

Konzepte für E-Antriebe und deren Relevanz für die Gießereitechnik

| **Autoren** Hermann Rottengruber, Eike Christian Todsén, Stephan Zeilinga

Der Diesel-Abgasskandal der vergangenen Jahre in Kombination mit den weltweit strenger werdenden gesetzlichen Vorschriften zur Schadstoff- und CO₂-Minimierung sorgen derzeit für Unsicherheit in der Automobilbranche.

Der Technologiewechsel weg vom Verbrennungsmotor hin zu elektrifizierten Antrieben wird von vielen Seiten derzeit massiv propagiert. Dieser Beitrag soll einen aktuellen Stand der kurz- und mittelfristig verfügbaren Alternativen zum verbrennungsmotorischen Pkw aufzeigen. Mit Hilfe einer grundlegenden Technologienanalyse wird auf die Möglichkeiten und geänderten Anforderungen an die Fahrzeug- und Gießereiindustrie eingegangen.

Concepts of the Electified Drive and their Relevance for the Foundry Industry

The recent diesel-gate exhaust gas-emissions scandal in combination with the increasingly stringent legal requirements for minimizing pollutant- and CO₂-emissions are currently causing uncertainty in the automotive sector.

The technology change from the internal combustion engine (ICE) to the electrified drive is currently being massively propagated by many stakeholders. This paper is intended to give a current status of the short- and medium-term alternatives to the ICE driven car. A fundamental analysis of the technology is used to examine the possibilities and changed requirements for the future of vehicle- and foundry-industry.

Künftige Antriebsarten im Pkw-Sektor

Wohl keine andere Fragestellung zum Themenkomplex „Automobil“ ist in der öffentlichen Diskussion derart präsent. Ob nun

auf schwindende Erdölreserven, den Kraftstoffpreis, die CO₂-Bilanz oder die Schadstoffemissionen fokussiert wird, überall wird schnell der Ruf nach der Ablösung konventioneller Otto- und Dieselmotoren als Antriebseinheit im Automobil laut.

Dennoch halten sich Ottomotoren und im Besonderen in Europa Dieselmotoren standhaft als die beliebtesten Antriebsvarianten.

Der Grund hierfür ist sehr einfach zu benennen: Mit herkömmlichen Kraftstoffen betriebene Verbrennungsmotoren haben in Relation zum Kundennutzen einen überragenden Kostenvorteil. Denn wie der Wortstamm „auto“ im Wort „Automobil“ schon aussagt, die Autonomie, also nichts anderes als die Reichweite, ist neben den Kosten der wichtigste Vorteil des verbrennungsmotorisch angetriebenen Fahrzeugs.

Dennoch mehren sich insbesondere in den vergangenen Jahren die Anzeichen, dass sich in vielen Märkten ein Paradigmenwandel abzeichnet. Getrieben durch die Ressourcen- und Klima-Diskussion der vergangenen Jahre, kam seit Herbst 2015 eine emotional aufgeheizte Debatte, die Schadstoffdiskussion, hinzu. Bisher von den zuständigen Kommunen noch nicht umgesetzte Immissions-Regulativen, hier speziell die Stickoxidbelastung, betreffend, scheinen nun zu einem echten Problem zu werden. Insbesondere für Pkw und Lkw mit Dieselmotoren drohen Fahrverbote in Ballungsräumen. Diese möglichen Mobilitäts-

