

DIE ROLLE VON STAHL IN DER ELEKTROMOBILITÄT

DIE ROLLE VON STAHL IN DER ELEKTROMOBILITÄT

ERSTELLT FÜR

Voestalpine

Mai 2018

ERSTELLT VON

HANDELSBLATT RESEARCH INSTITUTE

Inhaltsverzeichnis

Einleitung.....	5
Teil 1: Meta-Betrachtung	6
Elektromobilität	6
Politische Förderung	6
Wirtschaftlichkeit und Reichweite.....	9
Verbreitung	10
Exkurs: Wertschöpfungsketten (Neue Kompetenzverteilungen; neue Player)	12
Technische Herausforderungen der Elektromobilität.....	14
Motor.....	14
Karosserie	15
Batterie	16
Sicherheit	18
Nachhaltigkeit.....	20
Exkurs: Zukunftsszenario Brennstoffzelle	22
Szenarien.....	23
Die Rolle des Leichtbaus in der Elektromobilität.....	28
Motor.....	28
Karosserie	29
Batteriekasten	34
Sicherheit	36
Nachhaltigkeit.....	37
Szenarien.....	38
Teil 2: Experteninterviews	39
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E. h. Burkhard Göschel.....	39
Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Bleck, Institut für Eisenhüttenkunde, RWTH Aachen.....	42
Prof. Dr. rer. pol. Stefan Bratzel, Center of Automotive Management (CAM).....	45
Dr.-Ing. Hans-Joachim Wieland, Geschäftsführer Forschungsvereinigung Stahlanwendung e. V. (Fosta).....	47
Dirk Breuer, Toyota.....	50
Franz W. Rother, Chefredakteur Edison.....	53
Fazit.....	56
Literatur	58

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Anzahl der Elektroladestationen.....	7
Abbildung 2: Reichweite und Batteriepreis von Elektroautos.....	10
Abbildung 3: Anzahl der neu zugelassenen Automobile mit alternativen Antrieben.....	11
Abbildung 4: Prognose des Automobilabsatzes nach Antriebsart in der EU.....	25
Abbildung 5: Prognose der Fahrzeugproduktion nach Antriebsart in ausgewählten Regionen.....	26
Abbildung 6: Massereduktion und Kosten.....	30
Abbildung 7: Vergleich ausgewählter Werkstoffe in der Automobilproduktion.....	32

Einleitung

In der EU und ihren Mitgliedsstaaten werden zunehmend schärfere Richtlinien für den maximal zulässigen Schadstoffausstoß von Fahrzeugen eingeführt. Automobilhersteller reagieren auf diese Vorgaben mit Maßnahmen wie der Gewichtsreduktion von Fahrzeugen durch einen zunehmenden Einsatz von Leichtbau sowie Effizienzsteigerungen bei Verbrennungsmotoren.

Gleichzeitig sind alternative Antriebsformen in den Fokus der Entwicklung gerückt und finden eine immer größere Verbreitung. Im Mittelpunkt steht dabei die Elektromobilität. Kurz gesagt wird bei elektrisch angetriebenen Fahrzeugen der konventionelle Antriebsstrang des Verbrennungsmotors durch einen elektrischen Antrieb ersetzt. Dabei wird elektrische Energie, die in einer Batterie gespeichert ist, in mechanische Energie umgewandelt. Anders als beim Antrieb über einen Verbrennungsmotor wird dabei kein CO₂ ausgestoßen. Aus diesem Grund gilt der Elektroantrieb als Grundlage für eine klimafreundlichere Mobilität der Zukunft und wird von der Politik weltweit vorangetrieben.

Im Rahmen dieser Studie wird die Entwicklung der Mobilität vom Verbrennungsmotor zur Elektromobilität nachgezeichnet und mit aktuellen Hintergründen und Marktdaten dargestellt. Neue Anforderungen, die die Elektromobilität an die Komponenten eines Fahrzeugs sowie das Sicherheitskonzept stellen werden ebenso ausführlich beleuchtet wie die Rolle elektrisch angetriebener Fahrzeuge in einem Lebenszykluskonzept. Der Fokus der Analyse liegt dabei auf der Rolle von Werkstoffen bei der Herstellung von Elektrofahrzeugen. Leichtbau ist zu einem zentralen Bestandteil der Automobilproduktion geworden. In der Elektromobilität ist er mit neuen Anforderungen konfrontiert. Diese Entwicklung wird im Rahmen der Studie skizziert. Dabei liegt der Fokus auf der Rolle des Stahls, dem zentralen Untersuchungsgegenstand der Analyse. Auch andere Formen des Leichtbaus werden vergleichend in die Analyse einbezogen.

Neben einer Meta-Analyse der bestehenden Literatur und Daten wird das Thema der Studie durch Experteninterviews aus unterschiedlichen Blickwinkeln beleuchtet. Die Experten vertreten verschiedene Hintergründe, arbeiten teils praktisch, teils akademisch und vertreten Universitäten und andere Forschungseinrichtungen, Verbände und Unternehmen diverser Branchen. Somit werden unterschiedliche Sichtweisen und Herangehensweisen an den Umgang mit der Elektromobilität berücksichtigt.

Teil 1: Meta-Betrachtung

Elektromobilität

Politische Förderung

In der EU wird die Elektromobilität politisch gefördert, und zwar explizit über Programme zur Steigerung der Verbreitung von Elektrofahrzeugen sowie implizit über zunehmend schärfere Auflagen zum Schadstoffausstoß konventioneller Antriebe.

Nach der aktuellen Regelung der EU-Kommission dürfen neu zugelassene Fahrzeuge im Flottendurchschnitt eines Herstellers maximal 95 Gramm CO₂ je Kilometer emittieren.¹ Gegenüber den Durchschnittswerten für den CO₂-Ausstoß von 127,4 Gramm CO₂ je Kilometer, die im Jahr 2016 ermittelt wurden, würde dies einer Emissionsreduktion von mehr als einem Viertel entsprechen. Umgerechnet auf den Kraftstoffverbrauch bedingen die ab 2021 geltenden Regelungen einen Kraftstoffverbrauch von rund 4,1 Liter je 100 km für Benzin-Fahrzeuge, 3,6 Liter je 100km Litern für Diesel-Fahrzeuge.² Bis zum Jahr 2025 soll der Ausstoß sukzessive weiter gesenkt werden.

Neben der Verschärfung der Grenzwerte ist auch das zugrundeliegende Messverfahren reformiert worden. Waren bisher Messungen auf Rollen im Labor der Standard, ist seit September 2017 für neu zugelassene Fahrzeuge (ab September 2019 für Nutzfahrzeuge) der Real-Driving-Emission-Test (RDE-Test) vorgeschrieben.³ Dabei werden die Emissionen im tatsächlichen Einsatz auf der Straße ermittelt, da die herkömmlichen Labormessungen aufgrund der Arbeit unter optimalen Bedingungen eher den unteren Rahmen der Emissionen abbilden.

Die verschärften Richtlinien führen dazu, dass die Arbeit an konventionellen Fahrzeugen immer stärker auf Effizienz getrimmt wird: Auf der einen Seite wird an Benzin- und Dieselmotoren gearbeitet, die einen geringeren Schadstoffausstoß ermöglichen. Auf der anderen Seite werden Fahrzeuge immer leichter.⁴ So senkt eine Gewichtsreduktion von 100 Kilogramm den CO₂-Ausstoß eines Fahrzeugs um 6–10 g/km.⁵ Genutzt werden dabei vermehrt Leichtbau-Materialien wie Aluminium, Kunststoff, Carbon und hochfeste Stähle.

¹ Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (2009)

² Commerzbank (2018)

³ Europäische Kommission (2017)

⁴ Puls, T. (2013)

⁵ Commerzbank (2018)

Gleichzeitig machen die Regulierungen alternative Antriebstechnologien attraktiv, die kein CO₂ emittieren. Im Zentrum der Entwicklungen steht der Elektroantrieb, nicht zuletzt ob der politischen Förderung. So stellt die EU-Kommission 800 Millionen Euro bereit, mit denen der Ausbau des Netzes von Ladestationen in Europa gefördert werden soll.⁶ Die Ladeinfrastruktur gilt neben der Reichweite und dem Preis derzeit als eines der drei großen Hemmnisse einer stärkeren Durchsetzung von Elektrofahrzeugen.

Abbildung 1: Anzahl der Elektroladestationen



HANDELSBLATT RESEARCH INSTITUTE

Quelle: Commerzbank; EAFO; Statista; US Department of Energy; electrive.net; adelphi; Borderstep; IZT.

Die Darstellung umfasst ausgewählte Länder in Europa sowie wichtige Absatzmärkte in Asien und Nordamerika.

Aufgrund der Datenverfügbarkeit handelt es sich bei China um einzelne Ladepunkte, bei den anderen Ländern um Ladestationen. Eine Ladestation kann mehrere Ladepunkte haben, wodurch der Vorsprung Chinas hier größer wirkt, als er sich im Alltag darstellt.

Noch ist das Netz von Ladestationen nirgendwo auf der Welt weit genug ausgebaut, um sowohl die ausreichende Verbreitung in der Fläche als auch ausreichend Ladestationen in Ballungsgebieten anbieten zu können.

Eng verknüpft mit dem Thema der Versorgungsinfrastruktur für Elektrofahrzeuge ist eine grundlegende Frage, die in der öffentlichen Diskussion wesentlich weniger präsent ist: Sind die Stromnetze darauf vorbereitet, eine steigende Anzahl von Elektrofahrzeugen ausreichend zu versorgen? Unterschieden wird bei der Diskussion zwischen der Strommenge und der Spitzenlast.

⁶ Frankfurter Allgemeine Zeitung (2017)

Erstere gilt für viele Forscher auf dem Gebiet nicht als gravierendes Problem. So hat Florian Samweber von der Forschungsstelle für Energiewirtschaft (ffe) errechnet, dass eine komplette Umstellung des deutschen Autobestandes (Annahme: 45 Millionen Elektroautos) eine Erhöhung der Gesamtstromerzeugung des Landes um rund 15 Prozent notwendig machen würde⁷, für Europa besagen Prognosen, dass der Anteil des elektrischen Verkehrs an der gesamten Stromnachfrage bei einer 80-prozentigen Elektrifizierung bis 2050 von heute 0,03 Prozent auf 9,5 Prozent steigen könnte.⁸ Damit wäre der Anstieg der Strommenge laut Forschern tragbar.⁹ Potenziell problematischer wäre der Umgang mit Spitzenlasten. Dies gilt besonders vor dem Hintergrund, dass zunehmend Strom aus erneuerbaren Quellen genutzt wird – für die Elektromobilität und ihren Umwelteinfluss ist dies von großer Bedeutung, da die Stromgewinnung aus fossilen Quellen den positiven Einfluss des emissionslosen Verkehrs wieder abschwächt.¹⁰ Erneuerbare Energiequellen sind allerdings schwankungsanfälliger, der Wind weht nicht immer, die Sonne scheint nicht immer. Daher werden schon heute konventionelle Ausweichkraftwerke vorgehalten, um Spitzen auszugleichen und Engpässe zu vermeiden – die zunehmende Elektrifizierung des Verkehrs dürfte diese Thematik verstärken.

Zudem ist die bestehende Infrastruktur nicht auf zusätzliche Spitzen durch das massenhafte Laden von Elektrofahrzeugen ausgelegt. Erdkabel, die den Strom meist zu einzelnen Haushalten transportieren, könnten überlastet werden, wenn viele Hausanschlüsse für Autos gleichzeitig genutzt werden.¹¹ Es gibt verschiedene Ansätze, dieses Problem zu lösen. Einige der Ansätze sind noch in der Forschungsphase, andere wurden in ersten Pilotprojekten bereits umgesetzt. So können öffentliche Ladesäulen in der Nähe von Einrichtungen errichtet werden, die mit stärkeren Erdkabeln versorgt werden, da sie ohnehin mehr Strom benötigen. Auch die Verbreitung eines smarten Stromnetzes, das den individuellen Verbrauch von Anschlüssen meldet und die Zufuhr steuern kann, um Spitzen auszugleichen, würde Abhilfe schaffen. Wenn am Abend alle Elektroautos einer Straße an die Hausanschlüsse angeschlossen werden und ab der ersten Minute Strom ziehen, kann das Netz zusammenbrechen. Meldet ein intelligentes Netz, dass sie ohnehin meist die ganze Nacht angeschlossen bleiben, kann die Zufuhr automatisch gesteuert werden.¹² Auch wenn solche Maßnahmen das Problem in Ansätzen lösen können, wird ein Ausbau der Stromnetze ebenfalls nötig sein.¹³

Neben der Förderung alternativer Antriebe durch die EU-Kommission gibt es weitere Förderprogramme einzelner Mitgliedsstaaten. In Deutschland etwa stehen im „Sofortprogramm

⁷ Hajek, S. (2017)

⁸ EEA (2016a)

⁹ Hajek, S. (2017)

¹⁰ Karsten, P., Bracker, J., Haller, M., Purwanto, J. (2016)

¹¹ Hajek, S. (2017)

¹² Hajek, S. (2017)

¹³ Hajek, S. (2017); Karsten, P., Bracker, J., Haller, M., Purwanto, J. (2016); EEA (2016a)

saubere Luft 2017–2020“, welches im Zuge des Diesel-Skandals aufgelegt wurde, eine Milliarde Euro für verschiedene Maßnahmen zur Förderung der Elektromobilität zur Verfügung, unter anderem für den Ausbau der Infrastruktur.¹⁴ Zudem gibt es privatwirtschaftliche Bestrebungen, die Infrastruktur auszubauen: So haben sich die Automobilhersteller Audi, BMW, Daimler, Ford und Porsche im November 2016 auf ein Joint Venture verständigt, das Schnellladnetz in Deutschland auszubauen. In einem ersten Pilotprojekt sollen dabei 400 Säulen errichtet werden, in der Folge sollen mehrere Tausend weitere dazukommen.¹⁵ Vergleichbare Programme und private Konsortien gibt es auch in vielen anderen Staaten.

Wirtschaftlichkeit und Reichweite

Neben dem grobmaschigen Ladenetz sind die Reichweite sowie die Wirtschaftlichkeit für die bisher geringe Verbreitung von Elektrofahrzeugen verantwortlich.

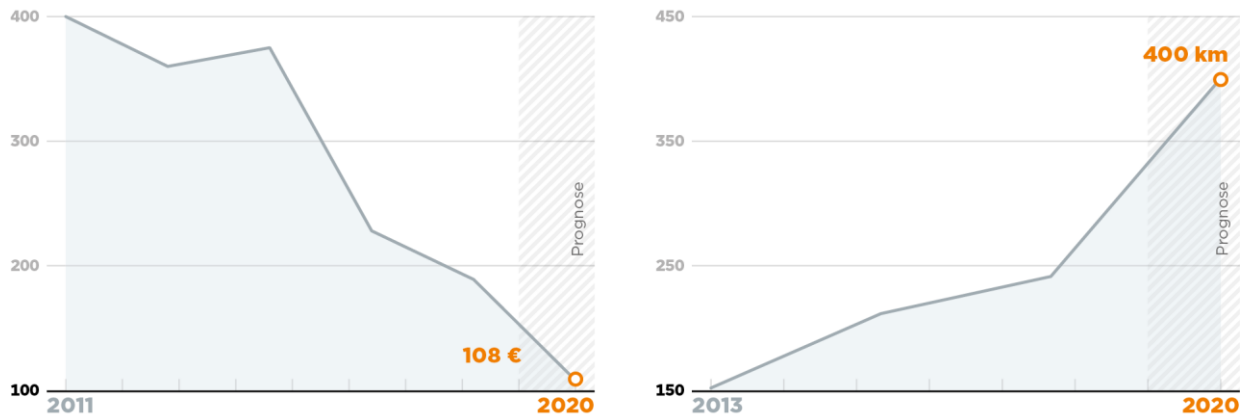
Die verbaute Batterie- und Akkutechnik ist noch relativ teuer, wodurch Elektrofahrzeuge vielfach teurer für die Konsumenten sind als konventionelle Verbrenner. Zudem sind die technischen Möglichkeiten des elektrischen Antriebs noch längst nicht ausgereizt. Derzeit sind Reichweiten von rund 300 Kilometern mit einem Ladezyklus möglich, an einer Schnellladestation kann ein Akku in etwa 15 bis 20 Minuten wieder aufgeladen werden. Dies ist für viele Fahrten außerhalb des Stadtverkehrs nicht ausreichend. Schätzungen besagen, dass Kostensenkungen und Reichweitensteigerungen von einem Faktor zwischen zwei und drei nötig seien, um die Nachteile der Elektrofahrzeuge gegenüber konventionellen Antrieben aus Verbrauchersicht auszugleichen.¹⁶ Dies ist allerdings nach Expertenmeinungen keine abwegige Forderung: So könnten die Reichweiten-Nachteile auf Grundlage der aktuellen Entwicklungen im Akku-Bereich bis 2025 ausgeglichen werden und die Batteriekosten auf ein Drittel der aktuellen Kosten fallen. Damit würde die Elektromobilität auch abseits des subventionierten Einsatzes zunehmend für den Massenmarkt interessant.

¹⁴ Bundesregierung (2017)

¹⁵ Daimler (2017a)

¹⁶ Commerzbank (2018)

Abbildung 2: Reichweite und Batteriepreis von Elektroautos



HANDELSBLATT RESEARCH INSTITUTE

Quelle: Horváth & Partners; Statista.

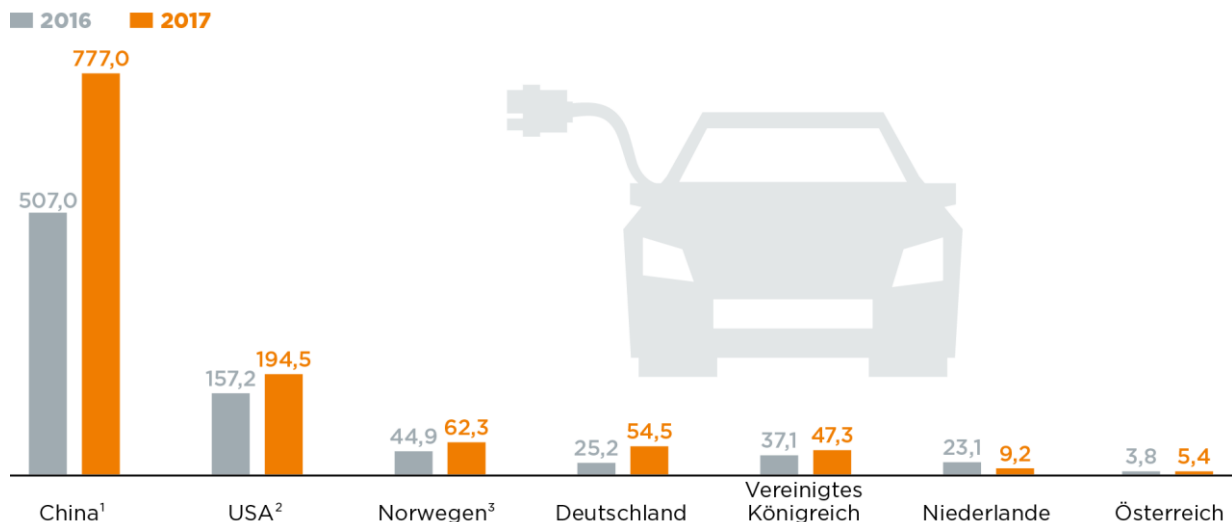
Abbildung links: Weltweite Preisentwicklung für Lithium-Ionen-Batteriezellen von 2013 bis 2020 (in Euro/kWh);

Abbildung rechts: Durchschnittliche Reichweite aller verkauften Elektroautos von 2013 bis 2020.

Verbreitung

Wie erfolgreich eine direkte finanzielle Förderung von alternativen Antrieben sein kann, zeigt sich am Beispiel Norwegens, dem europäischen Vorreiter beim Thema Elektromobilität. Dort wird Autokäufern bei der Anschaffung eines elektrisch angetriebenen Fahrzeugs nicht nur die Automobil- und Abgassteuer erlassen, auch die Mehrwertsteuer entfällt. Die gut 62.000 Neuzulassungen im Jahr 2017 bedeuteten bereits einen Anteil von rund einem Drittel an den Gesamtzulassungen, der Ausbau der Infrastruktur hält derzeit mit dem starken Absatz nicht Schritt.

Abbildung 3: Anzahl der neu zugelassenen Automobile mit alternativen Antrieben



HANDELSBLATT RESEARCH INSTITUTE

Quelle: Center of Automotive Management; LinkedIn; Statista; Statistik Austria.

Absolutzahlen und Anteil an den Gesamtzulassungen. Enthalten sind sowohl Batterieelektroautos als auch Plug-in-Hybrid-Autos.

¹ Werte sind gerundet und enthalten den Absatz von Nutzfahrzeugen. ² Werte sind teilweise geschätzt. ³ Inklusive Fahrzeugen mit Brennstoffzelle.

Globaler Spitzenreiter bei der Zulassung von Fahrzeugen mit alternativen Antrieben ist China, wo das Thema per Staatsdoktrin gefördert wird. Grundlage ist ein Punktesystem, welches Hersteller verpflichtet, eine Mindestquote von alternativ angetriebenen Fahrzeugen im Verhältnis zu konventionellen Antrieben abzusetzen. Mit 777.000 Neuzulassungen im Jahr 2017 wurden rund viermal so viele alternativ angetriebene Fahrzeuge neu zugelassen wie beim zweitplatzierten Land, den USA. Bereits in diesem Jahr soll die Millionenmarke geknackt werden.

