötigen Forschungsmittel, um in spezialisierten Gebieten den Anschluss an die Weltspitze zu halten und die Bedürfnisse bzgl. Elektromobilität befriedigen zu können.

■ Neue Kontaktierverfahren (z. B. Kupferbondtechnologie)

Um die Zuverlässigkeit der Module der Leistungselektronik weiter deutlich zu erhöhen (Faktor 10–30) und um sie im Bereich der Elektromobilität sicher einsetzen zu können, sind neue Kontaktierverfahren bis zur Serienreife weiterzuentwickeln (Cu-Chipmetallisierung/Cu-Bond-drahttechnologie).

■ Aufbau- und Verbindungstechnik (AVT) für die Systemintegration

Um eine sinnvolle und kostengünstige Systemintegration von Leistungsmodulen in neuartige Fahrzeugkonzepte sicherzustellen, sind zwingend weitere Optimierungen bei der AVT erforderlich.

■ Sensorik für die Strom-, Spannungs- sowie die Temperaturmessung

Ergänzend zur Batterieentwicklung müssen die oben genannten Sensorsysteme weiter entwickelt und optimiert werden, um zuverlässige Aussagen z. B. über den Ladezustand der Batterie und die Ansteuerung des E-Motors treffen zu können.

2.IV.2 SWOT-Analyse

Stärken	Chancen
<ul style="list-style-type: none"> ■ Allgemein – Hoher wissenschaftlicher Standard und Ausbildungsstand ■ Range-Extender/Brennstoffzelle – Technologisches Know-How Grundlagen bis System vorhanden, führend bei Komponenten ■ Wärmemanagement – Technologieführerschaft im Bereich Dämmstoffe, Pigmente ■ Sonstiges – Deutsche Unternehmen bei Leistungselektronik noch führend 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Allgemein – Mit großem Engagement kann Deutschland auf genannten Gebieten Marktführerschaft erlangen ■ Range-Extender/Brennstoffzelle – Fahrzeuge mit hohen Reichweiten bei gleichzeitig geringen Emissionswerten ■ Wärmemanagement – Hohe Energieeffizienz zukünftiger Fahrzeuge
Schwächen	Risiken
<ul style="list-style-type: none"> ■ Hartmagneten – kaum (Forschungs-)Aktivitäten bei deutschen Unternehmen ■ Range-Extender-Brennstoffzellen: Kosten für Systeme noch zu hoch, fehlende Konzepte Fahrzeugintegration ■ Wärmemanagement: großer Einfluss der Dämmstoffe auf Autokonstruktion und sich daraus ergebende Spezifikationen, vorhandene Produktionsstraßen nicht nutzbar 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Allgemein – der ostasiatische Wirtschaftsraum wird seinen Vorsprung behaupten wollen, USA wird eigene Initiativen entwickeln ■ Elektrobond – technologischer und patentrechtlicher Vorsprung internationaler Wettbewerber (v. a. Asien) ■ Magnetmaterialien – kein direkter Zugriff auf Magnetwerkstoffe, da China den Markt dominiert ■ Wärmemanagement – Technologien/Lösungsansätze fallen durch OEM-Qualifikationen

2.IV.3 Roadmap

	2014	2017	2020
Magnetwerkstoffe I (Elektroband)	Vorstellung erster Weiterentwicklungen von NO-Elektroband	NO-Elektroband mit vorgesehenen Eigenschaften am Markt verfügbar	Prototypen von effizienten E-Motoren in den Referenzfahrzeugen
Magnetwerkstoffe II (Hartmagnete)	Erste Phasen für neue Magnetwerkstoffe ermittelt	Magnetwerkstoffe mit vorgesehenen Eigenschaften verfügbar	Neue Hochleistungs- magnetwerkstoffe im Serieneinsatz
Range-Extender	Optimierter Verbrennungsmotor mit einem Betriebspunkt einsetzbar	Fertigungsprozess für robuste, leistungsfähige und kosteneffiziente Brennstoffzellen Tiefemperaturkatalysator für Verbrennungsmotor als Range-Extender	Fahrzeuge mit leistungsfähiger Brennstoffzelle als Range Extender
Wärmemanagement	Neue Hochleistungsdämmmaterialien im Labormaßstab entwickelt	Serienreife Materialien (Wärmemanagement, neue Dünnschicht-Wärmeschutzverglasung)	Fahrzeuge mit leistungsfähigem Wärmemanagement
Weiteres	Neue Kontaktierungsverfahren in Serienreife	Passive Bauelemente: leistungsfähiger, höher integriert, miniaturisiert	Leistungselektronik und Sensorsysteme mit optimierter Aufbau- und Verbindungstechnik

3 Zusammenfassung

Innovative Materialien sind Grundvoraussetzung, um technologisch überlegene und nachhaltige Konzepte für auf den Weltmärkten konkurrenzfähige Elektrofahrzeuge zu entwickeln. Trotz zum Teil erheblichen Aufholbedarfs hat die deutsche Automobilbranche und Zulieferindustrie in diesem Feld enormes Potenzial, die Zielsetzungen der Nationalen Plattform Elektromobilität zur Realisierung zu verhelfen.