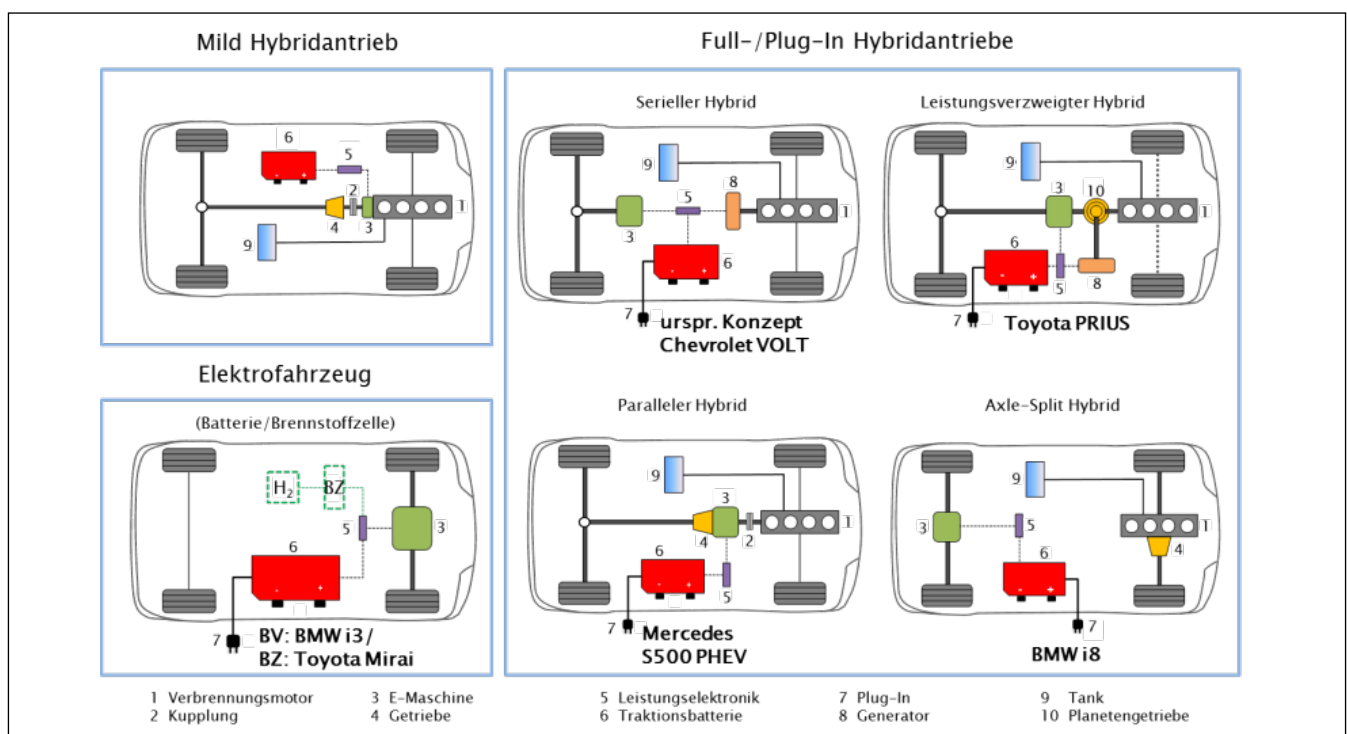


Bild 1: Übersicht der unterschiedlichen Hybridantrieb-Topologien [4]