Hintergrund der politischen Förderung in China ist, anders als in Europa, nicht in erster Linie die Senkung von Emissionen, sondern industriepolitisches Kalkül.¹⁷ So kann sich China unabhängiger von Öl-Importen machen, zudem werden Kompetenzen im Bereich der Herstellung von Elektrofahrzeugen gefördert. Hierdurch käme es bei der in den kommenden Jahren verstärkten Durchsetzung überall auf der Welt zu einer Stärkung global operierender chinesischer Hersteller. Schon heute ist China, neben Japan und Korea sowie dem US-Unternehmen Tesla, führend im Bereich der Batterietechnik für die Elektromobilität.¹⁸

¹⁷ Commerzbank (2018)¹⁸ Commerzbank (2018)

Exkurs: Wertschöpfungsketten (Neue Kompetenzverteilungen; neue Player)

Die Automobilbranche steht im Zeichen des Wandels: Vier Megatrends beeinflussen die Rolle des Automobils in der Gesellschaft und ändern das bisher bekannte Nachfrageverhalten erheblich: multimodale Mobilität, Elektrifizierung, Vernetzung und Automation.¹⁹ Diese Trends werden in Zukunft den Profit Pool vor allem „downstream“ entlang der automobilen Wertschöpfungskette verschieben. Durch disruptive Technologien entsteht eine Vielzahl an neuen Playern im Automobilmarkt: Telekommunikationsunternehmen werden durch die von ihnen zur Verfügung gestellten Netze eine essentielle Rolle bei der benötigten Infrastruktur einnehmen; IT-Unternehmen drängen in den Markt der innovativen Mobilitätsdienste, können als Softwareanbieter agieren, Streaming- oder Navigationsdienste für in-vehicle-entertainment anbieten oder gar eigene selbstfahrende Autos produzieren. Software- und Content-Provider werden Zusatzdienste anbieten und Energieunternehmen intelligente Ladesäulen und Vehicle-to-Grid-Technologie liefern. Sogar Restaurants und Hotels drängen in den E-Mobility-Markt mit der Bereitstellung und Nutzung von Ladeinfrastrukturen samt Abrechnungsmodellen.²⁰ Insgesamt ist eine Gewichtsverschiebung zugunsten der Zuliefernetzwerke zu erwarten, bei dem sich zunehmend Intermediäre herausbilden, die Mobilität als Produkt anbieten und die Autobauer von ihrem direkten Kundenkontakt entkoppeln.²¹ Somit wird sich auch die Rolle der traditionellen Erstausrüster (OEMs) in Zukunft grundlegend vom Produktanbieter zum Serviceanbieter und somit auch zum Plattformanbieter verändern müssen.²² Denn es wird entscheidend sein, wer die Schnittstelle zum Kunden besetzt. Beim autonomen Fahren werden in Zukunft die Hersteller von künstlicher Intelligenz eine entscheidende Rolle haben, Anbieter von On-demand-Mobilität werden festlegen, welcher Flottendienst jede einzelne Kundenfahrt bedienen darf. Technologiefirmen drängen immer häufiger die Hersteller in die Position des Zulieferers.²³ Der (exklusive) Zugang zu Mobilitäts- und Nutzerdaten wird zum entscheidenden Input für die zukünftige Wertschöpfung.²⁴

Je mehr die Beschaffung, Aufbereitung und Auslieferung von Daten und Informationen in den Kern der Geschäftsmodelle rückt, umso mehr werden die OEMs ihre klassischen Kunden-Lieferanten-Beziehungen aufbrechen und partnerschaftliche Modelle entwickeln müssen, um mit der Dynamik des Marktes mithalten zu können. So sind eine weitere Intensivierung brancheninterner, jedoch insbesondere auch eine Zunahme branchenübergreifender Kooperationen und in Folge dessen Strukturverschiebungen zu beobachten.²⁵ OEMs gehen vermehrt Partnerschaften mit Energieversorgern, Batterieherstellern, Internetdienstleistern,

¹⁹ McKinsey (2018)

²⁰ Rat für Formgebung und Zukunftsinstitut (2012)

²¹ Stricker, K., Matthies, G., Tsang, R. (2011)

²² Wollschlaeger, D., Foden, M., Cave, R., Stent, M. (2015)

²³ Setzer, P. (2011)

²⁴ McKinsey (2014)

²⁵ Götze, U. (2013)

öffentlichen und privaten Verkehrsunternehmen, Einzelhandelsunternehmen und Technologieunternehmen ein. So kooperiert beispielsweise Daimler unter anderem mit dem Batteriehersteller BYD, dem Energieversorger RWE, Europcar im Bereich Carsharing („car2go“) und Uber im Bereich des autonomen Fahrens. Bis 2020 wird Daimler zudem Hamburg bei der Elektrifizierung des urbanen Transport-, Bus- und Individualverkehrs unterstützen und dafür digitale Mobilitätsplattformen ausbauen. In einer App werden dann alle Angebote des ÖPNV und der Deutschen Bahn, für Carsharing, Taxis sowie Mietfahrräder gebündelt und können dort gesucht, gebucht und die meisten auch bezahlt werden.²⁶ Zahlreiche Carsharing-Unternehmen sind ein Beispiel dafür, wie Ertragspotenziale im Downstream- Segment der automobilen Wertschöpfungskette abgegriffen werden und Automobilhersteller durch neue Geschäftsmodelle als Plattformanbieter die direkte Schnittstelle zum Kunden besetzen.²⁷

IT-Unternehmen werden in Zukunft Mobilität tiefgreifend verändern. Schon heute könnten Technologiekonzerne wie Apple, Microsoft oder Google über innovative Mobilitätsdienste und Apps weite Teile der Wertschöpfungskette abdecken und den Kunden an sich binden. Doch noch ist offen, ob die IT-Branche und traditionelle Autobauer konkurrenz- oder eher kooperationsbasierte Strategien verfolgen werden. Zwei Szenarien – „Koexistenz“ und „Konvergenz“ – sind aktuell möglich: Google und Apple könnten anstreben, selbst als OEMs zu operieren, eigenständig autonom fahrende Autos zu bauen und damit traditionelle OEMs zu verdrängen.²⁸ Sie könnten jedoch auch versuchen, den Zusammenschluss mit den Automobilherstellern zu forcieren und „lediglich“ als Systemführer zu agieren, um damit beim vernetzten Fahren umfänglich Zugang zu allen wichtigen Daten zu bekommen, diese auszuwerten und neu zu vermarkten.²⁹ Dann läge der Schwerpunkt unter anderem in der Ermöglichung webbasierter Anwendungen, im Konsum digitaler Güter, im mobilen Zugang zu Daten-Clouds (Car-to-Cloud Communication), der Kommunikation zwischen Fahrzeugen und mit der Verkehrsinfrastruktur (Car-to-Car & Car-to-Infrastructure Communication) und der Erfassung und Verarbeitung von Sensordaten.³⁰

²⁶ Daimler (2017b)

²⁷ Pfaff, D., Bianco, L. (2013)

²⁸ Deloitte (2017)

²⁹ Rammler, S. (2015)

³⁰ Festag, A., Rehme, M., Krause, J. (2016)

Technische Herausforderungen der Elektromobilität

Motor

Die für die Elektromobilität notwendigen Motoren sind deutlich weniger komplex als moderne Verbrennungsmotoren. Während das gesamte Antriebssystem klassischer Autos aus etwa 1.400 Einzelteilen besteht, kommt ein Elektroantrieb auf lediglich rund 200 Teile.³¹ Dabei werden zentrale Komponenten konventioneller Verbrennungsmotoren in einem Elektroantrieb nicht benötigt: Kein Einspritzsystem, keine Abgastechik, keine Kolben, Kurbelwellen oder dergleichen. Das Getriebe kommt mit maximal zwei Gängen aus, ein eigener Rückwärtsgang ist ebenfalls nicht nötig.³² Zum Einsatz kommt stattdessen ein relativ schlichter Elektromotor, ein klassisches Bauteil des Maschinenbaus. Es besteht aus einem Stator und einem Rotor, der mit Hilfe von künstlich erzeugten Magnetfeldern Kreisbewegungen erzeugt.

Der Wandel hin zur Elektromobilität kann über diese Veränderungen des Antriebsstranges deutliche Auswirkungen auf den Automobilsektor haben, vor allem in Mitteleuropa: Viele Bauteile klassischer Verbrennungsmotoren werden nicht mehr gebraucht. Diese werden heute von hochspezialisierten Zulieferbetrieben gefertigt, hier hat sich eine große High-Tech-Branche mit engen Verflechtungen in die gesamte Automotive-Wertschöpfungskette entwickelt. Diese Expertise wird für den Bau von Elektromotoren nicht benötigt.³³ Dazu kommt, dass Elektromotoren oft komplett aus einer Hand gefertigt werden – und nicht, wie beim Verbrennungsmotor, mit Hilfe von Dutzenden von Zulieferern, die jeweils kleine Teile beisteuern. Insgesamt ist der Antrieb bei einem Stromer ein deutlich kleinerer Kostenfaktor als bei einem konventionell angetriebenen Fahrzeug. Der technologische Schwerpunkt der Motorenindustrie wird sich also verschieben und möglicherweise verkleinern, dabei auf wenige Player konzentrieren.³⁴

Der Markt für Elektromobilität ist noch im Aufbau, Elektromotoren haben im Vergleich zu konventionellen Antrieben noch nicht die gleiche Bedeutung bei Produktion und Absatz. Daher hat sich auch bei der Wertschöpfungskette noch kein so etablierter Prozess entwickelt, wie es beim konventionellen Fahrzeugbau der Fall ist. Doch lässt sich bereits erkennen, dass die Zulieferer sich der Umwälzungen bewusst sind, die sich in den kommenden Jahren ergeben. Exemplarisch zu nennen ist etwa der deutsche Automobilzulieferer Mahle (Tier-1), einer der global führenden Hersteller von Kolben, einem zentralen Bauteil von Verbrennungsmotoren. Dass die Zukunft der Mobilität nicht am Verbrennungsmotor hängt, wurde im Unternehmen bereits vor Jahren erkannt und ein grundlegender Umbau des Unternehmens angestoßen. Durch

³¹ Erich, M., Witteveen, J. (2017)

³² Lienkamp, M. (2018)

³³ Spath, D. et al. (2012)

³⁴ Winterhagen, J. (2016)

den Zukauf von Unternehmen und die Einstellung von Experten aus dem Bereich des elektrischen Antriebs wurden die Weichen dafür gestellt, auch für Elektromotoren ein bedeutender Zulieferer zu bleiben.³⁵

Weil deutlich weniger Teile benötigt werden, ist ein Elektroantrieb auch weniger wartungsintensiv. Das Ziel der Elektroantriebs-Entwicklung ist es, den Motor langlebiger zu machen. Die nötige Technik wurde im Maschinenbau bereits entwickelt, sie muss nun an die mobile Anwendung angepasst werden.³⁶ Gleichzeitig sollen die Motoren schrumpfen und die Effizienz weiter gesteigert werden.

Dabei ist allerdings anzumerken, dass Elektromotoren schon heute einen sehr hohen Wirkungsgrad haben: Während kraftstoffbetriebe Autos schon als effektiv einzustufen sind, wenn ein Drittel der Energie aus dem Treibstoff auf die Straße gebracht wird, können Elektroautos rund 90 Prozent des Stroms verwenden, der in die Akkus fließt.³⁷

Das größte Verbesserungspotenzial liegt damit weiterhin bei der Stromerzeugung, mit der die Autoindustrie aber allenfalls mittelbar etwas zu tun hat: Abgesehen von der Wasserkraft kann noch keine Technologie mehr als die Hälfte der eingesetzten Primärenergie in Strom verwandeln.³⁸

Karosserie

Der Aufbau eines Elektroautos lässt den Autobauern grundsätzlich mehr Freiheiten als der eines konventionell angetriebenen Pkw. Einerseits sind Motor und Kühler kleiner, andererseits können die Batterien – anders als Tank, Abgassystem und Verbrennungsmotor – theoretisch überall montiert werden. Dadurch können die Stromer zum Beispiel stromlinienförmiger gebaut werden und bieten innen mehr Platz.³⁹ Grundsätzlich ist der klassisch dreigeteilte Automobilaufbau aus Motorraum, Fahrgastzelle und Kofferraum daher bei Elektroautos nicht mehr nötig. Inwieweit sich diese technische Möglichkeit tatsächlich in serienmäßigen Innovationskonzepten des Karosseriebaus niederschlägt, steht auf einem anderen Blatt. Der konventionelle Aufbau eines Autos wird von Verbrauchern deutlich präferiert. Größeres Potenzial könnten solche Neukonzipierungen im Bereich des Nutzfahrzeugbaus haben, wo die Funktionalität und Effizienz der Fahrzeuge von größerer Bedeutung sind als für Autos, wo Designaspekte stärker im Mittelpunkt stehen.

Abgesehen von der Antriebstechnik unterscheidet sich der Aufbau eines Elektroautos nicht von klassischen Fahrzeugen. Insofern ist es für Zulieferer erst einmal unerheblich, welche Art von

³⁵ Stieber, B. (2017)

³⁶ Lienkamp, M (2018)

³⁷ Spektrum (2018)

³⁸ Umweltbundesamt (2018)

³⁹ Erriquez et al. (2017)

Auto sie bestücken. Allerdings stehen die Hersteller unter großem Druck, die Kosten des Autobaus, der nicht auf die Batterien entfällt, klein zu halten. Schließlich sind die Akkus noch immer teuer – und der Grund, warum Elektroautos mehr kosten als konventionelle Fahrzeuge.⁴⁰ Deshalb ist etwa das Interieur von Elektroautos in vielen Fällen vergleichsweise karg gehalten. Gleichzeitig haben die Käufer weniger Auswahlmöglichkeiten für Extras.⁴¹ All das spart Kosten und macht Elektroautos damit im Vergleich zu konventionell angetriebenen Fahrzeugen einigermaßen bezahlbar.

Was die Beschaffenheit der Außenhaut des Elektroautos angeht, gibt es einen Zielkonflikt: So will man einerseits Gewicht sparen, um weniger Batterien einbauen zu müssen und so den Preis eines Autos reduzieren zu können. Andererseits sind leichtere Werkstoffe auch teurer.⁴²

Beim Vorhaben, die Effizienz der Fahrzeuge zu erhöhen, gibt es neben dem Gewicht des Fahrzeugs weitere Stellschrauben: Bessere Reifen können den Widerstand auf der Straße reduzieren und so die Reichweite erhöhen. Ein besseres Strommanagement der Fahrzeugsoftware kann helfen, den Verbrauch der Klimaanlage – der die Reichweite von Elektroautos gerade im Winter mitunter deutlich verringert – zu reduzieren.⁴³ Gleichzeitig können weitere Fortschritte bei der Rückgewinnung von Energie durch die Rekuperation die Fahrzeuge effizienter machen.

Batterie

Ob die Elektromobilität zum Erfolg werden kann, steht und fällt mit der Frage, wie sich die Batterietechnik weiterentwickelt. Durch die vergleichsweise geringe Akkukapazität ist die Reichweite der Elektroautos noch heute im Vergleich mit konventionellen Autos deutlich geringer. Jedoch sind die Akkus sehr preisintensiv, wodurch die Anschaffung teurer als bei Verbrennern ist. Beides zusammen verhindert bisher, dass Elektroautos zur Massenware werden konnten. Beides wird sich aber mittelfristig lösen lassen, glauben Experten.⁴⁴

Die Branche sieht sich vor die Herausforderung gestellt, die Batterietechnik gleich auf mehrere Ziele hin zu optimieren. Eines ist eine höhere Energiedichte, also eine höhere Leistungsfähigkeit der eingesetzten Batterien pro Gewichtseinheit. Derzeit wiegen die Batterien selbst bei einem Kleinwagen mit gut 100 Kilometern Reichweite über 200 Kilogramm – und damit ein Vielfaches dessen, was ein gefüllter Benzintank wöge, den man für diese Strecke bräuchte. Ein weiteres Ziel ist eine schnellere Ladung. Wer sein Elektroauto nur für Strecken in der Stadt oder zur Arbeit

⁴⁰ Winterhagen (2016)

⁴¹ Erriquez (2017)

⁴² Für eine ausführliche Diskussion, siehe Kapitel *Die Rolle des Leichtbaus in der Elektromobilität*.

⁴³ Vetter, P. (2017)

⁴⁴ Siehe Kapitel *Einleitung; Experteninterviews*.

nutzt und es zuhause über Nacht auflädt, für den sind lange Ladezeiten kein Problem. Wirklich mittel- und langstreckentauglich werden die Fahrzeuge allerdings erst dann, wenn sie höhere Reichweiten mit einer Ladung erreichen und sich unterwegs in wenigen Minuten vollladen lassen. Neben der Sicherheit und der Lebensdauer der Akkus sind darüber hinaus vor allem die Kosten das entscheidende Kriterium.

Auf absehbare Zeit werden sich nicht all diese Ziele gleichzeitig verfolgen lassen. Akkus mit höherer Energiedichte beispielsweise werden teurer sein – vor allem dann, wenn sie der nächsten Generation von Akkus entstammen sollen. Günstige Akkus aber kann es auf absehbare Zeit nur geben, wenn die bestehende Technik massentauglich gemacht wird.⁴⁵

Derzeit verwenden die Elektroautohersteller vor allem Lithium-Ionen-Akkus, wie sie Anfang der 1990er Jahre für die Unterhaltungsindustrie entwickelt wurden. Diese Batterietechnik hat zwar große Vorteile gegenüber vorhergegangenen Technologien – so verlieren die Akkus nur langsam an Kapazität, je älter sie sind und je öfter sie genutzt werden. Dafür aber lässt sich Energiedichte nicht mehr allzu weit steigern. Hinzu kommen potenzielle Sicherheitsrisiken, vor allem bei Unfällen, da sie leicht brennen.⁴⁶

Geforscht wird derzeit an diversen Weiterentwicklungen. Ab der Mitte des kommenden Jahrzehnts könnten Lithium-Schwefel- oder Lithium-Luft-Akkus einsetzbar sein – mit einer höheren Energiedichte und größerer Sicherheit. Auch Magnesium-Schwefel-Zellen sind mittelfristig denkbar – und hätten den Vorteil, dass die Beschaffung der nötigen Rohstoffe kein Problem mehr wäre.⁴⁷

Gerade die Rohstoffpreise belasten derzeit die Herstellung konventioneller Batterien: Seit Anfang 2017 hat sich der Weltmarktpreis für Kobalt mehr als verdoppelt. Auch der für Lithium liegt derzeit rund 50 Prozent höher – auch wenn er zwischenzeitlich sogar noch deutlich über diese Marke hinaus gestiegen war.

Insgesamt steckt die Batterietechnik noch immer in der Pionierphase – viele Stränge werden gleichzeitig erprobt, kein Strang hat sich endgültig als überlegen herausgestellt. Für die Massenfertigung kann das zum Problem werden: Wer heute in eine Großfabrik für Elektrofahrzeug-Batterien investiert, kann sich nicht sicher sein, dass die gewählte Technik überlebt und sich das Werk amortisiert.⁴⁸

⁴⁵ Lienkamp, M. (2018)

⁴⁶ Siehe Kapitel *Batteriekasten*.

⁴⁷ Grotelüschen, F. (2018)

⁴⁸ Lienkamp, M. (2018)

Aus volkswirtschaftlicher Perspektive verläuft die Entwicklung der Elektromobilität derzeit nicht gut für mitteleuropäische Industrien, in denen die Automobilindustrie eine große Bedeutung hat: Die Batterien sind der größte Kostenfaktor bei der Herstellung von Elektrofahrzeugen, doch diese werden zu mehr als drei Vierteln in Asien produziert. Gleichzeitig verlieren das Know-How sowie etablierte Wertschöpfungsketten im Bereich des konventionellen Motorenbaus – in Deutschland und anderen mitteleuropäischen Staaten ein zentraler Industriezweig – an Wichtigkeit. Anders als bei Autos mit Verbrennungsmotor geschieht die Wertschöpfung also zum großen Teil im Ausland,⁴⁹ was deutliche Veränderungen der industriellen Wertschöpfung in Europa und auch Auswirkungen auf den Arbeitsmarkt mit sich bringen dürfte.⁵⁰ Allerdings steht die Entwicklung der Elektromobilität noch am Anfang, erst mit einer zunehmenden Verbreitung und Massenfertigung werden sich standardisierte Wertschöpfungsketten etablieren. So ist heute zu erkennen, dass auch europäische Automobilproduzenten und Zulieferer sich mit neuen Produkten und Geschäftsmodellen auf die Veränderungen der Mobilität einstellen. Auch, dass die Fertigung von künftigen Generationen der Batterietechnik wieder verstärkt in Europa erfolgt, ist somit denkbar.

Sicherheit

Neue Technologien werden von der Öffentlichkeit oft argwöhnisch beäugt und müssen sich erst beweisen. Die Anforderungen sind dabei meist besonders hoch. So ist es auch beim Thema Sicherheit von Elektroautos. Berichte über spektakuläre Brände von verunglückten Stromern bekamen zuletzt stets große mediale Aufmerksamkeit – und können das Vertrauen der Menschen in die neue Technik beschädigen. Dass die Elektroautos im Schnitt seltener Feuer fangen als Autos mit Verbrennungsmotor⁵¹, reicht als Argument in der öffentlichen Diskussion nicht aus. Eine vergleichbare Diskussion erlebt eine andere Neuerung der Mobilität: Das autonome Fahren. Anders gesagt: Die wahrgenommene Sicherheit der Fahrzeuge wird maßgeblich darüber mitentscheiden, ob sich die Elektromobilität durchsetzen kann.

Anders als bei Benzinern oder Dieseln, bei denen vor allem verhindert werden muss, dass der Tank Feuer fängt, geht bei einem Elektroauto die größte Gefahr von den elektronischen Komponenten aus.⁵² Der Elektroantrieb wird mit einer Hochvoltanlage betrieben, durch die Kabel des Autos fließt also eine enorme Spannung. Während für die normale Bordelektronik eines Autos mit Verbrennungsmotor zwölf Volt ausreichen, braucht der Elektroantrieb eine Spannung von 200 bis 800 Volt, die erzielt wird, indem Dutzende Batterien mit wenig Volt hintereinandergeschaltet werden. Für Menschen können solche Spannungen tödlich sein.

⁴⁹ Lienkamp, M. (2018)

⁵⁰ Spath, D. et al. (2012)

⁵¹ Skarics, R. (2017)

⁵² Hirsch, H., Hoffmann, R., Jeschke, S. (2011)

Deshalb ist es von zentraler Bedeutung, dass sich die Hochvoltanlage des Antriebssystems bei einem Unfall sofort selbst abschaltet. Oft geschieht dies über die Sensoren des Airbags.

Eine weitere spezielle Gefahrenquelle der Elektroautos sind die Batterien selbst. Durch Überladung, Überhitzung oder durch Gewalteinwirkungen wie bei Unfällen können die derzeit meist verwendeten Lithium-Ionen-Akkus schnell in Brand geraten und enorme Hitze erzeugen. Bei hohen Temperaturen kann Elektrolytflüssigkeit vergasen. Die schnell brennbaren Gase können zu schwerwiegenden Bränden führen.⁵³

Beim Bau von Elektroautos kommt es daher darauf an, dass das Batteriegehäuse möglichst crashsicher ist, so dass die Batterien gar nicht erst beschädigt werden. Dies ist die Aufgabe des sogenannten Batteriekastens. Hierfür eignet sich vor allem fester Stahl.⁵⁴ Gleichzeitig sollte möglichst vermieden werden, dass die Schichtstruktur der Zellen zusammenbricht und eine Reaktion in der Zellchemie Brände erzeugt, wenn es doch einmal zu einer Zerstörung des Batteriegehäuses kommen sollte. Da Lithium-Ionen-Akkus Flüssigkeiten enthalten, sind sie in dieser Hinsicht nicht so sicher wie Festkörper-Akkus, bei denen sich die Ionen den Weg zwischen Anode und Kathode nicht durch Flüssigkeiten, sondern durch Feststoffe bahnen, die deutlich seltener Feuer fangen.⁵⁵ Doch diese – möglicherweise – nächste Generation von Akkus, die auch eine deutlich höhere Energiedichte hätte, ist längst noch nicht marktreif.⁵⁶

Zudem ist die grundsätzliche Crashsicherheit der Karosserie von entscheidender Bedeutung. Wenn Leichtbauwerkstoffe wie leichte Stähle oder kohlenstofffaserverstärkte Kunststoffe verwendet werden, darf die Stabilität darunter nicht leiden. Beim Werkstoffmix im Fahrzeugbau ist dies ein bedeutendes Thema, unabhängig vom Einsatz konventioneller oder alternativer Antriebe. So hat etwa Aluminium vor allem im Premium-Bereich in den vergangenen Jahren eine große Bedeutung erlangt, dies allerdings vor allem für Flächen auf der Grundlage einer sicherheitsrelevanten Fahrzeugstruktur aus Stahl, der bessere Crasheigenschaften aufweist. Bei Elektrofahrzeugen kann das hohe Gewicht der Batterien bei einem Aufprall darüber hinaus stabilisierend wirken, weil der Schwerpunkt des Autos tiefer liegt.⁵⁷

Wie weitreichend die sicherheitsrelevanten Entwicklungen eines verstärkten Einsatzes von Elektrofahrzeugen sind, zeigen zwei Beispiele, die über die technische Entwicklung und Produktion der Fahrzeuge hinausgehen: So liegt ein spezifisches Risiko der Elektrofahrzeuge in

⁵³ U. a. Nüssler, H. (2017)

⁵⁴ Finus, F., Seit, J. (2017)

⁵⁵ Rügheimer, H. (2017)

⁵⁶ Grotelüschen, F. (2018)

⁵⁷ Eichsteller, M. (2017)

einem vermeintlichen Vorteil: Ihre Geräuscharmheit. Gerade in Städten haben sich die Menschen so daran gewöhnt, besonders mit dem Gehör auf herannahende Fahrzeuge zu achten, dass lautlose Stromer schnell missachtet werden können. Deshalb müssen neu entwickelte Elektrofahrzeuge in der Europäischen Union ab 2019 beim Fahren künstliche Geräusche erzeugen – zumindest bis zu einer Geschwindigkeit von zwanzig Kilometern pro Stunde, bei schnelleren Fahrten ist auch ein Stromer laut genug.⁵⁸

Darüber hinaus treten neue Herausforderungen für Rettungskräfte im richtigen Umgang mit verunglückten Elektrofahrzeugen auf. Je mehr sich die Elektromobilität durchsetzt, desto häufiger werden diese Fahrzeuge in Unfälle verwickelt sein. Falls sich das Hochspannungssystem eines Fahrzeugs nicht automatisch ausschaltet, müssen die Retter dazu in der Lage sein, dies zu übernehmen, ohne sich und andere zu verletzen. Gleichzeitig müssen sie wissen, wie mögliche Batteriebrände am besten gelöscht werden und wie Unfallwagen auch nach der Löschung fachgerecht zu sichern sind, um ein erneutes Aufflammen der Brände zu verhindern.

