

**Die Entwicklung und Produktion von Lithium-Ionen-Batterien für Fahrzeuganwendungen hat für die Automobilindustrie strategische Bedeutung. Ausschlaggebend für den neuen Markt für Batteriespitzen-technologie ist die Nachfrageentwicklung für Mild-, Voll- und Plug-in-Hybridfahrzeuge sowie für reine batteriebetriebene Elektrofahrzeuge. Im Folgenden werden Nachfrageentwicklungen für elektrifizierte Antriebe abgeleitet und Angebotsstrukturen im Markt für Hochleistungsstromspeicher diskutiert. Der Artikel argumentiert, dass in Europa eine leistungsfähige Lithium-Ionen-Batterieindustrie für automobiler Anwendungen aufgebaut werden kann. Gelingt dies, kann mit einem hohen Wertschöpfungspotential für Europa gerechnet werden.**

Das Hybridfahrzeug entwickelt sich zu einem Bindeglied zwischen dem Verbrennungsmotor und den elektrischen Antrieben. Hybridfahrzeuge sind seit zehn Jahren großserienfähig. Bis Anfang des Jahres 2010 wurden weltweit 2,5 Mill. Hybridfahrzeuge verkauft. Der japanische Autobauer Toyota hat seit Einführung des ersten Toyota-Hybridmodells im Jahr 1997 über 2,2 Mill. Hybridfahrzeuge abgesetzt. Neben Toyota ist Honda einer der wichtigen Anbieter von Hybridfahrzeugen. Die Strategie von Honda, nur auf so genannte Mildhybride zu setzen, die nicht eigenständig elektrisch fahren können, sondern bei denen der Elektromotor lediglich den Verbrennungsmotor im Fahrbetrieb unterstützt, ist der kostengünstige Einstieg in die Hybridwelt. Derzeit sind weltweit bereits 16 eigenständige Hybridmodelle (HEV = Hybrid Electric Vehicle) der verschiedensten Autobauer im Serienangebot. Bis zum Jahr 2013 kommen nach unseren Recherchen nochmals 22 eigenständige Fahrzeugmodelle als Hybridfahrzeuge auf den Markt. Von der Angebotsseite entwickelt sich damit der Markt für Hybridfahrzeuge dynamisch.

## Ab 2011 starten erste Plug-in-Hybridgenerationen

Zu den HEV, die als Mild- und Vollhybrid auf dem Markt sind, werden ab 2011 die so genannten Plug-in-Hybride (PHEV) kommen. In der antriebstechnischen Ausgestaltung sind dabei zwei Konzepte in der Umsetzung: der Parallel-Plug-in-Hybrid, wie ihn etwa Toyota mit dem Prius-Plug-in bereits in Großserien testet und ab 2012 einführen wird, und der serielle

Plug-in-Hybrid á la Chevrolet Volt und dem baugleichen Opel Ampera, dessen Markteinführung für Ende 2011 angekündigt wurde. Serielle Plug-in-Hybride werden auch als Elektrofahrzeuge mit Range Extender bezeichnet. Beim seriellen Hybrid erfolgt der Antrieb ausschließlich über einen Elektromotor, der durch Batterien gespeist wird, die während der Fahrt durch einen kleinen Verbrennungsmotor nachgeladen werden können.

Die Plug-in-Hybride, die für einen rein elektrischen Fahrbetrieb zwischen 25 km und 150 km Reichweite ausgelegt werden, haben deutlich größer dimensionierte Batterien als Vollhybride. Während bei den HEV-Fahrzeugen die elektrische Energie überwiegend durch Recuperation der Bremsenergie gewonnen wird und daher Nickel-Metallhydrid und ähnliche kostengünstige elektrische Stromspeicher eingesetzt werden, erfordert der PHEV Batterien mit höherer Energiedichte.

Die Energiedichte, gemessen in Wattstunden pro Kilogramm, ist ein Maß für die Dauer der gleichmäßigen Energieabgabe über einen bestimmten Zeitraum. Bei den HEV reichen aufgrund der überschaubaren Energiemengen, die durch Bremsvorgänge gewonnen werden können, Akkus mit geringeren Energiedichten (Wh/kg) aus. Die Nickel-Metallhydrid-Batterie bildet heute den Standard für den Toyota Prius und seine Hybridderivate. Mercedes hat 2009 weltweit den ersten Hybrid mit Lithium-Ionen-Batterie in dem Spitzenmodell S400 Hybrid eingeführt.

\* Prof. Dr. Ferdinand Dudenhöffer ist Direktor des CAR-Center Automotive Research an der Universität Duisburg-Essen sowie Inhaber des Lehrstuhls für allgemeine Betriebswirtschaftslehre und Automobilwirtschaft an der Universität Duisburg-Essen.

Bei entsprechenden Kostensenkungen in der Lithium-Ionen-Batterieherstellung kann davon ausgegangen werden, dass auch der HEV-Markt hohes Potential für Lithium-Ionen-Akkus besitzt. Sollen Fahrzeuge eigenständig elektrisch fahren, sind höhere Energiedichten und damit Lithium-Ionen-Akkus notwendig.

### Hybridisierung treibt Batterienachfrage an

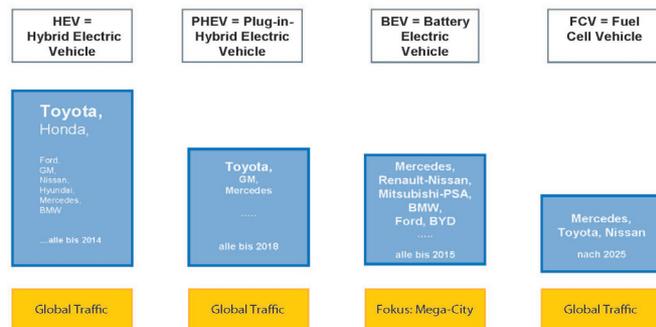
Neben der Energiedichte, die eine gleichmäßige Energieabgabe über einen möglichst langen Zeitraum gestattet, ist es für Straßenfahrzeuge notwendig, unterschiedliche Leistungsabgaben abrufen zu können, etwa bei Beschleunigungsvorgängen. Damit wird das zweite Maß, die Leistungsdichte in W/kg von Bedeutung. Kondensatoren (Ultra-Caps, Doppelschicht-Caps, Elektrolyt-Caps), die bereits deutlich weiterentwickelt sind und industriell gefertigt werden, ermöglichen hohe kurzfristige Leistungsabgaben. Die beiden Maßeinheiten, Energie- und Leistungsdichte, lassen erkennen, dass es beim Übergang in die Elektrifizierung der Antriebe keine »Standardbatterie« gibt, sondern dass die Batterie für die jeweilige Fahrzeuge – auch in Verbindung mit Kondensatoren – in einem entsprechenden Package zusammengestellt werden.