Die Entwicklung leistungsfähiger und kostengünstiger Batterien ist hierbei der Schlüssel zum Erfolg. Um den bestehenden Vorsprung insbesondere der asiatischen Konkurrenz aufzuholen und zu den Technologieführern aufzuschließen, müssen die Materialien der chemischen Zellkomponenten (Kathode, Anode, Elektrolyt, Separator, Additive) für Batterien auf Basis Lithium-Ionen-Technologie optimiert werden (II. und III. Generation), aber vor allem auch die Erforschung neuer Batteriekonzepte auf Metall-Chalkogenbasis (IV. Generation) frühzeitig und intensiv vorangetrieben werden.

Das Schlüsselbedarfsfeld Konstruktions- und Werkstoffleichtbau bietet große Chancen zur Reduzierung des Fahrzeugenergiebedarfs. Die Möglichkeit zum Technologiesprung und damit zur Erhaltung und Ausbau der Technologieführerschaft besteht hier in der Entwicklung von Materialkombinationen und systemischem Leichtbau.

Der Wandel des Antriebsstrangs bringt den Einsatz von neuen Materialien mit sich, deren Bedarf in Zukunft stark ansteigen wird. Der Großteil dieser Materialien (Lithium, Kobalt, Neodym etc.) ist teuer und muss importiert werden. Grundlagen zu Recyclingtechnologien sind in Deutschland vorhanden und müssen auf den Anwendungsfall Elektrofahrzeug und die stark steigenden Stückzahlen angepasst werden. Hierzu müssen Konzepte und Strategien entwickelt werden.

Weitere Schlüsselmaterialien (z. B. neue Werkstoffe für Elektromotoren, Range-Extender, Wärme- und Akustikmanagement, für passive Bauelemente, Aufbau und Verbindungstechnik und Leistungselektronik) sind zur Reduzierung des Energiebedarfs in Haupt- und Nebenaggregaten und zur Verbesserung des Fahrkomforts von Elektrofahrzeugen zu entwickeln.