Nachhaltigkeit

Dass die Elektromobilität seit einigen Jahren deutlich vorangetrieben wird, hat in erster Linie einen umweltpolitischen Grund: Der Verkehr gilt als zentrale Stellschraube für die Reduktion des CO₂-Ausstoßes, was wiederum eines der wichtigsten Unterfangen im globalen Kampf gegen den Klimawandel darstellt. Batteriebetriebene Elektroautos bieten neben dem Antrieb über Brennstoffzellen die einzige Möglichkeit des CO₂-freien Verkehrs. Die Ökobilanz von Elektroautos wiederum hängt in erster Linie von der Quelle des verwendeten Stroms ab. Das gilt einerseits für den Betrieb: Nur wenn der Strom, mit dem die Akkus geladen werden, aus regenerativen Energiequellen erzeugt wird, entstehen durch den Betrieb keine Treibhausgase. Andererseits ist auch die Produktion der Fahrzeuge relevant: Die Herstellung von Akkus braucht enorme Mengen an Strom. Während bei Autos mit Verbrennungsmotoren – grob geschätzt – nur ein Fünftel der über den gesamten Lebenszyklus verbrauchten Energie auf die Produktion entfällt, ist dieser Anteil bei Elektroautos deutlich höher. Noch gesteigert wird dies, wenn besonders stromintensive Werkstoffe wie Carbon oder Aluminium für die Karosserie verwendet werden.⁵⁹ Auch hier gilt allerdings: Kommt der für die Produktion verwendete Strom aus erneuerbaren Energien, dann ist dieses Phänomen kein Problem für die Ökobilanz des Autos – sieht man einmal davon ab, dass die benötigte Kapazität an grünem Strom dadurch natürlich steigt. Anders verhält es sich, wenn stattdessen fossile Brennstoffe für die Stromerzeugung verwandt werden. Das zeigt: Ökologisch gesehen kann die Elektromobilität nur dann zum Erfolg werden, wenn gleichzeitig die Energiewende vorangetrieben wird. Die Gesamtklimabilanz eines Elektrofahrzeugs ist immer in erster Linie vom verwendeten Strommix abhängig.

⁵⁸ Vieweg, C. (2016b)

⁵⁹ Lienkamp, M. (2018)

Grundsätzlich sind Elektroantriebe langlebiger als Antriebe, für die Benzin oder Diesel verbrannt werden.⁶⁰ So ist der Aufbau eines Elektromotors deutlich simpler, sodass auch weniger Wartungen nötig sind. Wesentlich problematischer sind die Batterien, denn ihre Leistungsfähigkeit nimmt kontinuierlich ab. Der Autobesitzer kommt daher nach einigen Jahren mit einer Ladung nicht mehr so weit mit dem Wagen wie am Anfang. Ein ADAC-Test des Nissan Leaf – des weltweit am meisten verkauften Stromers – ergab einen Reichweiteverlust von gut einem Zehntel nach rund 80.000 gefahrenen Kilometern.⁶¹ Ökologisch gesehen ist der irgendwann nötige Wechsel der Batterien erst einmal ein Nachteil, schließlich müssen neue, stromintensiv hergestellte Akkus beschafft werden.

Inzwischen werden ausrangierte Fahrzeugakkus aber immer öfter in Speicherkraftwerken weitergenutzt. Dort helfen sie dabei, Strom in Zeiten mit einem Überschussangebot vom Markt zu nehmen und diesen in Zeiten mit Überschussnachfrage wieder einzuspeisen.⁶² Weil die Menge an Strom, die aus Wind- und Solarkraft hergestellt wird, naturgemäß stark schwankt, wird es in Zukunft zunehmend Bedarf für solche Lösungen geben.

Nach dem endgültigen Ende seiner Leistungsfähigkeit kann ein Lithium-Ionen-Akku recycelt werden – allerdings unter hohem Energieaufwand. Dabei können jedoch viele der verwendeten Metalle zurückgewonnen werden, so etwa Kobalt oder Lithium.⁶³

Grundsätzlich bleibt der hohe Bedarf an Akkus aber ein Problem für die Elektromobilität – preislich wie ökologisch. Diesem Problem könnte begegnet werden, wenn auf eine kontinuierliche und kabellose Aufladung der Fahrzeuge während der Fahrt gesetzt würde. Eher unrealistisch erscheint es aus heutiger Sicht, Oberleitungen zu installieren, von denen sich die Fahrzeuge Strom holen können – so wie die Elektrolokomotiven der Bahn. Durchaus denkbar wäre es aber, induktive Ladepads in die Straßen zu installieren, die die Fahrzeuge beim Darüberfahren beladen.⁶⁴ Dadurch könnte ein Elektroauto mit deutlich weniger Akkus auskommen. Für die Beladung parkender Elektroautos gibt es diese Pads bereits.

Neben der ökologischen Nachhaltigkeit gibt es noch die soziale Nachhaltigkeit: Einige Rohstoffe, die für die Elektroautoproduktion notwendig sind, werden unter fragwürdigen Bedingungen gefördert.⁶⁵ Kobalt etwa stammt zum Großteil aus der Demokratischen Republik Kongo und wird hier oft von Kleinstbetrieben gefördert, die soziale und ökologische Standards nicht erfüllen und

⁶⁰ Lienkamp, M. (2018)

⁶¹ ADAC (2017)

⁶² Napp, A., Gulde, D. (2016)

⁶³ Winterhagen, J. (2018)

⁶⁴ Imhof, T. (2016)

⁶⁵ Eckert, D. (2017)

nicht selten Kinder zur Arbeit zwingen. Beim Lithium-Abbau in den trockenen Gebieten Südamerikas wird so viel Wasser benutzt, dass die Bevölkerung in diesen Gebieten oft zu wenig hat. Hier wird die Elektroautobranche für Verbesserungen sorgen müssen.

Exkurs: Zukunftsszenario Brennstoffzelle

Der Begriff des emissionslosen Verkehrs wird häufig mit dem batteriebetriebenen Elektromotor gleichgesetzt. Dies greift allerdings zu kurz. Denn mit der Brennstoffzelle ist ein weiterer alternativer Antrieb bereits serienmäßig auf der Straße unterwegs.

Das Prinzip, auf dem die Brennstoffzelle basiert, ist seit Mitte des 19. Jahrhunderts bekannt. Zu einer breiteren Anwendung kam es allerdings erst ab den 1950er Jahren. Die heute meist genutzte Form ist die Wasserstoff-Sauerstoff-Brennstoffzelle, die besonders in Fahrzeugen zur Anwendung kommt. Hierzu gehören unter anderem Autos, Lastkraftwagen, Schiffe und U-Boote. Am weitesten verbreitet ist der Einsatz heute in Bussen.⁶⁶

Auch wenn der Name es suggeriert: Die Brennstoffzelle verbrennt im Gegensatz zum Verbrennungsmotor keinen Brennstoff. Das Prinzip wird als „kalte Verbrennung“ bezeichnet, da keine Abwärme entsteht und es auch zu keinem Energieverlust kommt. Stattdessen findet eine chemische Reaktion statt, bei der sich Wasserstoff mit Sauerstoff verbindet. Dabei entsteht als Nebenprodukt Wasser. Andererseits setzt die chemische Reaktion elektrische Energie frei, mit der Elektromotoren angetrieben werden können.

Das in den letzten zwanzig Jahren gestiegene Umwelt- und Klimabewusstsein hat die Brennstoffzelle zunehmend ins Zentrum des Interesses gerückt. Ihre Klimaneutralität macht sie zu einer attraktiven Antriebsform für die Zukunft. Dabei blieb – und hier liegt ein entscheidender Grund, warum die Stromer in der öffentlichen Wahrnehmung wesentlich präsenter sind – eine breite Initiative der Wirtschaft und Politik zur Förderung der Technologie bisher aus. Zwar haben die großen Automobilhersteller bereits Modelle mit Brennstoffzellen-Antrieb im Programm. Wasserstoff-Tankstellen sind jedoch Mangelware, sodass die Nutzung eines Wasserstoff-Autos im Alltag noch unpraktisch ist. Im Jahr 2016 standen in Deutschland gerade einmal 21 Tankstellen für Wasserstoff zur Verfügung. Im abgelaufenen Jahr 2017 wurden 24 weitere hinzugebaut, 31 sind in Planung. Damit liegt Deutschland in Europa an der Spitze, in Österreich sind es fünf aktive Tankstellen, ganz Europa kommt derzeit auf weniger als 150 – und nicht alle sind öffentlich zugänglich.⁶⁷

⁶⁶ Adolf, J. et al. (2017)

⁶⁷ TÜV Süd (2018); H2stations.org. Ein Service von Ludwig-Bölkow-Systemtechnik GmbH und TÜV Süd: <https://www.netinform.de/H2/H2Stations/Default.aspx>

Und Europa bildet hier keine Ausnahme. Im weltweit größten Einzelmarkt Japan gibt es 91 Tankstellen, die USA kommen nur auf 40 Tankstellen.⁶⁸

Neben der fehlenden Tankinfrastruktur besteht allerdings ein weiteres Problem, das Unternehmen bisher daran gehindert hat, stärker in die Brennstoffzellen-Mobilität einzusteigen: die schwierige Speicherung des Wasserstoffs. Der Energie- und Sicherheitsaufwand hierfür ist enorm, da der Wasserstoff unter hohem Druck und bei hoher Explosionsgefahr komprimiert werden muss. Erst teure und mehrere hundert Kilo schwere Komponenten in den Fahrzeugen machen dies möglich.

Mittlerweile bestehen zur herkömmlichen Druckspeicherung aber Alternativen. Wasserstoff kann etwa an organische Trägerflüssigkeiten angedockt werden. Die Flüssigkeiten lassen sich einfach transportieren, können über Zapfsäulen getankt werden und sind stabil, also nicht-explosiv. Ist der Wasserstoff aufgebraucht, kann der Trägerstoff wiederverwendet und erneut angereichert werden.⁶⁹ Im Gegensatz zum langwierigen Laden einer Batterie kann ein Brennstoffzellenfahrzeug in wenigen Minuten betankt werden. Dies geht auch über reguläre Zapfsäulen, wodurch sich auch das Problem der knappen Tankstellen gelöst hätte. Neben der fehlenden Infrastruktur ist der hohe Preis der Brennstoffzellen-Fahrzeuge ein zentrales Hemmnis der Verbreitung. Toyota, Technologie-Vorreiter bei der Brennstoffzelle im Pkw-Bereich, plant allerdings deutliche Kostensenkungen. Für die Modelle ab 2020 sollen die Kosten für Schlüsselkomponenten um bis zu 50 Prozent reduziert werden. Dies soll die Nachfrage ankurbeln.⁷⁰

Auch eine verstärkte öffentliche Förderung in der EU ist in den kommenden Jahren zu erwarten, da die EU-Richtlinie 2015/94/EU zum Aufbau der Infrastruktur für alternative Kraftstoffe auch die Förderung der Brennstoffzelle beinhaltet.

So wird für die kommenden Jahre damit gerechnet, dass es zu einer zunehmenden Verbreitung der Technologie kommen wird.⁷¹

Szenarien

In weiten Teilen der Welt werden alternative Antriebe politisch gefördert. Die Instrumente dafür sind vielfältig und reichen von relativ weichen Zielvorgaben über Prämien und Steuererleichterungen für Kunden bis zu verpflichtenden Quoten für Hersteller.

⁶⁸ Lickfeld, M. (2018)

⁶⁹ Jorschick, H. et al. (2017)

⁷⁰ Nikkei Asian Review (2018)

⁷¹ US DOE (2016)

Dass es in den kommenden Jahren vor dem Hintergrund eines stark ausgeprägten Umweltbewusstseins in der Bevölkerung und dem politischen Willen, alternative Antriebe zur Emissionssenkung im Verkehr zu fördern, zu einem Anstieg entsprechender Neuzulassungen kommen wird, ist unstrittig. Noch allerdings sind alternative Antriebe trotz steigender Absatzzahlen in den vergangenen Jahren eher ein Nischenthema. Wie schnell und in welchem Umfang sich dies ändern wird, hängt von einer Reihe verschiedener Faktoren ab. Dazu zählen unter anderem

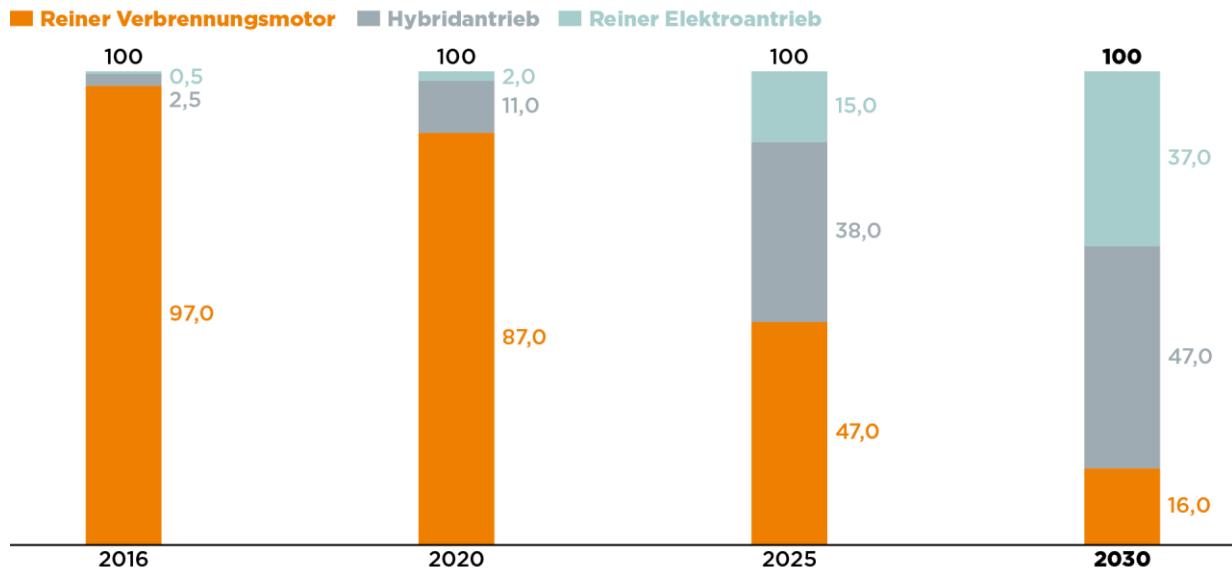
- die politische Förderung,
- der Ausbau des Ladenetzes,
- die Entwicklung der Batterietechnik zur Steigerung der Reichweite,
- die Entwicklung der Kosten,
- die Entwicklung der Produktpalette der Automobilhersteller und nicht zuletzt
- die kulturelle Entwicklung bei der Akzeptanz alternativer Antriebe.

Vor diesem Hintergrund vielfältiger Einflussfaktoren, die sich auch wechselseitig beeinflussen, sind die Prognosen zur Absatz- und Produktionsentwicklung zu sehen. Es handelt sich dabei immer um mögliche Szenarien auf der Grundlage von Annahmen unter Unsicherheit. Solche Prognosen dienen daher nicht als sichere Planungen für die kommenden Jahre. Sie geben aber wertvolle Hinweise, wohin die Reise in den verschiedenen Regionen der Welt gehen kann. An dieser Stelle wird ein Auszug der breiten Studienlage zu Prognosen der Marktentwicklung dargestellt, um die Bandbreite der Möglichkeiten aufzuzeigen.

Die Darstellung anhand der Ergebnisse weniger ausgewählter Studien ist möglich, da die meisten Prognosen tendenziell vergleichbar sind.⁷² Erwartet wird ein exponentielles Wachstum der Produktion und des Absatzes alternativer Antriebe in allen führenden Industrienationen. In etwa zehn bis zwanzig Jahren werden in allen führenden Industrienationen mindestens ebenso viele elektrisch angetriebene Pkw und leichte Nutzfahrzeuge neu zugelassen wie konventionell angetriebene, der Anteil der Verbrenner wird danach weiter stetig sinken. Im Bereich des schweren Lastverkehrs, in dem lange Strecken zurückgelegt werden, dürften Verbrennungsmotoren länger eine Rolle spielen. Batteriebetriebene Elektromotoren werden im Vergleich zur Brennstoffzelle weitere Verbreitung finden, Hybridfahrzeuge in den kommenden Jahren ein zentraler Absatztreiber sein. Auf mittlere bis lange Sicht werden Hybride aber wieder zurückgedrängt werden, sie sind eine Zwischentechnologie.

⁷² Vgl. u. a. UBS Evidence Lab (2017); Amsterdam Roundtables Foundation, McKinsey (2014); Erich, M., Witteveen, J. (2014); EEA (2016b); IEA (2017); Adolf et al. (2014); Hucko, M. (2017); Festag, A., Rehme, M., Krause, J. (2016)

Abbildung 4: Prognose des Automobilabsatzes nach Antriebsart in der EU



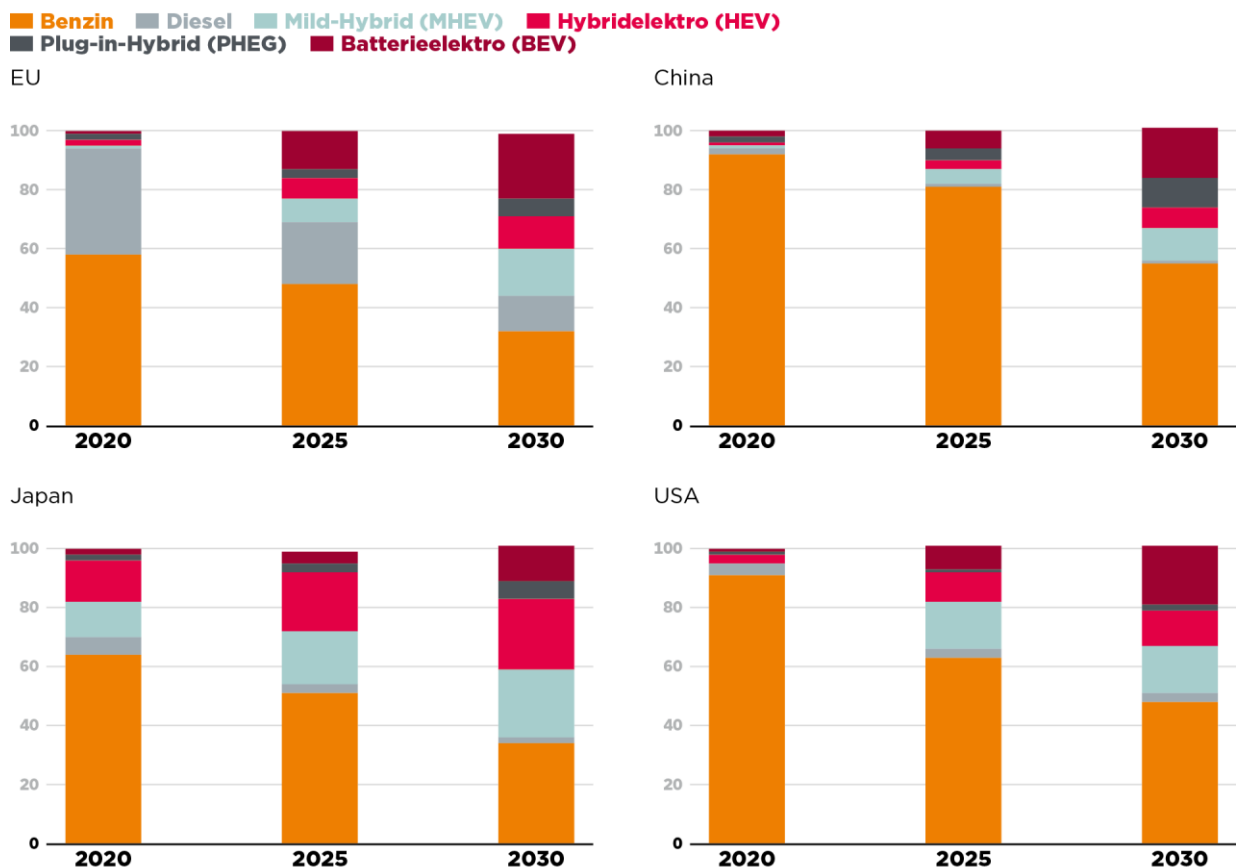
HANDELSBLATT RESEARCH INSTITUTE
Quelle: PWC; Der Spiegel; Statista.
Angaben in Prozent. Ab 2020: Prognose.

In der EU kommt die Verbreitung alternativer Antriebe trotz zum Teil hoher politischer Erwartungen und Förderungen nur langsam voran. Zwar gibt es einige Vorreiter wie die Niederlande oder Norwegen, die relativ hohe Anteile alternativer Antriebe an den Neuzulassungen aufweisen, gleichzeitig haben aber besonders die Flächenländer wie Deutschland oder Italien bisher einen schwachen Absatz. Damit ist der Gesamtabsatz in der EU noch relativ gering.