Abbildung 1 gibt einen Überblick über die wichtigen Schritte bei der Elektrifizierung der Antriebe. Während Hybride und Plug-in-Hybride in absehbaren Zeitabständen flächendeckend zum Einsatz kommen, liegt die Domäne des reinen batterieelektrischen Fahrzeugs (BEV) überwiegend im Umfeld der Mega-City. Nach dem Jahr 2025 ist denkbar, dass es der Aufbau einer Wasserstoffinfrastruktur und die Kostenvoraussetzungen für Brennstoffzellenfahrzeuge erlauben, schrittweise eine emissionslose individuelle Mobilität einzuführen.

### Batterietechnik: Zentrale Schlüsseltechnologie für eine neue Automobilära

Abbildung 1 illustriert, dass sich die deutschen Autobauer Mercedes, BMW, Ford Deutschland und Opel bezüglich ihrer Elektrofahrzeuge am internationalen Umfeld messen können. Die oft in der Vergangenheit geäußerte Kritik, die deutschen Autobauer seien spät in die Hybridtechnologie eingestiegen, trifft für das Elektroauto, die Entwicklungen beim Plug-in-Hybriden und bei der Brennstoffzellentechnologie nicht zu. Eine Ausnahme ist der VW-Konzern, der erst ab 2013 Kleinserien eines Plug-in-Hybrids und Elektroautos testen wird. Gemeinsam ist allen

**Abb. 1**  
Wichtige Stationen bei der Elektrifizierung der Fahrzeugantriebe



Quelle: CAR Universität Duisburg-Essen.

Hybridkonzepten die Notwendigkeit der Stromspeicherung im Fahrzeug. Das trifft auch auf das Brennstoffzellenfahrzeug zu, da Leistungsspitzen über Stromspeicher im Fahrzeug abgedeckt werden müssen. Die Stromspeichertechnik – spricht Batterietechnik – wird damit zum zentralen Technologieträger bei der Elektrifizierung der Fahrzeugantriebe.

Wesentlich für die Elektromobilität und insbesondere der reinen batterieelektrischen Fahrzeuge (BEV) überwiegend im Umfeld der Mega-City ist die Entwicklung zur Verstärkung. Bereits im Jahre 2007 lebten mit 3,3 Mrd. Menschen 50% der Weltbevölkerung in urbanen Ansiedlungen. Bis 2020 wird sich der Anteil voraussichtlich auf 70% erhöht haben. Die urbanen Räume werden deutlich größer und dichter besiedelt sein, und die Transportsysteme werden die Mega-Cities vor große Herausforderungen stellen. Sie verlangen nach deutlich besseren Kombinationen von öffentlichen und individuellen Transportmitteln. Die BEV können in diesen Transportsystemen eine wichtige Rolle spielen, da sie sowohl bei den Abgasen als auch den Lärmemissionen eine neue Emissionsqualität garantieren.

### Nach 2025 verlieren reine Verbrennungsmotoren ihre Bedeutung

Bis zum Jahr 2014 kann davon ausgegangen werden, dass alle Autobauer Hybridmodelle anbieten werden. Gleichzeitig gehen die Marktanteile der Dieselfahrzeuge zurück, da sie mit Nachteilen im Abgasverhalten behaftet sind: Die Reduzierung von Stickoxidemissionen erhöht die Kosten. Zusätzlich profitiert der Hybrid, der mit deutlich verbesserten turbogeladenen Benzinmotoren mit kleinem Hubraum (Downsizing) kombiniert wird, durch niedrigere CO<sub>2</sub>-Emissionen. Weitere CO<sub>2</sub>-Einsparungen beim Hybrid lassen sich mit einem kombinierten Erdgasantrieb, der kostengünstig aus dem Benzinantrieb ableitbar ist, gewinnen.

**China als Angelpunkt für Elektromobilität**

Zum wichtigsten Angelpunkt für Elektromobilität dürfte sich China entwickeln. Auf der einen Seite ist durch die schnelle Entwicklung und das Wachstum der Großstädte das Land der wichtigste Absatzmarkt für moderne urbane, emissionsfreie Verkehrsnetze. Zum anderen investiert und fördert die chinesische Zentralregierung in kaum vergleichbarem Maße die Vermarktung der Elektromobilität. Abbildung 2 zeigt, dass die chinesischen Hersteller BYD (Build Your Dreams), Cherry und Geely 15 neue BEV-Fahrzeugmodelle bis 2012 einführen werden. Insgesamt hat in China die National Development and Reform Commission (NDRC) das Ziel ausgegeben, bereits im Jahr 2012 eine Million BEV-Fahrzeuge auf Chinas Straße zu haben. Deutschland will diese Zahl erst acht Jahre später realisieren. 2,7 Mill. Elektrofahrzeuge sollen bereits 2015 in China laufen und 2020 wird das Ziel von 4 Millionen verfolgt. Dabei setzt die chinesische Förderpolitik gezielt auf den Hersteller BYD, der chinesischer Leithersteller werden soll.