4 Anhang

I Bedarfsfeld Batteriematerialien

Geplante Vorhaben in den Schwerpunktaktivitäten

	Projekt-Budget	Budget (Aufw. Industrie und Förderbedarf) in Mio. €			
		2011	2012	2013	2014ff.
I.1 Grundlagenforschung und Materialentwicklung	132	26,4	26,4	26,4	52,8
I.1.1 Grundlagenforschung/Verständnis von Ursache-Wirkungs-Zusammenhängen und Modellierung					
Physikalische Phänomene (chemische Zellkomponenten): z. B. Haftung Elektroden, Rheologie	1	0,2	0,2	0,2	0,4
Grenzflächenphänomene (Zelle), z. B. Deckschichtbildung, Anode, Benetzung	2	0,4	0,4	0,4	0,8
Elektrochemische Phänomene (Zelle) z. B. Sicherheit, Performanceverlust durch Verunreinigungen	2	0,4	0,4	0,4	0,8
Degradationsverhalten (chemische Zellkomponenten) z. B. kalendarische Alterung, Zykelstabilität	1	0,2	0,2	0,2	0,4
Modelling	2	0,4	0,4	0,4	0,8
I.1.2 Weiterentwicklung aktueller Materialkonzepte (Batterien der III. Generation, Hochvolt-Batterien)					
Verbesserung der Kathodentechnologie auf Basis des Standes der Technik 2010	18	3,6	3,6	3,6	7,2
Optimierung des Anodenmaterials für eine bessere Kompatibilität mit neuen Elektrolyten und Bindersystemen	8	1,6	1,6	1,6	3,2
Entwicklung hochvoltstabiler Elektrolyte und Separatoren	8	1,6	1,6	1,6	3,2
Separatorentwicklung	6	1,2	1,2	1,2	2,4
Entwicklung von Leitsalzen und Additiven für eine stabile Filmbildung (SEI)	5	1	1	1	2
Entwicklung weiterer Materialien zur Optimierung des Batteriesystems (gewichtssarme Kompositmaterialien für Gehäuse, Kupferlegierungen zur Herstellung dünnerer Ableiterfolien)	15	3	3	3	6
Entwicklung von Hochdurchsatztechnologien und -methoden für die Entwicklung chemischer Zellkomponenten	6	1,2	1,2	1,2	2,4
I.1.3 Neuartige Batteriekonzepte (Batterien der IV. Generation, Post-Lithium-Ionen Systeme)					
Entwicklung von Kathoden auf Chalkogenbasis, wie Luft-Sauerstoff oder Schwefel, Optimierung von Leitfähigkeit elektrochemischer Aktivität und Zyklusstabilität)	22	4,4	4,4	4,4	8,8
Entwicklung von Lade- und Entladekatalysatoren mit geringer Überspannung für Lufterktroden	4	0,8	0,8	0,8	1,6
Entwicklung von Schutzschichtkonzepten für Anoden und Kathoden	14	2,8	2,8	2,8	5,6
Entwicklung von kompatiblen Elektrolyten und Additiven, die Sicherheit, Stabilität und Leistung des Gesamtsystems gewährleisten	12	2,4	2,4	2,4	4,8
Separatorentwicklung (ideal: Separator = Elektrolyt, "dual phase")	6	1,2	1,2	1,2	2,4
I.2 Prozessentwicklung Hochvoltsysteme und Post-Lithium-Ionen Systeme	231	6,5	6,5	106,5	111,6
I.2.1 Internes Zelldesign und Prozessentwicklung					
Prozessentwicklung und Automatisierungstechnik für die Herstellung der funktionalen Komponenten und Zellen, u. a. Beschichtungstechnologien	4	0,8	0,8	0,8	1,6
Aufbau eines Testzentrums für Funktionsmaterialien (Realbedingungen)	15	3	3	3	6
Ausarbeitung von upscalebaren Produktionstechnologien und Anlagenkonzepten	6	1,2	1,2	1,2	2,4
Erprobung der Konzepte zur Zellfertigung in einer Pilotanlage	200			100	100

	Projekt-Budget	Budget (Aufw. Industrie und Förderbedarf) in Mio. €			
		2011	2012	2013	2014ff.
I.2.2 Massenfertigung					
Entwicklung großtechnischer Lösungen zur Herstellung von Kathoden- und Anodenmaterialien	2	0,4	0,4	0,4	0,8
Entwicklung einer geeigneten Pulver-Verfahrenstechnik (z. B. Mühlen) zum Zerkleinern und zur Partikelformung.	2	0,4	0,4	0,4	0,8
Entwicklung und Umsetzung des dazugehörigen Anlagenbaus, um die kosteneffiziente Massenfertigung in Deutschland zu ermöglichen und zu stärken.	2	0,7	0,7	0,7	
I Bedarfsfeld Batteriematerialien	363	32,9	32,9	132,9	164,4

II Bedarfsfeld Materialien für Konstruktions- und Werkstoffleichtbau

Geplante Vorhaben in den Schwerpunktaktivitäten

	Projekt-Budget	Budget (Aufw. Industrie und Förderbedarf) in Mio. €				
		2011	2012	2013	2014ff.	opt.
II.1 Leichtbauwerkstoffe	135	34,3	34,3	34,3	27	5
II.1.1 Hochleistungs-Faserverbundwerkstoffe aus regenerativen Ressourcen/Rohstoffen						
Entwicklung nachhaltiger Kohlenstoff-Faserhalbzeuge auf Basis regenerativer Primärwerkstoffe	5	1,7	1,7	1,7		
Entwicklung neuartiger Polyurethan-Werkstoffe aus Naturstoffen	4	1,3	1,3	1,3		
Entwicklung hygrothermisch stabilisierter duromerer Harzsysteme aus Naturstoffen	8	2,7	2,7	2,7		
Entwicklung präziser Werkstoffmodelle für neue Leichtbauwerkstoffe als Basis für die Simulation in der Bauteil- und Prozessauslegung	2	0,7	0,7	0,7		
Entwicklung von integrierten Werkstoffverbänden mit dem Ziel, Struktureigenschaften wie Festigkeit und Crashverhalten mit Funktionseigenschaften zu verknüpfen	2	0,7	0,7	0,7		
Entwicklung von Fasermaterialien mit Kosten/Performance Profil für einsatz im Automobil Serienfertigung	20	6,7	6,7	6,7		
Basis Duromere (Epoxid)	3	1	1	1		
Basis Thermoplaste (Polyamid, Polycarbonat)	5	1,7	1,7	1,7		
Basis Thermoplaste (Polyamid, Polycarbonat)	5	1,7	1,7	1,7		
Entwicklung von Faser-/Harzsystemen mit integrierter EMV (Leit-) Fähigkeit	3					3
Technologie der Herstellung von Faserhalbzeuge	3	1	1	1		
Entwicklung eines Harzinfusionsverfahrens für den automobilen Anwendungsbereich (mit geringen Zykluszeiten)	3	1	1	1		
C-Faserherstell-Technologie für Automobile	3	1	1	1		
3D-Pultrusionsverfahren	2	0,7	0,7	0,7		
II.1.2 Neuartige Magnesium- und Aluminiumwerkstoffe						
Entwicklung hochfester Magnesiumlegierungen	6	2	2	2		