Diese Prognose für die EU zeigt, dass vor allem der Hybridtechnologie in den kommenden Jahren als Einstieg in die Elektromobilität eine wichtige Rolle zukommen kann und diese kurzfristig nah an den reinen Verbrenner als Standard-Technologie heranrückt. Gleichzeitig wird sich das Wachstum im Hybrid-Bereich aber schnell wieder abflachen, und reine Elektrofahrzeuge werden an Bedeutung gewinnen. Ob diese Entwicklung vom Hybrid zum reinen Stromer im Jahr 2025, 2030 oder erst später einsetzt, lässt sich heute kaum sagen – es ist aber sehr wahrscheinlich, dass die Hybrid-Technologie eine reine Übergangstechnologie bleibt. Während sie in den kommenden Jahren gut dazu geeignet ist, den Kunden vor dem Hintergrund eines noch nicht ausreichenden Ladenetzes die Angst vor fehlender Reichweite zu nehmen, wird sich dieses Thema mit dem geplanten deutlichen Ausbau des Ladenetzes verringern. Dann hat der Hybrid, der mit zwei Antriebssträngen sehr komplex ist und nicht die Designfreiheit eines reinen Stromers bietet, keine Vorteile mehr. So ist der Übergang zum reinen Elektrofahrzeug zu erwarten.

Begünstigt wird dies durch die Preisentwicklung: Nach den Angaben einer Untersuchung der Investitionsbank UBS könnten Elektrofahrzeuge ihren Preisnachteil im Vergleich zu Verbrennern in Europa bereits im Jahr 2019 aufgeholt haben. Auf dieser Grundlage könnten laut des Berichtes im Jahr 2025 bereits mehr als 14 Millionen Elektrofahrzeuge verkauft werden, mehr als drei Millionen werden schon für das Jahr 2021 erwartet. Für China wird die Preisgleichheit für das Jahr 2023, für die USA für das Jahr 2025 erwartet.⁷³

Abbildung 5: Prognose der Fahrzeugproduktion nach Antriebsart in ausgewählten Regionen



HANDELSBLATT RESEARCH INSTITUTE

Quelle: BCG; Statista.

Angaben in Prozent. Enthalten sind jeweils Pkw und leichte Nutzfahrzeuge.

⁷³ UBS Evidence Lab (2017)

Eine mit der Prognose für Europa vergleichbare Absatzentwicklung ist auch in anderen wichtigen Auto-Absatzmärkten zu erwarten.

Dies, das ist an dieser Stelle aber auch nicht zu vergessen, bedeutet nicht das allzu schnelle Ende des Verbrennungsmotors. Zum einen wird der Verbrennungsmotor im Bereich der Pkw und leichten Nutzfahrzeuge noch für einige Zeit eine relevante Rolle spielen, zudem wird die Zwischentechnologie Hybrid für mindestens die nächste Dekade – eher länger – den Weg vieler Kunden in die Elektromobilität ebnen.

Zudem ist der große Bereich des schweren Lastverkehrs, der große Strecken zurücklegt, zu berücksichtigen. Auch wenn es in diesem Segment ebenfalls Experimente mit batteriebetriebenen Elektromotoren gibt, etwa den Elektro-Lkw von Tesla⁷⁴ oder Experimente mit Oberleitungen für Lkw⁷⁵, liegt die absehbare Zukunft in diesem Bereich noch im Verbrennungsmotor. Zu groß ist das Gewicht der Batterien für schwere Nutzfahrzeuge und zu aufwendig der Ausbau des Oberleitungsnetzes, als dass es hier in den kommenden Jahren eine Abkehr vom Verbrenner geben wird.

Relevanter auf dem Gebiet der schweren Nutzfahrzeuge mit hohem Radius könnte die Brennstoffzelle werden, die schon heute vor allem in schweren Fahrzeugen wie Bussen eingesetzt wird.⁷⁶ Die entscheidende Frage ist dabei vor allem, wie schnell eine ausreichende Wasserstoff-Ladeinfrastruktur bereitgestellt wird, um große Strecken überbrücken zu können.

⁷⁴ Baumann, U., Hebermehl, G. (2018)

⁷⁵ Handelsblatt (2017)

⁷⁶ Adolf et al. (2017)

Die Rolle des Leichtbaus in der Elektromobilität

Leichtbau ist für viele Branchen von zentraler Bedeutung. Ziel ist es, bei gleicher oder sogar besserer Funktionalität Rohstoffe und Kosten bei der Herstellung und Nutzung eines Produktes zu reduzieren und über den gesamten Lebenszyklus den Energieverbrauch und damit den Ausstoß des Klimagases CO₂ zu verringern. Gerade die Autoindustrie hat wegen wirtschaftlicher Notwendigkeit und politischer Vorgaben großes Interesse daran, das Gewicht ihrer Fahrzeuge zu verringern, um den Verbrauch zu senken. Die meisten Experten wie auch die Branche selbst gehen mittlerweile davon aus, dass die Zukunft den elektrisch betriebenen Fahrzeugen gehört.

Der Ausbau der Elektromobilität beschleunigt den Trend zum Leichtbau, sowohl bei Hybrid- als auch bei reinen Elektrofahrzeugen: Die zusätzliche Batterie ist schwer, das Gewicht muss an anderer Stelle eingespart werden.

Immer wenn sich eine neue Technologie anschickt, zum Massenmarkt zu werden, ist dies für Werkstofflieferanten ein entscheidender Moment. Wenn es ihnen gelingt, dass sich ihr Produkt durchsetzt und zum festen Bestandteil der neuen Technologie wird, dann winken gute Geschäfte – und das für viele Jahre. Genau das ist derzeit bei der Elektromobilität zu sehen: Die Technologie beginnt, die Autowelt komplett umzukrempeln. Noch steckt sie allerdings in der Erprobungsphase. Und genauso, wie es noch unklar ist, welche Art von Batterien sich am Ende durchsetzen wird, so ist es auch bei den Werkstoffen. Klar scheint bisher nur, dass auch bei der Elektromobilität immer öfter verschiedene Arten von Werkstoffen gemischt werden – so wie es beim Fahrzeugbau mit konventionellen Antrieben inzwischen der Fall ist.⁷⁷ Aber zu welchen Anteilen das gemeinhin geschehen wird, steht noch nicht fest.

Motor

Der Elektromotor ist neben der Batterie die Hauptkomponente und besteht in zentralen Teilen aus nicht kornorientiertem Elektroband. Noch ist so ein Motor schwer, die Effizienz verbesserungsfähig.

Spezielle Legierungen mit erhöhtem Silizium- und Aluminiumanteil verbessern den Wirkungsgrad von Elektromotoren, da sie Wärmeverluste im Motor bei der Ummagnetisierung um bis zu 30 Prozent reduzieren können.⁷⁸ Auf diese Weise lässt sich die Effizienz von Elektromotoren insbesondere bei hohen Drehzahlen und damit die Reichweite erhöhen. Gleichzeitig hat ein besserer Wirkungsgrad direkten Einfluss auf die Größe, das Gewicht und damit auch die Kosten der Energiespeicher in den Fahrzeugen. „Hier haben schon kleine

⁷⁷ Friedrich, H. (2017)

⁷⁸ Wieland, H. (2017)

Verbesserungen einen großen Hebel“, sagt Dierk Raabe, Direktor des Max-Planck-Instituts für Eisenforschung in Düsseldorf.⁷⁹ Die Batterie kann kleiner ausfallen, das Gewicht verringert sich, während sich die Reichweite erhöht.

Die Stahlhersteller konzentrieren sich darauf, den weichmagnetischen Werkstoff, das sogenannte Elektroblech, fester und dünner zu machen, ohne dass die Magnetisierungseigenschaft der Bleche leidet. So lässt sich das Gesamtgewicht des Motors reduzieren. Allerdings hat man dabei laut Raabe die physikalischen Grenzen beim Elektroband schon fast erreicht. „Die Entwicklung ist schon weit fortgeschritten – anders als bei den hochfesten Stählen.“ Ein größeres Effizienzpotenzial erwartet er von neuen, schonenden Verarbeitungsmethoden solcher weichmagnetischen Stähle. Jedes Schneiden und Stanzen beeinträchtigt den Magnetismus. Wer es schafft, solche Verluste zu vermeiden, hat die Nase vorn. „Die Herstellung solcher Stähle ist unglaublich kompliziert“, sagt er. „Das können nicht viele Hersteller.“

Für die Stahlindustrie entsteht durch die zunehmende Verbreitung der Elektromobilität ein interessanter Wachstumsmarkt: Für ein reines Elektrofahrzeug sind zwischen 40 bis 100 Kilo Elektroband pro Motor erforderlich, für einen Hybridmotor werden zwischen zehn und 30 Kilo kalkuliert.⁸⁰ Das ergibt je nachdem, wie schnell die Anzahl der Elektrofahrzeuge steigt, in Summe einen zusätzlichen Bedarf zwischen mehreren hunderttausend und über einer Million Tonnen Elektrobleche allein für Europa.

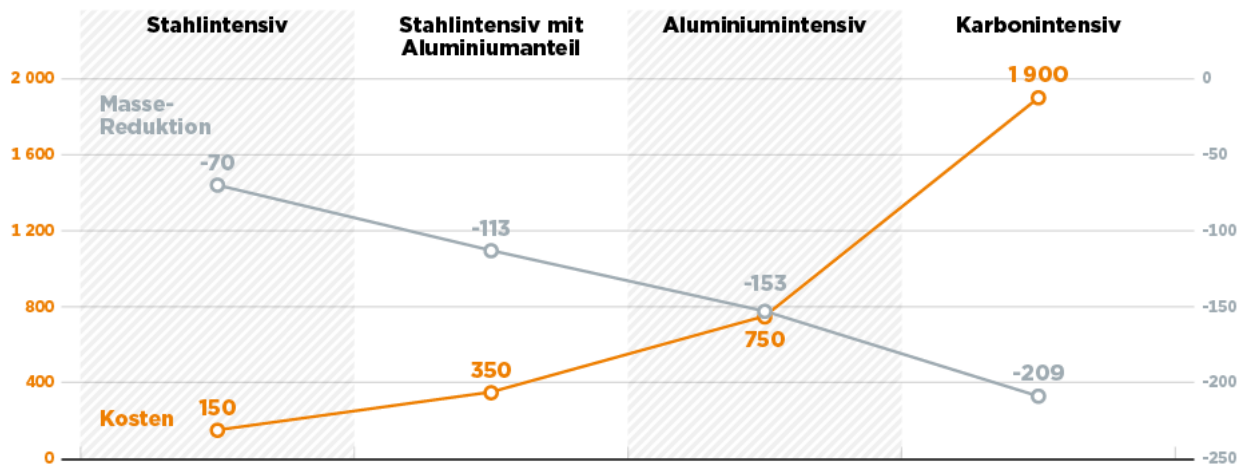
Karosserie

Nicht nur beim Bau konventionell angetriebener Fahrzeuge wird in nächster Zeit auf Leichtbau gesetzt werden, um das Gewicht der Fahrzeuge zu verringern. Auch bei Elektrofahrzeugen wird Leichtbau eine Rolle spielen, um damit das enorme Gewicht auszugleichen, dass die Batterien noch immer haben. Dabei steht die Entwicklung im Spannungsfeld (1) des Gewichts, (2) der Wirtschaftlichkeit über die Kosten der Werkstoffe und die Anforderungen an deren Verarbeitung und (3) der Nachhaltigkeit über die Recyclingfähigkeit der eingesetzten Werkstoffe.

⁷⁹ Zitat aus dem Gespräch mit Dierk Raabe, Direktor am Max-Planck-Institut für Eisenforschung in Düsseldorf.

⁸⁰ Kraus, J. (2011)

Abbildung 6: Massereduktion und Kosten



HANDELSBLATT RESEARCH INSTITUTE

Quelle: Forschungsgesellschaft Kraftfahrwesen (fka); Wirtschaftsvereinigung Stahl.

Massereduktion in kg, Kosten in Euro.

Des Weiteren hat sich in der Vergangenheit eine kontrovers geführte Diskussion darum entwickelt, wie bedeutend das Gewicht bei Elektrofahrzeugen überhaupt ist. Während nämlich leichtere Autos weniger Energie benötigen, um angetrieben zu werden – ein Umstand, den Elektrofahrzeuge mit Verbrennern teilen –, können Elektrofahrzeuge Teile der Energie beim Bremsen zurückgewinnen, die sogenannte Rekuperation. Durch diesen Prozess werden die Akkus eines Elektrofahrzeugs durch den Bremsvorgang geladen, und je schwerer ein Fahrzeug ist, desto mehr Energie fließt in den Antrieb zurück. Im Extremfall könnte die Gewichtsentwicklung eines Fahrzeugs somit zu einem Nullsummenspiel werden, wie etwa eine Studie des Center Automotive Research (CAR) an der Universität Duisburg-Essen nahelegt: So haben die Forscher in Tests mit verschiedenen Elektroautos herausgefunden, dass der Verbrauch der Autos bei zusätzlichem Gewicht nur minimal steigt.⁸¹

Diese Position ist allerdings sehr umstritten: In einer Replik erläuterte etwa der Leichtbauexperte Dr. Ulrich W. Schiefer, dass die CAR-Studie, die anhand eines BMW i3 und eines Tesla 3 testete, ihre Ergebnisse nur auf die Zuladung der Autos beschränke und somit die Effizienzvorteile, die ein leichteres Basisauto habe, nicht berücksichtige.⁸²

Von Bedeutung ist dabei zudem, für welchen Einsatz die Fahrzeuge genutzt werden. Bei Fahrten, die ein langes Rollen ermöglichen, etwa auf der Autobahn, lässt sich der Effekt kaum ausnutzen, im Stadtverkehr dagegen, charakterisiert durch häufiges Bremsen, kann der Effekt umso stärker zum Tragen kommen. Das individuelle Fahrverhalten hat demnach einen maßgeblichen Einfluss darauf, wie groß die Bedeutung der Rekuperation ist.

⁸¹ Vgl. Vetter, P. (2017). Die Ergebnisse der Studie sind in einer Vielzahl von Presseveröffentlichungen deckungsgleich berichtet worden. Die Originalergebnisse wurden den Autoren dieser Studie nicht zur Verfügung gestellt, die Forscher des CAR verwiesen auf die Presseartikel zur Studie, die daher hier zitiert werden.

⁸² Prawitz, S. (2018)

Die Forschungsergebnisse und ihre Diskussion zeigen, dass die Bedeutung des Fahrzeuggewichtes noch nicht abschließend geklärt ist. Die Ergebnisse legen allerdings nahe – wie es auch Marktentwicklungen wie die steigende Nutzung von hochfestem Stahl im Tesla 3 und die Abkehr von der hohen Carbon-Konzentration bei BMWs i-Reihe zeigen –, dass der Trend zur maximalen Gewichtsreduktion, auch auf Kosten des Einsatzes teurerer Materialien, sich eher nicht fortsetzt.

Bis vor einigen Monaten noch galten kohlenstofffaserverstärkte Kunststoffe – oft nur Carbon genannt – als Werkstoff der Zukunft beim Elektroautobau. Sie sind deutlich leichter und oft auch fester als Stahl. Auf der anderen Seite sind sie aber auch um ein Vielfaches teurer.⁸³ Auch wenn es in einem neuen Segment wie der Elektromobilität, in dem noch immer viele technische Ideen parallel vorangetrieben und ausprobiert werden, zum jetzigen Zeitpunkt noch keine Klarheit geben kann, was sich durchsetzen wird und was nicht, so scheint die Zeit des Carbons erst einmal wieder zu Ende zu sein.⁸⁴ Der BMW-Konzern etwa, der beim elektrischen Vorzeigemodell i3 noch voll auf Carbon gesetzt hat, will beim neuen i5 ab 2021 wieder vor allem Stahl und Leichtmetall verwenden. Auch Tesla baut aktuell das Modell 3 unter Verwendung eines hohen Anteils an Stahl, nachdem man in der Vergangenheit auf höhere Anteile an Aluminium und Titan in Kombination mit Stahl gesetzt hatte.⁸⁵ In der aktuellen Entwicklung geht der Trend also dahin, Gewichtseinsparungen nicht mehr um jeden Preis durchzusetzen und bei der Suche nach dem Optimum zwischen Gewicht und Kosten eher auf Kompromisslösungen wie hochfeste Stähle und vereinzelte Aluminium-Flächen zu setzen.

Von großer Bedeutung für diese Entwicklung ist es, dass die Stahlindustrie in Mitteleuropa Fortschritte macht bei dem Bestreben, ultrafesten, aber gleichzeitig leichten und formbaren Stahl zu entwickeln. Dieser ist weiterhin günstiger als Carbon oder Aluminium. Wie bei konventionellen Autos auch werden die beiden letztgenannten Werkstoffe wohl eher bei teureren Premiummodellen eingesetzt werden als einen prominenten Platz im Massenmarkt zu finden.⁸⁶ Das belegt auch das Beispiel Tesla: Während die S-Limousine viel Aluminium enthält, ist der Mittelklassewagen Modell 3 vor allem aus Stahl gefertigt.

⁸³ Lienkamp, M. (2018)

⁸⁴ Vieweg, C. (2016a)

⁸⁵ Dierig, C. (2017)

⁸⁶ Lienkamp, M. (2018)

Dabei haben alle Werkstoffe verschiedene Vor- und Nachteile – was Kosten, Festigkeit, Gewicht und Recyclbarkeit angeht.

Abbildung 7: Vergleich ausgewählter Werkstoffe in der Automobilproduktion

	Hochfeste Stähle	Aluminium	Faserverstärkte Kunststoffe/Carbon
Gewicht	Stahl ist im Vergleich zu anderen Werkstoffen schwerer. Die Konkurrenzsituation hat allerdings zu einem Entwicklungsschub geführt, wodurch bei höherer Festigkeit und guten Umformeigenschaften das Gewicht deutlich reduziert werden konnte.	Aluminium hat eine geringe Dichte ($2,7\text{g/cm}^3$) und ist dadurch sehr leicht.	Faserverstärkte Kunststoffe sind wesentlich leichter als andere Leichtbau-Werkstoffe, gegenüber Aluminium sind sie bis zu 40 Prozent leichter, bis zu 80 Prozent gegenüber Stahl.
Wirtschaftlichkeit	Stahl ist im Vergleich zu anderen Leichtbau-Werkstoffen deutlich günstiger.	Die Nutzung von Aluminium ist im Vergleich zu Stahl relativ teuer.	Faserverstärkte Kunststoffe verursachen hohe Kosten und sind kaum skalierbar, der Einsatz für die Massenfertigung ist daher eingeschränkt möglich.
Einsatzgebiet	Karosserie, Batterie, Batteriekasten, Außenhaut.	Antriebsstrang, Karosserie, Außenhaut.	Karosserie.
Ökologie	Stahl ist ein energieintensives Produkt, im Vergleich zu anderen Leichtbau-Werkstoffen allerdings nicht energieintensiver bzw. sogar weniger intensiv. Stahl weist eine gute Recycling-Fähigkeit auf, es kommt zu keinen Qualitätsverlusten (Downgrading) und Recycling-Schienen sind etabliert und in Betrieb.	Der Energiebedarf bei der Aluminiumerzeugung ist sehr hoch. Aluminium kann recycelt werden, allerdings in der Praxis nicht immer bei gleichbleibender Qualität (Downgrading), weil dafür eine sortenreine Trennung von Legierungen nötig ist. Zudem sind die Recyclinglinien nicht in gleicher Reife etabliert wie beim Stahl.	Der Energiebedarf faserverstärkter Kunststoffe ist sehr hoch, die Wiederverwertbarkeit eingeschränkt.

Quelle: VDI 2014; VDI 2015; Tata Steel 2017; Experteninterviews (vgl. Teil 2 dieser Studie).

Der Einsatz des Werkstoffs Stahl spielt bei diesen Überlegungen eine wichtige Rolle, bestehen heutige Autos noch im Durchschnitt zu über 50 Prozent aus Stahl.⁸⁷ Allein durch den Einsatz hochfester Stähle kann nach Angaben des Weltstahlverbands Worldsteel das Gewicht eines Fahrzeugs um 25 bis 39 Prozent reduziert werden.⁸⁸ Die Gewichtsreduktion führt zu Einsparungen von Treibhausgasemissionen zwischen 3 und 4,5 Tonnen über den gesamten Lebenszyklus eines durchschnittlichen Fahrzeugs. Dies ist ein größeres Volumen als bei der Produktion der gesamten Stahlmenge anfällt, die für ein Fahrzeug im Durchschnitt benötigt wird.

Auch die Aluminium- und die Kunststoffindustrie unternehmen große Anstrengungen, Teile fester und damit leichter zu machen. Ihr Einsatz gewinnt zunehmend an Bedeutung. Einer Studie des Posco Research Instituts zufolge wird der Anteil des Stahls am Fahrzeuggewicht von derzeit 54 Prozent auf 49 Prozent im Jahr 2035 sinken.⁸⁹

So lassen sich durch den Einsatz von Aluminium in einem Fahrzeug ebenfalls bis zu 40 Prozent und mehr an Gewicht einsparen.⁹⁰ Hochfeste Aluminiumlegierungen dringen in den Bereich hochfester Stähle vor – allerdings weisen sie in einigen Bereichen ein anderes Dehnungs- und Bruchverhalten als Stahlwerkstoffe aus. Sie können also nur in wenigen ausgewählten Bauteilen verwendet werden. Zudem ist Aluminium in der Herstellung und Verarbeitung teurer als Stahl. Für die jeweiligen Hersteller besteht die Herausforderung darin, ihren Werkstoff nach den Vorgaben der Abnehmer zu optimieren.

Stahl bietet dafür gute Voraussetzungen: Durch die Kombination von Legierungen und unterschiedlichen Bearbeitungsmethoden wie der Kalt- und Warmumformung kann eine breite Palette verschiedenster Materialeigenschaften erzielt werden. Bis heute wurden rund 2.500 Stahlsorten entwickelt, die Hälfte davon ist jünger als zehn Jahre.⁹¹ In den letzten fünf Jahren sah es so aus, als würde Carbon die „Stahlära“ im Autobau beenden, nun hat sich das Blatt gewendet.⁹² Verantwortlich dafür sind neben den Nachteilen von Carbon bei der Wirtschaftlichkeit und Nachhaltigkeit vor allem Innovationen in der Stahlerzeugung: Die Festigkeit konnte erhöht, das Gewicht weiter reduziert werden.⁹³

Der Anteil hochfester Stähle, die in einem Auto verbaut werden, steigt kontinuierlich. Ein Treiber für diese Entwicklung ist die Gewichtsersparnis. So konnte Volkswagen beim Golf VII 23 Kilo

⁸⁷ Worldsteel Association (2016)

⁸⁸ Worldsteel Association (2016)

⁸⁹ Wirtschaftsvereinigung Stahl (2018)

⁹⁰ Bertram, M., Buxmann, K., Furrer, P. (2009); Postler, A. und Heidrich, W.;

⁹¹ Langner, A. (2017); Woher, M. (2015)

⁹² Erriquez, M., Morel, T., Mouliere, P., Schäfer, P. (2017)

⁹³ Fuhrpark & Management (2018)

allein dadurch einsparen, dass der Getriebetunnel und die Türrahmen aus hochfesten und damit leichteren Stählen bestehen. Dazu kommen stetig steigende Sicherheitsstandards. So soll der Anteil von mittel- und hochfesten Stählen nach Einschätzung des Posco Research Instituts von derzeit 18 auf knapp 30 Prozent gegenüber herkömmlichen Stahlsorten steigen.