**Ab 2011 Honda Mildhybrid unter 15 000 €**

Einen wesentlichen Schub bei der Hybridisierung ist im Jahr 2011 zu erwarten, wenn Honda seinen Kleinwagen Jazz in der Mildhybridversion unter 15 000 € anbieten wird. Das interne Preisziel von Honda sieht vor, die Hybridversion bei Kleinwagen wie dem Jazz mit einem Aufpreis von weniger als 1 300 € gegenüber dem Benziner anbieten zu können. Der Einstieg in den preiswerten Hybrid wird die Hybridverbreitung deutlich beschleunigen. Honda selbst hat sich zum Ziel gesetzt, bereits 2012 einen Anteil von 10% Hybridfahrzeugen an seinen Gesamtverkäufen weltweit zu erzielen.

Hybride sind auch notwendig, damit die High-End-Anbieter ihre CO<sub>2</sub>-Ziele erreichen. So plant Mercedes seine

nächste S-Klasse in einer Plug-in-Hybridversion mit einem Treibstoffverbrauch von 3,2 l Benzin/100 km und einem CO<sub>2</sub>-Ausstoß von 74 g CO<sub>2</sub> pro km anzubieten.

**Elektrofahrzeuge: Startpreise ab 40 000 US-Dollar**

Die Einstiegspreise für die BEV beginnen mit 40 000 US-Dollar für die Fahrzeuge Nissan Leaf und Mitsubishi i-MiEV. Im Jahr 2010 hat Mitsubishi entschieden, den Preis des i-MiEV in Japan auf umgerechnet 43 020 US-Dollar festzulegen. Damit sind unter Berücksichtigung staatlicher Verkaufshilfen in Höhe von 5 000 € in Frankreich und 5 000 Pfund (7 490 €) in England in Europa moderne Elektrofahrzeuge mit Lithium-Ionen-Batterien und Reichweiten von 150 km ab 35 000 € denkbar.

Der französische PSA-Peugeot-Citroen-Konzern hat auch aus diesem Grund Anfang 2010 mit Mitsubishi ein Lieferabkommen für jährlich 25 000 Fahrzeuge des i-MiEV-Typs bis 2015 abgeschlossen. Die Fahrzeuge werden ab 2011 als Peugeot iOn und Citroen C-Zero angeboten. Unter Berücksichtigung der an PSA gelieferten Fahrzeuge plant Mitsubishi im Jahr 2013 mit einer Jahresproduktion von 55 000 Elektrofahrzeugen. Die Lithium-Ionen-Batterien werden in dem Joint-Venture-Unternehmen »Lithium Energy Japan« des japanischen Batterieherstellers GS Yuasa und Mitsubishi produziert. Der Renault Spitzenmanager Patrick Pélata rechnet bereits für das Jahr 2020 mit einem Marktanteil von 10% für Elektrofahrzeuge in Europa. Die hier abgeleitete Prognose ist deutlich konservativer. Nach unseren Schätzungen werden im Jahr 2020 in Westeuropa 400 000 BEV-Fahrzeuge abgesetzt. Dies entspricht einem Marktanteil von 3%.

**Zwischenfazit: Vier zentrale Variable steuern die Elektrifizierung der Antriebe**

Deutlich kostenverbesserte Hybridfahrzeuge (Mildhybrid mit einem Aufpreis von 1 000 € um 2015), die ab 2011 einsetzende Weiterentwicklung durch Plug-in-Hybride, das Bestreben der Gesetzgeber, die CO<sub>2</sub>-Emissionen im Verkehr spürbar zu reduzieren (95 g CO<sub>2</sub>/km in EU ab 2020, Verordnung (EG) Nr. 443/2009) und die zu erwartenden Preissteigerungen bei den fossilen Brennstoffen lassen nach unserer Prognose weltweit den Anteil der Fahrzeuge mit reinem Verbrennungsmotor bis zum Jahr 2025 auf 35% sinken. Dabei wurde der Preis für ein Barrel Rohöl von 350 US-Dollar im Jahr 2025 unterstellt.

Abb. 2  
Elektromobilität in China

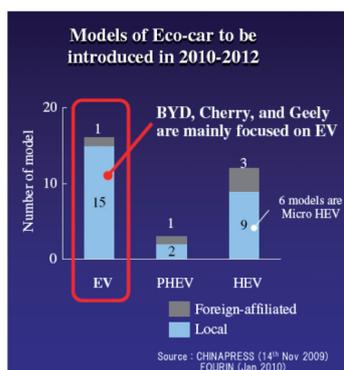
**National Development and Reform Commission (NDRC)**

- 2012: 1 Mill. EV in China
- 2015: 2,7 Mill. EV in China
- 2020: 4 Mill. EV in China

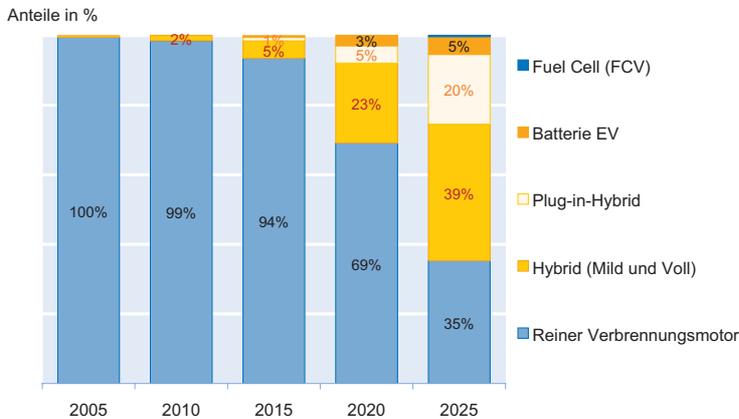
**Öffentliche Förderung**

- Plan „Automotive industry promotion policy coordination“: **100 Mrd. RMB** (10 Mrd. Euro)
- BYD als Zentrum der EV-Entwicklung in China

Quelle: CAR Universität Duisburg-Essen.



**Abb. 3**  
**Entwicklung Pkw-Weltmarkt nach Antriebsarten**



Quelle: CAR Universität Duisburg-Essen.