	Projekt-Budget	Budget (Aufw. Industrie und Förderbedarf) in Mio. €				
		2011	2012	2013	2014ff.	opt.
Entwicklung kaltverformbarer Magnesiumlegierungen (Tumform < 150 °C)	8				8	
Korrosionsschutz für Mg-Bleche	4	1,3	1,3	1,3		
Herstellung von Hochleistungsaluminiumwerkstoffen aus Sekundäraluminium	2					2
II.1.3 Verbundwerkstoffe und Werkstoffverbunde						
Entwicklung von auf bestehende Prozessketten angepasste Multi-Material-Systeme für eine effektive Implementierung (z. B. Thermoplastische oder karbonphaserverstärkte Organobleche mit Stahlhalbzeugen, neuartige Multi-Material-Sandwichprodukte)	20	6,7	6,7	6,7		
Entwicklung neuer Stahlwerkstoffe mit gradierten Eigenschaften (z. B. durch partielle Wärmebehandlungen oder Umformverfahren)	8	2,7	2,7	2,7		
Entwicklung von polymeren Leichtbaustrukturwerkstoffen aus maßgeschneiderten, endlosfaserverstärkten Reaktionsharzsyste-men (Epoxy-, Polyurethan-, Polyamid-RIMs)	4				4	
Entwicklung von Vollkunststoffsandwichstrukturen aus hochfesten, hochsteifen, faserverstärkten Deckschichten und leichten Strukturkernen	4				4	
Entwicklung von endlosfaserverstärktem Magnesium-Verbundwerkstoffen zur Verbesserung der mechanischen Eigenschaften (Steifigkeit, Festigkeit, Kriechbeständigkeit)	5				5	
II.1.4 Erweiterte Simulationstechniken zur Optimierung von Werkstoffeigenschaften						
Erstellung von Materialmodellen für die Simulation: Werkstoffverhalten, Versagensverhalten und Dauerfestigkeit	5				5	
Erstellung von Materialkennwertedatenbanken	0,5				0,5	
Entwicklung von Multimaterialauswahl-Tools für die frühe Konzeptphase (Bsp.-Fkt.: Materialkennwertedatenbank, Cost-Tool Multimaterial usw.)	0,5				0,5	
II.1 Leichtbaustrukturen						
II.2.1 Hybride Karosseriekonzepte						
Entwicklung von Plattformkonzepten mit getrennten Antriebs- und Passagiermodulen	5	1,7	1,7	1,7		
Entwicklung einer Leichtbaukarosserie/Karosserieelementen in Metall/Composite-Mischbauweise sowie den notwendigen Designkriterien	7	2,3	2,3	2,3		
Entwicklung eines generischen Antriebsmoduls als Grundbaustein eines ganzheitlichen Fahrzeug- bzw. Flottenkonzeptes	4	1,3	1,3	1,3		
Entwicklung profilintensiver, stückzahlskalierbarer Leichtbauweisen (z. B. Multimaterialbauweisen)	4	1,3	1,3	1,3		
Entwicklung von Fail-Safe-Strukturen (Versagen des Materials ohne Sicherheitsverlust)	5	1,7	1,7	1,7		
II.2.2 Gewichtsoptimierter Komponenten für Antriebsstrang, Fahrwerk und Nebenaggregate in Elektrofahrzeuge						
Entwicklung von gewichtsoptimierten E-Motor/Getriebe-Einheiten (verschiedene Leistungsklassen und Einsatzszenarien)	5	1,7	1,7	1,7		
Entwicklung von bauteilintegrierten Systemen zur Energie- und Informationsübertragung (elektrisch, optisch, drahtlos)	4	1,3	1,3	1,3		
Entwicklung von Leichtbau Kraftübertragungssystemen (z. B. Steckbare Welle-Nabe-Verbindungen für Composite-Antriebswellen)	5	1,7	1,7	1,7		