„Das Limit ist noch nicht erreicht“, sagt Dierk Raabe, Direktor am Max-Planck-Institut für Eisenforschung in Düsseldorf. Ein Problem auf dem Weg zu Festigkeiten weit jenseits der Marke von einem Gigapascal sieht der Wissenschaftler allerdings in der Wasserstoffsprödigkeit kaltumgeformter Stähle sowie an der besseren Schweißneigung verzinkter Bleche. Hier geht die Forschung jedoch weiter, so dass auch doppelt so hohe Festigkeiten möglich erscheinen. Schon jetzt werden ultrahochfeste Stähle mit Festigkeiten von 1,2 Gigapascal in Fahrzeugen verbaut.

Ein großer Vorteil dabei ist der Preis solcher Stähle: „Hier erhalten Sie extrem viel Leistung für recht wenig Geld“, sagt Raabe. Dazu punkten solche Stähle im automobilen Leichtbau mit den generellen Vorzügen des Werkstoffes: Problemlose Verarbeitung, Homogenität der Oberflächen für die Lackierung, gutes Recycling, uneingeschränkte Verfügbarkeit des Rohstoffes einschließlich der Legierungen, Kombinationsfähigkeit mit anderen Werkstoffen.

So rechnen Experten daher nicht etwa mit einer sinkenden Stahlnachfrage, wenn sich die Autoindustrie nun wandelt – weg vom Verbrennungs- und hin zum Elektromotor –, sondern mit einer steigenden.⁹⁴

Batteriekasten

Die Umstellung von Verbrennungs- auf Elektromotoren erfordert die Weiterentwicklung bestehender Bauteilgeometrien sowie die Einführung gänzlich neuer Bauteile. Gleichzeitig werden Komponenten, die eng mit dem Verbrennungsmotor in Verbindung stehen, wie beispielsweise aufwendige Getriebe, zukünftig nicht mehr benötigt. Zentraler Bestandteil eines elektrischen Antriebs ist neben dem Elektromotor selbst die Batterie als Energiespeicher. In Elektrofahrzeugen kommen Lithium-Ionen-Batterien zum Einsatz. Für die Werkstoffhersteller bietet sich ein ganz neues Betätigungsfeld, nämlich die Produktion des Batteriekastens als Gehäuse für die Batterie.

Die Wichtigkeit des Batteriekastens für die Lieferanten ergibt sich aus der einfachen Tatsache, dass eine Batterie ein beträchtliches Gewicht aufweist und damit ein verhältnismäßig großes Gehäuse benötigt. Das Gewicht einer Batterie für einen e-Golf liegt momentan bei mehr als 300 Kilogramm.⁹⁵ Die Batterie macht verschiedenen Branchenangaben zufolge etwa 30 bis 50

⁹⁴ Tata Steel (2017)

⁹⁵ Mähler, C. (2016)

Prozent der Kosten eines Elektrofahrzeugs aus.⁹⁶ Auch wenn aktuelle Forschungsbemühungen darauf abzielen, Batterien kleiner und leichter zu machen, wird der Batteriekasten ein wesentlicher Bestandteil des elektrischen Antriebs bleiben.

An den Batteriekasten werden vielfältige Anforderungen gestellt. Die Herausforderung für die Produzenten wird dadurch größer, dass Batterien zwar schon lange existieren und für verschiedenste Aufgaben genutzt werden. Ein Gehäuse für den Einsatz in Kraftfahrzeugen ist jedoch noch ein vergleichsweise neues Produkt, das entwickelt und verbessert wird, ohne dass Jahrzehnte zurückreichende Erfahrungswerte vorliegen. So muss einerseits die Batterie möglichst gut geschützt werden. Andererseits muss das Gehäuse verhindern, dass Substanzen, die in der Batterie enthalten sind, aus dem Gehäuse hinausdringen. Grundsätzlich können folgende Anforderungen an den Batteriekasten zusammengefasst werden:

- Flammschutz,
- chemische Beständigkeit,
- Dichtheit,
- Temperaturbeständigkeit,
- Designfreiheit,
- Unfallresistenz,
- elektrische Isolierung sowie die
- elektromagnetische Abschirmung.⁹⁷

Bei der Werkstoffauswahl gilt eine ähnliche Logik, wie es etwa bei der Karosserie der Fall ist: Die Wahl des Werkstoffmixes hat im Spannungsfeld Gewicht, Wirtschaftlichkeit und Nachhaltigkeit zu erfolgen – mit vergleichbaren Vor- und Nachteilen der einzelnen Werkstoffe. So gibt es Lösungen aus Aluminium⁹⁸, Titan, hochfesten Stählen⁹⁹ oder Faserverbundstoffen¹⁰⁰.

Aufgrund der exponierten Stellung der Batterie am Unterboden eines Fahrzeugs und den mit ihr verbundenen Kosten liegt das Augenmerk der Gehäusehersteller zunächst auf der Sicherheit bei Unfällen. Auch bei hohen Aufprallgeschwindigkeiten und den damit verbundenen Kräften, die auf das Fahrzeug einwirken, muss die Batterie geschützt werden. Daher muss der Batteriekasten resistent gegenüber Verformungen sein. Hierfür bieten sich insbesondere hoch- und höchstfeste Stahlsorten an, die eine deutlich höhere Festigkeit aufweisen als traditionelle Stahlsorten. Die Warmumformung bietet die Möglichkeit, Teile aus hochfesten Stählen herzustellen. Dafür wird

⁹⁶ Thyssenkrupp (2017)

⁹⁷ Dallner, C., Zeiher, V. (2011)

⁹⁸ Ecomento (2017)

⁹⁹ Ecomento (2017)

¹⁰⁰ Fraunhofer (2011)

der Stahl erhitzt, im Werkzeug umgeformt und gezielt abgekühlt, wodurch das Bauteil die besonderen Eigenschaften erhält.¹⁰¹

Der Korrosionsschutz spielt ebenfalls eine wichtige Rolle, da sich der Batteriekasten im Regelfall in einer exponierten Lage am Unterboden des Fahrzeugs befindet. Hier sind bestimmte Legierungen notwendig, die die Batterie insbesondere vor Feuchtigkeit schützen. Denkbar sind hier insbesondere nicht rostende Edelstähle. Aufgrund der Position des Batteriekastens könnte sich für die Produzenten ferner die Möglichkeit ergeben, ihr Geschäftsfeld auszuweiten und den Automobilherstellern auch Teile des Unterbodens anzubieten. Im günstigsten Fall könnten sie sogar gesamte Lösungen bestehend aus Unterboden, Batteriekasten und Motorgehäuse herstellen und sich als Lösungshersteller im umkämpften Marktsegment positionieren.

Die Produzenten der Batteriekästen sind darüber hinaus gefordert, den zur Verfügung stehenden Bauraum möglichst effizient zu nutzen. Die Batteriehersteller arbeiten daran, die Reichweiten zu vergrößern, und entwickeln die Batterien ständig weiter. Hierauf müssen die Produzenten der Gehäuse flexibel reagieren können. Insbesondere sollten sie darauf vorbereitet sein, dass die Batterietechnik die Stapellösungen, das sogenannte Stacking, vorantreiben wird, und sich daraus neue Anforderungen an die Fahrzeuggeometrie ergeben.

Sicherheit

Die steigende Stahlnachfrage ergibt sich insbesondere aus den sicherheitsrelevanten Anforderungen. Während sich Aluminium- und Kunststoffteile zunehmend in Anbau- und Außenhautbauteilen etablieren, erreichen sie in den für die Fahrgastsicherheit relevanten Bereichen häufig nicht die ausreichende Festigkeit und Verformbarkeit. Gerade bei Unfällen sind zwei Aspekte für die Sicherheit entscheidend: Erstens dürfen die Bauteile auch bei hohen Aufprallgeschwindigkeiten und entsprechender Krafteinwirkung nicht brechen. Zweitens müssen die Bauteile trotz der hohen Festigkeit auch eine ausreichend hohe Verformbarkeit aufweisen, um die Aufprallkräfte an andere Teile weiterzugeben, die möglichst weit von der Fahrgastzelle entfernt sind.

Neueste Stahlsorten weisen dabei eine drei- bis viermal höhere Zugfestigkeit auf als herkömmliche Stähle und kommen in immer mehr sicherheitsrelevanten Bauteilen eines Fahrzeugs zum Einsatz. Neben der reinen Weiterentwicklung der Werkstoffe führen aber auch Prozessinnovationen zu einer Verbesserung der Sicherheit. Beispiele hierfür sind eine spannungsarme Fügetechnik und das Laserschweißen. Diese machen Lötverbindungen oder Schweißnähte zwischen den Metallteilen weitestgehend überflüssig, wodurch Bauteile mit

¹⁰¹ Thyssenkrupp (2017)

geringerer Spannung miteinander verbunden werden können. Durch diese Verfahren werden die Materialeigenschaften im Fall eines Unfalls weiter verbessert.

Ein Beispiel für den Einsatz hochfester Stahlteile ist der Integralträger, an dem Vorderachse, Lenkung, Motor und Getriebe befestigt sind. Dieser wird mit der Karosserie verschraubt. Bei Frontalunfällen verformt sich das Bauteil gezielt an vorgesehenen Stellen, ohne allerdings zu brechen. Außerdem wird die Aufprallenergie – zumindest teilweise – absorbiert und über Verstreibungen an die Bodenstruktur des Fahrzeugs weitergegeben. Die Fahrgastzelle wird so maximal verschont.

Zusätzlichen Schutz erfährt die Fahrgastzelle sowohl durch Aluminium- als auch Stahlbauteile. Aluminium wird dabei häufig für Querprofile eingesetzt, die die Kräfte bei einem seitlichen Aufprall auf die abgewandte Seite übertragen.

In den B-Säulen wiederum werden häufig hochfeste Stahlteile verbaut, die die Aufprallenergie maximal absorbieren. Ähnliche Teile werden in den Heckstrukturen von Fahrzeugen verbaut, um die Fahrgäste möglichst gut bei Heckaufprällen zu schützen. Diese Bauteile werden vor allem aus warmumgeformten Stahlteilen hergestellt.

Nachhaltigkeit

Die Nachhaltigkeit der verwandten Werkstoffe ist eine Schlüsselkomponente bei der Entscheidung, mit welchem Materialmix gebaut wird.

Beim Vergleich der zentralen Werkstoffe für den Fahrzeugbau hat Stahl im Bereich der Nachhaltigkeit besondere Vorteile. Stahl ist – obwohl in der Herstellung ein energieintensives Produkt – im Vergleich mit Aluminium oder Carbon mit vergleichsweise wenig Energie zu erzeugen und zu verarbeiten. Zudem ist Stahl vollständig und ohne Qualitätsverlust recycelbar, der Recyclingkreislauf ist bereits komplett etabliert.

Aluminium ist ebenfalls recyclingfähig, allerdings kann es dabei zu einem qualitativen Downgrading kommen.¹⁰² Um dies zu verhindern, muss das Aluminium vor dem Recycling legierungsrein sortiert werden. Auf diesem Gebiet sind Fortschritte gemacht worden, die die durchschnittliche Qualität des Sekundärwerkstoffes erhöhen. Auch beim Carbon wird an der Recyclingfähigkeit geforscht, um die Mehrfachverwertung zu verbessern. Relevant ist dabei allerdings nicht nur die technische, sondern auch die wirtschaftliche Seite dieses Prozesses: Anders als bei Metall und Aluminium ist der Recyclingkreislauf für Carbon bisher nicht in der Breite verfügbar.

¹⁰² Vgl. Heinemann, T. (2016) für eine tiefergehende Analyse des technischen Recyclingprozesses.

Szenarien

Das Wachstum der Elektromobilität ist ein relevanter Treiber der Nachfrage nach Leichtbau-Lösungen. Von besonderer Relevanz dürfte dies für die Stahlbranche sein. In den vergangenen Jahren hat die Industrie durch die Entwicklung hochfester Stähle für verschiedene Einsatzzwecke eine Kombination aus Gewichtsreduktion, Life-Cycle-Vorteilen und Wirtschaftlichkeit gefunden, die sie zum zentralen Spieler in der Elektromobilität macht. Der Stahlhersteller Tata Steel rechnet in einer Prognose für den Zeitraum 2015–2050 damit, dass die Stahlnachfrage der Automobilindustrie aus diesem Grund um 4,2 Millionen Tonnen anwachsen könnte – gut ein Drittel davon (1,6 Millionen Tonnen) für Motoren und Battery Packs, der Rest für die Leichtbau-Struktur der Fahrzeuge.¹⁰³

Auch Aluminium wird noch wichtiger. Bis zum Jahr 2030 könnte, so eine CRU-Studie, die Nachfrage nach Aluminium durch die wachsende Bedeutung alternativer Antriebe um bis zu zehn Millionen Tonnen steigen.¹⁰⁴

Die Zukunft der Elektromobilität liegt in einem intelligenten Werkstoffmix. Hier können auch andere Werkstoffe relevant werden, etwa Carbon zum Aushärten einzelner Teile. Dies wird aber eher ein Nebenaspekt bleiben.

Carbon hat die Hoffnungen als Werkstoff der Zukunft nicht erfüllen können und wird daher in den kommenden Jahren keine große Rolle in der weiteren Entwicklung der Elektromobilität spielen.

Generell können Kunststoffe in den kommenden Jahren eine Rolle spielen.¹⁰⁵ Hier ist allerdings nicht zu erwarten, dass diese Lösungen in naher Zukunft im großen Stil in der Serienfertigung eingesetzt werden. Kunststoffe dürften im stärkeren Maße für individuelle Konzepte eingesetzt werden, wie etwa für den Streetscooter¹⁰⁶, der als Tochter der Deutschen Post DHL Group auf Forschung der RWTH Aachen beruht, oder für individuellen Ansätze von Start-ups, die aufgrund der relativen Einfachheit des elektrischen Antriebs in den Markt drängen.¹⁰⁷

¹⁰³ Tata Steel (2017)

¹⁰⁴ Dinsmore, E. (2018)

¹⁰⁵ Brünglinghaus, C. (2013)

¹⁰⁶ <https://www.streetscooter.eu>

¹⁰⁷ Siehe Kapitel *Experteninterviews*.

Teil 2: Experteninterviews

Im zweiten Teil der Studie werden die Erläuterungen des ersten Teils um Experteninterviews ergänzt. Ziel dieser Interviews ist es, die bereits im ersten Studienteil behandelten Themen umfassend von Praktikern und Forschern zu ihren jeweiligen Fachgebieten analysieren zu lassen. Dabei wurden die Experten so ausgewählt, dass jeweils unterschiedliche Themen – auch zu einem Oberbegriff – aufgegriffen werden können, um die Bandbreite der Studie abzudecken und unterschiedliche Meinungen und Herangehensweisen abzubilden.

Die in der Folge dargestellten Kapitel enthalten jeweils Zusammenfassungen der Aussagen der Interviewten.

Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E. h. Burkhard Göschel

Elektromobilität ist ein wichtiger Baustein der zukünftigen Mobilität. Ihren Platz wird sie dabei neben konventionell betriebenen Fahrzeugen haben, die auch weiterhin eine wichtige Rolle spielen werden. Im Zuge des Skandals um Abgasmanipulationen steht das Ende der Dieseltechnologie zur Diskussion. Dies ist nicht zielführend. Es sollte nicht darum gehen, Technologien zu verbieten, sondern Emissionen einzusparen. Dabei hat der Diesel seine Berechtigung als umweltfreundliche Technologie, die auch hohe Emissionsvorgaben wie die notorisch strengen Umweltvorschriften Kaliforniens einhalten kann, wenn die technischen Möglichkeiten ausgeschöpft werden.

Wie stark und in welcher Geschwindigkeit die Elektromobilität einen größeren Raum einnehmen wird, hängt von verschiedenen Faktoren ab.

Zentral ist die Alltagsfunktionalität, die sehr stark von der möglichen Reichweite und dem Ausbau des Ladenetzes geprägt ist. Bei ersterem steht zu erwarten, dass die Stromer etwa ab dem Jahr 2021 Reichweiten erreichen können, die auch Verbrenner schaffen. Hier wurden im Bereich der Zelltechnik massive Entwicklungssprünge erzielt. Beim Ladenetz ist nicht nur der Ausbau der Stationen wichtig, auch die Technologie spielt eine Rolle. Beides entwickelt sich schnell weiter. Die Anzahl der verfügbaren Ladepunkte wird ausgebaut, auch an der Ladetechnologie wird gearbeitet. So könnte sich zukünftig die Technologie der Ladung mit einer höheren Spannung von 800 Volt durchsetzen, womit die Ladezeit auf die Dauer eines klassischen Tankens beschränkt werden kann.

Während die technische Seite demnach in absehbarer Zeit gelöst sein dürfte, rückt die emotionale Besetzung des Themas Elektromobilität zunehmend in den Vordergrund. Hier agiert der US-Elektropionier Tesla als Vorbild, indem er seine Autos konsequent als prestigeträchtige Alternative im Premiumsegment positioniert.

Diesen Weg der emotionalen Aufladung elektrischer Fahrzeuge können die Hersteller über zwei Wege beschreiten:

Auf der einen Seite steht die Option, komplett neue Designkonzepte zu entwickeln. Durch den Wegfall des konventionellen Antriebsstrangs haben Hersteller neue Freiheiten bei der Konzeption ihrer Fahrzeuge. Somit ermöglicht die Elektromobilität konzeptionell wesentlich mehr als ein konventionelles Auto. Bleiben die Hersteller hier beim klassischen Aufbau, werden Vorteile des Antriebes, die weit über die vordergründige Emissionsfreiheit hinausgehen, nicht genutzt.

Dadurch, dass ein Elektroauto im Vergleich mit einem Verbrenner ungleich weniger komplex ist, werden die Eintrittshürden auch für neue Hersteller deutlich gesenkt. Dies machen sich Start-ups zunutze, um mit innovativen Designs in den Markt zu rücken und etablierte Hersteller herauszufordern. Diese sind in einer anderen Produktionslogik verhaftet, betreiben teure Fertigungs- oder Rohbaulinien, die so schnell nicht aufgegeben werden. Agile Herausforderer handeln hier schneller, erschließen sich die Möglichkeiten neuer Konzepte. Dabei kann auch die Individualisierung von Modellen, wie sie auch in anderen Industriezweigen eine zunehmende Rolle spielt, zu einem wichtigen Thema werden. Dies wird nicht nur eine neue Herausforderung für etablierte Automobilhersteller, auch Zulieferer müssen sich auf veränderte, individualisierte Anforderungen einstellen.

Auf der anderen Seite steht die Verknüpfung des elektrischen Antriebes mit weiteren Zukunftsthemen der Mobilität, die unter dem Stichwort Connectivity gebündelt sind. Zwar handelt es sich dabei um grundsätzlich verschiedene Themen, man kann aber durch die gedankliche Verknüpfung beim Kunden neue Kundengruppen ansprechen, ein anderes Image auslösen. Auch bei dieser Verknüpfung ist Tesla sehr weit.

Ein Vorbild, wie diese Technologien verknüpft werden können und die Elektromobilität in einem anderen Umfeld als die konventionelle Mobilität emotional aufgeladen werden kann, stellt die Motorsport-Reihe Formel E dar. Die Unterscheidung zu klassischen Motorsport-Reihen wie der Formel 1 liegt dabei nämlich nicht nur im Antriebsstrang, sondern im gesamten Umfeld und der Ausrichtung der Veranstaltung, die weniger prestigeträchtig, dafür stärker auf Interessenten, die der klassische Motorsport nicht erreicht, ausgelegt ist. Hier wird an einem prominenten Beispiel aufgezeigt, wie eine solche Positionierung im passenden Umfeld das Image der Elektromobilität aufbessern kann.

Bedenkt man, dass das Potenzial der Elektromobilität in der deutlichen und sichtbaren Abkehr vom klassischen Fahrzeugdesign liegt, können Hybridfahrzeuge nur eine Zwischentechnologie sein. Durch den Verbau von zwei Antriebssträngen und Energiespeichern ist die Konzeption

umständlich, durch die Nutzung eines Verbrennungsmotors zudem weiter dem klassischen Automobil-Aufbau verpflichtet.

Bei der Wahl der Werkstoffe moderner Automobile ist Stahl in den vergangenen Jahren wieder zunehmend zum bedeutenden Spieler geworden. Schlüssel dafür war die Entwicklung hochfester Stähle, die je nach Einsatzbereich flexibel gesteuert werden können und im Verhältnis zwischen Gewicht und Preis konkurrenzlos sind. Daneben hat sich Aluminium als bedeutender Werkstoff etabliert, besonders bei größeren Fahrzeugen ist der Aluminium-Stahl-Verbund zum Standard geworden.

Weitere Werkstoffe, die in den vergangenen Jahren mitunter genutzt wurden, werden keine nennenswerte Rolle spielen. Titan ist zu teuer für den umfassenden Einsatz, hier wird es bei einzelnen Spezialanwendungen bleiben. Ähnliches gilt für Carbon. In die Nutzung von Carbon wurden in den vergangenen Jahren hohe Erwartungen gesetzt, es ist allerdings trotz großer Anstrengungen nicht gelungen, Kostenziele zu erreichen. Auch hier spricht die Entwicklung nicht dafür, dass Carbon mit Ausnahme vereinzelter Spezialanwendungen in Versteifungselementen oder Supersportwagen mit Carbon-Chassis noch von großer Bedeutung sein wird.

Die internationalen Rollen in der Automobilindustrie werden sich durch das Wachstum der Elektromobilität verschieben. China ist in diesem Bereich führend. Mit sehr hohen Investitionsvolumina und staatlicher Förderung im Rücken wird die Entwicklung vorangetrieben. Auch die europäische Automobilindustrie wird sich dem Wachstumsthema Elektromobilität stärker öffnen und eine weiterhin wichtige Rolle einnehmen. Sie steht allerdings vor einer großen Herausforderung: Bei der Entwicklung der zentralen Komponenten ist sie bereits abgehängt, hier wird kaum noch ein Anschluss herzustellen sein. Schlüsseltechnologien wie die Batterie- und Zelltechnik oder die Halbleitertechnologie für zukünftige Fahrzeugarchitekturen mit automatisiertem Fahren laufen komplett an Europa vorbei. Die zukünftigen Standards werden an anderer Stelle gesetzt oder es bleibt nur die Mitwirkung in Kooperationsmodellen. Die aktuellen Versuche nationaler Regierungen und der Europäischen Kommission, diese Lücke mit Forschungsförderungen zu schließen, dürften zu spät kommen. Kurzfristig wird die europäische Industrie sich mit dem Festhalten an Bewährtem behaupten können, langfristig droht sie hier allerdings ihre Rolle als Technologieführer und ihre derzeitige Stellung in der Wertschöpfungskette zu verlieren.

Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E. h. Burkhard Göschel ist seit 1971 Motorenentwickler. 1976 stieg er in die Autoindustrie ein, übernahm in der Folge verschiedene Führungsfunktionen bei BMW und wurde im Jahr 2000 in den Vorstand der BMW AG (Entwicklung und Einlauf) berufen. Nach seinem altersbedingten Ausscheiden aus dem Vorstand im Jahr 2006 wurde er Chief Technology Officer beim Automobilzulieferer Magna. Zudem war er in der Nationalen Aktionsplattform

Elektromobilität (NPE) engagiert und ist Präsident der FIA-Kommission für alternative Antriebe im Motorsport. In diesem Bereich war er federführend am Aufbau der Motorsportreihe Formel E beteiligt.

Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Bleck, Institut für Eisenhüttenkunde, RWTH Aachen

Die Entwicklungen in der Automobilindustrie sowie die Änderungen des eigentlichen Mobilitätskonzepts stellen neue Herausforderungen an die Unternehmen, die die Werkstoffe zur Produktion liefern. Hieraus ergeben sich vielfältige Gelegenheiten zur Erweiterung des eigenen Geschäftsfeldes, gleichzeitig verstärkt sich der Konkurrenzdruck zwischen verschiedenen Werkstoffen. Neben Stahl kommen im Automobilbau vor allem Aluminium sowie Kunststoffe zum Einsatz.

Allen Bauteilen gemein ist die Tatsache, dass sich die Anforderungen an die Werkstoffe verändert haben. War früher neben dem äußeren Erscheinungsbild vor allem der Korrosionsschutz ein entscheidendes Thema, ist dies heutzutage eine Selbstverständlichkeit. Gleiches gilt für die Langlebigkeit und Funktionalität von Fahrzeugen, vor einigen Jahrzehnten noch entscheidende Marketinginstrumente. In den Vordergrund rücken einerseits Themen wie das Innendesign und die Fähigkeit zur Kommunikation, andererseits die Reduktion des Gewichts bei stetig steigenden Sicherheitsanforderungen.

Um die Vor- und Nachteile verschiedener Werkstoffe zu analysieren, sollten die einzelnen Segmente des Automobils gesondert betrachtet werden. Zu unterscheiden sind dabei Karosserie und Antriebsstrang, bei letzterem vor allem Getriebe, Motor und Räder.

Die Karosserie ist grundsätzlich unabhängig vom verwendeten Antrieb. Im Karosseriebau steht der Werkstoff Stahl in großer Konkurrenz vor allem mit Aluminium, in geringerem Ausmaß auch mit Kunststoffen. Alle drei Materialien werden dazu eingesetzt, das Gewicht des Fahrzeugs zu reduzieren. So lassen sich Treibstoffverbrauch und der Ausstoß von Schadstoffen reduzieren. Zudem erfüllt die Karosserie wichtige Aufgaben in der Fahrzeugsicherheit, wie beispielsweise über die B-Säule des Fahrzeugs. Mittlerweile ist zu beobachten, dass eine technische Untergrenze für die Dicke von Blechen für Karosserieteile erreicht ist.

Im Vergleich der beiden metallischen Werkstoffe hat Aluminium gegenüber Stahl vor allem dann einen Vorteil, wenn die Teile mithilfe des Strangpressverfahrens kostengünstig hergestellt werden können. Bauteile aus Stahl zeichnen sich hingegen durch eine höhere Flexibilität bei der Werkstoffentwicklung aus. Vor allem die Innovationen im Bereich der hochfesten Stähle (Advanced High Strength Steels) verfügen weiterhin über hohes Entwicklungspotenzial. Darüber hinaus zeichnet sich Stahl durch seine Recyclingfähigkeit aus, er kann grundsätzlich zu 100

Prozent recycelt werden, ohne dass sich ein Qualitätsverlust ergibt. Ein Downgrading wie beim Aluminium wird also vermieden. Eine Konsequenz daraus ist eine hohe Verfügbarkeit von Stahl. Um Ähnliches beim Aluminium zu erreichen, müsste ein gesondertes Aluminiumrecyclingverfahren für verschiedene Aluminiumlegierungen flächendeckend eingeführt werden, was derzeit nicht absehbar ist.

Die zunehmende Etablierung der Elektromobilität wird auch die Karosserien der Fahrzeuge verändern. Die klassische Aufteilung in Motorraum, Fahrgastzelle und Kofferraum wird in Zukunft aus technischer Sicht nicht mehr nötig sein, da der Verbrennungsmotor fehlt. Dies lässt neue Karosserieformen zu. Diese Flexibilität könnten Automobilhersteller dazu nutzen, über die Karosserie eine höhere Individualisierung von Fahrzeugen zu erreichen. Eine Folge, auf die sich die Werkstoffhersteller einstellen müssen, sind kleinere Losgrößen, die von den Fahrzeugbauern nachgefragt werden. Hierin liegt auch eine Chance für Kunststoffe, die für die Beplankung der Bauteile eingesetzt werden. Sie können zumindest in Kleinserien günstiger eingesetzt werden als die metallischen Werkstoffe Aluminium und Stahl. Dies machen sich vor allem Start-ups zunutze, die heute in kleinen Auflagen neuen Herangehensweisen an den Aufbau von Autos erarbeiten. Eine weitere Folge aus der größeren Individualisierung ist, dass die Hürden für vormals branchenfremde Unternehmen zum Einstieg in den Fahrzeugbau geringer werden. Die entscheidende Frage, der die Werkstofflieferanten und die Automobilindustrie gegenüberstehen, ist also, ob sich an der klassischen Karosserieform etwas ändern wird. Diese Frage wird jedoch weniger vom genutzten Antrieb entschieden als vielmehr von der Weiterentwicklung des Mobilitätskonzepts und den Fortschritten beim autonomen Fahren, welches die Mobilität grundlegend revolutionieren dürfte.

Einen ungleich höheren Einfluss hat die Elektromobilität auf die Entwicklung des Antriebsstrangs. Die größte Änderung besteht in der Tatsache, dass ein Elektromotor in der Regel über gar kein oder ein sehr viel einfacheres Getriebe verfügt als ein Verbrennungsmotor. Verbrennungsmotoren sind standardmäßig High-Tech-Produkte, wohingegen Elektromotoren technisch weniger anspruchsvoll sind. Dies könnte sich als Problem für die deutschen Hersteller erweisen, da deren hohe Expertise und Wissensvorsprung ein Stück weit verloren gehen könnte.

Mit der Umstellung auf Elektromotoren geht jedoch auch die Entwicklung neuer Bauteile einher, wodurch neue Geschäftsfelder eröffnet werden. Von besonderer Wichtigkeit ist dabei der Batteriekasten. An dieses Bauteil werden zwei entscheidende Anforderungen gestellt. Erstens muss der Batteriekasten die Batterie bei einem Unfall schützen. Es muss verhindert werden, dass Batterieflüssigkeit austritt, die Dichtheit muss also bei großen Aufprallgeschwindigkeiten und entsprechenden Kräften gewährleistet bleiben. Zweitens muss der Korrosionsschutz sichergestellt sein. Dies ist ein Einsatzgebiet, für das sich insbesondere nicht rostende Edelstähle anbieten, die in der Produktion allerdings ähnlich preisintensiv sind wie Aluminium. Die Nutzung

von preisgünstigeren beschichteten Blechen in diesem Bereich, etwa durch verschiedene Legierungen, ist deutlich günstiger möglich und wird noch weiter zu erforschen sein.

Schließlich wird die Umstellung auf Elektromotoren selbst eine zentrale Herausforderung für die Stahlhersteller bereithalten. Ein integraler Bestandteil eines jeden Elektromotors ist das Elektroblech. Die deutschen Hersteller verfügen hier bereits über große Erfahrungswerte, auf die sie zurückgreifen können. Die Herstellung von Elektroblech ist eine etablierte Technologie, die für die neuen Anwendungen im Rahmen der Umstellung auf Elektromobilität angepasst werden muss. Jedoch befindet sich das Elektroblech in einem Spannungsfeld aus mechanischen und magnetischen Anforderungen. Hochfeste Stahlvarianten, die auch großen Fliehkräften bei schnell drehenden Bauteilen standhalten, haben schlechtere magnetische Eigenschaften. Die eher weicheren Sorten mit besseren magnetischen Eigenschaften haben jedoch mechanische Nachteile. In diesem Spannungsfeld gibt es keinen Königsweg. Vielmehr werden abhängig vom Fahrzeugtyp verschiedene Lösungen auf dem Markt bestehen können. Für die Hersteller des Elektroblechs bietet die zunehmende Sortenvielfalt ein größeres Differenzierungspotenzial, mit dem sich jeder einzelne Hersteller im Wettbewerb positionieren kann. Folglich wird sich das Elektroblech insgesamt weg von einer Commodity hin zu einem individualisierten Produkt entwickeln.

Bei der aktuell größten Herausforderung, die in der Elektromobilität besteht, der mangelnden Reichweite, können die Stahlhersteller keinen entscheidenden Beitrag leisten. Die Elektrobleche funktionieren bereits am technischen Optimum. Die Reichweitenproblematik ist eine Aufgabe, die von den Batterieherstellern gelöst werden muss.

Die Anwendungsgebiete von Stahl als Werkstoff in der Mobilität werden also weiterhin die Karosserie umfassen, unabhängig davon, wovon diese Karosserie angetrieben wird. Jedoch besteht die Aussicht, dass sich neue Karosserieformen etablieren. Im Hinblick auf den Antriebsstrang wird das wichtige Geschäftsfeld mit Getrieben Bedeutung einbüßen. Neue Geschäftsfelder ergeben sich bei den Batteriekästen, und auch Elektrobleche werden mit zunehmender Etablierung der Elektromobilität stärker nachgefragt werden.

Prof. Dr. Ing. Wolfgang Bleck ist Universitätsprofessor und Lehrstuhlinhaber sowie Institutsleiter des Instituts für Eisenhüttenkunde an der RWTH Aachen. Prof. Blecks Forschungsschwerpunkte liegen unter anderem in der Prozess- und Werkstoffentwicklung für neue Stähle und in der Erforschung von Stählen für die Automobilindustrie. Prof. Bleck ist zweifacher Träger des renommierten Charles-Hatchett-Awards der Materials Society, hält Ehrenprofessuren an der Northeastern University, Shenyang (China) und dem Shougang Research Institute of Technology, Beijing (China), und ist in Beiräten und Vorständen verschiedener nationaler wie internationaler Forschungsprojekte und -einrichtungen aktiv.

Prof. Dr. rer. pol. Stefan Bratzel, Center of Automotive Management (CAM)

Bei der generellen Marktentwicklung internationaler Absatzmärkte für Autos kommt es auf den Zeithorizont der Betrachtung an. Man sollte aktuell drei große Märkte beobachten: Asien, USA und Europa. Wenn es da gut läuft, läuft es für alle Hersteller gut.

Mit Blick auf die nächsten zehn Jahre wird dann die Entwicklung in Indien wichtiger. Zwar verläuft dort das Wachstum nicht so rasant wie in China, aber der Markt hat eine enorme Größe; schon in zwei bis drei Jahren könnte Indien Deutschland beim Autoabsatz stückzahlmäßig überholen. Auch in Südamerika liegt noch viel Potenzial, aufgrund wirtschaftlicher Probleme erschließt sich dieses aber wohl deutlich langsamer als in Asien. Afrika bleibt noch auf lange Sicht Terra Incognita, dort ist eine positive Marktentwicklung nur in bestimmten Regionen und eher mit Sicht auf die kommenden zwanzig Jahre seriös zu prognostizieren.

Speziell für das Wachstum der Elektromobilität spielen in den großen Märkten regulatorische Maßnahmen eine bedeutsamere Rolle als das allgemeine Marktwachstum. China hat es vorgemacht, dort sind Maßnahmen aber auch politisch schneller umsetzbar als beispielsweise in den USA, vor allem in der aktuellen politischen Lage unter Präsident Trump. In den USA sind weitere politische Maßnahmen zur Stärkung der alternativen Mobilität daher nicht flächendeckend, eher in einigen Bundesstaaten zu erwarten. Weitere, strengere Regularien wie Dieselvebote oder Maut-Modelle für die Hersteller dürfte es in den kommenden Jahren vor allem in Europa geben.

Leichtbau ist für Automobilhersteller ein wesentlich bedeutsameres Thema als für Endverbraucher. Der Nutzen wird demzufolge indirekt kommuniziert. Im Fokus steht dabei bislang meist die Energieeffizienz. Einen anderen Ansatz sah man zuletzt etwa bei Ford. Als der neue F-150 Pick-up in Amerika vorgestellt wurde, zielte die Kommunikation bei dem nun leichter gebauten Fahrzeug auf die Themen des geringeren Verbrauchs und der wachsenden Fahrdynamik durch niedrigeres Gewicht ab.

Zudem ist zu beachten, dass Verbraucher preissensibel sind. Für die Produktion sind die Kosten daher der zentrale Faktor. Dies gilt umso mehr, je größer die Menge der vom Hersteller produzierten Fahrzeuge ist. Leichtbau um jeden Preis wird nicht funktionieren. Letztlich sollte das leichtere Auto nicht das teurere Auto sein. Die Hersteller müssen genau abwägen: Wie verhält sich der Preis des Leichtbaumaterials im Vergleich zu dem des Materials, das ersetzt wird? Das schließt gerade im Massenmarkt bestimmte teure Materialien von vornherein aus. Dazu kommen Sicherheitsaspekte, durch die weitere Materialien ausgeschlossen werden. Im Nutzfahrzeugbereich sind die Kosten noch bedeutsamer als bei Pkw. Die Kunden im Bereich der

Nutzfahrzeuge gehen mit der Total Cost of Ownership (TCO) noch sensibler um. Hier darf Leichtbau keinesfalls die Preise erhöhen, besser umgekehrt.

Zunehmend wichtig ist beim Materialmix zudem die Gesamt-Ökobilanz. Diese wird in den kommenden fünf bis zehn Jahren immer stärker in den Fokus rücken. Hersteller beziehen also nicht nur das Gewicht und die Kosten der eingesetzten Materialien in ihre Materialentscheidung ein, auch die Recyclingfähigkeit und der Energieeinsatz bei der Produktion sind von Bedeutung.

Allgemein lässt sich in puncto Material wohl sagen, dass der Einsatz von Carbon in Extremform – wie etwa beim BMW i3 – sich überlebt hat. Das Material ist teuer, aufwändig in der Herstellung und nicht besonders gut zu recyceln. Carbon wird daher als teurer Materialextot in Zukunft eher im Luxus-Leichtbau von Supersportwagen wie bei McLaren zu finden sein, wo die Produktionskosten im Vergleich zur Massenerstellung eine untergeordnete Rolle spielen. Für den Hersteller mit großen Stückzahlen sind Produktivitätsverbesserungen entscheidend. Und da kann Leichtbau in der Masse besser mit dem rentableren Stahl oder kostengünstigeren Verbundmaterialien funktionieren.

In den nächsten fünf bis zehn Jahren sollte das von der Autoindustrie verarbeitete Stahlvolumen global betrachtet etwa auf dem aktuellen Niveau bleiben. Danach kommt es sehr stark darauf an, ob einerseits die absolute Menge an Fahrzeugen wächst oder abnimmt. Und andererseits werden unterschiedliche regionale Szenarien entscheidend sein: Ein Game Changer in dieser Hinsicht könnte es sein, wenn Städte nicht nur Dieselfahrverbote und Feinstaub-Fahrsperrungen verhängen, sondern eine City-Maut von „nicht sauberen“ Fahrzeugen verlangen. Das kann schon ab dem Jahr 2020 in Europa und China vermehrt der Fall sein.

Rund um die Elektromobilität sind in Zukunft eine große Menge neuer Geschäftsmodelle zu erwarten. Einige werden durch zukünftige, strengere Regularien gefördert werden, andere sind dem technischen Fortschritt geschuldet. Dazu zählen etwa induktives Laden oder auch autonome Fahrzeuge, die sich selbst Ladestationen suchen.

Nicht vergessen sollte man, dass die batteriebetriebene Elektromobilität, selbst wenn sie stark zunimmt, nur eines von mehreren Zukunftsszenarien darstellt. Die Brennstoffzelle und die Entwicklung synthetischer Kraftstoffe können ebenfalls ihren Platz in der zukünftigen Mobilität finden.

Nach einem Studium der Politikwissenschaft und einer Promotion im Bereich der umweltorientierten Verkehrspolitik bekleidete Prof. Bratzel verschiedene Positionen in Technologie- und Mobilitätsunternehmen. Seit dem Jahr 2004 ist er Dozent und Studiengangleiter für Automotive Management an der privaten Fachhochschule der Wirtschaft in

Bergisch Gladbeck. Zudem ist er Gründer und Direktor des Center of Automotive Management (CAM), einem unabhängigen wissenschaftlichen Institut für Automobilforschung.

Dr.-Ing. Hans-Joachim Wieland, Geschäftsführer Forschungsvereinigung Stahlanwendung e. V. (Fosta)

Die Stahlindustrie beschäftigt sich schon seit Jahrzehnten mit dem Thema Leichtbau. Einen Schub erhielt die Entwicklung durch die Vorstellung des Audi A8 im Jahr 1994, als der Premiumhersteller unter dem Dach des Volkswagen-Konzerns die weltweit erste Aluminiumkarosserie in einem Fahrzeug der Oberklasse vorstellte. Seitdem war auch dem letzten Stahlhersteller klar, dass mit dem weitaus leichteren Werkstoff Aluminium eine starke Konkurrenz auf den Markt der Autoproduktion tritt – dem auch heute noch größten Einzelmarkt der Stahlindustrie. Inzwischen geht es nicht mehr um das Motto: „Stahl oder Aluminium“, sondern „Stahl und Aluminium“. Dazu kommen noch hochwertige Kunststoffe bis hin zum hochfesten und leichten GFK, dessen Hype aber wegen seiner nach wie vor ungelösten Recyclingprobleme in jüngster Zeit deutlich abgeklungen ist.

Die Anforderungen der Hersteller an Sicherheit, Leichtbau, Verfügbarkeit, Wirtschaftlichkeit, Verarbeitungseigenschaften und Recycling steigen – die Werkstofflieferanten sind gefordert, oftmals in Kooperation mit ihren Kunden und deren Zulieferern die optimale Lösung anzubieten. Das können Mono-Werkstoffe sein oder ein Mix aus mehreren Materialien.

Bei solchen hybriden Lösungen, ein Trend, der sich fortsetzen wird, müssen die Hersteller gleichzeitig entsprechende Konzepte für die Verarbeitung und das Recycling anbieten. Bei der Produktion geht es um neue Kleb-, Füge- oder Umformtechniken, um die verschiedenen Materialien sicher zu verbinden – und bestenfalls weiteres Gewicht zu sparen. Beim Recycling geht es um die weitgehend sortenreine Aufbereitung auch geschmiedeter, mechanisch gefügter oder geklebter Teile. Diese Kompetenz ist entscheidend, um im Konkurrenzkampf bestehen zu können. Es reicht schon lange nicht mehr, nur die entsprechenden Werkstoffe mit ihren speziellen Eigenschaften anzubieten.

Von dieser Kompetenz in Richtung Leichtbau profitiert die Elektromobilität. Auch hier geht es darum, die Karosserie und den Antriebsstrang leichter zu machen. Dies kann dazu dienen, die Reichweite von Pkw zu erhöhen und in einem anderen Anwendungsfeld die Nutzlast von Transportern sowie kleineren Lastwagen im Nahbereich zu erhöhen.

Die Stahlindustrie hatte über die Entwicklung hochfester Stähle in den vergangenen Jahren einen wesentlichen Anteil an der Entwicklung im Leichtbau. Viele Fahrzeugkomponenten aus

dem Werkstoff wiegen heute bis zu einem Drittel weniger als noch vor 20 Jahren – bei mindestens gleichwertigem, oftmals sogar höherem Sicherheitsniveau im Unglücksfall. Schon heute werden Stahlsorten bis zu einer Zugfestigkeit von 1400 Megapascal in Fahrzeugen verbaut.

Diese Entwicklung zu immer höheren Festigkeiten ist zwar technisch längst noch nicht abgeschlossen, muss sich aber Fragen nach der Wirtschaftlichkeit bei der Herstellung und Verarbeitung stellen. So gibt es Berechnungen, dass die Reichweite eines Elektrofahrzeugs um acht Kilometer steigt, wenn es 100 Kilogramm weniger auf die Waage bringt. Mit steigendem Fortschritt wird es aber immer teurer, auch kleine Reichweitzuwächse über die Gewichtseinsparnis zu erzielen.

Es ist unbestritten, dass hochfester Stahl im Vergleich zum Hauptkonkurrenten Aluminium noch immer erhebliche Kostenvorteile hat. Das betrifft sowohl die Herstellung als auch die Weiterverarbeitung. Auch stellt sich beim Recycling nicht die Frage der Sortenreinheit: Hochfeste Stähle lassen sich mit anderen Sorten problemlos einschmelzen und wiederverwerten. Aluminium dagegen muss sortenrein gesammelt und eingeschmolzen werden, um den Qualitätsstandard zu halten.

Ein wichtiges Einsatzgebiet hochfester Stähle in Elektrofahrzeugen dürfte der Batteriekasten sein. Dieser muss zwar variabel und leicht, gleichzeitig aber auch aufprallsicher sein. Bei einem Unfall dürfen die Batteriezellen nicht beschädigt werden, um einen Kurzschluss und damit einen Brand des Fahrzeugs zu vermeiden. Der Einsatz hochfester Stähle bietet sich auch aus Produktionsgründen an, da sie variabel zu unterschiedlich großen Batteriekästen je nach Anforderung der Hersteller geschweißt werden können. Sollten solche Batteriekästen irgendwann genormt sein, böte sich auch das Tiefziehen solcher Behälter wie bei einer Küchenspüle beispielsweise aus säurefestem Edelstahl an. Dies lohnt sich allerdings nur bei hohen Stückzahlen, individuelle Lösungen bietet die Schweißkonstruktion. Auch die Aluminiumhersteller arbeiten an Konzepten für die Batteriekästen als zentrales Teil der Untergruppe eines Elektrofahrzeugs. Es gilt die Annahme, wer den Batteriekasten liefert, dürfte auch den Werkstoff für das Chassis beisteuern – ein wichtiger wirtschaftlicher Aspekt.

Die größte Hoffnung auf Erhöhung der Reichweite von Elektrofahrzeugen liegt aber trotz der Diskussion um das Gewicht von Fahrzeugen auf der Weiterentwicklung des Elektromotors, insbesondere des magnetischen Elektrobandes. Damit ließe sich der Wirkungsgrad verbessern. Zwar gilt das nicht kornorientierte Elektroband technologisch als ausgereift, über neue Legierungen oder Verarbeitungsmethoden ließe sich aber noch die Effizienz erhöhen. Dazu könnte auch die Forschung am Rechner beitragen, wenn neue Sorten und deren Eigenschaften

virtuell durchgespielt und neue Designs erstellt werden, bevor es in die technische Erprobung geht.

Noch nicht abschließend durchgerechnet ist die Rolle des Rekuperationseffektes. So fließt die Energie beim Bremsen eines Fahrzeuges in die Batterie zurück und erhöht die Reichweite. Dadurch, dass dieser Effekt sich mit dem Gewicht eines Fahrzeuges verstärkt, bräuchte der Leichtbau nicht auf die Spitze getrieben werden, auch aus wirtschaftlichen Gründen.