Abbildung 3 illustriert die Prognose. Reine Verbrennungsmotoren werden danach lediglich beim Low Cost Car in ländlichen Gebieten in Südamerika, Asien und Osteuropa eingesetzt. In allen anderen Marktsegmenten wird nach unserer Einschätzung der Pkw-Neuwagenmarkt durch voll- und teilelektrifizierte Fahrzeuge abgedeckt. Dabei wird im engeren Mega-City-Umfeld (20 bis 25 km Radius um das Zentrum) die Verkehrspolitik überwiegend auf emissionsfreie Fahrzeuge setzen – sprich Elektrofahrzeuge. Auch aus diesen Gründen planen Hersteller wie Tata, bereits im Jahr 2012 mit einer Elektroversion des Ultra Low Cost Car Tata Nano das neue Marktsegment der preisgünstigen Elektroautos zu besetzen.

Die zur Abbildung 2 korrespondierende Tabelle 1 zeigt die Entwicklung der Verkaufsvolumen. Der Pkw-Weltmarkt ist ein Wachstumsmarkt und wird nach der hier vorliegenden, eher konservativen Prognose bis zum Jahre 2025 den jährlich Pkw-Verkauf auf 87,2 Mill. Fahrzeuge steigern. Gegenüber dem Jahr 2005 stellt dies eine Zunahme von jährlich 33,1 Mill. Pkw-Verkäufen oder 61,1% dar. Wachstumstreiber ist der Anstieg der Motorisierung in die neuen Märkte mit den Schwerpunkten China, Indien und Anrainerstaaten wie Vietnam sowie Russland. Der Anteil der neuen Märkte am Pkw-Weltmarkt steigt nach unserer Prognose von 30,8% im Jahr 2005 auf 55% im Jahr 2025. Dagegen verharren die gesättigten Triade-Märkte USA-Kanada, Westeuropa und Japan auf dem heutigen Niveau von weniger als 39 Mill. Pkw-Verkäufen. Die Daten lassen die Dynamik der Automobilmärkte erkennen. Diese Marktdynamik steigert zusätzlich den Druck in Richtung CO<sub>2</sub>-schonende Antriebe und höhere CO<sub>2</sub>-Grenzwerte.

**2025: Lithium-Ionen-Batteriemarkt von über 77 Mrd. €**

Die hohe Dynamik der Elektrifizierung der Antriebe bestimmt das Wachstumstempo der Stromspeicherproduktion. Unterstellt man, dass ausschließlich konventionelle Batterietechnik für Mild- und Vollhybride zum Einsatz kommt, werden nach der vorstehenden Prognose bis zum Jahr 2025 Lithium-Ionen-Batteriepacks für 22,2 Mill. Fahrzeuge benötigt. Unterstellt man einen Durchschnittspreis von 3 500 € pro Lithium-Ionen-Batteriepack pro Fahrzeug, ergibt sich nur für Plug-in-Hybride und batterieelektrische Fahrzeuge (BEV) bis zum Jahr 2025 ein Markt in der Größenordnung von über 77 Mrd. €. Dabei wurde eine Senkung der Kosten von Lithium-Ionen-Batterien um fast

zwei Drittel unterstellt. Zusätzlich wurde nicht berücksichtigt, dass Mild- und Vollhybride ebenfalls Potential zum Einsatz von Lithium-Ionen-Batterien haben. Unterstellt man in einer sehr vereinfachenden Rechnung, dass Mild- und Vollhybride (HEV) 2025 mit Batteriepackkosten von 1 500 € pro Fahrzeug kalkulieren, ergibt sich ein Markt für Stromspeicher von 130 Mrd. €.

Hochtechnologiestromspeicher entwickeln sich damit für die Automobilindustrie zu einer Schlüsselkomponente mit hoher Wertschöpfung. Der Weg in die Elektrifizierung der Antriebe strukturiert die Automobilindustrie neu. Bereits 2025 werden weltweit jährlich 56 Mill. Neuwagen als Hybride, Plug-in-Hybride oder Elektrofahrzeuge abgesetzt. Der Markt für Hochtechnologiestromspeicher für die Automobilindustrie wächst bis zum Jahr 2025 auf über 130 Mrd. €.

**Markt- und Innovationspotential Hochleistungsbatterie**

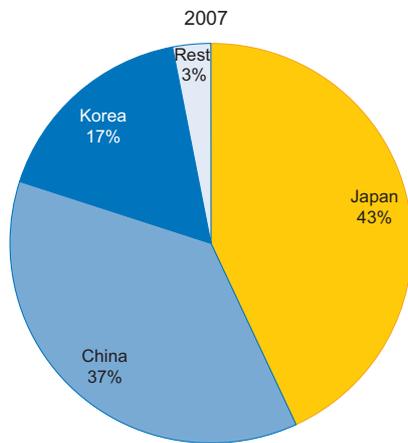
Lithium-Ionen-Batterien spielen seit den neunziger Jahren bei elektronischen Geräten wie Laptops, Mobiltelefo-

**Tab. 1**  
**Pkw-Weltmarkt: Entwicklung Antriebsarten (in 1 000 Fahrzeugen)**

	2005	2010 Prognose	2015 Prognose	2020 Prognose	2025 Prognose
Fuel Cell (VVC)	0	0	0	0	300
Batterie (EV)	0	0	340	2 300	4 400
Plug-in-Hybrid	0	0	680	3 900	17 500
Hybrid (Mild und Voll)	252	840	3 500	18 000	34 200
Reiner Verbrennungsmotor	54 528	55 140	63 680	54 300	30 800
<b>Total</b>	<b>54 780</b>	<b>55 980</b>	<b>68 200</b>	<b>78 400</b>	<b>87 200</b>

Quelle: Prognose CAR Universität Duisburg-Essen.

**Abb. 4**  
**Lithium-Ionen-Batterieproduktion**



Quelle: CAR Universität Duisburg-Essen.

nen und Digitalkameras eine prägende Rolle. Der Markt der elektrochemischen Energiespeicher war in den letzten 15 Jahren aufgrund sehr dynamischer Entwicklungen bei u.a. Mobiltelefonen, Camcorder und Laptops durch hohes Wachstum gekennzeichnet. Die Entwicklungsstandorte und Produktionsstätten von Lithium-Ionen-Batterien für diese Produkte liegen fast ausschließlich in Asien (Japan, China, Korea, vgl. Abb. 4). Neben Japan, China und Korea ist die Lithium-Ionen-Batterietechnik auch in den USA vorhanden und wird dort vorwiegend für militärische Anwendungen genutzt.