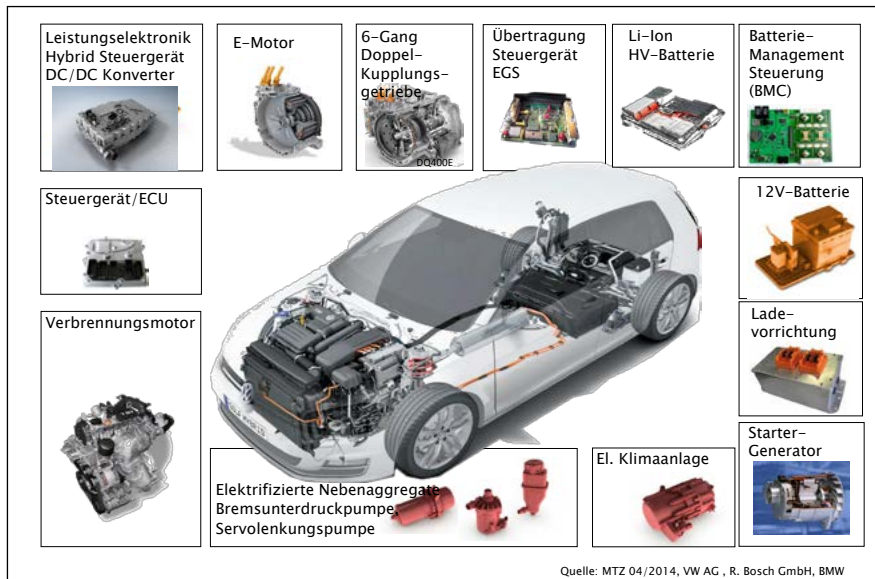


Bild 2: Komponenten eines PHEV-Antriebsstrangs im Pkw

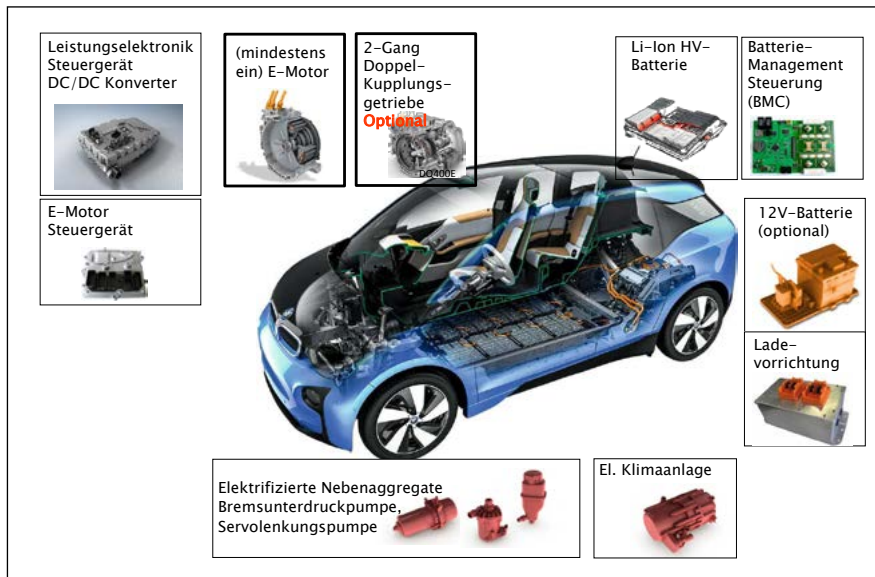


Bild 3: Komponenten eines BEV-Antriebsstrangs im Pkw

einschränkungen in Innenstädten können dazu führen, dass dieselgetriebene Fahrzeuge stark an Attraktivität verlieren. In den USA, Indien und China drohen Fahrverbote oder Zulassungsbeschränkungen für Fahrzeuge mit Verbrennungsmotoren bereits seit einigen Jahren. [1]

Da die Flottenverbrauchsziele mit konventioneller Antriebstechnologie in vielen

Fahrzeugmärkten, insbesondere für deutsche Fahrzeughersteller, nur mit einem signifikanten Anteil an Dieselfahrzeugen erreichbar sind, ergibt sich ein Problem. Um aktuelle und zukünftige Emissionsvorgaben und Verbrauchsziele zu erfüllen, wird es mittelfristig besonders für den Dieselmotor enorm schwierig unterhalb der aktuell fallenden Kosten für vergleichbare

elektrifizierte Antriebe zu bleiben. Sobald sich bei vergleichbarem Kundennutzen die Gesteungskosten für ein Elektrofahrzeug und ein verbrennungsmotorisch angetriebenes Fahrzeug gleichen, ist der sogenannte „Tipping Point“ erreicht. Dann ist mit einer exponentiell steigenden Nachfrage an Elektrofahrzeugen zu rechnen.

Das heißt, der derzeit noch zaghafte Einstieg in die Elektromobilität wird sich in der kurz- und mittelfristigen Zukunft stark beschleunigen. [2] Hinzu kommt, dass einige Staaten und Volkswirtschaften, auch Deutschland, im Zuge des drohenden Klimawandels konkret über den Ausstieg aus fossilen Energieträgern nachdenken. Dazu gehört dann auch ein Verkaufsverbot von konventionellen verbrennungsmotorischen Antrieben. [3]

Die steigende Nachfrage an elektrifizierten Fahrzeugen, wird dabei Hybrid- und Batterieelektrische Fahrzeuge (BEV) umfassen. Der Umstieg zum reinen Elektrofahrzeug wird sich über Hybridantriebe vollziehen. Für eine Vielzahl von Anwendungen und Fahrzeugvarianten wird auch langfristig ein hybrider Antriebsstrang die optimale Lösung bleiben. Dennoch, es ist Zeit, darüber nachzudenken, wie sich der Markt für Fahrzeugantriebskomponenten vor dem Hintergrund dieser Veränderungen umgestalten wird.

Die verschiedenen Antriebstopologien Mild Hybrid, Plug-In Hybrid, Vollhybrid oder der batterieelektrische Antrieb stellen teilweise komplett andere Anforderungen an die Antriebskomponenten.

Einen großen Anteil am zukünftigen Fahrzeugmarkt ab 2020 werden konventionell verbrennungsmotorisch angetriebene Fahrzeuge mit einer unterstützenden E-Maschine, sogenannte Mild-Hybride haben. Mit deren 48 Volt-Bordnetz ist elektrisches Fahren nicht sinnvoll möglich, aber elektrische Unterstützung und der sogenannte Segelbetrieb ermöglichen große Verbrauchseinsparungen. Die Kosten für den elektrischen Antriebsstrang sind durch den Entfall eines Hochspannungssystems im Fahrzeug und einer limitierten Batteriekapazität sehr attraktiv. [1]