	Projekt-Budget	Budget (Aufw. Industrie und Förderbedarf) in Mio. €				
		2011	2012	2013	2014ff.	opt.
Entwicklung eines Wirkungsgrad – optimierten Leichtbau – Differentials unter Nutzung von Gehäusekomponenten aus höherfesten Stahl- oder Verbundwerkstoffen	2	0,7	0,7	0,7		
Entwicklung von Rohrvormaterial zur Umformung von Leichtbau - Hohlwellen für Motor, Getriebe und Antriebstrang	1,5	0,5	0,5	0,5		
Entwicklung gewichtsreduzierter Compound – Getrieberäder unter Verwendung alternativer, beanspruchungsselektiver Leichtbau – Werkstoffe und geeigneter Fertigungstechnologien	0,7	0,2	0,2	0,2		
Entwicklung von aktiven Leichtbau-Feder/Dämpfer-Systemen für stark veränderte Fahrprofile und reduzierte Fahrzeugmassen	6	2	2	2		
Entwicklung neuartiger gewichtsoptimierte Radsysteme (in Verbindung mit der Entwicklung neuartiger Reifensysteme)	7				7	
x-by-wire Systeme: Lenkung, Bremse (ABS, ESP, ASR...), Fahrwerk	5				5	
II.2.3 Stahl/Composite/Kunststoff Sicherheits-Containmentstrukturen für Energiespeicher						
Entwicklung von Leichtbau Batteriekästen mit optimierter Explosions- und Crashesicherheit	4	1,3	1,3	1,3		
Entwicklung von bauteilintegrierten Sicherheitssystemen zum Schutz vor dem Austritt von Gasen oder Flüssigkeiten aus den Energiespeichern	3	1	1	1		
Entwicklung von Konzepten zur direkten Integration von Energiespeichern in die Fahrzeugstruktur (z. B. Unterboden, Schweller etc.)	4	1,3	1,3	1,3		
Konstruktive Systemintegration der Gehäuse/Framestrukturen aus Kunststoff/Metall/Composite für Energiespeicher	5	1,7	1,7	1,7		
Entwicklung von Kunststoff/CompositeMaterialien mit geeigneten eigenschaftsprofilen für Energiespeichercontainment (Wärmeformbeständigkeit, Tieftemperaturstabilität, Flammschutz, Chemikalienbeständigkeit/Elektrolyt)	10	3,3	3,3	3,3		
Optimierte Abstimmung der Prüfung von Leichtbau-Energiespeichern als Komponente mit der Fahrzeugstruktur (Crash, Brand, Betriebsfestigkeit)	3	1	1	1		
II.3 Fertigungs- und Fügeverfahren	74	22,7	22,7	22,7	6	
II.3.1 Fügeverfahren für nicht-artgleiche Werkstoffe						
Entwicklung von Fertigungs- und Fügeverfahren für Werkstoffe mit stark unterschiedlichen Eigenschaftsprofilen (z. B. Stähle, die durch örtliche Verfestigung und Wärmebehandlung belastungsoptimierten Leichtbau ermöglichen)	4	1,3	1,3	1,3		
Entwicklung von Verbindungstechniken für Stahl/Composite Werkstoffverbunde	4	1,3	1,3	1,3		
Entwicklung von Fügeverfahren für Stahl/Magnesium Werkstoffverbunde	4	1,3	1,3	1,3		
Entwicklung von effizienten Fügeverfahren für Stahl/Aluminium Werkstoffverbunde	3	1	1	1		
Entwicklung eines Gieß/Schmiede-Verfahrens für leichte Aluminium/Stahl-Compound Fahrwerksteile	2	0,7	0,7	0,7		
Untersuchung des Korrosionsverhaltens unterschiedlicher Werkstoffe im Mischbau	4	1,3	1,3	1,3		
Verfahren zur spanlosen Herstellung gewichts- und belastungsoptimierter Halbzeuge und Strukturen aus Metallen, Kunststoffen und Verbundstoffen	1	0,3	0,3	0,3		
Fertigungsverfahren für Profile mit variabler Wanddicke und Geometrie	1	0,3	0,3	0,3		
Fertigungsverfahren für Blechbauteile mit in Längs- und Querrichtung lokal frei definierbarer Wanddicke	1	0,3	0,3	0,3		
Untersuchungen zum Aufschluss komplexer Verbundstoffe für ein Recycling	1	0,3	0,3	0,3		