Zukünftig wird die Hochleistungsbatterie auch bei batteriegetriebenen Elektrofahrzeugen und Plug-in-Hybriden zur Komponente mit hohem Wertschöpfungsanteil. Nach unseren Modellrechnungen liegt mittelfristig bei beiden Antriebsformen der Wertschöpfungsanteil der Hochleistungsbatterie am Fahrzeugproduktionswert zwischen 15 bis 20%. Auch deshalb hat der Auf- und Ausbau der Kompetenz bei elektrischen Stromspeichern in der europäischen Automobilindustrie strategische Bedeutung.

**Mehrstufige Wertschöpfungskette Hochleistungsbatterie**

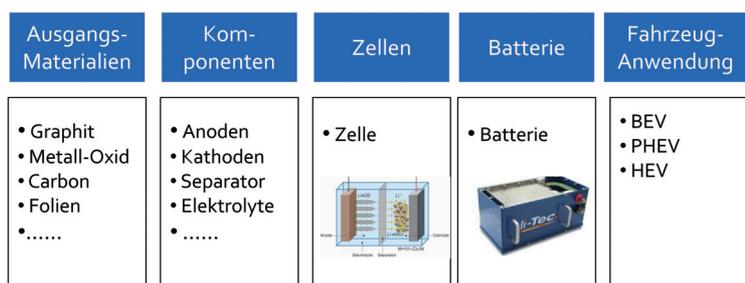
Der Auf- und Ausbau der Kompetenz bei Hochleistungsbatterien für automobiler Anwendungen fußt auf einer mehrstufigen Wertschöpfungskette, die von der Herstellung von Ausgangsmaterialien und Werkstoffen wie Graphit, Metalloxiden, Carbon, Folien, über die Komponentenproduktion von Anoden, Kathoden, Elektrolyten zur Zellenproduktion, dem Packaging von Zellen zu Batterie-

blocks und den Anwendungen in den verschiedenen Fahrzeugantriebsvarianten – wie Batteriefahrzeuge (BEV), Plug-in-Hybride (PHEV) und Hybridfahrzeugen (HEV) – führt.

Abbildung 5 illustriert diese Wertschöpfungskette. Insbesondere bei der Produktion der Ausgangsmaterialien und Komponenten kommt Unternehmen der chemischen Industrie große Bedeutung zu. In den nicht-automobilen Anwendungen ist die Lithium-Ionen-Batterieproduktion, also Zellen und Batteriepackaging, so gut wie kaum in Europa vorhanden (vgl. Abb. 4). Ganz im Gegensatz dazu kann im Automobilbereich durchaus auf Kompetenz und Know-how deutscher Chemieunternehmen in der Lithium-Ionen-Batterietechnik zurückgegriffen werden. Wichtig ist hier, dass es entscheidende Unterschiede in den Anforderungen an die Technologie für Lithium-Ionen-Großzellen für Fahrzeuge zu den gängigen Handy/Laptop/Camcorder-Zellen gibt. Eine Zelle für Fahrzeuge muss einen vielfach größeren Energieinhalt und eine größere Energieleistung bieten, entscheidend höhere Zyklenfestigkeit besitzen und eine erheblich längere Lebensdauer garantieren. Zusätzlich müssen Batteriezellen für Fahrzeuge aufgrund der gespeicherten Energie wesentlich höheren Sicherheitsanforderungen zur Verhinderung einer unkontrollierten Entladung Rechnung tragen. Um dies zu realisieren, braucht es Innovationen insbesondere aus der Elektrochemie.

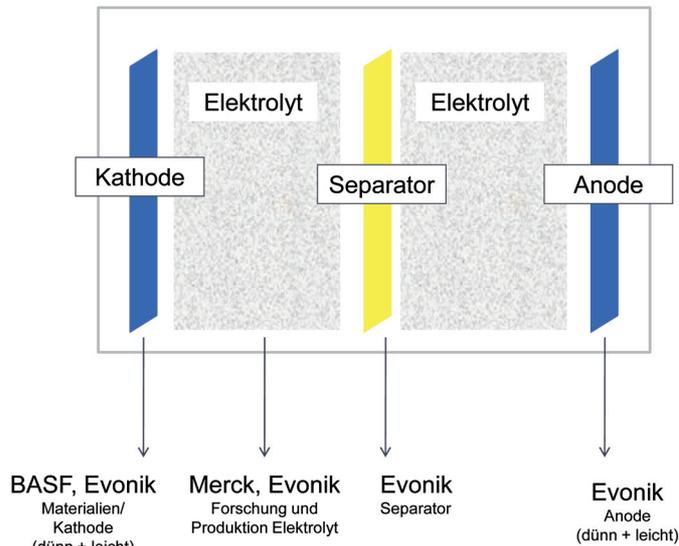
So sind – wie Abbildung 6 illustriert – Chemieunternehmen, wie BASF und Evonik, in der Herstellung von Werkstoffen sowie der Produktion von Kathoden für neue Lithium-Ionen-Batterie-Anwendungen tätig. Merck und Evonik sind in der Elektrolytforschung und Produktion für Lithium-Ionen-Zellen engagiert, und Evonik hat zusätzlich hohe Kompetenzen auf den Feldern des Separators sowie der Anodenentwicklung

**Abb. 5**  
**Wertschöpfungskette Hochleistungsbatterie**



Quelle: CAR Universität Duisburg-Essen.

Abb. 6  
Die Batteriewertschöpfungskette



Quelle: CAR Universität Duisburg-Essen.

und -produktion erworben. Insbesondere die Entwicklung eines patentierten, hitzebeständigen Separators mit Keramik-Nano-Partikeln erlaubt es, bis hin zu Temperaturen von 700 Grad Celsius Lithium-Ionen-Zellen vor Kurzschlüssen zu bewahren. Eine zentrale Komponente der Batterie – gewissermaßen das Herzstück – ist der Separator.

