



Aktuelle Herausforderungen der Elektromobilität

2

Heiner Hans Heimes, Achim Kampker, Benjamin Dorn,
Christian Offermanns und Florian Brans

Anders als bei der generellen Skepsis, ob Elektromobilität jemals eine Rolle im (inter-)nationalen Automarkt spielen wird, sind aktuelle Herausforderungen für die E-Mobilität immer konkreter Natur. Die wichtigen Treiber – Kosten, technologische Hürden sowie produktionstechnische Fragestellungen – werden folglich nicht mehr als potenzielle Ausschlusskriterien betrachtet, sondern als Stellhebel für eine Verbesserung der Marktpenetration im klassischen Zielkorridor „Qualität, Zeit und Kosten“. Technologische Hindernisse und unsichere Technologieentwicklungen spiegeln nach wie vor die Komplexität der Elektromobilität wider und sind sowohl auf Komponenten- als auch auf Gesamtfahrzeugebene äußerst vielschichtig. Vor allem im produktionstechnischen Kontext trägt dies potenziell zu einem Wandel der OEM- und Zuliefererindustrie bei – beziehungsweise zu einer Veränderung der Wertschöpfungsstruktur, die sich im Markt der Verbrennungsmotor-Fahrzeuge etabliert hat. Auf der

H. H. Heimes

Mitglied der Institutsleitung, Production Engineering of E-Mobility Components (PEM),
RWTH Aachen, Aachen, Deutschland

E-Mail: H.Heimes@pem.rwth-aachen.de

A. Kampker

Universitätsprofessor, Production Engineering of E-Mobility Components (PEM),
RWTH Aachen, Aachen, Deutschland

E-Mail: A.Kampker@pem.rwth-aachen.de

B. Dorn · C. Offermanns

Oberingenieur, Production Engineering of E-Mobility Components (PEM), RWTH Aachen,
Aachen, Deutschland

E-Mail: b.dorn@pem.rwth-aachen.de; c.offermanns@pem.rwth-aachen.de

F. Brans (✉)

Gruppenleiter, Production Engineering of E-Mobility Components (PEM), RWTH Aachen,
Aachen, Deutschland

E-Mail: f.brans@pem.rwth-aachen.de

© Der/die Autor(en) 2024

A. Kampker, H. H. Heimes (Hrsg.), *Elektromobilität*,
https://doi.org/10.1007/978-3-662-65812-3_2

29

Kostenseite wird eine Pareto-Situation zwischen den konventionellen und den elektrifizierten Antriebstopologien angestrebt – und teilweise schon erreicht. Auf der Reduktion der Kosten – insbesondere im Bereich des Hochvoltspeichers – liegt immer noch das Hauptaugenmerk der branchenübergreifenden Bemühungen zur nachhaltigen Festigung der Elektromobilität auf dem Weltmarkt.

2.1 Kostendruck

Als eine Ursache der zu Beginn zögerlichen Marktdurchdringung elektrifizierter Fahrzeuge und der teilweisen Verfehlung verkehrs- und umweltpolitischer Ziele wurden – und werden teils heute noch – die vergleichsweise hohen Anschaffungskosten für Elektrofahrzeuge genannt. Die Batterie bei batterieelektrischen Fahrzeugen sowie die Brennstoffzelle bei Brennstoffzellen-Fahrzeugen stellen auch heute noch den Großteil der Produktionskosten dar und sind somit die Hauptkostentreiber, welche die Höhe der Anschaffungskosten maßgeblich beeinflussen.

Neben der Verwendung teurer Rohstoffe kommt bei der Produktion für die automobile Anwendung geeigneter PEM-Brennstoffzellen die Tatsache unzureichender Skaleneffekte hinzu. Auch großserientaugliche Produktionsverfahren müssen für die kostengünstige Herstellung von Brennstoffzellen neu und weiterentwickelt werden. Welche Auswirkung die Kostenentwicklung wesentlicher Kernkomponenten auf die Marktdurchdringung von Elektrofahrzeugen hat, zeigt das Beispiel der Batterie: Lag der durchschnittliche Preis für Lithium-Ionen-Akkus im Jahr 2010 bei rund 600 €/kWh, so lag er im Jahr 2021 bei ca. 97 €/kWh. In Fachkreisen wird davon ausgegangen, dass die Kosten bis zum Jahr 2025 auf bis zu 83 €/kWh weiter sinken.¹