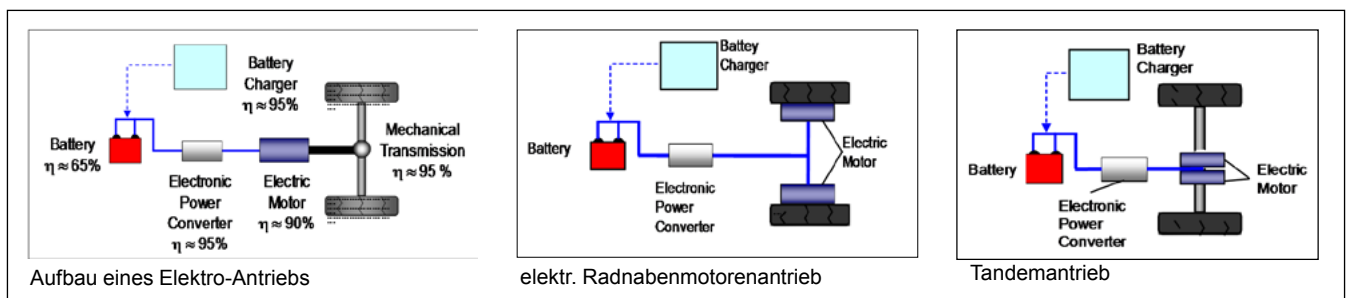







Bild 4: BEV-Antriebstopologien im Pkw

	ESM Elektrisch erregte Synchronmaschine	PMS Permanenterregte Synchronmaschine	HMS Hybrid- Synchronmaschine	ASM Asynchronmaschine
Kennwerte		 		
Magnetmasse	0 %	100 %	50 % (sog. „vergrabene Magneten“)	0 %
Dauermoment bezogen auf aktives Rotorvolumen	40 – 50 Nm/l	40 – 50 Nm/l	40 – 50 Nm/l	20 – 30 Nm/l
Wirkungsgrad (ø)	92%	88 %	ca. 92 %	86 %
Dynamik	< 250 ms	ca. 10 ms	wenige 10 ms	wenige 100 ms
Einsatz	Renault Kangoo	Toyota Prius, e-Golf, die meisten aktuellen PHEV	BMW i3	TESLA Model S

 Referenz

Bild 5: Übersicht über die elektrischen Maschinen in BEV und PHEV

Voll-Hybride Fahrzeugantriebe die durch die Plug-In Funktionalität, mit Reichweiten bis zu 80 bzw. 100 km rein elektrisch betrieben werden können, stellen eine Brückentechnologie dar. Viele Gesetzgeber weltweit machen diese Technologie aufgrund günstiger Regeln zur Verbrauchs- und damit CO₂-Emissionsberechnung für die Fahrzeughersteller sehr attraktiv. Der Grund liegt darin, dass sich mit derartigen Fahrzeugen die Flottenziele für Verbrauch und Emissionen sehr einfach erreichen lassen.

Wie aus der **Bild 2** zu entnehmen ist, haben Plug-In Hybrid-Elektrische Fahrzeugkonzepte (PHEV) in Bezug auf den Antriebsstrang und das elektrische System die höchste Systemkomplexität. Sie bieten aber durch die beide Antriebe ein höchst attraktives Nutzungskollektiv an. Gleichzeitig kommen vergleichsweise kleine und damit gegenüber rein batterieelektrischen Fahrzeugen (BEV) kostengünstigere Batterien zum Einsatz. Auch schwere und große leistungsstarke Fahrzeuge, die einen hohen Deckungsbeitrag für die Fahrzeughersteller liefern, lassen sich mit dieser Technologie sinnvoll darstellen.

Das BEV weist eine deutlich niedrigere Systemkomplexität (**Bild 3**) auf Fahrzeugebene auf. Dennoch erfüllen viele Einzelkomponenten, insbesondere die Energiespeicher, noch nicht die Kosten und Entwicklungsziele um mit konventionellen Antrieben, insbesondere der Kombination aus Ottomotor und Elektromaschine in einem hybriden Antriebsstrang, mithalten zu können. Einzig die lokale Emissionsfreiheit stellt einen signifikanten Vorteil dar.

Ebenso ergeben sich durch unterschiedlichste Antriebstopologien neue Freiheitsgrade im Fahrzeugbau. Durch die Möglichkeit einen Einzelradantrieb umzusetzen, ergeben sich interessante Möglichkeiten, die Fahrdynamik und die Raumgestaltung im batterieelektrischen Fahrzeug zu verbessern (**Bild 4**).

Für elektrische Maschinen gibt es drei übliche Bauarten: Die permanent erregte Synchronmaschine (PSM), die Asynchronmaschine (ASM) und die fremd erregte Synchronmaschine (ESM). Die Hybridsynchronmaschine (HSM) ist eine Ableitung der PSM mit sogenannten vergrabenen Magneten, die den Vorteil höherer Wirkungsgrade in

Kombination mit niedrigeren Kosten für magnetische Bauteile bringt. Alle Maschinentypen sind prinzipiell für den Einsatz in Fahrzeugen mit elektrischen Antriebssträngen geeignet und haben eine ausreichende technologische Reife erreicht (**Bild 5**).