Es liegen gute Voraussetzungen vor, um bei der neuen, strategischen Komponente der Automobilindustrie, der Hochleistungsbatterie, eigenständiges Entwicklungs- und Produktions-Know-how in Deutschland aufzubauen und nutzen zu können. Wichtige Voraussetzungen zum Auf- und Ausbau einer Batteriespitzen-technologie für automobiler Anwendungen sind damit bei deutschen Chemieunternehmen vorhanden.

### Ein Automobilzulieferer mit eigenständiger Li-Ionen-Batterie in Deutschland

Klassische Automobilzulieferer, wie Bosch oder Continental, und Autobauer, die mit neuen Kompetenzfeldern durch die Entwicklung zur Elektrifizierung der Antriebe konfrontiert sind, sehen ihre Aufgabe auf den späteren Stufen der in Abbildung 5 dargestellten Wertschöpfungskette. Continental und Bosch setzen insbesondere beim Zelleneinkauf auf koreanische (Samsung-Bosch Joint Venture SB-LiMotive) oder japanische Unternehmen. Continental besitzt an dem japanischen Unternehmen Enax einen Kapitalanteil von 16%, der Eigenkapitalanteil von Evonik an Enax beträgt 10%. Sieht man von den klassischen mittelständischen Batterieherstellern wie Hopp-ecke oder Moll ab, die eigenständig kaum die Entwick-

lungskapazitäten und finanziellen Ressourcen zur Zellentwicklung und -fertigung aufbringen werden können, ist in Deutschland JohnsonControls-Saft in der Lithium-Ionen-Batteriefertigung (Packaging) tätig. Mit den Unternehmen BASF, Evonik, Merck und dem klassischen Automobilzulieferer JohnsonControls-Saft sind wichtige Ansatzpunkte zum Auf- und Ausbau eigenständiger Li-Ionen-Batterieentwicklungs- und Produktionskompetenz in Europa vorhanden.

### Hohes Forschungspotential bei Hochleistungsstromspeicher

Hohes Weiterentwicklungspotential bei den heutigen Lithium-Ionen-Zellen liegt in der Verwendung neuer Kathodenmaterialien. Während als Kathodenmaterial derzeit Kobalt (Li-CoO<sub>2</sub>), Mangan-Oxid (LiMn<sub>2</sub>O<sub>4</sub>), Nickel-Mangan-Kobalt (LiNiMnCoO<sub>2</sub>) oder Eisenphosphat (LiFePO<sub>4</sub>) zum Einsatz kommt, liegt das – ferne – Zukunftspotential auf Sauerstoff-Stickstoff-Verbindungen als Kathodenmaterial. Gelingt es, stabile »Lithium-Luft-Batterien« zu entwickeln, käme dies einem Quantensprung in der Batterieentwicklung gleich, der die Geschwindigkeit bei der Elektrifizierung der Antriebe enorm erhöhen würde. Bei Li-Luft-Zellen wären Energiedichten wie bei Benzin möglich. Damit wäre das Problem der Reichweite von batterieelektrischen Fahrzeugen vom Tisch. Gleichzeitig würde die Energieeffizienz der Fahrzeuge erheblich verbessert.

Das hohe Entwicklungspotential bei Li-Ionen-Batterien – insbesondere auf dem Feld der Kathodenmaterialien – unterstreicht die strategische Bedeutung der Hochleistungsbatterieforschung und -produktion für die gesamte Energiewirtschaft des Standorts Deutschland. Batteriespitzen-technologie definiert langfristig die Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Automobilindustrie.

### Schneller Aufbau von Batteriekompetenz außerhalb Europas

Die Lithium-Ionen-Batterieproduktionen und Entwicklungen für Anwendungen außerhalb der Automobilindustrie liegen fast ausschließlich außerhalb Europas. Abbildung 7 fasst die wesentlichen Unternehmen zusammen, die in den Märkten Japan, China, Korea und USA derzeit Produktionen für Lithium-Ionen-Zellen und Batterien aufbauen. Der große Vorsprung Japans und Koreas liegt in der bestehenden Produktion und Entwicklung von Lithium-Ionen-Batterien für nicht-automobile Anwendungen.

**Abb. 7**  
**Zellen und Batterie-Hersteller/Kompetenz**

Japaner	Koreaner
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Automotive Energy Supply Corp. (JV Nissan, NEC-Group)</li> <li>• Asahi Kasei ( 8 Geschäftsfelder – inkl. Chemie)</li> <li>• Panasonic Corp. (inkl. Sanyo)</li> <li>• Hitachi, Ltd. (Elektronikkonzern)</li> <li>• Enax Inc. (Start up, Übernahme durch Conti)</li> <li>• GS Yuasa Corp. (Batteriehersteller, Li-Ionen-Batterien für Honda, Mitsubishi in JV)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• LG Chem Ltd (Chemie und Batteriehersteller)</li> <li>• Samsung</li> <li>• SB-LiMotive (JV Bosch-Samsung)</li> <li>• ... lokale Unternehmen</li> </ul>
Chinesen	US-Amerikaner
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Advanced Battery Technologies (Start up)</li> <li>• BYD Company Ltd. (Batteriehersteller)</li> <li>• ... viele lokale Unternehmen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• A123 Systems Inc. (Start up)</li> <li>• Altair Nanotechnologies Inc. (Start up)</li> <li>• Valence Technology Inc. (Start up)</li> <li>• Axion Power International Inc. (Start up)</li> <li>• Energy Conversion Devices, Inc., (Start up)</li> <li>• Exide Technologies (Batteriehersteller)</li> <li>• Celgard (Tochter Chemie-Unternehmen)</li> <li>• JohnsonControls (Automotivzulieferer)</li> </ul>

Quelle: CAR Universität Duisburg-Essen.