Der zumeist höhere Anschaffungspreis von Elektrofahrzeugen ist nach wie vor einer der meistgenannten Gründe, weshalb Käuferinnen und Käufer an Fahrzeugen mit konventionellen Antrieben festhalten und sich gegen neue Antriebsformen entscheiden. Zu beobachten ist jedoch, dass Fahrzeuge mit elektrischem Antrieb kostengünstiger werden. Höhere Stückzahlen und daraus resultierende Skaleneffekte in der Entwicklung und Produktion sowie langfristig angelegte Förderprogramme sorgen dafür, dass Fahrzeuge mit alternativen Antrieben gegenüber konventionellen Verbrennern nicht mehr unbedingt im Hintertreffen sind. Dennoch wird auch deutlich, dass die wirtschaftliche Nutzung von Elektrofahrzeugen stark vom individuellen Nutzerverhalten und Anwendungsfall abhängig ist.

Zu diesem Schluss kommt auch ein Kostenvergleich des ADAC aus dem Jahr 2021, in dem insgesamt 555 Fahrzeuge unterschiedlicher Segmente untersucht wurden. Kern der Gegenüberstellung war die Kostenaufschlüsselung der einzelnen Fahrzeuge in Abhängigkeit der Kilometerleistung pro Jahr.² Diese Studie dient auch als Berechnungs-

¹ Vgl. Horváth & Partner GmbH 2020.

² Vgl. ADAC 2021.

grundlage für die folgende Untersuchung. Herangezogen wurden zwei Fahrzeuge eines Herstellers aus der gleichen Fahrzeugkategorie – ein Fahrzeug mit Verbrennungsmotor sowie ein reines Elektrofahrzeug:

Der Grundpreis des Fahrzeugs mit Verbrennungsmotor liegt im Mittel bei 36.995 € und damit nur knapp unter dem durchschnittlichen Grundanschaffungspreis des vollelektrischen Pendants (39.100 €). Bei einer Betrachtung der laufenden Kosten wird jedoch deutlich, dass die des elektrischen Fahrzeugs ungefähr 20 % geringer ausfallen als die des Fahrzeugs mit Verbrennungsmotor. Während die durchschnittlichen Kosten pro Kilometer bei einer Laufleistung von 10.000 km/Jahr des Verbrenners rund 0,75 € betragen, so liegen die des Elektrofahrzeugs bei etwa 0,60 €. Bei einer Laufleistung von 30.000 km/Jahr verhalten sich die Kosten ähnlich (0,37 € zu 0,30 €). Abb. 2.1 zeigt vergleichend die Kosten des Fahrzeugs mit Verbrennungsmotor und des Elektrofahrzeugs in Cent pro Kilometer und in Abhängigkeit von der jährlichen Laufleistung.

Um eine ganzheitliche Aussage über die Kostenstruktur von Fahrzeugen mit elektrischem und konventionellem Antrieb treffen zu können, muss die „Total Cost of Ownership“ (TCO) betrachtet werden. Auch hierzu werden exemplarisch die beiden Modelle der vorigen Betrachtung herangezogen. Tab. 2.1 stellt die zugrunde gelegten Annahmen analog zur eingangs beschriebenen Kostenanalyse des ADAC dar:

Abb. 2.2 zeigt die Gesamtbetreiberkosten für die jeweiligen Fahrzeugmodelle über die Jahre hinweg bei einer jährlichen Laufleistung von 20.000 km. In diesem Fallbeispiel übersteigen die Gesamtbetreiberkosten des konventionellen Fahrzeugs die des