Aber auch in einem reinen Elektrofahrzeug bleiben gegossene Metallteile wichtige Schlüsselkomponenten. So weisen elektrische Maschinen mit dem Gehäuse und den Trägern für die Wicklungen mindestens zwei Großkomponenten auf, welche als Gussteile ausgeführt werden können. Zudem sind sowohl die E-Maschinen in der zentralen Antriebstopologie als auch noch mehr die sogenannten Radnabenmotoren

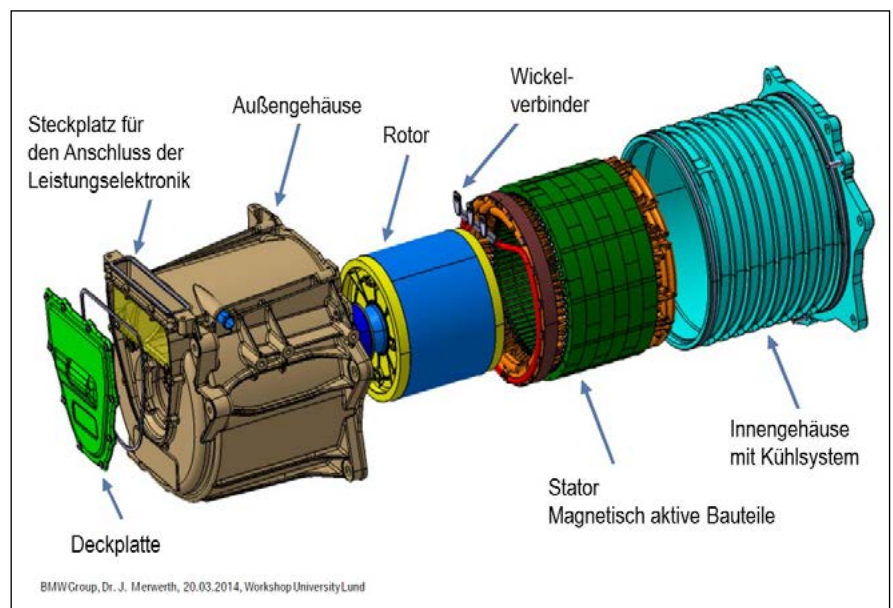


Bild 6: Gussteile für Elektromaschinen [5]

auf optimierte Gusskomponenten angewiesen, wie zum Beispiel dem **Bild 6** zu entnehmen ist. [5]

Weitere Schlüsselkomponenten auf dem Gebiet der Elektromobilität sind die Speichersysteme, bei denen noch enormer Entwicklungsbedarf besteht. Nicht nur die einzelnen Zellen, welche für die jeweilige Anwendung maßgeschneidert werden müssen, bedürfen noch einer signifikanten Weiterentwicklung. Auch die Zusammenführung der einzelnen Zellen zu Batteriesystemen sowie deren Betriebssicherheit unter kundennahen Betriebszuständen bergen noch einige große technische Herausforderungen.

Batteriesysteme müssen zum einen die Betriebssicherheit gewährleisten und zum anderen eine Konditionierung der Speicherzellen ermöglichen. Dazu sind teils komplexe Gehäusestrukturen erforderlich, welche sinnvollerweise in Aluminiumguss ausgeführt werden können. Dabei stellt neben der teils verschachtelten Geometrie von Kühl- und Heizzugängen die Größe eine prozesstechnische Herausforderung für die Gießerei dar.

Zur Erreichung einer maximalen Reichweite ist bei elektrisch angetriebenen Fahrzeugen neben der Optimierung der Batteriekapazität der Leichtbau keine so wichtige Anforderung mehr, da durch die Rekuperationsfähigkeit die Bremsenergie in den meisten Lastfällen zurückgewonnen werden kann. [2] Dennoch, hier lohnt es sich weiterhin über alternative Materialien wie beispielsweise Magnesium-Legierungen für Batteriegehäuse und andere Einhausungen der elektrischen Komponenten nachzudenken, da die Größe und Komplexität dieser Bauteile das Handling im Produktionsprozess erschwert. Hier zeichnet sich ein wichtiger Trend für zukünftige Guss-Komponenten in der Elektromobilität ab. Thermisch dauerhafte und tribologisch optimierte Groß-Komponenten werden weniger im Fokus der technologischen Entwicklung stehen. Eigenschaften wie „strukturoptimiert“ und „kostengünstig“ werden neben der elektromagnetischen Verträglichkeit zu den wichtigen Kerneigenschaften gehören. Die elektrischen und elektromagnetischen Eigenschaften der vergossenen Materialien sind insbesondere dann von entscheidender

Bedeutung, wenn diese in den verwendeten elektrischen Maschinen im elektrischen oder magnetischen Fluss eingesetzt werden.