Erstmals stellte im Jahr 1990 das japanische Unternehmen Sony eine so genannte Interkalationsbatterie in Form einer Lithium-Ionen-Batterie vor. Damit liegt ausgehend von Japan ein zwanzigjähriger Produktions- und Erfahrungsvorsprung in Asien vor, der es erlaubt hat, eine wichtige Industriestruktur aufzubauen. Die japanischen Unternehmen Asahi Kasei, Panasonic, NEC, Hitachi, GS Yuasa, die koreanischen Unternehmen LG Chem Ltd und Samsung sowie der chinesische Batteriehersteller BYD Company Ltd. sind bedeutende Chemie- und Batteriehersteller bei Lithium-Ionen-Hochleistungsstromspeichern.

**Joint Ventures japanischer Batteriehersteller mit Autobauern**

Speziell die japanischen Batteriehersteller haben im Lauf der letzten zehn Jahre durch mehrere Joint Ventures zur Produktion von Li-Ionen-Batterien für automobiler Anwendungen ihre Position weiter gestärkt. So wurde im April 2007 zwischen NEC, NEC Tokin und der Nissan Motor Co. die Automotive Energy Supply Corporation (AESC) gegründet (vgl. Abb. 8). Das Joint Venture hat strategische Bedeutung für die Nissan-Renault-Allianz, die ehrgeizige Pläne auf dem Feld der Elektromobilität verfolgen. Die Automotive Energy Supply Corporation (AESC) plant fünf Werke für Lithium-Ionen-Batterien in Japan, England, Frankreich, Portugal und den USA, deren gemeinsame Kapazität bei Lithium-Ionen-Batterie-Packs für 500 000 Elektrofahrzeuge geplant ist.

Weitere wichtige Joint Ventures sind die Panasonic EV Energy und die beiden Joint Ventures von GS Yuasa mit Honda und Mitsubishi. Toyota, Nissan-Renault, Mitsubishi und Honda haben sich damit strategisch bei der zentralen Komponente Lithium-Ionen-Batterie positioniert.

VW ist durch eine Einkaufsvereinbarung mit der Panasonic-Tochter Sanyo verbunden und plant eine Zusammenarbeit mit dem chinesischen Batterie- und Fahrzeughersteller BYD. Die Panasonic-Tochter Sanyo liefert allerdings auch Lithium-Ionen-Batterien an Ford in den USA und an Honda. Neben Sanyo hat Hitachi Einkaufsverein-

barungen für Lithium-Ionen-Batterien mit den Autobauern Ford, General Motors, Suzuki und Toyota. Das japanische Unternehmen Asahi Kasei ist heute überwiegend in der Separator-Entwicklung und -produktion tätig.

Neben den etablierten Lithium-Ionen-Batterieproduzenten haben sich wichtige Start-up-Unternehmen gebildet, die überwiegend in den USA gegründet wurden, um auf dem volkswirtschaftlich strategisch wichtigen Feld der Hochleistungsstromspeicher nationale Kompetenz aufzubauen. Start-up-Unternehmen, wie A123 Systems, Altair Nanotechnologies, Valence Technology, Axion Power, Energy Conversion Devices, versuchen neben dem internationalen Automobilzulieferer JohnsonControls und Tochtergesellschaften von Chemieunternehmen, wie Celgard, und klassischen Batte-

**Abb. 8**  
**Joint Ventures japanischer Batteriehersteller mit Autobauern**

<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Automotive Energy Supply Corporation (AESC)</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Joint Venture zwischen NEC, NEC Tokin und der Nissan Motor Co.</li> <li>• Gründung: April 2007</li> <li>• Geplante Werke in Japan, England, Frankreich, Portugal und den USA</li> <li>• Kapazität: Li-Ionen für 500.000 EV</li> </ul> </li> <li>• <b>Primearth EV Energy Co. (früher Panasonic EV Energy Co.)</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Joint Venture zwischen Panasonic Corporation (19,5%) und Toyota (80,5%)</li> <li>• Gründung: Dezember 1996/ Umbenennung in Primearth Juni 2010</li> <li>• Produktion Nickel Metal-Hydride und Lithium Ion Batterien</li> <li>• 3 Werke in Japan mit 20 000 Mitarbeiter: Produktion 3 Mill. Batteriepacks bis Juni 2010</li> </ul> </li> <li>• <b>Lithium Energy Japan</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Joint Venture zwischen GS Yuasa (51%), Mitsubishi Corp. (34%), Mitsubishi Motors (15%)</li> <li>• Gründung Dezember 2007</li> <li>• 2 Werke in Japan, 3. Werk in Japan Anfang 2012</li> <li>• Kapazität: Li-Ionen für 55 000 EV</li> </ul> </li> <li>• <b>Blue Energy Co. Ltd.</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Joint Venture zwischen GS Yuasa (51%), Honda Motor Co. Ltd. (49%)</li> <li>• Gründung: April 2009</li> <li>• Produktion in Japan</li> <li>• Kapazitätsplanung: 2012 für ca. 30 000 EV und langfristig für 100 000</li> </ul> </li> </ul>
---

Quelle: CAR Universität Duisburg-Essen.

rieherstellern, wie Exide, im Feld der automobilen Anwendungen für Batteriespitzen-technologie Fuß zu fassen.

Ein Teil der Start-up-Unternehmen – Altair Nanotechnologies, Valence Technology, Axion Power – schreibt quasi seit ihrer Gründung Verluste und erscheint damit strategisch instabil aufgestellt. In gewissem Sinn wiederholt sich hier die Geschichte der Internet-Unternehmen – viele sind ausgeschieden, aber Google, Ebay, Amazon dominieren heute weltweit. Im Markt für Lithium-Ionen-Anwendungen für die Automobilindustrie in den USA herrscht zum Teil »Goldgräberstimmung«. Das hohe Potential von 130 Mrd. € Umsatz mit Hochleistungsbatterien für Fahrzeuge um das Jahr 2025 erklärt die Entwicklung.

Die Entwicklung in den USA, China, Japan und Korea zeigt, dass mit Hochdruck am Aufbau einer Industrie zur Batteriespitzen-technologie gearbeitet wird. Die Wurzel für die »Googles« der neuen Ära in der Automobilindustrie wird in den nächsten fünf Jahren gelegt.

