

Dr. Daniel Wothe, Dr. Alwin Nagel

TRÄGT DIE ELEKTROMOBILITÄT DIE DEUTSCHE AUTOMOBILINDUSTRIE ZU GRABE?

Entwicklungsstand, Materialien und Kostentreiber der Elektromobilität.

Die weltweite Spitzenposition der deutschen Automobilindustrie könnte durch Wertschöpfungsverschiebungen aufgrund der Elektrifizierung des Antriebsstranges gefährdet sein. Denn deutsche Fahrzeughersteller und Zulieferer, deren Kernkompetenz im Verbrennungsmotor und Getriebe liegt, müssen komplexe technische und wirtschaftliche Herausforderungen auf dem Weg in die elektromobile Zukunft bewältigen.

Die zunehmend hohe Belastung der Umwelt durch Schadstoffe und die Abhängigkeit vom Erdöl haben den gesellschaftlichen Anstoß zum Umdenken und den Wunsch nach alternativen Antriebskonzepten gegeben. Das gesteckte Ziel der Bundesregierung sieht vor, dass bis zum Jahr 2020 eine Million Elektrofahrzeuge auf Deutschlands Straßen fahren. Aber mit nur knapp 50.000 Neuzulassungen von Elektrofahrzeugen im letzten Jahr, müsste eine sprunghafte Steigerung stattfinden, um die gewünschte Elektro-Revolution des mobilen Verkehrs zu erreichen. Die ab Mai 2016 gezahlte Kaufprämie für E-Fahrzeuge in Deutschland – jeweils zur Hälfte getragen vom Bund und den Fahrzeugherstellern – wird sicherlich zu einer Steigerung der Neuzulassungen führen.¹ Im Gegensatz dazu verschieben der derzeit niedrige Ölpreis und der vergleichsweise hohe Kaufpreis der Elektrofahrzeuge den Break-Even der Wirtschaftlichkeit aktuell in Richtung Verbrennungsmotoren - für den Markt im

¹ Quelle: <https://www.bundesregierung.de/Content/DE/Artikel/2016/04/2016-04-27-foerderung-fuer-elektroautos-beschlossen.html>

Bereich der Elektromobilität kein günstiges Umfeld.² Doch wer Energie sparen und vom knapper werdenden Energieträger Öl unabhängig werden will, muss zunächst investieren, um die großen konzeptionellen und technischen Herausforderungen zu bewältigen.

WO STEHEN DIE AKTUELLEN TECHNOLOGISCHEN ENTWICKLUNGEN UND WOVON HÄNGT ES AB, DASS DIE DEUTSCHE AUTOMOBILINDUSTRIE, AUCH BEI ALTERNATIVEN ANTRIEBEN EINE WELTWEITE SPITZENPOSITION ERREICHT?



² Quelle: http://www.heise.de/newsticker/meldung/Studie-Sinkende-Treibstoffpreise-schaden-Elektroautos-3043009.html?wt_mc=rss.ho.beitrag.rdf

AUSGANGSSITUATION | ENTWICKLUNG | HERAUSFORDERUNGEN

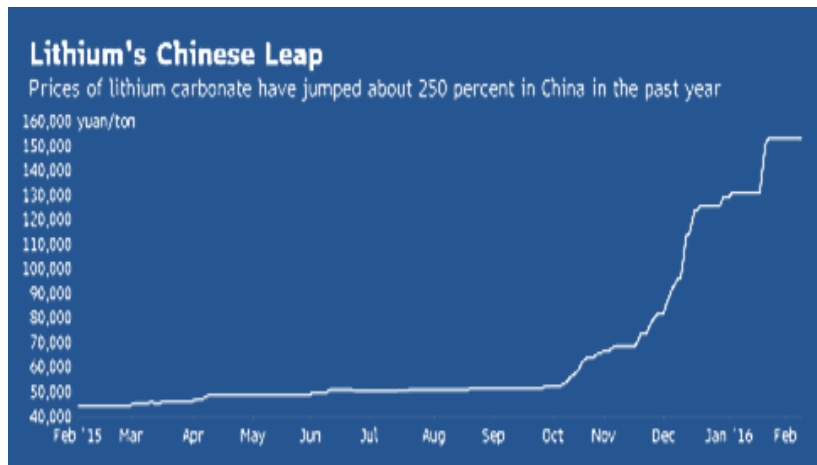
Ein spontaner Innovationsschub, der die Elektromobilität von der technischen Leistungsfähigkeit und der kostentechnischen Vergleichbarkeit zu konventionellen Antrieben bedeuten würde, wäre eine Zäsur mit offenem Ausgang für die Automobilindustrie. Das Alleinstellungsmerkmal der deutschen Automobilindustrie liegt im Wesentlichen im Antriebsstrang, welcher sich über die gesamte Zulieferindustrie perfektioniert hat. Für elektrisch betriebene Fahrzeuge wird dieser, vom Hybrid einmal abgesehen, redundant und die Eintrittshürden für den globalen Wettbewerb werden drastisch reduziert.

Tesla Motors erobert als einer der ersten Pioniere mit unternehmerischem Wagemut und Wachstumsraten von über 50 % die neuen Marktsegmente der Elektromobilität. Noch im Jahr 2016 ist die Inbetriebnahme der „Gigafactory“ geplant, mit der Tesla gemeinsam mit Panasonic den eigenständigen Weg der Speicher-Technologie mit kleinen 18650 Notebook-Zellen vorantreibt.³

Die Panasonic-Zellen weisen eine vergleichsweise hohe Speicherdichte von 0,24 kWh/kg auf. Die weitere Großserien-Kostendegression ist jedoch als begrenzt anzusehen, da die Effizienz, getrieben durch die Entwicklung für Notebooks und Smartphones, bereits sehr ausgeschöpft ist. Zugleich zeichnet sich ein ernstzunehmender Rohstoffengpass beim Lithium ab, der bereits zu Preissteigerungen von 250 % geführt hat. Ähnlich wie mit den Rohstoffengpässen bei den Seltenen Erden Neodym und Dysprosium im Jahr 2011, benötigt für die Hartmagnete, werden die Steigerungsraten der Elektrofahrzeuge im Massenmarkt zumindest temporär von den weltweiten Rohstoffengpässen gebremst.

³ Quelle: <http://www.wallstreet-online.de/nachricht/7885734-lithium-boom-kalifornien-verbietet-verbrennungsmotoren>

Abbildung 1: Anstieg Lithium Carbonate Preis

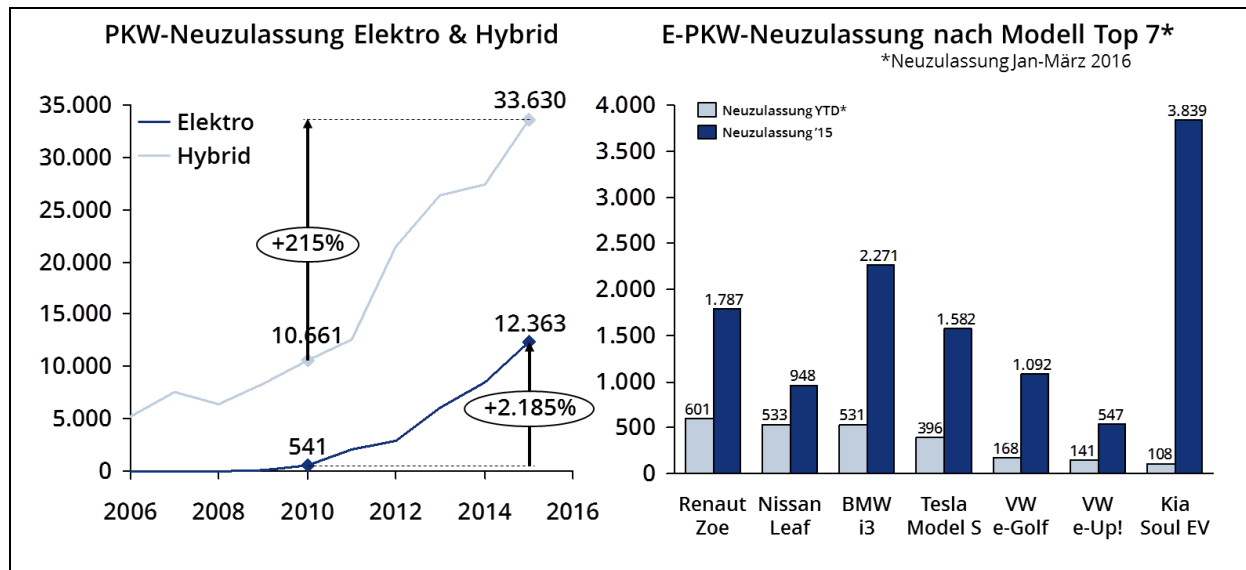


Quelle: <http://www.asianmetal.com>.

Nur durch einen anhaltend hohen Innovationsgrad, mehr Leistung aus leichteren und günstigeren Akkus, ist ein wirtschaftlicher Durchbruch der Fahrzeuge mit reinem Elektro-Antrieb denkbar. Bosch setzt beispielsweise auf neue Festelektrolyt-Zellen für Lithium-Ionen-Batterien des Start-up Unternehmens Seo. Damit soll die Energiedichte verdoppelt und die Feuergefährdung sowie die Kosten deutlich gesenkt werden.⁴ Ein wichtiger Schritt auf dem Gebiet der Lithium-Ionen-Akkus, um den Aufwärtstrend der Branche zu beschleunigen respektive beizubehalten. Die Statistik der jüngsten Neuzulassungen im deutschen Markt der Elektromobilität führt Renault mit dem Zoe an, dicht gefolgt vom VW Golf GTE und dem BMW I3, wobei es sich beim Renault und BMW um rein elektrisch angetriebene Fahrzeuge handelt.

⁴ Quelle: <http://www.handelsblatt.com/technik/zukunftderenergie/bosch-akquise-seeo-was-seeo-anders-macht/12395928-2.html>
Und: <http://www.bosch-presse.de/presseforum/details.htm?txtID=7381>

Abbildung 2: Neuzulassung Fahrzeuge nach Kraftstoff und Modell (rein EV)



Quelle: Kraftfahrt-Bundesamt (KBA)

WIE KANN DIE DEUTSCHE AUTOMOBILINDUSTRIE IHRE STELLUNG LANGFRISTIG SICHERN?

Eine große Chance liegt sowohl im **branchenübergreifenden Industrieverbund**, als auch in der **Kooperation mit entsprechenden Forschungsinstitutionen**. Die Schlüsselrolle der deutschen Chemieindustrie im Industriernetzwerk als Zulieferer hochwertiger Materialien, ist eine Möglichkeit den Standort Deutschland für den Wettbewerb rund um die Elektromobilität zu stärken. Eine noch **tieferere Integration der chemischen Industrie in die Automotive Value Chain**, respektive die Notwendigkeit einer konzertierten Einbindung in den Produktentstehungsprozess (PEP) ist eine wichtige Voraussetzung. Überdies wird sich eine gemeinsame Entwicklungsrichtung mit Long Term R&D Zielen, mit unternehmensübergreifenden Teams in den Forschungsprojekten intensivieren, um im Wettlauf um die notwendigen Innovationen, welche über das inkrementelle Maß hinausgehen müssen, zu bestehen. Hierbei stehen primär die **Elektro- und Festkörperchemie**, sowie die **werkstofftechnischen Themen** im Vordergrund.

ZWEI KERTHEMEN MÜSSEN VORANGETRIEBEN WERDEN: Zum einen eine gesteigerte **LEISTUNGSFÄHIGKEIT DER ELEKTROMOTOREN**, die im Wesentlichen von den Materialeigenschaften der eingesetzten Permanentmagnete bestimmt wird. Zum anderen **HÖHERE SPEICHERDICHEN UND VERKÜRZTE LADEZEITEN DER LI-BATTERIEN** für Automotive - Anwendungen bei einer entsprechenden Lebensdauer und Zyklenfestigkeit. Getrieben wird die

Kostenstruktur durch die Rohstoffpreise und die Prozesskosten für hochreine Strukturen, welche eine wesentliche Säule darstellen, um hier einen Wettbewerbsvorteil herausarbeiten zu können.

ENTWICKLUNGSSTAND UND MÖGLICHKEITEN BEI ELEKTROMOTOREN.

Ein maximaler Wirkungsgrad im Antriebssystem ist entscheidend. Dies umfasst neben einer effizienten Leistungselektronik vor allem die Elektromotoren. Ein idealer Lösungsansatz wäre die dezentrale Integration in die Radnaben. Hierdurch entfallen Reibungsverluste durch Umlenkgetriebe und Wellen sowie das Gewicht dieser Komponenten. Die Problematik beim Radnabenmotor liegt darin, dass dort starke Schwingungen vorliegen und die ungefederten Massen gering gehalten werden müssen. Dies stellt erhöhte Anforderungen an die Fahrwerkskomponenten. Ein entsprechender Bauraum für die E-Motoren und Bremssysteme muss vorhanden sein. Für die ideale Konfiguration der elektrischen Traktionsmotoren spielen Kühlkonzepte und die notwendige Klimatisierung des Innenraumes zusammen mit den Fertigungskosten eine wichtige Rolle.

Gemeinsam ist allen Lösungen, dass möglichst kompakte Elektromotoren einzusetzen sind. Aktuell werden bürstenlose Asynchronmotoren mit den leistungsfähigsten Permanentmagneten auf der Basis von NdFeB, sogenannte Neodym-Magnete eingesetzt.

Der große Schwachpunkt der Neodym-Magnete ist, neben ihrem hohen Preis, eine zu geringe Temperaturbelastbarkeit von unter 80°C. Daher enthalten sie im E-Fahrzeug zusätzlich zu Neodym noch erhebliche Dysprosiumgehalte von 3-10 %. Als sehr teures, schweres Seltene Erden Element erhöht das Dysprosium die magnetische Härte und dadurch die Temperaturbelastbarkeit bis auf über 240°C. Ein sehr anspruchsvoller pulvertechnologischer Herstellprozess, der 30-40 % der Herstellkosten ausmacht, ist vonnöten. Somit kommen hierfür nur wenige Lieferanten in Frage, die dies in industriellem Maßstab abbilden können.

Auch mit den besten Neodym-Dysprosium-Magneten wird bei hohen Leistungsabrufen und speziell in Heißluftländern eine effiziente Kühlung der Elektromotoren nötig sein. Diese ist entscheidend, um sicher unterhalb der kritischen maximalen Betriebstemperatur von 160 bis 240°C zu bleiben, je nach Auslegung in der E-Maschine. Ansonsten würden die Permanentmagnete schnell irreversibel thermisch altern. Spätestens bei ca. 240 °C ist nicht nur die Grenze der besten Neodym-Dysprosium-Magnete erreicht, sondern auch die Lackisolierung der Kupferdrähte kommt an ihre Grenzen.

Neben den hohen Rohstoffpreisen für Seltene Erde, speziell für Dysprosium von aktuell über 200 € pro kg, kommt eine strategische Rohstoffabhängigkeit von China hinzu. Diese hatte im Jahr 2011 kurzzeitig zu massiven Engpässen und unkalkulierbaren Preissprüngen von 1.000 % für Dysprosium gesorgt. Die reinen Neodym-Magnete werden aktuell in immer größeren Mengen für getriebelose Offshore-

Windenergieanlagen benötigt. Die Situation eröffnet ein spannendes Feld für branchenübergreifende Lieferverhandlungen mit langfristigen Rohstoffpreisabsicherungen.

Eine derzeit genutzte Alternative zu Permanentmagneten ist aufgrund der Selten Erden Problematik der kostengünstige Einsatz von Elektromagneten am Rotor, die über entsprechende Kupferwicklungen realisiert werden. Zur Gewichtsreduzierung werden auch Aluminiumleitungen verwendet, die jedoch ein geringeres Magnetfeld erzeugen.

Verbesserte, kostengünstige und effiziente Leistungselektronik ist ebenfalls ein Schlüssel für den Innovationsschub der E-Mobility. Ziele sind: Den Wirkungsgrad der Elektronik verbessern und zugleich die Kosten halbieren. Derzeit sind ca. 95 % Wirkungsgrad machbar, somit müssen 5 % Verlustleistung – das sind bei 100 kW Antriebsleistung immerhin 5 kW Wärmeleistung – durch Kühlung abgeführt werden, oder diese stehen zumindest für den Winterbetrieb als Heizung zur Verfügung.

ENTWICKLUNGSSTAND UND MÖGLICHKEITEN DER SPEICHERTECHNOLOGIEN.

Aufgrund ihrer hohen spezifischen Energiedichte haben sich Lithium-Ionen-Batterien für tragbare Computer, Mobiltelefone, Tablets etc. durchgesetzt. Die Lithium-Ionen-Batterie besteht aus zwei durch einen Separator getrennte Elektroden. Die Elektroden sind in das entsprechende elektrolytische Medium eingebettet. Die Anode (Minus Pol des Akkus) besteht hauptsächlich aus Graphit, während die Kathode (Plus Pol des Akkus) aus einer Lithium-Übergangsmetall-Oxidverbindung besteht. Als Übergangsmetalle stehen Nickel, Mangan und Cobalt und deren Mischungen (NMC) in häufiger Anwendung. Das aktive Kathodenmaterial ist mit einem leitenden Gerüst aus Carbon Black und einem Polymerbinder (z.B. Polyvinylidenfluorid PVDF) durchdrungen. Die Elektroden bestehen aus Kupfer- (Anode) oder Aluminiumfolien (Kathode). Als Flüssigelektrolyt dient LiPF₆ als Leitsalz gelöst in z.B. Dimethylcarbonat (DMC).

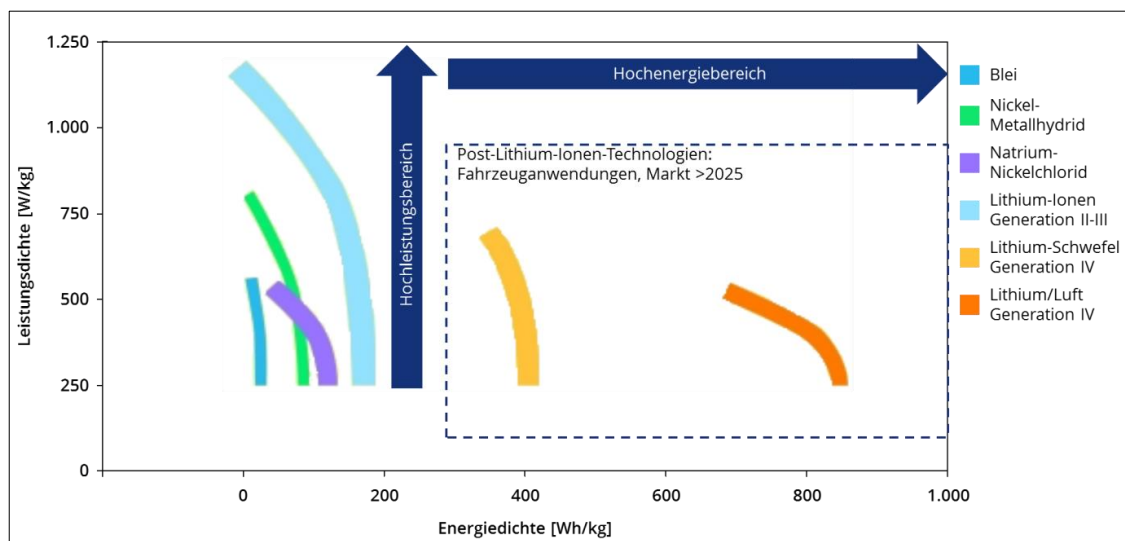
Wichtig ist die Separator-Membran. Sie besteht aus einem Polymer mit Polyethylen oder Polypropylen in der Grundstruktur. Die Separator-Membran begrenzt im Wesentlichen die Arbeitstemperatur der Batterie und ist entscheidend für die Sicherheit.

Die Hauptentwicklungsrichtungen sind die Erhöhung der Speicherdichte und die Verlangsamung des Alterungsprozesses. Neue aktive Materialien wie Hochspannungsspinelle (z.B. LiNi_{0,5}Mn_{1,5}O₄) bringen hier die Verbesserung für individuelle Anwendungen, wie z.B. Leistungsbereitstellung versus Speichervermögen oder eine längere Lebensdauer. Die Alterung ist getrieben durch die Migration der Li-Ionen, welche den Separator durch Dendritenwachstum und Gefügeveränderungen langsam zerstören lassen. Dies ist nur eine der Ursachen für die zu geringen Standzeiten der Batterien. Entwicklungsansätze der nächsten Generation mit z.B. Festkörperelektrolyten sollen hier sowohl Lebensdauer als auch Leistungsdichte entscheidend verbessern.

Die Aufwands- und Kostentreiber liegen in der Beherrschung der Herstellprozesse und der analytischen Methoden zur Strukturaufklärung, diese Strukturen im industriellen Maßstab bei spezifizierter Qualität zu produzieren. Hier ist ein hochspezialisiertes Lieferantennetzwerk mit hohem R&D-Anteil notwendig, um die Entwicklungskosten und die späteren Serienkosten im wettbewerbsfähigen Rahmen zu halten.

Derzeit werden Energiedichten von typisch 150 Wh/kg erreicht. Die Batterie eines Tesla S mit 85 kWh wiegt daher aktuell 567 kg⁵. Eine Verdopplung der Energiedichte auf 300 Wh/kg wird mit dem Einsatz der Nanotechnologie als möglich angesehen. Dies könnte für ein reduziertes Gesamtgewicht durch Einsparung an Speichermedium oder für eine größere Reichweite genutzt werden. Mehr ist bei den existierenden Konzepten nach Aussage von Bosch derzeit nicht möglich. Hohe Energiedichten verringern zudem die Leistungsdichte (Abbildung 3).⁶ Es gilt stets zu beachten, dass höhere Leistungsdichten bei großen Leistungsabrufen hohe Temperaturen bedingen und somit zu einer Verschlechterung der Lebenserwartung des Energiespeichers sorgen.

Abbildung 3: Zusammenhang zwischen Energie- und Leistungsdichte von aktuellen und zukünftigen Batterietechnologien



Quelle: Fraunhofer ISI

Li-Schwefelbatterien lassen theoretisch eine Energiedichte von 2,6 kWh/kg zu, so dass eine thermodynamische Grundlage gegeben wäre, ein Mobilitätsszenario mit Reichweiten wie bei konventionellen Antrieben zu ermöglichen. Die technische Umsetzung erlaubt derzeit nur eine Nutzung von bis zu 15 % dieses Potenzials. Allerdings stellt aufgrund der geringen Dichte der Schwefelverbindungen der Volumeneffekt dieses Batteriekonzepts ein ernstes Hindernis für den Einsatz im Automobil dar.

⁵ Quelle: <http://www.autobild.de/artikel/tesla-model-s-p85d-langstrecken-test-6032597.html>

⁶ Quelle: <http://ecomento.tv/2014/06/23/so-viel-wiegen-die-teile-des-tesla-model-s/>

In naher Zukunft könnte zur Verlängerung der Reichweite der Elektrofahrzeuge ein Range Extender auf Brennstoffzellenbasis die Kostennachteile des Hybridfahrzeugs mit Verbrennungsmotor umgehen. Dieser ließe sich durch herkömmliche Kraftstoffe, wie auch durch die Direktspeicherung von Wasserstoff betreiben. Auch die Industriemesse 2016 in Hannover war unter anderem geprägt von der Wasserstofftechnologie. Hierbei standen kohlenfaserverstärkte Hochdrucktanks (COPV), die Pipelineversorgung und die Brennstoffzelle im Vordergrund. Es gilt allerdings zu beachten, dass Wasserstoff im Gegensatz zu fossilen Brennstoffen kein Primärenergieträger ist, und nur durch Zufuhr von mindestens derselben Energiemenge hergestellt werden kann. Er ist somit ein weiteres Speichermedium, welches mit den Lithiumbatterien in Konkurrenz steht. Kostenreduzierungen bei der CFK-Tankkonstruktion stehen hier im Vordergrund, getrieben durch die Kosten für die Carbonfasern und eine geeignete Sicherheitsventiltechnik.

KONSEQUENZ FÜR DIE FAHRZEUGGESTALTUNG.

Der reine Elektroantrieb bedingt den Entfall des konventionellen Antriebsstrangs und stellt zugleich eine Gefahr für die Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Automobilindustrie dar. Gleichzeitig eröffnet er vielfältige neue Möglichkeiten der Karosseriegestaltung: Es kann die gesamte Aufhängung des Antriebsstranges sowie das Kühl- und Abgassystems entfallen, andere Achskonzepte werden ermöglicht, neue Stabilitätspunkte, die mehr auf äußere und fahrdynamische Krafteinflüsse hin gestaltet werden können, als durch die statischen Anforderungen zur Aufnahme des Antriebsstranges bisher notwendig sind. Dies führt durch erheblichen Materialwegfall zu einem hohen Potenzial an Gewichtseinsparung. Überdies wird die Anwendung alternativer Materialien wie Faserverbundwerkstoffe wesentlich attraktiver, wie BMW mit dem Technologieträgermodell i3 innovativ demonstriert. Deutlich geringeres Gewicht und optimierte aerodynamische Konstruktionen tragen zu einer Fahrleistungs- und Reichweitensteigerung bei. Der größte **Gewichtstreiber ist der Energiespeicher**. Von der Leistungsfähigkeit und Kosteneffizienz dieser Speichereinheit hängt das Gelingen einer breiten Elektrifizierung des Individualverkehrs ab.

SCHLUSSFOLGERUNGEN

Wir stehen derzeit an einem Punkt mit noch zu teuren und schweren Akkus, die eine zu geringe Reichweite und Lebensdauer bereitstellen, um ein rein elektrisches Mobilitätskonzept

flächendeckend als echte Alternative zum Verbrennungsmotor umzusetzen. Das Gewicht, das Volumen, die Ladezeit, die starke Temperaturabhängigkeit im Betrieb sowie der Einsatz toxischer Komponenten müssen reduziert werden.

Viele denkbare Szenarien für Elektromobile Lösungen werden derzeit diskutiert. Welches Konzept sich durchsetzen wird, hängt zuletzt von der technologischen Entwicklung und den Kostenstrukturen der industriellen Umsetzung ab.

Neue Trends der Automobilbranche, wie Konnektivität, autonomes Fahren sowie aktive und passive Sicherheit werden der E-Mobilität, aufgrund der Integrierbarkeit von Elektroniksystemen und -funktionen, über kurz oder lang in die Karten spielen.

Es wäre aus unserer Sicht verfrüht von einem drohenden „Nokia-Effekt“ für die deutsche Automobilindustrie durch den Wandel hin zur Elektromobilität zu sprechen. Wer jedoch jetzt nicht die zukünftigen Schlüsseltechnologien in sein Portfolio integriert, wird Marktanteile und Ansehen verlieren. Eine große Herausforderung – vielleicht die größte in der Geschichte der Automobilindustrie – da hier Grundlegendes in Frage gestellt wird. Marktteilnehmer wie Tesla (USA) oder Future Mobility (China), aber auch Apple und Google mit ihren führenden Ansätzen der „Industrie 4.0 Technologie“ und erfahren in der Etablierung neuer, disruptiver Geschäftsmodelle, haben das Spielfeld betreten.

THE GUIDING STAR FOR THE
MANUFACTURING INDUSTRY



AUTOREN & IHR VERSIERTER KONTAKT BEI POLARIXPARTNER

DR. DANIEL WOTHE



EXPERTISE

- Mehr als sieben Jahre Erfahrung als Berater in der chemischen und pharmazeutischen Industrie, sowie der Automobilindustrie und im Anlagen- und Maschinenbau
- Tiefes Prozessverständnis im Bereich Supply Chain, Produktion, Instandhaltung, Qualitätsmanagement und -kontrolle, Produktentwicklung (PEP) und F&E
- Wert- und Kostenmanagement, Operational Excellence, KVP und Lean
- Organisationsentwicklung und Change Management
- Schnittstellenübergreifende Planungs- und Steuerungsprozesse

POLARIXPARTNER GmbH
Graf-Siegfried-Str. 32, 54439 Saarburg, Deutschland
www.polarixpartner.com

Telefon: +49 6581 8290-242
Mobil: +49 151 52743442
E-Mail: Daniel.Wothe@polarixpartner.com

DR. ALWIN NAGEL - Geschäftsführender Gesellschafter Matworks GmbH



EXPERTISE

- Materialwissenschaftler Schwerpunkt Materialsynthese Pulvermetalle / Keramik
- Forschungsprojektleiter in diversen Landes-, BMBF- und DFG-Projekten
- Technologietransfer für werkstofftechnische Dienstleistungen, Materialographie, direkte industrielle F&E-Projekte, Technologieprojekte
- Schadensanalytik, Materialsynthese PM-Werkstoffe und Keramiken
- Langjährig Dozent für Funktionswerkstoffe, Werkstoffkunde u.v.a.
- Stv. Leiter DGM-Fachausschuss Metallische Verbundwerkstoffe

ÜBER POLARIXPARTNER

MANAGEMENT. BERATUNG. MACHEN. POLARIXPARTNER ist die Managementberatung für die fertige Industrie. Als langjährige Industrie-Insider sind wir gerne Ihr verlässlicher Leitstern auf dem Weg zum Erfolg – zielgebend wie früher der Polarstern für die Seefahrer. Unser Ansatz ist ganzheitlich und wir verfolgen eine umsetzungsorientierte Philosophie: Dabei tauchen wir analytisch und strategisch tief in Ihre Kernprozesse ein – werden aber auch direkt auf dem Shopfloor aktiv und sorgen für eine optimale Verbesserung entlang Ihrer gesamten Wertschöpfungskette. **VORDENKEN. OPTIMIEREN. UMSETZEN.**