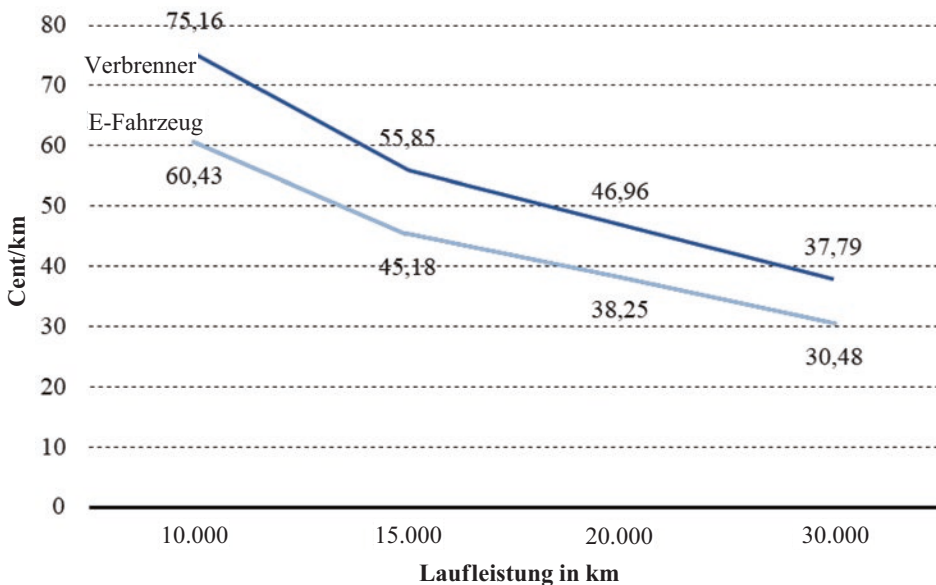


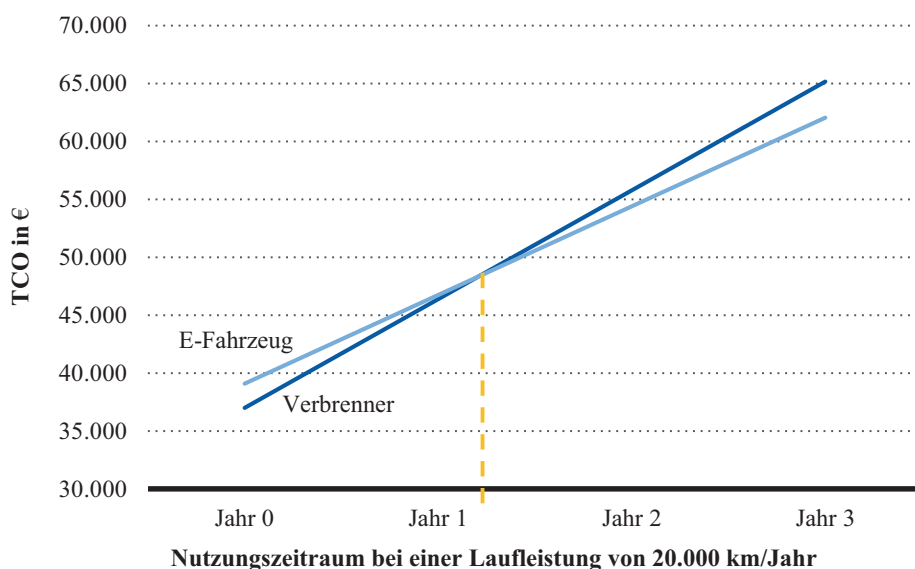
Abb. 2.1 Laufende Kosten (Cent/km) in Abhängigkeit von der Jahreslaufleistung am Beispiel eines Fahrzeugs mit Verbrennungsmotor und eines mit batterieelektrischem Antrieb. (Vgl. ADAC 2021)

Tab. 2.1 Zugrunde gelegte Annahmen zur TCO-Berechnung

	Fahrzeug mit Verbrennungsmotor	Fahrzeug mit batterieelektrischem Antrieb
Anschaffungspreis*	36.995 €	39.100 €
Kaufprämie**	–	9000 €
Energiekosten**	1,48 €/l Super 1,30 €/l Diesel	0,36 €/kWh
Haftpflicht- & Vollkaskoversicherung**	Mit 50 %	Mit 50 %

*Errechnet wurde jeweils das Mittel aus acht (Fahrzeug mit Verbrennungsmotor) bzw. vier (Fahrzeug mit batterieelektrischem Antrieb) Modellvarianten

**gem. Kostenvergleich des ADAC (2021)

**Abb. 2.2** TCO-Vergleich eines Verbrennungsmotor-Fahrzeugs mit einem Batterie-Elektrofahrzeug

batterieelektrischen bereits nach etwas mehr als 14 Monaten. Vor diesem Hintergrund lässt sich eindeutig sagen, dass Elektrofahrzeuge schon heute nicht nur eine umweltfreundliche, sondern auch eine wirtschaftlich attraktive Alternative zu Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren darstellen können.

Es ist allerdings zu erwähnen, dass die dargestellte Kalkulation lediglich als Indikation für die kostenseitige Entwicklung am Markt zu betrachten ist. So profitieren Fahrzeuge mit alternativen Antrieben aktuell – und aller Voraussicht nach auch in mittelfristiger Zukunft – stark von Subventionen. Die deutsche Bundesregierung fördert den Kauf von Elektrofahrzeugen beispielsweise mit bis zu 9000 € (Stand: August 2021). Darüber hinaus sind Halter von Elektrofahrzeugen für zehn Jahre von der Kraftfahrzeugsteuer befreit und können steuerliche Vergünstigungen etwa beim Aufladen geltend machen. Welche Aus-

wirkungen politische Förderprogramme für die Etablierung alternativer Antriebe haben können, zeigt indes das Beispiel Norwegen: Im Jahr 2020 wurden dort erstmals mehr Elektrofahrzeuge als konventionelle Verbrenner verkauft. Norwegen ist weltweit das erste Land mit einer Elektrofahrzeug-Quote von mehr als 50 %.³ Ein wesentlicher Grund dafür liegt auch hier in der staatlichen Politik: Bereits im Jahr 2016 kündigte die norwegische Regierung an, dass ab 2025 keine konventionell angetriebenen Fahrzeuge mehr verkauft werden sollen. Steuerliche Anreize und eine flächendeckende Ladeinfrastruktur haben dieses Vorhaben früh untermauert.

Es bleibt also festzuhalten, dass Fahrzeuge mit alternativen Antrieben schon heute eine nicht nur umweltfreundliche, sondern auch wirtschaftlich attraktive Alternative zu Verbrennern sein können. Nichtsdestotrotz stellen insbesondere die Kernkomponenten „Batterie“ und „Brennstoffzelle“ nach wie vor wesentliche Kostentreiber dar, obgleich vor allem bei der Batterie in jüngster Vergangenheit bereits eine wesentliche Kostendegression zu beobachten war. Um Elektromobilität flächendeckend auszubauen, bleibt es eine der wesentlichen Herausforderungen, Fahrzeuge mit alternativen Antrieben – mittelfristig auch ohne staatliche Subventionen – wirtschaftlich attraktiver zu machen.

2.2 Technische Hürden und unsichere Technologieentwicklung

Eine zentrale Herausforderung der Elektromobilität besteht in der immer noch andauernden Frage danach, welche Technologie sich flächendeckend durchsetzen wird. Sowohl auf der Ebene des Gesamtfahrzeugs als auch auf derjenigen einzelner Komponenten ist diese Frage nicht hinlänglich beantwortet.

Auf Fahrzeugebene versucht der Hybridantrieb, die Effizienz und den Fahrkomfort des elektrischen Antriebs mit der Reichweite eines Fahrzeuges mit konventioneller Antriebs-einheit zu vereinen. Damit einhergehende Kosteneinsparungen bei der Anschaffung – insbesondere durch den Einsatz kleinerer Batterien – und eine vorhandene Tankstellen-Infrastruktur sind für viele Verbraucherinnen und Verbraucher ausschlaggebende Argumente für hybrides Fahren. Der Mild-Hybrid als 48-Volt-Startergenerator galt lange als „Einstieg“ in die Elektrifizierung. Mittlerweile hat dieses Konzept vor allem im Premium-Segment Fahrzeuge mit konventionellem Antrieb nahezu abgelöst. Einen ähnlichen Ansatz verfolgt der Voll-Hybrid (HEV), der jedoch im Vergleich zum Mild-Hybrid durch einen integrierten, leistungsstärkeren Elektromotor rein-elektrisches Fahren ermöglicht. Plug-in-Hybride sowie Konzepte mit „Range Extendern“ gewährleisten rein elektrische Fahrten über lange Strecken. Auch hier wird der elektrische Antrieb um einen Verbrennungsmotor ergänzt. Hinzu kommen rein elektrische Fahrzeuge – batterieelektrische Fahrzeuge (BEV) wie auch wasserstoffbetriebene Brennstoffzellenfahrzeuge (FCEV). Politische Förderprogramme ebenso wie der flächendeckende Ausbau der Infrastruktur sind nach wie vor notwendig, um den Wandel zur nachhaltigen Mobilität weiter

³Vgl. tagesschau 2021.

zu gestalten. Die Antwort auf die Frage nach dem in Zukunft dominierenden Fahrzeugkonzept ist vielschichtig – ein Mobilitätsmix aus unterschiedlichen Antriebskonzepten in Abhängigkeit von der jeweiligen Anwendung und dem Nutzungsverhalten ist das, womit Branchenfachleute derzeit rechnen. Deutlich wird an dieser Stelle die aktuell bereits bestehende Technologievielfalt. Diese bietet einerseits einen breiten Raum für weitere Innovationen, erschwert jedoch gleichzeitig die strategische Ausrichtung einzelner Unternehmen vor dem Hintergrund des Marktdurchdringungspotenzials für die eigenen Technologien.

Die Technologie-Diversität erstreckt sich bis auf die Ebene der Einzelkomponenten. Bei Elektromotoren sind im Traktionsbereich aktuell drei wesentliche Motor-Topologien zu erkennen: permanenterregte (PSM) und fremderregte Synchronmotoren (FSM) sowie Asynchronmotoren (ASM). Ein weiterer Variantentreiber liegt zudem im Wicklungskonzept. Ein branchenweiter Trend in Bezug auf eine bestimmte Motortopologie ist derzeit nicht zu beobachten – vielmehr wird die Unsicherheit der Technologieentwicklung und -auswahl anhand einer retrospektiven Betrachtung der vergangenen Jahre deutlich: Verfügt der „BMW i3“ über einen permanenterregten Synchronmotor, so basiert das aktuelle Motorenkonzept des Unternehmens auf einer fremderregten Synchronmaschine. Tesla wiederum erweitert sein Antriebsportfolio um permanenterregte Synchronmaschinen – kamen zuvor ausschließlich Asynchronmotoren zum Einsatz. Außerdem existieren weitere Topologien wie Axialflussmotoren sowie Reluktanz- und Transversalflussmaschinen, die entweder Nischenanwendungen adressieren oder sich im Konzeptstadium befinden.

Die Beispiele für unsichere Technologieentwicklungen lassen sich anhand der Batterie und der Brennstoffzelle weiterführen: Derzeit kommen Pouch-Zellen, Rundzellen und prismatische Zellen in Antriebssystemen zur Anwendung. Unterschiedliche Zelltopologien und ein Trend zu großformatigen Zellen sind ebenso Bestandteil des technologischen Fortschritts wie die Entwicklung und Industrialisierung von Feststoffbatterien. Im Bereich der Brennstoffzelltechnologie besteht Diversität hinsichtlich unterschiedlicher Zelltypen, wobei PEM-Brennstoffzellen nach heutigem Stand die zur automobilen Anwendung geeignetste Zelltopologie ist. Unterschiedliche Technologieansätze sind im Bereich der Brennstoffzellsysteme vor allem in der Wasserstoffspeicherung zu beobachten.

Die gesamte Branche ist mehr als je zuvor durch eine enorme Technologievielfalt geprägt. Unterschiedliche Antriebsstrangkonzeppte auf Fahrzeugebene eröffnen bereits heute anwendungsspezifische Lösungen und tragen somit Schritt für Schritt zur flächendeckenden Elektrifizierung bei. Ein „Mobilitätsmix“, der den individuellen Anforderungen der Nutzenden gerecht wird, trägt wesentlich zur Verkehrswende bei. Allerdings geht die Nutzung einzelner Technologien oftmals mit der Erfüllung gewisser Rahmenbedingungen einher – vor allem in Bezug auf die erforderliche Infrastruktur. Die technologische Diversität lässt sich bis auf die Betrachtungsebene einzelner Komponenten und Subkomponenten übertragen. Individualisierte und exklusive Lösungen tragen der bestehenden Branchendynamik Rechnung und führen in kurzzyklischen Abständen zu inkrementellen Innovationen in nahezu allen Bereichen. Dies hemmt jedoch unter Umständen die flächendeckende Standardisierung, was wiederum Einfluss auf die Skalierbarkeit innerhalb der Produktion haben kann.

2.3 Herausforderungen aus produktionstechnologischer Sicht

Der Wandel zur Elektromobilität ist für OEM sowie für Zulieferer auch aus Produktionsperspektive ein Thema mit wesentlicher Tragweite. Der Bedarf an deutlich weniger Fahrzeugkomponenten trägt dazu bei, dass vorhandene Fertigungskapazitäten umgestaltet werden müssen – sowohl mit Blick auf personelle Kapazitäten als auch auf fertigungstechnologische Ressourcen.

Bei der Produktion der meisten elektrischen Fahrzeuge der ersten Stunde wurde die Strategie des „Conversion Design“ verfolgt. Unter diesem Begriff versteht man den Ansatz, bestehende Fahrzeugkonzepte teilweise dahingehend umzugestalten, den Verbrennungsmotor sowie weitere Antriebskomponenten wie das Schaltgetriebe durch einen elektrischen Antrieb zu ersetzen. Die grundsätzliche Fahrzeuggestalt bleibt dabei jedoch weitestgehend unverändert. Ein bekanntes Beispiel für ein Fahrzeug dieser Art stellte beispielsweise der „e-Golf“ von Volkswagen dar. Insbesondere vor dem damaligen Hintergrund einer ungewissen Nachfrageentwicklung in Kombination mit der Möglichkeit der Nutzung bereichsübergreifender Synergien innerhalb der Konzerne war das „Conversion Design“ ein strategisch sinnvoller Ansatz, das Themenfeld der Elektromobilproduktion zu erschließen. Auch heute wird stellenweise noch die „Conversion-Design“-Strategie verfolgt. Ein bekanntes Beispiel dafür bildet das Modell iX3 von BMW.

Gemäß der steigenden Nachfrage und der strategischen Neuausrichtung vieler OEM, in Zukunft keine – oder deutlich weniger – Fahrzeuge mit Verbrennungsmotoren zu produzieren, ist aktuell jedoch eindeutig zu beobachten, wie Fahrzeughersteller immer mehr dem Konzept des „Purpose Design“ folgen. Die Produktion und die Entwicklung der wesentlichen Kernkomponenten stehen dabei zwar auch im Mittelpunkt, doch das Zielsystem liegt in einem vollends abgestimmten elektrischen Gesamtfahrzeug.

Die produktionstechnologischen Herausforderungen, denen sich die Industrie aktuell stellt und in Zukunft weiter stellen muss, sind vielschichtig. Zu ihnen zählen neue Prozesse und Materialien, ungelöste Problemstellungen, deren Behebung signifikante Kosten- und Effizienzvorteile bringen würden, sowie – zumindest im direkten Vergleich mit der Produktion von Verbrennungsmotor-Fahrzeugen – eher geringes Erfahrungswissen, auf das zurückgegriffen werden kann.

Die Vielschichtigkeit der Prozesse und Wirkzusammenhänge in der Produktion sowie die geringe Erfahrung auf der Seite der Hersteller führen dazu, dass der Aufbau neuer Produktionskapazitäten – insbesondere bei der Fertigung der Komponenten des E-Motors, der Brennstoffzelle und der Batterie – durch multilaterale Projektkonstitutionen geprägt ist. Im Bereich der Material- und Anlagenhersteller wurde und wird spezifisches Produkt- und Prozesswissen aufgebaut, von dem die Automobilindustrie vor allem im Zeitraum von der Vorentwicklung bis zur Industrialisierung profitiert. Um den Herausforderungen in der Industrialisierung gerecht zu werden und aus Gründen der Schnittstellenreduktion sowie Risikominimierung, ist häufig zu beobachten, dass gesamte Produktionssysteme oder Subsysteme geschlossen an einzelne Generalunternehmen vergeben werden. Geschlossene Vergaben sind insbesondere in neuen Technologiefeldern ein adäquater Weg, Produk-

tionssysteme aufzubauen: Mit der Übernahme der Prozessverantwortung in frühen Phasen durch den Generalunternehmer wird dem technischen Risiko des Anlaufs in gewisser Weise Rechnung getragen, und Produzenten sind in der Lage, kontinuierlich eigenes Prozesswissen aufzubauen. Andererseits kann dies dazu führen, dass eine gewisse Abhängigkeit zwischen Produzenten und Anlagenherstellern entsteht. Dies insbesondere vor dem Hintergrund der Tatsache, dass in der vergleichsweise jungen Vergangenheit der Elektro-mobilproduktion eine gewisse Dynamik durch schnelle Technologiewechsel zu beobachten ist, was ein Blick auf die Kernkomponenten „Elektromotor“, „Batterie“ und „Brennstoffzelle“ verdeutlicht.

Galt der E-Motor vor wenigen Jahren noch als die nahezu einzige Kernkomponente in der Elektromobilität, bei der man auf gewisse Erfahrungswerte durch andere Industriezweige blicken konnte, hat sich das in der jüngeren Vergangenheit als nur bedingt zutreffend herausgestellt. Hochintegrierte Antriebseinheiten, komplexes Thermomanagement sowie das anhaltende Streben nach mehr Performance und höherer Effizienz sind die Themen der Stunde. Auch aus produktionstechnologischer Sicht begab man sich gewissermaßen auf ungewohntes Terrain: War die Herstellung konventioneller Antriebe vor allem durch spanende Fertigungsverfahren geprägt, geht die Produktion elektrischer Antriebe mit der Entwicklung und dem Aufbau hochkomplexer Montage-Anlagen einher. Neue Materialien wie Kupferdraht, Blechpakete, Isolationspapier, Magnete und Epoxidharze sowie deren Verarbeitung stellen insbesondere Produzenten vor neue Herausforderungen. Prozessübergreifende Wirkzusammenhänge wie auch produkt-prozessbedingte Wechselwirkungen sind Themen, die Produzenten derzeit umtreiben.

Die Batterie als eine wesentliche Kernkomponente wurde bereits früh als bedeutsames und vielleicht gar bedeutsamstes Gestaltungselement im Kontext der elektromobilen Wertschöpfung identifiziert. Die anhaltend hohe Entwicklungsgeschwindigkeit im Bereich der Batterieproduktion sorgt für stetig neue und sich ändernde Rahmenbedingungen, die direkten Einfluss auf die entsprechenden Produktionssysteme haben. Insbesondere aus Gründen der Komplexitätsreduktion wurden zu Beginn der flächendeckenden Fertigung von Traktionsbatterien vergleichsweise kleine Zellen produziert. Heute stellen Zellen mit Abmaßen von einem halben Meter und mehr keine Seltenheit dar, was zwangsläufig mit einem stellenweise neuen oder angepassten Prozessdesign einhergeht. Auch Optimierungsbestrebungen, den Anteil von Inaktiv-Material oder den Verschalt- und Peripherieaufwand zu reduzieren, führen zu neuen Batteriesystemkonzepten. „Cell-to-Pack“ oder „Cell-to-Chassis“ sind Konzepte, die aus produktionstechnischer Sicht teilweise zu grundlegend neuen Herausforderungen führen.

Eine der Hauptherausforderungen bei der Brennstoffzellenproduktion besteht in der für den automobilen Massenmarkt zwingend notwendigen Skalierbarkeit. Diese ist teilweise – aber nicht ausschließlich – in der Wechselwirkung von Angebots- und Nachfragesituation begründet. Produktionstechnische beziehungsweise prozessuale Herausforderungen liegen etwa im Handling von Bipolarplatten, werden teils aber auch durch lange Prozesszeiten hervorgerufen. Ein Beispiel dafür bildet der Einfahrprozess, der – je nach Design und Größe des Systems – bis zu sieben Stunden dauern kann. Derzeitige Bestre-

bungen, dem entgegenzuwirken, liegen etwa in der systematischen Auswertung vorgelagerter Prozessdaten, die frühzeitig Aufschluss über die Qualität und Funktionalität des Systems geben soll.

Literatur

Teil I: Einführung in die Elektromobilität

ADAC *Kostenvergleich e-Fahrzeuge + Plug-In Hybride gegen Benzin und Diesel*, 04/2021

Horváth & Partner GmbH: *Status quo der E-Mobilität in Deutschland. Faktencheck E-Mobilität Update 2020*, 2020

tagesschau: *Norweger kaufen mehr E-Autos als Verbrenner. Staatliche Förderung wirkt.* <https://www.tagesschau.de/wirtschaft/norwegen-e-autos-101.html>. Abruf 13.08.2021

Open Access Dieses Kapitel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>) veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden.

Die in diesem Kapitel enthaltenen Bilder und sonstiges Drittmaterial unterliegen ebenfalls der genannten Creative Commons Lizenz, sofern sich aus der Abbildungslegende nichts anderes ergibt. Sofern das betreffende Material nicht unter der genannten Creative Commons Lizenz steht und die betreffende Handlung nicht nach gesetzlichen Vorschriften erlaubt ist, ist für die oben aufgeführten Weiterverwendungen des Materials die Einwilligung des jeweiligen Rechteinhabers einzuholen.