**Batteriekompetenz Europa und Deutschland**

Abbildung 9 gibt einen Überblick über die Zellen- und Batterieproduktion europäischer Unternehmen. Gruppierbar sind dabei einerseits mittelständische Unternehmen, wie die Hersteller konventioneller Batterien Hoppecke, Fiamm, Moll. Das mittelständische französische Unternehmen Saft ist ein Spezialist auf dem Feld der Lithium-Ionen-Batterien und betreibt gemeinsam mit JohnsonControls das Joint Venture JohnsonControls-Saft, das in Nersec (Frankreich) seine Entwicklung und Zellenproduktion und in Hannover Batterien-Packageing im Lithium-Ionen-Bereich betreibt.

Packageing betreibt auch Continental in Nürnberg, wobei die Zellen zugekauft werden. Ein wichtiger Lieferant der Continental ist Enax in Japan, an dem Continental und Evonik eine Kapitalbeteiligung besitzen.

Ansässig mit einem Schwerpunkt seiner Entwicklungskapazitäten in Nordrhein-Westfalen ist Evonik. Das Essener Unternehmen entwickelte und produziert in Marl eine zentrale Komponente der Lithium-Ionen-Batterie, den Separator. Die Anoden- und Kathodenproduktion erfolgt bei der Evonik-Tochter Litarion in Kamenz bei Dresden. Die Zellenproduktion erfolgt ebenfalls in Kamenz im Rahmen des Evonik-Daimler-Joint-Ventures LiTec. Das Batteriepackaging wird in Kamenz – im Rahmen des Joint Ventures Deutsche AccuMotive – gemeinsam von Evonik mit dem Autobauer Daimler durchgeführt.

Der Automobilzulieferer Bosch verfügt über keine eigene Kompetenz in der Zellen- und Batteriefertigung. Bosch betreibt das Joint Venture SB-LiMotive mit dem koreanischen Elektronikkonzern Samsung. Zellfertigung und Packageing sind in Korea. Bosch baut damit keine eigene Batteriekompetenz auf, sondern verlegt sich auf das Packageing und die Abstimmung. Erster Kunde von SB-LiMotive ist BMW.

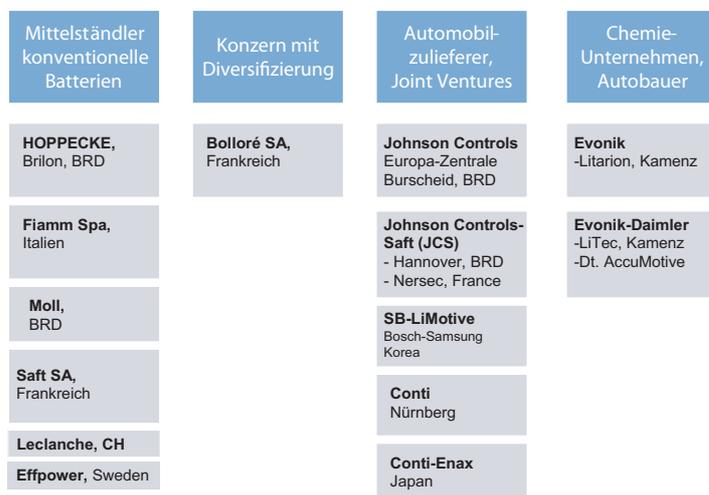
Nicht berücksichtigt sind die vorgelagerten Wertschöpfungsstufen der Zellfertigung. In Abbildung 6 wurde dies illustriert und die Kompetenzen der Chemieunternehmen BASF, Evonik und Merck erläutert.

Als Fazit kann man festhalten, dass JohnsonControls-Saft und Evonik mit seinen Tochtergesellschaften und Joint Ventures die wesentlichen Anbieter sind, die beide strategischen Wertschöpfungsstufen – Zellfertigung und Batteriepackageing – in Europa abbilden. Betrachtet man die gesamte Wertschöpfungskette, ist Evonik der einzige europäische Hersteller, der das gesamte Spektrum, angefangen vom Material für Zellen, Komponenten, Zellfertigung, Packageing und Abstimmung, betreibt. Damit besitzt Evonik eine strategische Position für den Automobilstandort Deutschland.

**Fazit: Die europäische Automobilindustrie kann bei der Spitzenbatterietechnik auf hohes Innovationspotential im europäischen Chemieumfeld zurückgreifen**

Die Überlegungen zeigen, dass europäische Unternehmen die Chance besitzen, bei der Entwicklung der Hochtechnologiestromspei-

**Abb. 9 Europäische Unternehmen: Zellen- und Batterieproduktion**



Quelle: CAR Universität Duisburg-Essen.

cher für die Automobilindustrie eine wichtige Rolle einzunehmen. Dabei bildet das Unternehmen Evonik die gesamte Wertschöpfungskette in der Batteriespitzen-technologie ab. Dies ist ein wichtiger Gestaltungsvorteil für den Standort Deutschland. Einerseits werden für die deutsche Automobilindustrie durch das Know-how über die strategische Komponente Batteriespitzen-technologie Automobilunternehmen und Zulieferer strategisch »abgesichert«. Zum zweiten können durch die hohe Nachfrage nach Batteriespitzen-technologie zukunftsfähige Arbeitsplätze in Europa aufgebaut werden. Mit der Elektrifizierung der Antriebe wird die Automobilzulieferindustrie deutlich erweitert. Chemieunternehmen und Hochleistungsbatteriehersteller werden zu bedeutenden Partnern der Autobauer und ausschlaggebend für das Innovationspotential der Autobauer. Die Grundlagen für europäische Batteriespitzen-technologieunternehmen für automobiler Anwendungen sind vorhanden. Der Markt der Lithium-Ionen-Zellen für die Automobilindustrie ist im Entstehen. Europa hat eine gute Chance, bei dieser Schlüssel-technologie einen wichtigen Beitrag zu leisten. Eine beherzte europäische Forschungs- und Innovationspolitik entscheidet über den Erfolg mit.