	Projekt-Budget	Budget (Aufw. Industrie und Förderbedarf) in Mio. €				
		2011	2012	2013	2014ff.	opt.
Klebeverfahren	1	0,3	0,3	0,3		
II.3.2 Bearbeitungsverfahren für Stahl/Composite-Hybridstrukturen						
Entwicklung effizienter Bearbeitungsverfahren für Stahl/CFK Werkstoffverbunde	4	1,3	1,3	1,3		
Entwicklung von hochpräzisen Bearbeitungsverfahren für Composite-Werkstoffe	3	1	1	1		
Entwicklung von kombinierten Bearbeitungs/Fügeverfahren für Stahl/ Composite Werkstoffverbunde	3	1	1	1		
(Groß-)serientaugliche Verarbeitungsverfahren (Automobil-taugliche Zykluszeiten, Reproduzierbarkeit usw.)	10	3,3	3,3	3,3		
Fokussierung auf thermoplastische Umformung (Pressen, Tiefziehen von Organoblechen, etc.)	2				2	
Fokussierung auf infiltrierte Multiaxialgelege/Peforms mit geschlossen Werkzeugen (z. B. RTM)	2				2	
Entwicklung von compositegerechten Werkzeugen (Class-A Oberflächen, ausgerichtet auf jeweiliges Verarbeitungsverfahren, endkonturnah, eigenbeheizt, etc..)	2				2	
II.3.3 Effiziente Verfahren zur Magnesiumverarbeitung						
Entwicklung effizienter Umformverfahren für Magnesium-Flachprodukte	4	1,3	1,3	1,3		
Entwicklung ressourcenoptimierter Bearbeitungsverfahren für Magnesium-Bauteilstrukturen	3	1	1	1		
Entwicklung von angepassten Fügeverfahren für Magnesium-Werkstoffe	4	1,3	1,3	1,3		
II.3.4 Angepasste Reparaturkonzepte für Hybridstrukturen						
Entwicklung einer bauteilintegrierten Schadensüberwachung	2	0,7	0,7	0,7		
Entwicklung von Baugruppen und Modulen zur dezentralen Reparatur von Fahrzeugen in Multi-Material-Design	3	1	1	1		
Entwicklung von robusten Qualitätssicherungswerkzeugen für CFK-Verbundwerkstoffe	3	1	1	1		
Praxisnahe Konzepte zur Schadenserkennung im Feld	1,5	0,5	0,5	0,5		
II.3.5 Werkzeuge und Tools						
Berechnung und Simulation von Klebeverbindungen	0,5	0,2	0,2	0,2		
Entwicklung von Simulationswerkzeugen zur Beschreibung des Verformungsverhaltens	1	0,3	0,3	0,3		
II.4 Wertschöpfungs- und Zulieferstruktur						
II.4.1 Prozessentwicklung für die Herstellung eines hybriden Leichtbau-Fahrzeuges						
Prozessanalyse von Fertigungsverfahren für Strukturkomponenten in Multi-Material-Design	2	0,7	0,7	0,7		
Konzeption von durchgängigen Fertigungsketten für die ressourceneffiziente Herstellung von Fahrzeugstrukturen in Multi-Material-Design	1	0,3	0,3	0,3		
Bewertung des Marktpotentials von Fahrzeugstrukturen in Multi-Material-Design (Berücksichtigung allfälliger Skaleneffekte)	0,5	0,2	0,2	0,2		
Analyse des nationalen Produkt- und Prozessportfolios der deutschen Automobilindustrie (Studie)	0,5	0,2	0,2	0,2		

	Projekt-Budget	Budget (Aufw. Industrie und Förderbedarf) in Mio. €				
		2011	2012	2013	2014ff.	opt.
Konzeption von durchgängigen Fertigungsketten für die ressourceneffiziente Herstellung von faserverstärkten Polymerwerkstoffen und Sandwichstrukturwerkstoffen	2	0,7	0,7	0,7		
Entwicklung von ressourcenschonenden Fertigungsprozessen für Kohlenstofffasern	5	1,7	1,7	1,7		
II.4.2 Ökologische und Betriebswirtschaftliche Nachhaltigkeit						
SWOT-Analyse nationaler und internationaler Zulieferketten	1	0,3	0,3	0,3		
Ökologische und sozioökonomische Bilanzierung von ausgewählten Baugruppen in Multi-Material-Design und konventioneller Bauweise	2	0,7	0,7	0,7		
II Materialien für Konstruktions- und Werkstoffleichtbau	313,2	87,7	87,7	87,7	45	5