Aber es gibt noch weitere, nicht vom Gesetzgeber oder aus Umweltschutzbelangen angeregte Gründe für den Wechsel zur Elektromobilität. Das vollautonome oder zumindest ein teilautonomes Fahren mit minimalen Eingriffen durch den Fahrer und die immer stärker nachgefragte Konnektivität im Fahrzeug haben einen Mehrwert für den Kunden. Was zu einem sehr starken Zuggewinn auf dem Markt führen wird.

Der Bedarf an elektrischer Energie für autonome und hochkonnektive Fahrzeuge wird aufgrund der leistungsfähigen Rechner, Steuereinheiten, Sensorik und Aktuatorik, welche unter allen möglichen Umständen dauerhaft und gegebenenfalls auch redundant betriebssicher funktionieren müssen, so groß, dass leistungsfähige elektrische Energiespeicher im Fahrzeug vorliegen müssen.

Die im Zuge der Fortschritte auf dem Gebiet der Elektromobilität entwickelten Batteriesysteme bieten sich hierfür

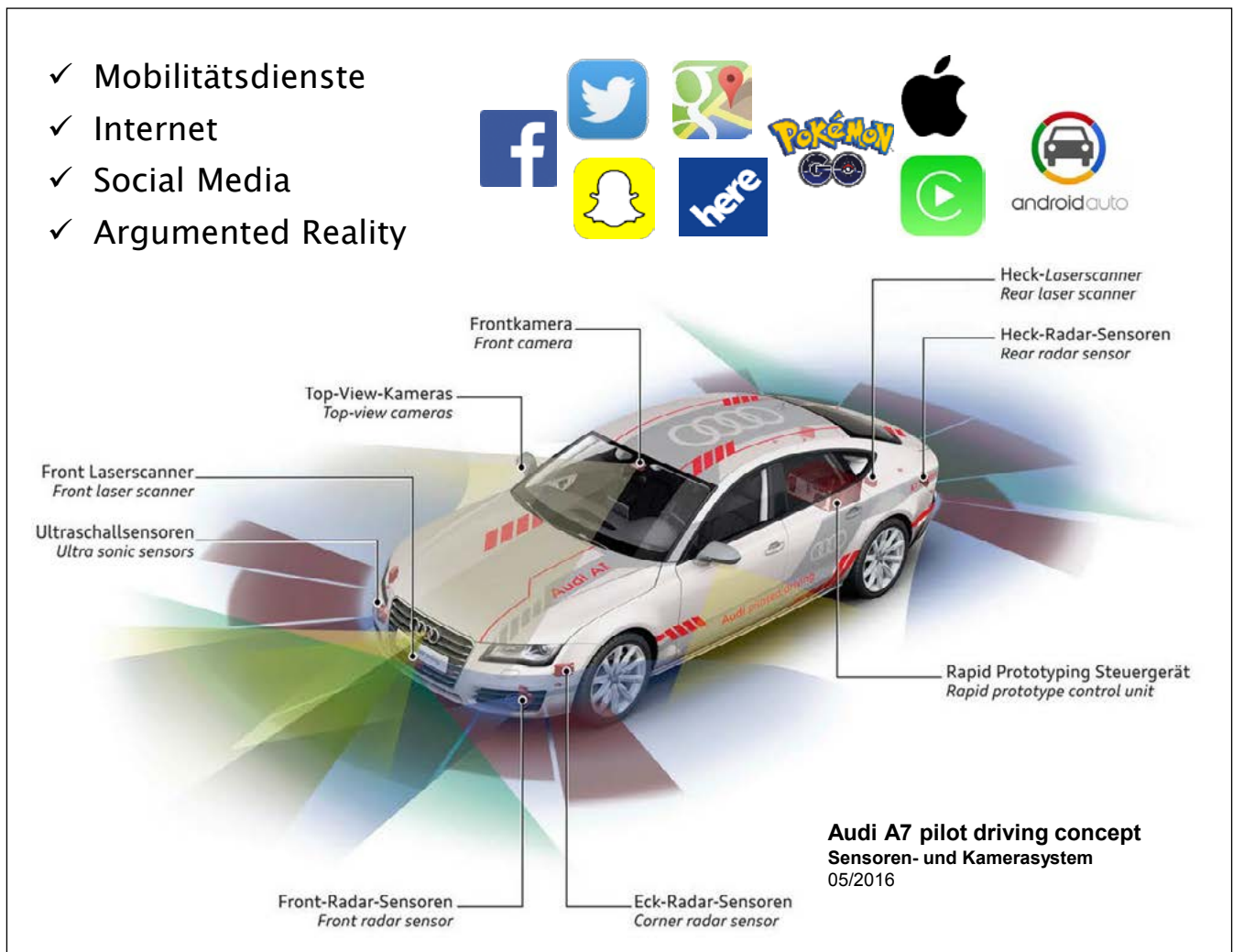


Bild 7: Automobile Konnektivität und autonomes Fahren [6]