Ein wichtiger Aspekt der Elektromobilität ist der Einsatz in kleineren Nutzfahrzeugen oder Transportern im Nahbereich. Das Beispiel der Deutschen Post mit dem Streetscooter zeigt, wie schnell ein Wandel einsetzen kann – und wie groß der Markt ist. Elektrofahrzeuge sind für Transportdienste oder Handwerker ideal: Die Reichweite ist nicht das zentrale Argument – viele Fahrzeuge fahren ohnehin nur bis zu 100 Kilometer im Umkreis. Nachts können diese Transporter problemlos auf dem Werksgelände aufgeladen werden. Der Nutzen eines Umstiegs auf Elektroantriebe für die Umwelt wäre groß, da es sich bisher weitgehend um Dieselfahrzeuge handelt. Der Aufwand ist vertretbar: Das Gewicht und die Größe der Batterie spielt bei den größeren Fahrzeugen eine weniger wichtige Rolle als beim Pkw. Lediglich das Chassis müsste verstärkt werden, wenn ein Elektromotor zum Einsatz käme. Der Einsatz hochfester Stähle oder Aluminiumprofile sorgt dafür, dass die Nutzlast bei elektrisch angetriebenen Nutzfahrzeugen nicht oder nur geringfügig geschmälert wird.

Von besonderem Interesse für die Stahlindustrie ist aktuell die Nutzung von Hybridlösungen mit einem zusätzlichen Elektromotor neben dem konventionellen Verbrenner. Zwei Antriebslösungen bedeuten mehr Bauteile aus Stahl für den Elektromotor und die Übertragungsteile für das Getriebe. Viele Experten gehen davon aus, dass solche hybride Fahrzeuge die Übergangslösung auf dem Weg ins Zeitalter der elektrischen Antriebe sein werden. Das gilt insbesondere mit Blick auf die weltweite Entwicklung: Der Bedarf an Mobilität steigt, gerade in den Schwellenländern.

Neben dem konventionellen Antrieb wird es Zwischenlösungen wie Hybride oder die Brennstoffzelle geben, daneben steigt der Anteil reiner Elektrofahrzeuge. Stahl wird in allen diesen Konzepten gebraucht. Nimmt die Nachfrage in einem Segment ab, steigt sie in einem anderen.

Von entscheidender Bedeutung für die Stahlindustrie ist neben dem Einsatz in der Automobilproduktion auch ein indirekter Effekt des Trends zur Elektromobilität: Der benötigte Strom für den elektrischen Verkehr soll zunehmend aus erneuerbaren Quellen wie Solarenergie oder Windkraft gewonnen werden. Ob Windkraftanlagen, Solarfarmen oder Leitungen für den

Transport des grünen Stroms – Stahl ist ein zentraler Werkstoff für die Infrastruktur, eine Substitution durch andere Werkstoffe ist nicht absehbar.

Dr.-Ing. Hans-Joachim Wieland ist seit dem 1.1.2005 Geschäftsführer der Forschungsvereinigung Stahlanwendung e. V. (Fosta). Er ist Leiter des Teams Werkstoffe/Anwendungen im Stahlinstitut VDEh sowie Leiter des Fachbereichs Werkstofftechnik/Prüftechnik und stellvertretender Leiter des Geschäftsfeldes Technik des Stahlinstituts VDEh im Stahl-Zentrum Düsseldorf.

Der Fosta e.V. ist eine gemeinnützige und rechtlich selbstständige Forschungsvereinigung innerhalb der Stahlindustrie. Er ist Partner für die Förderung und die Projektierung von gemeinschaftlicher und vorwettbewerblicher Stahl-Anwendungsforschung. Seine Aufgabe ist das ganzheitliche Management von Forschungsvorhaben von der Ideenfindung bis zum Ergebnistransfer.

Dirk Breuer, Toyota

Bei der Mobilität der Zukunft sind zwei große Trends zu beachten. Auf der einen Seite wird es Veränderungen des Antriebsstranges geben, an die Stelle des Verbrennungsmotors treten zunehmend alternative Antriebe. Auf der anderen Seite wird das autonome Fahren von Bedeutung sein. Einen Ausblick auf die Entwicklung der Autoindustrie der kommenden Jahrzehnte kann man nur geben, wenn man beide Entwicklungen berücksichtigt.

Die Dominanz des Verbrennungsmotors wird sich überleben, dies ist die Technologie der Vergangenheit. Alternative Antriebe werden zunehmend an dessen Stelle treten. Dabei setzt die europäische Autoindustrie sehr intensiv auf batterieangetriebene Elektromotoren. Ob es sinnvoll ist, primär auf diese Technik zu setzen, sollte allerdings hinterfragt werden. Besonders für den Langstreckenverkehr in der Fläche ist diese Art des Antriebs nicht effizient. Die Versorgungsinfrastruktur für Strom muss deutlich ausgebaut werden. Bedenkt man etwa die deutlich steigende Stromnachfrage an Autobahnraststätten in wenig bewohnten Landesteilen, ist dies mitunter mit einem hohen Aufwand verbunden. Hier kann man an Volumengrenzen der Stromversorgung stoßen, ganz besonders dann, wenn auch der schwere Lastverkehr in diese Elektrifizierungsstrategie einbezogen würde. Hinzu kommt der hohe Energieaufwand für das Kühlen der Ladesäulen.

Effizienter kann die Verwendung von Wasserstoff in Fahrzeugen sein, die mit Brennstoffzellen ausgestattet sind. Wird dieses Thema in Europa derzeit eher nachrangig im Schatten der Weiterentwicklung der Dieselschiffstechnologie und der Verbreitung batterieelektrischer Motoren behandelt, wird der Wasserstoffantrieb in Asien massiv vorangetrieben. Stärkere weltweite Aufmerksamkeit könnte das Thema durch ein groß angelegtes Showcase erhalten, das gerade in Japan vorbereitet wird: Bei den olympischen Sommerspielen in Tokio im Jahr 2020 soll aller

zusätzlicher Verkehr, der auf die olympischen Spiele zurückgeht, mit brennstoffzellenbetriebenen Fahrzeuge aufgefangen werden. Gleichzeitig wird die Energieversorgung des olympischen Dorfes über Brennstoffzellen gewährleistet, womit ein weiteres zentrales Einsatzgebiet dieser Technologie große Aufmerksamkeit erfahren wird.

Dabei wird aber nicht nur die bestehende Technik in den Mittelpunkt des öffentlichen Interesses gerückt, auch technische Weiterentwicklungen werden im Rahmen der Pilotanwendung bei den olympischen Spielen vorangetrieben. Dabei ist vor allem die Verwendung der Flüssigkeit LOHC als Wasserstoffspeicher zu nennen. Die Idee dahinter ist, dass die Flüssigkeit Wasserstoff als Gas bindet, etwa wie Kohlensäure in Wasser gebunden werden kann. Das Volumen des Wasserstoffs kann damit auf ein Sechstel reduziert werden und lässt sich über eine bestehende Transportinfrastruktur über Tankschiffe, Züge und Lkw in Fässern transportieren und aufbewahren. In China ist diese Technologie bereits in Bussen im Einsatz. Mit rund 100 Liter Flüssigkeit lassen sich derzeit etwa 300 Kilometer zurücklegen.

Bei dieser Art der Speicherung ist der Sicherheitsaspekt relevant: Bei Raumtemperatur ist dieses Gemisch nicht brennbar. Somit könnte Wasserstoff über Solarenergie in sonnenreichen Staaten hergestellt und über bestehende Transportwege global verteilt werden. Für die olympischen Spiele in Japan etwa soll Wasserstoff aus Brunei geliefert werden. Dies wirft ein Schlaglicht auf die Einsatzmöglichkeit von Wasserstoff als Speichermedium: Die nachhaltige Stromerzeugung ist auf ein solches Medium angewiesen, um erzeugungsstarke und -schwache Phasen auszubalancieren. Hier bietet sich Wasserstoff nach derzeitigen Erkenntnissen als vielversprechendste Lösung an.

Die technischen Möglichkeiten und Vorteile der Effizienz verpasst die europäische Autoindustrie weitgehend. Hier liegt eher ein kulturelles als ein technisches Problem vor: Man ist auf der einen Seite nicht bereit, sich vom herkömmlichen Verbrenner zu trennen, auf der anderen Seite läuft man bei der Entwicklung alternativer Antriebe vor allem hinter dem prominenten Vorbild Tesla her und droht damit in der internationalen Autoindustrie in die zweite Reihe zu rutschen.

Die Zulieferindustrie in Europa ist hier flexibler in ihrer Entwicklung als die Hersteller selbst, treibt neue Technologien voran und entwickelt gar eigene Fahrzeug-Studien. Allerdings wird sie wohl in starker Abhängigkeit der europäischen Hersteller bleiben und damit auf den Erfolg ihrer Anpassung an neue Technologien bauen müssen. Das Zuliefermodell in Asien ist nämlich ein anderes: Hier setzen Hersteller wesentlich stärker auf interne Entwicklungen, um die Vor- und Nachteile der Technik besser zu verstehen und so ein gut abgestimmtes Fahrzeug aus einer Hand anbieten zu können. Damit vermeiden sie die in der europäischen Fahrzeugindustrie ausgeprägten Reibungsverluste.

Das Thema Leichtbau ist in der Automobilindustrie von hoher Relevanz, unabhängig vom Antrieb. Die Reduktion von Gewicht ist ein wichtiges Thema für alle Hersteller. Besonders bei Teilen, die nicht crashrelevant sind, können alternative Leichtbau-Werkstoffe eingesetzt werden. Dies ist aber eher ein Thema der Premiumhersteller: Bei Massenherstellern wie Toyota spielt die Wirtschaftlichkeit jedes Eingriffs in die Produktion eine entscheidende Rolle, da die Käufer sehr preissensitiv sind. Es wird also nicht versucht, Gewicht um jeden Preis zu reduzieren. Alternative Werkstoffe werden nur relevant, wenn diese in der Produktion genauso schnell, effizient und ohne Kostenaufschläge verarbeitet werden können. Daher sind hochfeste Stähle die bedeutendsten Werkstoffe in diesem Segment. Zwar werden die Möglichkeiten anderer Werkstoffe getestet und die Entwicklung beobachtet, auf absehbare Zeit ist allerdings eine Abkehr von Stahl als dominantem Werkstoff nicht zu erwarten.

Ein Game Changer für die gesamte Industrie und damit auch für die Auswahl der Werkstoffe könnte die Durchsetzung des autonomen Fahrens sein. Wenn der gesamte Verkehr autonom ist, keine menschlichen Fahrer mehr beteiligt sind, wird auch die Unfallwahrscheinlichkeit auf ein Minimum reduziert werden. Dadurch werden die noch heute sehr hohen Anforderungen an die Crashesicherheit der Fahrzeuge entfallen. Dann könnten Kunststoffe, die etwa in einem verstärkten Einsatz von 3D-Druckverfahren in der Fahrzeugindustrie genutzt werden können, ins Zentrum der Produktion rücken.

Die Umsetzung eines solchen vollautonomen Verkehrs ist etwa für den Zeitraum 2040 – 2050 zu erwarten, lässt sich allerdings kaum genau prognostizieren, da viele – teils entgegengesetzt wirkende – Einflüsse zu beachten sind.

Die technischen Möglichkeiten sind dabei kein Bremsfaktor. Schon zu Beginn des kommenden Jahrzehnts werden etwa die Autos von Toyota mit einer Software ausgestattet sein, die das autonome Fahren auf Autobahnen direkt ermöglicht, „Chauffeur Modus“ genannt. Beim Selbstfahren sorgt die Sensorik außerdem mit dem „Guardian Mode“ für eine bestmögliche Unterstützung des Fahrers. Eine Freischaltung auch für den innerstädtischen Verkehr in den Folgejahren erfolgt dann lediglich über Softwareupdates.

Die relevante Frage ist eher, wie stark die Bereitschaft zur Umsetzung ausgeprägt ist. Derzeit gibt es weltweit rund 3500 Verkehrstote täglich. Setzt sich das Verständnis, dass vollautonomes Fahren die Unfallwahrscheinlichkeit Richtung null drückt und damit viele Menschenleben geschützt werden können, durch, könnte der politische Wille zur Umsetzung deutlich stärkeren Einfluss nehmen. Auch Versicherungen können diesen Prozess vorantreiben, etwa, wenn sie Risikoaufschläge verlangen, falls Versicherte ihr Fahrzeug manuell steuern – mit dem Nebeneffekt allerdings, dass sie damit die Durchsetzung einer Technik unterstützen würden, die

sie eines Tages obsolet macht. Gibt es keine Unfälle mehr, braucht es auch keine Kfz-Versicherungen.

So läuft die Frage, wann sich das autonome Fahren durchsetzt, vor allem auf den kulturellen Aspekt hinaus. Wann sind Fahrer bereit, auf das manuelle Fahren zu verzichten – und zwar nicht nur auf ausgewählten Strecken, sondern immer und alle. Denn solange es noch menschliche Fahrer gibt, wird das volle Potenzial des vernetzten, autonomen Verkehrs nicht abgerufen werden können.

Hier sind heranwachsende Autofahrer-Generationen die Treiber der Entwicklung: Schon heute kann beobachtet werden, dass junge Autokäufer weniger auf klassische Leistungsmerkmale von Autos achten, sondern verstärkt auf die Aspekte Vernetzung, Software und Entertainment. Der Wille, autonom zu fahren, ist ausgeprägter.

Nach zwölf Jahren bei Mercedes wechselte der Kfz-Meister Dirk Breuer im Jahr 1991 als Trainer für Technik und Verkauf zu Toyota. Seit dem Jahr 2007 ist er bei Toyota Pressesprecher Technik/Advisor Advanced Technology. Seine zentralen Kompetenzfelder sind Motoren, Getriebe und die Antriebstechnik, zudem Elektronik und Fahrassistenzsysteme sowie das autonome Fahren.

Franz W. Rother, Chefredakteur Edison

Die Elektromobilität ist eine entscheidende Komponente der Mobilität der Zukunft. Im Dreiklang Automatisierung, Elektrifizierung und Vernetzung wird sich eine Form von Mobilität entwickeln, die für viele heute noch nicht vorstellbar erscheint. Ausgangspunkt ist dabei nicht mehr der Besitz von Pkw, durch den Kunden sich Zugang zu Mobilität verschaffen. Die Herangehensweise wird umgedreht: Von einem Mobilitätsbedürfnis ausgehend wird das passende Fahrzeug als Mittel zum Zweck ausgewählt.

Die Sharing Economy, also die punktuelle Nutzung eines Gutes anstelle des dauerhaften Besitzes, ist heute von wachsender Bedeutung in der Automobilindustrie. Dies wird weiter zunehmen, angetrieben auch durch die Entwicklung des autonomen Fahrens. Vollständig autonom fahrende Autos (Level 5) könnten ab 2025-2030 auf europäischen Straßen unterwegs sein und als Sharing-Fahrzeuge permanent in Bewegung bleiben.

Dies wird gleichzeitig neue Designkonzepte begünstigen, die in der Elektromobilität durch den Wegfall des für den konventionellen Antrieb benötigten Fahrzeugaufbaus möglich werden. Hier wird sich der Pkw-Markt in zwei Segmente aufteilen: Auf der einen Seite stehen die Funktionsfahrzeuge: Neue, ungewohnte Fahrzeugkonzepte, die genutzt werden, um

Mobilitätsbedürfnisse zu stillen. Auf der anderen Seite stehen Erlebnisfahrzeuge, die sich im Design eher am konventionellen Fahrzeugbau orientieren.

Bis es zur vollständigen Umsetzung dieser „neuen Mobilität“ kommt, wird es aber noch viele Jahre und Entwicklungsschritte dauern. Ein erster Schritt ist die stärkere Durchsetzung alternativer Antriebe. Dies wird im Augenblick auf mehreren Ebenen gebremst: Noch ist die Produktpalette an elektrischen Fahrzeugen klein und konzentriert sich stark auf Kleinwagen und die Luxusklasse, während die alltags- und familientaugliche Mitte kaum bedient wird. Dies wird sich ändern. Sind im Jahr 2018 rund 35 Elektroauto-Modelle in Deutschland verfügbar, werden es im Jahr 2019 schon rund 100 sein. Gleichzeitig werden die noch hohen Preise für Autos mit alternativen Antrieben zurückgehen. Auch die Ladeinfrastruktur wird bei gleichzeitig verbesserten Reichweiten der neuen Batteriegenerationen ausgebaut – das in der Praxis schon heute kaum noch relevante Argument der Reichweitenangst wird weiter an Bedeutung verlieren.

Der europäischen Automobilindustrie stehen harte Jahre bevor: Sie hat es lange versäumt, sich alternativen Antrieben zu öffnen und bei der Senkung von CO₂-Emissionen auf den Diesel gesetzt. Nun hat sie den Anschluss bei entscheidenden Technologien wie der Batterie- und Zelltechnik verloren und ist auf Zulieferer aus Asien und Nordamerika angewiesen, was zu wirtschaftlichen Abhängigkeiten, fehlender Flexibilität und damit aktuell langen Lieferzeiten führt. Hier liegt eine Hoffnung Europas darin, die Forschung auf diesem Gebiet auf die zweite und dritte Generation von Batterien zu fokussieren, um im nächsten Entwicklungsschritt verlorenen Boden gutzumachen.

Die europäischen Zulieferer teilen sich bei ihrer Reaktion auf die zunehmende Elektrifizierung in zwei Gruppen auf: Gerade große Tier-1-Zulieferer haben sich frühzeitig auf die neuen Anforderungen eingestellt, agieren heute etwa als Zulieferer für asiatische Hersteller von Elektrofahrzeugen und entwickeln zum Teil sogar eigene Konzepte der Fahrzeugherstellung. Vor größeren Herausforderungen stehen die nachgelagerten Tier-2- und Tier-3-Zulieferer: Diese liefern einzelne Spezialteile, die für den konventionellen Motorbau von Relevanz sind, und fahren damit aktuell noch gut – die Entwicklung einer längerfristig nachhaltigen Strategie wird dabei aber nicht selten verschlafen.

Durch die Entwicklung immer leistungsfähigerer Elektroautos ist der Trend zum Ultraleichtbau für die Elektromobilität erst einmal vorbei und es ist im Moment auch nicht absehbar, dass sich das in Zukunft noch einmal umkehrt. Stahl, der noch vor zehn Jahren keine Zukunft im Automobilbereich zu haben schien, ist der Gewinner dieser Entwicklung: Nicht nur sind Hersteller vom Ziel der ultraleichten Fahrzeuge um jeden Preis abgerückt, auch hat die Stahlindustrie mit der Entwicklung hochfester Stähle einen immensen Entwicklungssprung gemacht, während andere Werkstoffe, etwa Carbon, die in sie gesetzten Hoffnungen durch zu

hohe Kosten nie erfüllen konnten. Die Zukunft liegt in einem intelligenten Werkstoffmix zumeist aus Stahl und Aluminium und für Spezialanwendungen auch Carbon oder Magnesium. Edelstähle, Titan oder andere Werkstoffe werden eher für exotische Spezialkonstruktionen eine Rolle spielen.

Ein Nebeneinander wird es auch beim Antriebsstrang geben: Nicht nur wird der Verbrennungsmotor noch viele Jahre relevant sein, gerade für schwere Lastfahrzeuge, da die Batterien für einen Elektroantrieb zu schwer wären. Auch werden Stromer bedeutender werden und die Brennstoffzelle wird ebenfalls eine große Rolle spielen. Die Verbreitung dieser Technologien ist dabei auch eine politische und kulturelle: In Frankreich etwa wird die Brennstoffzelle kaum gefördert. Dies liegt darin begründet, dass ein großer Teil des Stroms aus der Kernenergie stammt – die Umwandlung in Wasserstoff ist damit wirtschaftlich kaum sinnvoll. Anders stellt es sich etwa in Deutschland oder Österreich dar, wo verstärkt auf regenerative Formen der Energiegewinnung gesetzt wird. Diese stellen die Anbieter vor die Herausforderung, dass die Energiegewinnung nicht immer konstant gewährleistet werden kann. Überschüsse werden heute häufig zu extrem niedrigen Preisen exportiert. Wasserstoff bietet eine Möglichkeit zur Zwischenspeicherung, wodurch der Antrieb per Brennstoffzelle ein interessanteres Konzept ist. Auch hier gilt: Noch sind die Preise für Fahrzeuge mit Brennstoffzellen-Antrieb sehr hoch, die Produktpalette ist klein und die Ladeinfrastruktur kaum ausgebaut – all dies wird sich in den kommenden Jahren allerdings ändern.

Insgesamt steht die Mobilität gerade vor weitreichenden Veränderungen und der Elektroantrieb ist dabei ein entscheidender Faktor. Wie schnell sich diese Veränderungen in der Masse durchsetzen, ist dabei weniger eine technische als mehr eine psychologische Frage: Alte Denkmuster und Vorstellungen von Mobilität müssen aufgegeben werden. Dies gilt für Kunden genauso wie für Hersteller – ob Automobilhersteller, Zulieferer oder Werkstoffproduzenten. Welche Anbieter sich dabei zukünftig durchsetzen und wie die Rolle der europäischen Industrie aussieht, lässt sich heute noch nicht abschließend erkennen. Es ist nicht von der Hand zu weisen, dass die deutsche Automobilindustrie in ihrer ganzen Breite bei Zukunftsthemen in einer Schwächephase steckt, sie verfügt allerdings über das Know-how, dies aufzuholen, wenn sie dazu gewillt ist.

Franz W. Rother begleitet die Entwicklungen der Automobilindustrie seit vielen Jahren als Journalist. Nach einer Station als Reporter beim Kölner Stadt-Anzeiger war er ab 1990 Reporter und Ressortleiter bei der Auto-Zeitung. 1993 wurde er stellvertretender Ressortleiter bei der Wirtschaftswoche, ehe er von 2001 bis 2006 Chefredakteur der AutomobilWoche war. 2006 kehrte er als Ressortleiter und später stellvertretender Chefredakteur zur Wirtschaftswoche zurück. Seit 2016 ist er Chefredakteur des Magazins Edison, dessen thematischer Schwerpunkt auf der Elektromobilität liegt.

Fazit

Innovationen im Verkehrssektor sind ein Schlüssel zur Senkung von CO₂-Emissionen, die ein zentrales Ziel im globalen Kampf gegen den Klimawandel darstellt. Haben die großen Automobilhersteller bei der Senkung von Emissionen lange Zeit auf die Weiterentwicklung von Verbrennungsmotoren gesetzt, wird die Elektromobilität seit einigen Jahren immer wichtiger. Bedeutende Hemmnisse bei der Verbreitung alternativer Antriebe, wie höhere Anschaffungspreise, eine geringe Produktpalette, geringe Reichweiten und ein unzureichendes Ladenetz, werden zunehmend überwunden. Der Durchbruch alternativer Antriebe wird laut übereinstimmender Expertenmeinungen in der kommenden Dekade erwartet.

Diese Entwicklung stellt die Automobilindustrie vor neue Herausforderungen. Elektromotoren sind weit weniger komplex als Verbrennungsmotoren. Vor allem die europäische Automobilindustrie, die mit weltweit führenden Herstellern und einer breiten Zulieferindustrie im Bereich der konventionellen Mobilität zu einem der bedeutendsten Produktionsmärkte der Welt geworden ist, wird ihren Wettbewerbsvorteil verlieren. Die Entwicklung alternativer Antriebe wurde lange herausgezögert, Wertschöpfungsketten und Produktionslinien sind sehr stark auf Verbrenner ausgelegt. China und über den Technologieführer Tesla mit Abstrichen auch die USA sind auf dem Gebiet der batteriebetriebenen Mobilität wesentlich weiter, Japan bei der Brennstoffzelle. Hier werden sich globale Wertschöpfungsketten neu ordnen.

Leichtbau ist eine zentrale Komponente der Automobilindustrie, sowohl zur Effizienzsteigerung bei konventionell angetriebenen Wagen als auch in der Elektromobilität. Beim Elektroantrieb gab es in den vergangenen Jahren einen Trend zur maximalen Gewichtsreduktion: Mit der Verwendung ultraleichter Werkstoffe wie Aluminium oder Carbon sollte das Gewicht der Fahrzeuge so weit wie möglich reduziert werden. Mittlerweile hat sich diese Entwicklung wieder relativiert, wofür drei zentrale Gründe angeführt werden können: Erstens haben Werkstoffe wie Aluminium und vor allem Carbon zwar die Möglichkeiten der Gewichtsreduktion im Fahrzeugbau erweitert, die Produktion ist aber relativ teuer, die Recyclingfähigkeit in der Praxis nicht auf dem erhofften Niveau. Zweitens haben Stahlhersteller und -forscher mit der Entwicklung einer Vielzahl von hochfesten Stählen große Fortschritte gemacht. Damit bieten sie aus Sicht vieler Automobilproduzenten heute das beste Werkstoff-Paket im Zusammenspiel Gewichtsreduktion, Life-Cycle-Assessment und Wirtschaftlichkeit. Drittens ist die Gewichtsreduktion bei Elektrofahrzeugen ein wenig in den Hintergrund gerückt, da zum einen die Batterietechnik besser geworden ist, zum anderen durch die Rekuperation Energie beim Bremsen zurückgewonnen werden kann, wodurch ein höheres Fahrzeuggewicht zum Teil ausgeglichen werden kann.

Praktisch alle großen europäischen Stahlhersteller bringen sich derzeit in Stellung, um mit ihren Innovationen beim Boom der Elektromobilität mitmischen zu können. Im harten Wettbewerb mit asiatischen Stahlkonzernen ist eine Spezialisierung auf besonders hochwertige Produkte ohnehin eine vielversprechende Strategie: Hersteller aus Industrieländern müssen besser und spezialisierter sein, um ihre Kostennachteile gegenüber Herstellern aus den Schwellenländern bei der Commodity-Herstellung ausgleichen zu können.

Literatur

- ADAC (2017): Elektroauto im Dauertest. ADAC Test 07/2017.
https://www.adac.de/infotestrat/tests/auto-test/nissan_leaf_dauertest/default.aspx (abgerufen am 25.4.2018)
- Adolf, J., Balzer, C., Joedicke, A., Schabla, U., Wilbrand, K., Rommerskirchen, S., Anders, N., Auf der Maur, A., Ehrentraut, O., Krämer, L., Straßburg, S. (2014): Shell Pkw-Szenarien bis 2040. Fakten, Trends und Perspektiven für die Auto-Mobilität. Shell Deutschland und Prognos AG, 2014.
- Adolf, J., Balzer, C., Louis, J., Schabla, U., Fishedick, M., Arnold, K., Pastowski, A., Schüwer, D. (2017): Energie der Zukunft? Nachhaltige Mobilität durch Brennstoffzelle und H₂. Shell Wasserstoff-Studie. Shell Deutschland, Wuppertal Institut. Hamburg.
- Amsterdam Roundtables Foundation and McKinsey (2014): EVolution: Electric Vehicles in Europe: Gearing up for a New Phase? The Netherlands, April 2014.
- Baumann, U., Hebermehl, G. (2018): 800 Kilometer im elektrischen Sattelschlepper? Auto, Motor und Sport, 5.1.2018. <https://www.auto-motor-und-sport.de/tuning/tesla-semi-truck-2017-daten-fotos-marktstart-des-elektro-lkw/> (abgerufen am 25.4.2018)
- Bertram, M., Buxmann, K., Furrer, P. (2009). Analysis of Greenhouse Gas Emissions Related to Aluminium Transport Applications. The International Journal of Life Cycle Assessment, 14(1), 62-69. In Gesamtverband der Aluminiumindustrie: Leichtbau ist klimafreundlich.
- Brünglinghaus, C. (2013): Kunststoffe im Automobil. Springer Professional, 25.2.2013.
<https://www.springerprofessional.de/elektromobilitaet/leichtbau/kunststoffe-im-automobil/6562302> (abgerufen am 25.4.2018)
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (2009): Die EU-Verordnung zur Verminderung der CO₂-Emissionen von Personenkraftwagen.
http://www.bmu.de/fileadmin/bmu-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/eu_verordnung_co2_emissionen_pkw.pdf (abgerufen am 25.4.2018)
- Bundesregierung (2017): Sofortprogramm für saubere Luft. Pressemitteilung 30.11.2017.
<https://www.bundesregierung.de/Content/DE/Infodienst/2017/11/2017-11-30-kommunalgipfel/2017-11-30-saubere-luft-in-den-staedten.html> (abgerufen am 25.4.2018)
- Commerzbank (2018): Branchenreport: Automobilzulieferer in Deutschland.
- Daimler (2017a): Joint Venture aus BMW Group, Daimler AG, Ford Motor Company und Volkswagen Konzern mit Audi und Porsche gegründet: IONITY – Paneuropäisches High-Power-Charging-Netzwerk ermöglicht Elektromobilität auf Langstrecken. Pressemitteilung 3.11.2017.
- Daimler (2017b): Urbane Mobilität: Hamburg und Daimler AG intensivieren Partnerschaft. Pressemitteilung, 19.5.2017. <http://media.daimler.com/marsMediaSite/de/instance/ko/Urbane->

- Mobilitaet-Hamburg-und-Daimler-AG-intensivieren-Partnerschaft.xhtml?oid=17429336 (abgerufen am 25.4.2018)
- Dallner, C., Zeiher, V. (2011): Das Elektroauto: Leichtbau und mehr, in Kunststoffe, 03/2011.
- Deloitte (2017): The Future of the Automotive Value Chain 2025 and Beyond.
- Dierig, C. (2017): Tesla und Co. retten die Stahlindustrie. Welt, 30.8.2017.
https://www.welt.de/print/die_welt/wirtschaft/article168124433/Tesla-und-Co-retten-die-Stahlindustrie.html (abgerufen am 25.4.2018)
- Dinsmore, E. (2018): Electric Vehicles to Transform Aluminium Demand. CRU Knowledge and Insights, 15.2.2018.
- Ecomento (2017): Stahlgehäuse soll Elektroauto-Batterien sicherer machen. 10.11.2017.
<https://ecomento.de/2017/11/10/stahlgehaeuse-soll-elektroauto-batterien-sicherer-machen/> (abgerufen am 25.4.2018)
- Eichsteller, M. (2017): Welche Gefahren birgt ein Elektroauto bei einem schweren Unfall.
emobilitaetblog, 2017, <https://emobilitaetblog.de/welche-gefahren-birgt-ein-elektroauto-bei-einem-schweren-unfall/> (abgerufen am 25.4.2018)
- Eckert, D. (2017): Ein See in Bolivien entscheidet über Deutschlands Zukunft. Die WELT, 31.7.2017,
<https://www.welt.de/wirtschaft/article167189184/Ein-See-in-Bolivien-entscheidet-ueber-Deutschlands-Zukunft.html> (abgerufen am 25.4.2018)
- Erriquez, M., Morel, T., Mouliere, P., Schäfer, P. (2017): Trends in electric-vehicle design. McKinsey Insights, 2017, <https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/trends-in-electric-vehicle-design> (abgerufen am 25.4.2018)
- Erich, M., Witteveen, J. (2017): Breakthrough of electric vehicle threatens European car industry, ING Economics Department, July 2017.
- Europäische Kommission (2017): Neue und verbesserte Tests für Kraftfahrzeugemissionen ab dem 1. September Pflicht. Pressemitteilung 31.8.2017. https://ec.europa.eu/germany/news/20170831-Kraftfahrzeugemissionen-EU_de (abgerufen am 25.4.2018)
- European Environment Agency (2016a): Electric vehicles and the energy sector - impacts on Europe's future emissions.
- European Environment Agency (2016b): Electric Vehicles in Europe. Copenhagen, 2016.
- Festag, A., Rehme, M., Krause, J. (2016): Studie Mobilität 2025 - Koexistenz oder Konvergenz von IKT für Automotive? Anforderungen der vernetzten Mobilität von morgen an Fahrzeuge, Verkehrs- und Mobilfunkinfrastruktur. VDE Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e. V. Geschäftsstelle der Begleitforschung IKT für Elektromobilität II, Januar 2016.

- Finus, F., Seit, J. (2017): Steel: Weight and Cost Optimized Battery Housing. Spotlightmetal, 2017, <https://www.spotlightmetal.com/steel-weight-and-cost-optimized-battery-housing-a-666506/> (abgerufen am 25.4.2018)
- Frankfurter Allgemeine Zeitung (online) (2017): 800 Millionen für europaweite Elektroauto-Ladestationen. 8.11.2017. <http://www.faz.net/aktuell/wirtschaft/eu-kommission-will-ladestationen-fuer-elektroautos-foerdern-15282687.html> (abgerufen am 25.4.2018)
- Fraunhofer (2011): Crashesicherer Batterieschutz für Elektroautos. Mediendienst 1.9.2011. <https://www.fraunhofer.de/de/presse/presseinformationen/2011/september/batterieschutz.html> (abgerufen am 25.4.2018)
- Friedrich, H. (Hrsg.) (2017): Leichtbau in der Fahrzeugtechnik. Springer.
- Fuhrpark & Management (2018): Leichtbau verliert an Bedeutung. <https://www.fuhrpark.de/leichtbau-verliert-an-bedeutung>
- Götze, U. (2013): Strukturverschiebungen in der Wertschöpfungskette innerhalb des Automobilsektors. Technische Universität Chemnitz, 20.2.2013.
- Grotelüschen, F. (2018): Elektromobilität – Deutschland sucht den Superakku. Deutschlandfunk, 2018, http://www.deutschlandfunk.de/elektromobilitaet-deutschland-sucht-den-superakku.740.de.html?dram%3Aarticle_id=412575. (abgerufen am 25.4.2018)
- Hajek, S. (2017): Hält das Stromnetz dem E-Auto-Boom stand? Wirtschaftswoche, 29.8.2017. <https://www.wiwo.de/technologie/mobilitaet/elektromobilitaet-haelt-das-stromnetz-dem-e-auto-boom-stand/20231296-all.html> (abgerufen am 25.4.2018)
- Handelsblatt (2017): Lastwagen mit Strom aus Oberleitung. Handelsblatt Online, 18.12.2017. <http://www.handelsblatt.com/unternehmen/industrie/startschuss-fuer-ersten-ehighway-lastwagen-mit-strom-aus-oberleitung/20739914.html> (abgerufen am 25.4.2018)
- Heinemann, T. (2016): Energy and Resource Efficiency in Aluminium Die Casting. Springer International Publishing.
- Hirsch, H., Hoffmann, R., Jeschke, S. (2011): Achtung, Elektroauto. Unicate 2011, https://www.unidue.de/~bys007/ressourcen/pdf_dokumente/39/unicate_39_04.pdf (abgerufen am 25.4.2018)
- Hucko, M. (2017): Zukunft des Autos: „2026 kommt das Aus für den Verbrennungsmotor.“ Interview mit Richard Randoll. Spiegel Online, 17.9.2017. <http://www.spiegel.de/auto/aktuell/elektromobilitaet-der-durchbruch-kommt-2022-a-1166688.html> (abgerufen am 25.4.2018)
- Imhof, T. (2016): So tanken Elektroautos Strom ohne Kabel. Die WELT 23.6.2016. <https://www.welt.de/motor/article156366653/So-tanken-Elektroautos-Strom-ohne-Kabel.html> (abgerufen am 25.4.2018)
- International Energy Agency (2017): Global EV Outlook 2017 – Two Million and Counting. June, 2017.

- Jorschick, H., Preuster, P., Dürr, S., Seidel, A., Müller, K., Bösmann, A., Wasserscheid, P. (2017): Hydrogen Storage Using a Hot Pressure Swing Reactor. *Energy and Environmental Science*. 2017, 10.
- Karsten, P., Bracker, J., Haller, M., Purwanto, J. (2016): Electric mobility in Europe – Future impact on the emissions and the energy systems. Öko-Institut e. V., Transport & Mobility Leuven (TML). Berlin, 2016.
- Kraus, J. (2011): Elektroband verbessert Effektivität von Motoren bei hohen Drehzahlen. *Maschinenmarkt*, 23.02.11. <https://www.maschinenmarkt.vogel.de/elektroband-verbessert-effektivitaet-von-motoren-bei-hohen-drehzahlen-a-304280/> (abgerufen am 25.4.2018)
- Langner, A. (2017): Ist klimafreundlicher Stahl machbar? ArcelorMittal, Blog. 7.8.2017. <http://blog.germany.arcelormittal.com/ist-klimafreundlicher-stahl-machbar/> (abgerufen am 25.4.2018)
- Lienkamp, M. (2018): Status Elektromobilität 2018: Der Kunde wird es entscheiden. https://www.researchgate.net/publication/323486141_Status-Elektromobilitaet-2018-HL (abgerufen am 25.4.2018)
- Lickfeld, M. (2018): Anzahl deutscher Wasserstofftankstellen verdoppelt. *Energate Messenger*, 14.2.2018. <http://www.energate-messenger.de/news/180946/anzahl-deutscher-wasserstofftankstellen-verdoppelt> (abgerufen am 25.4.2018)
- Mähler, C. (2016): Batterien in Elektroautos: Aktueller Stand und Perspektiven, in *stromschnell*, 12.08.2016.
- Malanowski, N., Glitz, R., Stahl-Rolf, S. (2015): Bestandsaufnahme Leichtbau in Deutschland. Projekt IC4 – 10/15 im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie. VDI Zentrum Ressourceneffizienz, VDI Technologiezentrum. <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Studien/bestandsaufnahme-leichtbau-in-deutschland.html> (abgerufen am 25.4.2018)
- McKinsey (2014): Connected Car, Automotive Value Chain Unbound.
- McKinsey (2018): Artificial Intelligence – Automotive’s New Value-Creating Engine.
- Napp, A., Gulde, D. (2016): Die vier Herausforderungen für das E-Auto. *Auto Motor Sport*, 9.3.2016. <https://www.auto-motor-und-sport.de/verkehr/elektromobilitaet-vier-herausforderungen-fuer-e-autos/> (abgerufen am 25.4.2018)
- Nikkei Asian Review (2018): Toyota to halve costs of fuel cell cars’ core components. <https://asia.nikkei.com/Editor-s-Picks/Japan-Update/Toyota-to-halve-costs-of-fuel-cell-cars-core-components> (abgerufen am 25.4.2018)
- Nüssler, H. (2017): Gefahrgut-Ersteinsatz. Handbuch für Gefahrgut-Transport-Unfälle mit „MET-Modell für Effekte mit toxischen Gasen“. Storck Verlag Hamburg, Ausgabe 2017.

Pfaff, D., Bianco, L. (2013): Digital Insights: Wohin geht die Fahrt? Automobilbranche im Wandel. Bonpago, 2013.

Postler, A., Heidrich, W.: Aluminium im Automobil: Konstruktionswerkstoff mit hohem Zukunftspotenzial.

Prawitz, S. (2018): Natürlich braucht auch das E-Auto Leichtbau. Automobilindustrie, 14.2.2018. <https://www.automobil-industrie.vogel.de/natuerlich-braucht-auch-das-e-auto-leichtbau-a-686449/> (abgerufen am 25.4.2018)

Puls, T. (2013): CO2-Regulierung für Pkw. Fragen und Antworten zu den europäischen Grenzwerten für Fahrzeughersteller. Institut der deutschen Wirtschaft Köln, 2013.

Rammler, S. (2015): Die Zukunft der Mobilität. Institut für Transportation Design.

Rat für Formgebung und Zukunftsinstitut (2012): design e-mobility.

Rügheimer, H. (2017): Bessere Akkus für die Elektromobilität. Intelligente Welt, 2017, <http://intelligente-welt.de/bessere-akkus-fuer-elektromobilitaet/> (abgerufen am 25.4.2018)

Setzer, P. (2011): Strategien gegen die Uber-Macht. Manager Magazin, 27.11.2017: <http://www.manager-magazin.de/unternehmen/autoindustrie/deutsche-autoindustrie-strategien-gegen-uber-google-apple-und-co-a-1180498.html> (abgerufen am 25.4.2018)

Skarics, R. (2017): Wie oft brennen Elektroautos im Vergleich zu Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor? Autorevue.at, 2017, <https://autorevue.at/ratgeber/statistik-brennen-elektroautos> (abgerufen am 25.4.2018)

Spath, D., Bauer, W., Voigt, S., Borrmann, D., Herrmann, F., Brand, M., Rally, P., Rothfuss, F., Sachs, C., Friedrich, H., Frieske, B., Propfe, B., Redelbach, M., Schmid, S., Dispan, J. (2012): Elektromobilität und Beschäftigung - Wirkungen der Elektrifizierung des Antriebsstrangs auf Beschäftigung und Standortumgebung. Hans-Böckler-Stiftung, 2012.

Spektrum (2018) Lexikon der Physik, „Elektroauto“. <https://www.spektrum.de/lexikon/physik/elektroauto/3986> (abgerufen am 25.4.2018)

Stieber, B. (2017): Grüß Gott, Sie sind unsere Zukunft. Zeit Nr. 36, 2017. Editiert am 3.9.2017. <http://www.zeit.de/2017/36/elektromotor-verbrennungsmotor-mahle-umstieg/komplettansicht?print> (abgerufen am 25.4.2018)

Stricker, K., Matthies, G., Tsang, R. (2011): Vom Automobilbauer zum Mobilitätsdienstleister. Bain & Company, 2011.

Tata Steel (2017): Charging towards a sustainable future? Steel – enabling the rapid transition to electric propulsion.

- Thyssenkrupp (2017): Wirtschaftliche E-Mobilität: thyssenkrupp stellt auf der Blechexpo 2017 ein gewichts- und kostenoptimiertes Batteriegehäuse zum Schutz der Fahrzeugbatterie vor, Pressemitteilung, 7.11.2017.
- TüV Süd (2018): Deutschland hatte 2017 weltweit den höchsten Zubau an Wasserstofftankstellen. Pressemitteilung, 14.2.2018.
- UBS Evidence Lab (2017): UBS Evidence Lab Electric Car Teardown – Disruption Ahead?
- Umweltbundesamt (2018) Konventionelle Kraftwerke und erneuerbare Energien.
<https://www.umweltbundesamt.de/daten/energie/konventionelle-kraftwerke-erneuerbare-energien#textpart-1> (abgerufen am 25.4.2018)
- US DOE (2016): US Department of Energy (US DOE), Fuel Cell Technologies. Market Report 2015, Washington 2016.
- Vetter, P. (2017): Leichtbau fällt nicht schwer ins Gewicht. Welt am Sonntag Nr. 49, 3. Dezember 2017.
- Vieweg, C. (2016a): Vom Carbonzeitalter nichts zu sehen. Die ZEIT, 2016.
<http://www.zeit.de/mobilitaet/2016-11/bmw-carbon-werkstoff-leichtbau> (abgerufen am 25.4.2018)
- Vieweg, C. (2016b): Leise, aber gefährlich. Die ZEIT, 2016, <http://www.zeit.de/mobilitaet/2016-11/elektroautos-kuenstliche-geraeusche-sicherheit-strassenverkehr> (abgerufen am 25.4.2018)
- Wieland, H. (2017): Vortrag Hans-Joachim Wieland, Geschäftsführer Forschungsvereinigung Stahlanwendung (Fosta) am 16./17. 02.2017 auf der Handelsblatt Jahrestagung Stahlmarkt.
- Winterhagen, J. (2016): Weniger Teile, weniger Arbeit, weniger Jobs?. FAZ, Dezember 2016, <http://www.faz.net/aktuell/technik-motor/motor/elektroautos-fordern-hersteller-und-zulieferer-heraus-14547766.html> (abgerufen am 25.4.2018)
- Wirtschaftsvereinigung Stahl (2018): Stahl und Elektromobilität – Hintergrundinformationen. März 2018.
- Woher, M. (2015): Härter, leichter, günstiger. Handelsblatt Nr. 123, 1.7.2015.
- Wollschlaeger, D., Foden, M., Cave, R., Stent, M. (2015): Digital Disruption and the Future of the Automotive Industry – Mapping New Routes for Customer-Centric Connected Journeys. IBM Center for Applied Insights, 2015.
- Worldsteel Association (2016): Fact Sheet: Advanced Steel Applications.
https://www.worldsteel.org/en/dam/jcr:4864507f-7f52-446b-98d6-f0ac19da8c6d/fact_Advanced+steel+applications_2016_vf.pdf (abgerufen am 25.4.2018)

Rechtlicher Hinweis

Die vorstehenden Angaben und Aussagen stellen keine Anlage-, Rechts- oder Steuerberatung dar. Die verwendeten Daten stammen aus unterschiedlichen Quellen und wurden als korrekt und verlässlich betrachtet, jedoch nicht unabhängig überprüft; ihre Vollständigkeit und Richtigkeit sind nicht garantiert, und es wird keine Haftung für direkte oder indirekte Schäden aus deren Verwendung übernommen, soweit nicht durch grobe Fahrlässigkeit oder vorsätzliches Fehlverhalten unsererseits verursacht.

Alle Meinungen können ohne vorherige Ankündigung und ohne Angabe von Gründen geändert werden. Die vorstehenden Aussagen werden lediglich zu Informationszwecken des Auftraggebers gemacht und ohne darüber hinausgehende vertragliche oder sonstige Verpflichtung zur Verfügung gestellt.

Soweit in vorstehenden Angaben Prognosen oder Erwartungen geäußert oder sonstige zukunftsbezogene Aussagen gemacht werden, können diese Angaben mit bekannten und unbekannten Risiken und Ungewissheiten verbunden sein. Es kann daher zu erheblichen Abweichungen der tatsächlichen Ergebnisse oder Entwicklungen zu den geäußerten Erwartungen kommen. Neben weiteren hier nicht aufgeführten Gründen können sich insbesondere Abweichungen aus der Veränderung der allgemeinen wirtschaftlichen Lage, der Entwicklung der Finanzmärkte und Wechselkurse sowie durch Gesetzesänderungen ergeben. Das Handelsblatt Research Institute verpflichtet sich nicht, Angaben, Aussagen und Meinungsäußerungen zu aktualisieren.

Es gelten die Allgemeinen Geschäftsbedingungen des Handelsblatt Research Institute.

Handelsblatt Research Institute

Toulouser Allee 27
40211 Düsseldorf
+49 (0)211/887-1100
www.handelsblatt-research.com
Präsident: Prof. Dr. Dr. h. c. Bert Rürup

Projektverantwortlicher

Dr. Jan Kleibrink

Autoren

Julia Ehlert-Hoshmand
Frank G. Heide
Dr. Sven Jung
Dr. Jan Kleibrink
Hans Christian Müller
Dr. Matthias Opfinger
Dr. Christian Tribowski
Martin Woher

Ansprechpartner

Dr. Jan Kleibrink
+49 (0)211/887-1566
j.kleibrink@handelsblattgroup.com

Studie im Auftrag von Voestalpine

© 2018 Handelsblatt Research Institute