III Bedarfsfeld Rohstoffsicherungs- und Recyclingkonzepte

Geplante Vorhaben in den Schwerpunktaktivitäten

	Projekt-Budget	Priorität 1 oder 2	Budget (Aufw. Industrie und Förderbedarf) in Mio. €				
			2011	2012	2013	2014ff.	opt.
III.1 Konzepte für Rohstoffsicherung und Kreislauf-führung	30		10,1	10,1	9,9		
1.1 Demontagegerechte und wiederverwendungsgerechte Konstruktion -> Design for Recycling	8,5	1	2,9	2,9	2,8		
1.2 Entwicklung von Geschäftsmodellen zur Schließung von offenen Wertstoffkreisläufen (vorher Abgleich mit bestehenden Förderprojekten notwendig)	21,5	1	7,2	7,2	7,1		
1.2.1 Neue Geschäftsmodelle zur Sicherung der Rohstoffbasis und Rückführung (incl. Sammlung, Transport etc)							
1.2.2 Geschäftsmodelle für Zweitnutzung							
1.2.3 Strategien für Wiederverwendung von Bauteilen							
III.2 Recycling von Batteriewertstoffen	63		20,3	20,3	20,3		2
2.1 Metallrückgewinnung	61	1	20,3	20,3	20,3		
2.1.1 Prozessentwicklung zur metallurgischen Rückgewinnung strategischer Kathodenmaterialien (Kobalt, Nickel, Mangan, Vanadium, Lithium etc.)							
2.1.2 Prozessentwicklung zur metallurgischen Rückgewinnung strategischer Anodenmaterialien (Lithium, Kupfer, Bismut, etc.)							
2.1.3 Pilotanlage (Vorkonditionierung / mechanische Trennung/thermische bzw. hydromet. Aufbereitung der Batteriematerialien)							
2.2 Elektrolytrückgewinnung	2	2					2
III.3 Recycling von Leichtbauwerkstoffen	25						25
3.1 Kontinuierliche Verfahren zur Materialtrennung (Stahl, Aluminium, CFK, GFK, Polymere)	5	2					5
3.2 Recycling von Produktionsreststoffen CFK	3	2					3
3.3 Untersuchung zur Eignung von Shredder- und Postshredder-Technologie für Fahrzeuge in modifizierter Leichtbauweise, einschl. Entwicklung von Demontageprozessen Multi-Material-Design	7	2					7

				Budget (Aufw. Industrie und Förderbedarf) in Mio. €				
		Projekt- Budget	Priorität 1 oder 2	2011	2012	2013	2014ff.	opt.
3.4	Recyclingverfahren für CFK-GFK Bauteile einschl. Sortenreine Kunststoff- bzw. Composite-Aufbereitung sowie Faseraufschluss und Faserrückgewinnung	8	2					8
3.5	Entwicklung von Sortiertechniken zur Trennung von Magnesiumbauteilen von anderen metallischen Leichtwerkstoffen	2	2					2
III.4	Recycling von Antriebsstrangmaterialien	10		3,3	3,3	3,3		
4.1	Recycling von strategischen Metallen, bes. Seltene Erdmetalle	10	1	3,3	3,3	3,3		
4.2	Vorkonditionierung und Aufkonzentrierung aus ELV und WEEE-Schrott							
4.3	Entwicklung Recyclingverfahren bis zum wiedereinsatzfähigen Produkt							
4.4	Nachhaltigkeitsbetrachtung, Datenbasis Mengenströme							
4.5	LCA-Betrachtungen, begleitend							
III.5	Politische Themen	tbd		tbd	tbd	tbd	tbd	tbd
5.1	Verhinderung des Exports von ELV und WEEE-Schrott		ohne					
5.2	Entwicklung einer Rohstoffstrategie durch die Bundesregierung		ohne					
5.2.1	Schnittstellenthema AG 7 und AG 5							
5.2.2	Primärrohstoffe							
5.2.3	Sekundärrohstoffe							
5.3	Richtlinien Transport, Lagerung, Verpackung		ohne					
5.3.1	Technischer Input aufgrund der Besonderheiten von EV-Batterien notwendig							
5.3.2	Berücksichtigung von Erfahrungen mit ähnlichen Systemen							
5.4	Anforderungen an Erstbehandlung/Demontagebetriebe (Schadstoffseparierung, Wertstoffanreicherung (Quoten))		ohne					
III.6	Nachhaltigkeit - wird in anderen Themen integriert und berücksichtigt			0,7	0,7	0,7	0,7	
	Aufbau eines "Technology Guide" für den ökonomischen und ökologischen Einsatz von EV-Schlüsselmaterialien (Leichtbau, Materialien, Fügetechnologien, Kostenstrukturen, Produktion, konstruktiver Leichtbau und Funktionsintegration, LCA und Recycling)			Es fand eine Aufteilung der Themen auf andere Arbeitspakete statt.				
	Bewertung des europäischen und deutschen Rechts zum Altautorecycling und seiner Anwendbarkeit auf Elektromobile							
	Bewertung der Werkstoffe unter CO ₂ -LCA-Aspekten							
	SWOT-Analyse nationaler Rohstoffressourcen							
III.	Bedarfsfeld Rohstoffsicherungs- und Recyclingkonzepte Gesamt	128		34,4	34,4	34,3	0,7	27
III.	Bedarfsfeld Rohstoffsicherungs- und Recyclingkonzepte nur PRIO 1	101		33,7	33,7	33,6		