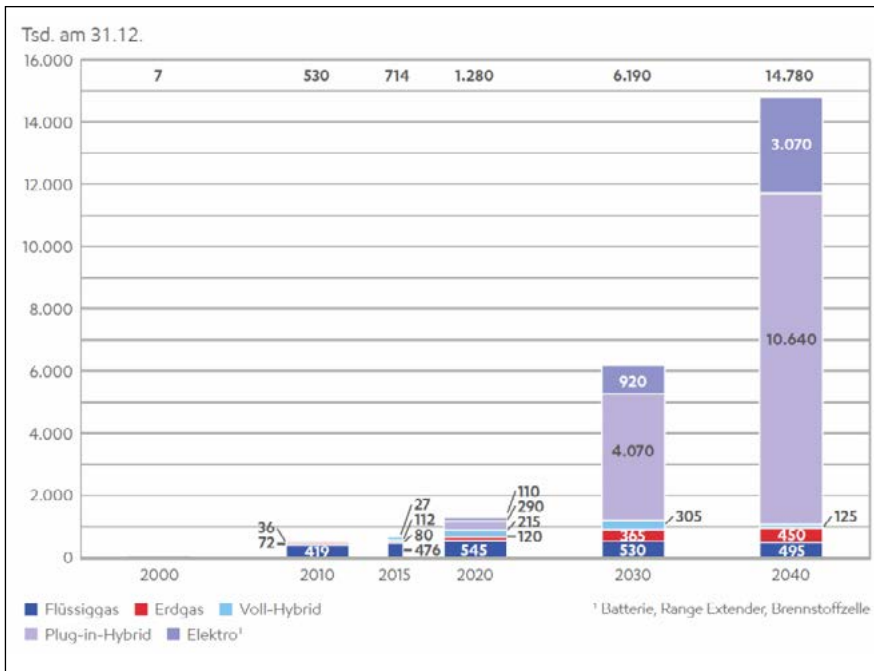


Bild 8: Pkw-Bestand – alternative Antriebe in Deutschland bis 2040 [7]

an. Ebenso erscheint eine Erhöhung der Spannungslage auf mindestens 48 Volt im Pkw-Bereich oder auch darüber hinaus mittelfristig mehr als sinnvoll.

Diese Systeme können dann im Prinzip auch problemlos einen teil- oder voll-elektrifizierten Antriebsstrang im Fahrzeug bedienen. Dann wird ein zusätzlicher verbrennungsmotorischer Antriebsstrang, zumindest auf der Kurz- und Mittelstrecke bis 200 km Reichweite, nach heutiger Sicht, wohl eher uninteressant werden.

Zusammenfassung

Die Emissions- und Immissionsdiskussion der vergangenen Monate hat, neben der Notwendigkeit die gesetzlich vorgeschriebenen CO₂-Minderungsziele zu erreichen, dazu geführt, dass der Wandel hin zur Elektromobilität bis zum Jahr 2030 gefordert wird. Ob sich die teils kontrovers diskutierten Mobilitätsszenarien umsetzen lassen, ist heute noch völlig offen.

Außer Zweifel steht, dass sich der Pkw-Markt in den kommenden Jahren massiv verändern wird. Die elektrifizierten Fahrzeuge werden im Vergleich zu den vergangenen Jahren deutlich an Marktanteilen gewinnen, nicht nur in Deutschland [7] und Europa [8] sondern auch weltweit (Bild 8).

Mit Beginn des kommenden Jahrzehnts werden sowohl die Herstellkosten als auch die Kosten über die Fahrzeuglebensdauer (Total Cost of Ownership, TCO) konkurrenzfähig zu den Kosten von Dieselfahrzeugen sein. [1, 2]

Zur Erfüllung der CO₂-Ziele und von lokalen „Zero-Emission“-Vorgaben wird ein

höherer Anteil batterieelektrischer Fahrzeuge (BEV) zwingend erforderlich sein. Dennoch werden Verbrennungsmotoren auf der Langstrecke und im Bereich der Heavy-Duty-Motoren als Antrieb bestimmend bleiben. Genauso werden die Marktanteile elektrifizierter Fahrzeuge auch nicht global auf 100 % steigen. Die weltweite elektrische Lade-Infrastruktur, insbesondere in Schwellenländern und in Flächenstaaten, wird in den nächsten Jahrzehnten nicht in dem Maße bereitgestellt werden können, sodass ein vollständiger Wechsel zum BEV vollzogen werden kann. Auch wird es weltweit nicht möglich sein, innerhalb der kommenden Jahrzehnte die Stromproduktion auf 100 % regenerativ erzeugten und damit CO₂-neutralen Strom umzustellen. Daher werden die sogenannten Hybridfahrzeuge (Plug-In-Hybride und 48 Volt-Mild-Hybride) sicherlich noch auf nicht abschätzbarer Zeit über Verbrennungsmotoren verfügen. Aber auch für die Elektromobilität bleibt die Gießereitechnik eine wichtige Schlüsseltechnologie, denn:

- Motorenkomponenten (Motorgehäuse, Wicklungsträger, etc.),
 - Batteriegehäuse inklusive der Konditionierung der Batteriezellen und
 - Leistungselektronikgehäuse
- sind wichtige und wertige Schlüsselkomponenten in einem teilelektrifizierten oder batterieelektrischen Fahrzeug.

Der Fokus der F&E Aktivitäten in der Gießereibranche wird sich nach heutiger Einschätzung allerdings verändern. Möglichst kompakte, thermisch und tribologisch hoch belastete Bauteile werden in elektrifizierten Antriebssträngen weniger wichtig

sein. Das Handling und die effiziente Produktion großer geometrisch komplexer Bauteile mit dem Fokus auf Kostenoptimierung und günstiger Massenverteilung im Fahrzeug bekommen einen deutlich höheren Stellenwert. Zudem wird die Digitalisierung für künftige Fahrzeugkunden wohl wichtiger als der Antrieb sein. Dies führt sicherlich dazu, dass in autonom fahrenden Fahrzeugen die Art der Antriebsmaschine eher nebensächlich sein wird und die Emotionalität in Bezug auf den Antrieb, welche beim verbrennungsmotorisch angetriebenen Fahrzeug oftmals zur Kaufentscheidung beiträgt, unweigerlich an Gewicht verliert.

Literatur

- [1] Fröhlich K., Sheer Driving Pleasure of the Future. Drivetrain Development at BMW, 25th Aachen Colloquium Automobile and Engine Technology 2016.
- [2] Lienkamp M., Status Elektromobilität 2016 oder wie Tesla nicht gewinnen wird, <https://www.researchgate.net/publication/304247929> - abgerufen am 26.10.2016.
- [3] <https://www.welt.de/wirtschaft/article158634739/Bundeslaender-fuer-Verbot-von-Benzin-und-Dieselaautos.html> - abgerufen am 19.10.2016]
- [4] Rottengruber H.; Todsens E., Gießereitechnisch relevante Trends in der Motorentechnik, Giesserei: Zeitschrift für Technik, Innovation und Management., Giesserei-Verlag, Düsseldorf, Heft 8 2015.
- [5] Merwerth J., The Hybrid-Synchronous Machine of the New BMW i3 & i8 – Challenges with Electric Traction Drives for Vehicles, Workshop University Lund, Sweden, 20.3.2014.
- [6] <https://www.audi-mediocenter.com/de/pilotiertes-fahren-3651> - abgerufen am 22.10.2016
- [7] ExxonMobil, Energieprognose Deutschland 2016-2040, Hrsg.: ExxonMobil Central Europe Holding GmbH, 2016 <http://cdn.exxonmobil.com/~media/germany/files/energieprognose/energieprognose2016.pdf> - abgerufen am 25.10.2016
- [8] Otto Ch., Alte Stärken und neue Chancen, Automobil Industrie 09/2016, 61. Jg., Vogel Business Media.

FACHVERANSTALTUNGEN DES VDI WISSENSFORUM

Prof. Rottenburger ist Referent beim VDI Wissensforum zum Thema Gießertechnik, Motoren und E-Mobilität. Mehr zum Thema Motor und E-Mobilität gibt es am 24.-25.06.2020 auf der Internationalen VDI Veranstaltung „Drive-Getriebe in Fahrzeugen“ in Bonn. Die nächste große Tagung „Gießertechnik im Motorenbau“ des VDI Wissensforums startet vom 02.-03.02.2021 in Magdeburg.



Hermann Rottengruber,
Eike Christian Todsens, Stephan Zeilinga

Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Fakultät für Maschinenbau, Institut für Mobile Systeme

Solange nicht anders gekennzeichnet, liegen die Bildrechte bei den Autoren des Beitrags.