IV Bedarfsfeld Materialien für weitere Schlüsselkomponenten

Geplante Vorhaben in den Scherpunktaktivitäten

	Projekt-Budget	Budget (Aufw. Industrie und Förderbedarf) in Mio. €		
		2011	2012	2013
IV.1 Magnetmaterialien	16,5	5,5	5,5	5,5
Entwicklung und Charakt.g neuer Elektrobandsorten für den Einsatz in hoch-effizienten Antriebsmotoren(NO*-Dünnbandsorten für Hochfrequenzanwendungen)	2,1	0,7	0,7	0,7
Modellierung und Entwicklung neuer Elektrobandsorten für den Einsatz in schnell-drehenden Antriebsmotoren (NO*-Elektrobandsorten mit höherer Festigkeit)	3,0	1,0	1,0	1,0
Entwicklung neuer weichmagnetischer Pulververbundwerkstoffe	2,4	0,8	0,8	0,8
Entwicklung neuer Hartmagnetwerkstoffe	9,0	3,0	3,0	3,0
IV.2 Range-Extender	14,2	4,7	4,8	4,7
Werkstoffentwicklung für die Brennstoffzelle	10,0	3,3	3,4	3,3
Werkstoffentwicklung für den Verbrennungsmotor (z. B. Tieftemperaturkatalysator)	4,2	1,4	1,4	1,4
IV.3 Wärmemanagement	45,0	15,0	15,0	15,0
Entwicklung von Dämmmaterialien mit geringer Dichte in Kombination mit Leichtbau		5,0	5,0	5,0
Entwicklung von Hochleistungsdämmmaterialien mit geringer Wandstärke		3,5	3,5	3,5
Integration von Dämmmaterialien in den Fahrzeuginnenraum		1,0	1,0	1,0
Entwicklung NIR-reflektierende Pigmente für Lacke und Dashboard-Elemente		1,5	1,5	1,5
Entwicklung schaltbarer intelligenter Lacksysteme für optimales Solarmanagement		1,5	1,5	1,5
Entwicklung schaltbaren NIR-aktiven Folien für Glasscheiben		1,5	1,5	1,5
Simulation mit neuen Materialien für Temperaturmanagement Maßnahmen des Fahrzeuginnenraums		1,0	1,0	1,0
IV.4 Passive Bauelemente	3,6	1,2	1,2	1,2
Werkstoffentwicklung für Kondensatoren, Widerstände und Induktivitäten	3,6	1,2	1,2	1,2
IV Bedarfsfeld Materialien für weitere Schlüsselkomponenten	79,3	26,4	26,5	26,4

Verfasser:

Arbeitsgruppe 5 „Materialien und Recycling“
der Nationalen Plattform Elektromobilität (NPE)

Redakteure:

Falk D. Nüßle
ThyssenKrupp AG
Business Area Components Technology
ThyssenKrupp Allee 1
45143 Essen

Dr. Kathrin Wissel-Stoll
Product Manager
Marketing Acids & Specialties
BASF SE
E-CZE/AC – E 100
67056 Ludwigshafen

Herausgeber:

Gemeinsame Geschäftsstelle Elektromobilität
der Bundesregierung (GGEMO)
Scharnhorststraße 34–37
10115 Berlin

Grafik/Design:

Theim Kommunikation GmbH
Carl-Thiersch-Str. 3
91052 Erlangen

Druck:

Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie