

PIRL ENGINEERING

*ALTE TISCHLEREI
EST. 2020*



Überblick Technologievergleich – Elektroantrieb und Antrieb mit Ver- brennungsmotor

Inhaltsverzeichnis

Abbildungen und Abkürzungen.....	III
1 Inhalt	1
2 Vergleich der Antriebskonzepte	1
2.1 Grundlagen	1
2.1.1 Kraftfahrzeug allgemein	1
2.1.2 Charakteristik Antrieb mit Verbrennungsmotor.....	1
2.1.3 Charakteristik Antrieb mit Elektromotor	2
2.2 Differenzierung der Komponenten	4
2.2.1 Komponenten die bei Elektroantrieb entfallen.....	5
2.2.2 Komponenten die bei Elektroantrieb neu hinzukommen	7
3 Technologische Unterschiede und Einflüsse	9
3.1 Impact Fahrzeug	10
3.2 Impact Energiequelle	13
Quellenverzeichnis	XVI

Abkürzungsverzeichnis

Abbildungen und Abkürzungen**Abbildungen:**

Abbildung 1: Entfallende Komponenten bei rein elektrischem Antrieb.....6

Abbildung 2: Überblick Aufbau Elektrofahrzeug.....7

Abkürzungen:

AU	Abgasuntersuchung
BEV	Battery Electric Vehicle
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie
ICE	Internal Combustion Engine (Verbrennungsmotor)
ICEV	Internal Combustion Engine Vehicle
IFA	Institut für Automobilwirtschaft
IKT	Informations- und Kommunikationstechnologie
KBA	Kraftfahrtbundesamt
NPE	Nationale Plattform Elektromobilität

Einheiten:

g	Gramm
h	Stunde
kg	Kilogramm
km	Kilometer
kW	Kilowatt
kWh	Kilowattstunde
MJ	Megajoule
MWh	Megawattstunde
TW	Terawatt
TWh	Terawattstunde

Kapitel 1 Inhalt

1 Inhalt

Der Vergleich soll einen kurzen Überblick geben, welche generellen und technologischen Unterschiede zwischen elektrisch angetriebenen Fahrzeugen und Fahrzeugen mit herkömmlichem Verbrennungsmotoren bestehen.

In Kapitel zwei werden die beiden Antriebskonzepte verglichen und die Grundkenntnisse bezüglich Funktion und Aufbau erläutert.

Im dritten Kapitel werden die beiden Antriebstechnologien, Verbrennungsmotor und rein elektrischer Antrieb, hinsichtlich ihrer Technologien und Einflüsse gegenüber gestellt und die wesentlichen Unterschiede beschrieben.

2 Vergleich der Antriebskonzepte

2.1 Grundlagen

Um die Hauptunterschiede der beiden Antriebstechnologien zu verdeutlichen, werden der Grundaufbau eines Fahrzeuges und die jeweilige Charakteristik von Verbrennungs- und Elektromotor beschrieben.

2.1.1 Kraftfahrzeug allgemein

Kraftfahrzeuge werden als „*nicht dauerhaft spurgeführte Landfahrzeuge, die durch Maschinenkraft bewegt werden*“¹ definiert. Allen heutigen Automobilen liegt zugrunde, dass durch einen Motor, angetrieben mittels einer Energiequelle, Bewegung erzeugt wird. Diese Bewegung wird dann über Getriebe und Wellen auf die Antriebsräder übertragen und soll zur gewünschten Geschwindigkeitsveränderung bzw. -Beibehaltung des Fahrzeuges führen. Die Hauptbaugruppen sind der Antrieb bestehend aus Motor inklusive Anbauteilen und der Kraftübertragung, das Fahrwerk, die Karosserie bzw. der Fahrzeugaufbau, die Fahrzeugelektrik und die Innenausstattung.

2.1.2 Charakteristik Antrieb mit Verbrennungsmotor

Antriebe mit Verbrennungsmotoren erzeugen die für die Fortbewegung benötigte Energie durch die Verbrennung von Kraftstoffen. Elementare Bestandteile sind das Getriebe sowie Systeme, die für das Betreiben des Motoraggregats notwendig sind. Hierzu zählen die Kraftstoffversorgung, die Verbrennung, die Kühlung und die Abgasabführung und –Reinigung.

Kraftfahrzeuge mit Verbrennungsmotoren gehören aktuell zu den am meisten verbreiteten weltweit. In Deutschland wurden beispielsweise 2017 von insgesamt 3,44 Millionen PKWs 57,7% mit Benzinantrieb und 38,8% mit Dieselantrieb neu zugelassen.²

¹ Gabler Wirtschaftslexikon, online.

² Vgl. Kraftfahrt-Bundesamt, online.

Kapitel 2 Vergleich der Antriebskonzepte

2.1.3 Charakteristik Antrieb mit Elektromotor

Fahrzeug:

Batterie elektrische Fahrzeuge charakterisieren sich durch den Antrieb mit Hilfe einer Elektromaschine (oft auch als Elektromotor bezeichnet).

Die für die Fortbewegung notwendige Energie wird von Batterien, auch Traktionsbatterien genannt, geliefert.

Als Hauptbestandteile eines Elektroantriebes kommen zur Elektromaschine und der Batterie noch die Leistungselektronik und die Ladetechnik hinzu.³

Als wesentliche Funktionsmerkmale eines Elektrofahrzeugs sind folgende Punkte hervorzuheben:

- die Fortbewegung findet rein elektrisch statt und sämtliche Hilfsaggregate werden rein elektrisch angetrieben
- Energiequelle ist eine Batterie, die über eine geeignete Ladevorrichtung aufgeladen werden kann bzw. muss.(z. B. Steckdose, plug in)
- die Energieversorgung des Bordnetzes findet mit einer Spannung von 12V statt, die Energieversorgung für die Fortbewegung (Elektromaschine) mit einer Hochvoltbatterie, Traktionsbatterie (Spannung > 300V)
- es besteht Kühlbedarf für die Hochvoltbatterie, die Elektromaschine und den Leistungswandler, es entsteht aber nur geringe Abwärme (kaum nutzbar für die Fahrzeugklimatisierung)
- das Fahrzeug hat eine systembedingte Start – Stopp Funktion
- beim Bremsvorgang wird Energie zurückgewonnen (auch Rekuperation genannt)⁴

Ladeinfrastruktur

Durch die veränderte Energiequelle ist auch eine grundlegend neuer Tank- bzw. Ladevorgang für die BEV notwendig. Um die Batterie im Auto wieder mit Strom aufzuladen, stehen verschiedene Möglichkeiten zur Verfügung.

Aktuell gängig sind das Laden zu Hause (Stellplatz, Carport, Garage), Parkplatz bei der Arbeit, an öffentlichen Stellplätzen und die Nutzung von Schnellladesta-

³ Vgl. Pischinger, S. / Seiffert, U. (2016), S.179.

⁴ Vgl. Pischinger, S. / Seiffert, U. (2016), S.93.

Kapitel 2 Vergleich der Antriebskonzepte

tionen, den sogenannten Stromtankstellen.⁵ Die Ladeinfrastruktur bezeichnet alle öffentlichen Ladepunkte, die für jedes Elektrofahrzeug nutzbar sind. Die Ladepunkte werden dann, entsprechend ihrer Stromabgabe, in Normal- und Schnellladepunkte differenziert.⁶

Die Nationale Plattform Elektromobilität unterscheidet drei Kategorien der Ladeinfrastruktur.

„1) Normalladen im privaten Raum: Dazu zählen Ladepunkte im privaten beziehungsweise gewerblichen Raum (Steckdose mit Absicherung und Zuleitung, Wallbox-Ladepunkt auf dem Firmengelände und im öffentlich zugänglichen Bereich).

2) Normalladen im öffentlichen Raum: Dazu zählen Ladepunkte im rein öffentlichen Raum (Ladesäule am Straßenrand, innerhalb der Ortschaften).

3) Schnellladen: Dazu zählen Schnellladestationen an öffentlich zugänglichen und viel befahrenen Orten.“⁷

Ladekonzepte

Die drei aktuellen Lade- bzw. Versorgungskonzepte sind das konduktive Laden, das induktive Laden und das Wechseln einer leeren mit einer vollgeladenen Batterie.

Momentan wird hauptsächlich das konduktive Laden eingesetzt. Es bezeichnet das kabelgebundene Laden und liefert - Stand 2018 - die höchste Übertragungsleistung, ist am meisten standardisiert und am einfachsten in ein ganzheitliches Ladesystem zu integrieren.⁸ (Beispiel Steckdose in der Garage)

⁵ Vgl. e-mobile BW GmbH (2010), Systemanalyse BWe mobil, S.19.

⁶ Vgl. Verband der Automobilindustrie (2016), S. 117.

⁷ Nationale Plattform Elektromobilität (2012), Fortschrittsbericht, (Dritter Bericht), S. 48.

⁸ Vgl. Kley, F. (2011), Ladeinfrastrukturen für Elektrofahrzeuge.

Kapitel 2 Vergleich der Antriebskonzepte

2.2 Differenzierung der Komponenten

Es werden hier die durch den Systemwechsel im Wesentlichen entfallenden und neu hinzukommenden Komponenten auf Bauteil- bzw. Systemebene betrachtet.

Als wesentlich bewertet werden hier:

- Komponenten mit hohem Wertanteil am Fahrzeug.⁹ (Beispiel Traktionsbatterie)
- Komponenten mit hoher Auswechsel- bzw. Ausfallquote (Beispiel Motoröl)
- Komponenten die sich technologisch und dadurch in ihrer Herstellung bzw. Beschaffung stark unterscheiden. (Beispiel bearbeitete Metallteile wie Schmiede-, Guss-, Dreh- und Frästeile)

Die Teilerecherche und die Herausarbeitung der relevanten Differenzierungsmerkmale wurden zum einen durch die eigene Erfahrung in der Automobilbranche und zum anderem mit Unterstützung von Fachliteratur und aktuellen Studien aus den folgenden Themenbereichen erstellt:

- Auswirkungen im Aftersales¹⁰
- Auswirkungen für Zulieferer¹¹
- Arbeitswissenschaftliche Veränderungen¹²
- Marktpotenziale elektrifizierter Fahrzeugkonzepte¹³
- Strukturstudie Elektromobilität in Baden Württemberg¹⁴
- Chancen und Herausforderungen für den Maschinenbau¹⁵
- Aufbau Fahrzeug und Fahrzeugkomponenten allgemein¹⁶

⁹ Anteil an den Materialkosten mindestens 1%.

¹⁰ Vgl. e-mobil BW GmbH (2013): S. 14ff, S. 31.

¹¹ Vgl. Stahlecker, T. et al. (2011), S. 19.

¹² Vgl. Enderlein H. et al. (2012), S. 17.

¹³ Vgl. Propfe B. (2015), S. 29.

¹⁴ Vgl. e-mobil BW GmbH (2011), S. 12.

¹⁵ Vgl. Schlick T. et al. (2011), S. 29.

¹⁶ Vgl. Verein Freier Ersatzteilemarkt e.V., online.

Kapitel 2 Vergleich der Antriebskonzepte

- Grundlagen Verbrennungsmotoren¹⁷
- Grundlagen elektrische Antriebe¹⁸
- Aufbau Fahrzeug und Fahrzeugkomponenten Elektroauto¹⁹
- Funktionsweise elektrischer Antriebe²⁰

2.2.1 Komponenten die bei Elektroantrieb entfallen

Bei einer Umstellung auf einen rein elektrischen Antrieb werden alle für den Antrieb mit Verbrennungsmotor spezifischen Teile entfallen.

Hauptkomponenten zum Betrieb mit Verbrennungsmotor sind der Motor, bestehend aus den Hauptbaugruppen Kurbeltrieb (Kurbelwelle, Pleuelstangen, Kolben), Motorgehäuse und Ventiltrieb sowie das Kraftstoffsystem, die Abgasanlage, die Motorelektrik und das Kühl- und Schmiersystem.²¹ Die Kraftverteilung kann über einfachere Getriebe umgesetzt werden. Ein komplexes mehrgängiges Getriebe kann durch ein Getriebe mit nur ein oder zwei Gängen ersetzt werden.

¹⁷ Vgl. Basshuysen R. / Schäfer F. (2017).

¹⁸ Vgl. Veltman A. et al. (2016): S. 4, 5.

¹⁹ Vgl. Das Elektroauto Journal (2016), online.

²⁰ Vgl. AutoScout24 GmbH (2017), online.

²¹ Vgl. Schreiner, K (2017), S. 57.

Kapitel 2 Vergleich der Antriebskonzepte

Folgende Abbildung stellt die entfallenden Systeme und deren relevante Komponenten dar. (Teilsysteme und Komponenten alphabetisch angeordnet)



Abbildung 1: Entfallende Komponenten bei rein elektrischem Antrieb

Quelle: Eigene Darstellung.

Kapitel 2 Vergleich der Antriebskonzepte

2.2.2 Komponenten die bei Elektroantrieb neu hinzukommen

Im Folgenden werden die jeweils relevanten Komponenten, die aufgrund der veränderten Energiequelle (Strom) neu hinzukommen, kurz erläutert. Die folgende Darstellung gibt einen Überblick hinsichtlich des generellen Aufbaus eines rein elektrisch angetriebenen Fahrzeuges.

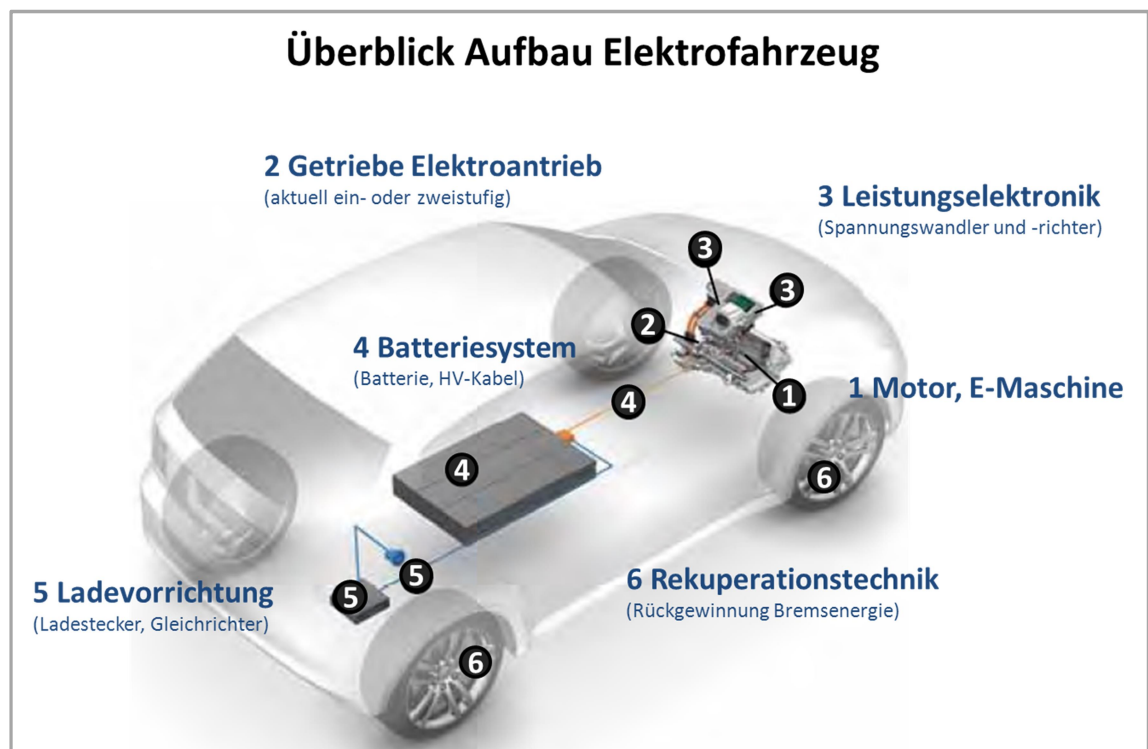


Abbildung 2: Überblick Aufbau Elektrofahrzeug

Quelle: Fahrzeugbild aus ZF (2016), S. 28.

Beschriftung: Eigene Darstellung.

Motor, E-Maschine (als Zentralmotor, radnaher Motor, Radnabenmotor):

- Elektromaschine (Generator und Motor)
- Kühlung

Getriebe für Elektroantrieb:

Stand 2017 meist als ein oder zweistufiges Getriebe aufgebaut.

Kapitel 2 Vergleich der Antriebskonzepte

Leistungselektronik:

- Spannungswandler, Aufwärtswandler (Boost Converter)
- Wechselrichter/Gleichrichter
- Steuerung

Aufgabe ist die Regelung des Antriebs und die Steuerung des Energieflusses. Hierzu gehören auch die Rekuperation, der Ladevorgang, die Verbindung zum Bordnetz sowie die jeweilig notwendige Spannungswandlung.²²

Batteriesystem:

- Hochvoltbatterie (Traktionsbatterie), Batteriepack wird aus Modulen zusammengesetzt, die aus einzelnen Zellen bestehen.
- Batteriemanagementsystem
- Hochvoltverbindungen zwischen den verschiedenen elektrischen Komponenten

Ladevorrichtung:

- Hochvoltkabel
- Ladestecker

Rekuperationstechnik:

- Energierückgewinnung durch Bremsenergie

Klimatisierung, Thermomanagement:

- Kühlung, elektrischer Hochvolt-Klimakompressor
- Heizung, Luft- oder Wasser PTC Element (englisch für: positive temperature coefficient), Wärmepumpe, Brennstoffheizer

Sonstige:

- Elektrische Antriebs- und Nebenaggregate

Viele Aggregate werden jeweils über eigenständige Elektromotoren angetrieben.²³ Bisher wurden diese mechanisch, beispielsweise durch Riemen- oder Kettentriebe, über die Kurbelwelle betrieben. Dieser Energiebedarf muss ebenfalls von der Batterie abgedeckt werden.

²² Vgl. Kampker, A. (2014), S. 14.

²³ Vgl. Enderlein H. et al. (2012), S. 18.

3 Technologische Unterschiede und Einflüsse

Eine Umstellung des Antriebskonzeptes verändert die Bedeutung vieler Technologien, die für die Herstellung einzelner Komponenten verwendet werden und welche für die Beschaffenheit dieser relevant sind.

Elektromobilität per se kann im klassischen Sinne als disruptive Technologie eingestuft werden. Aktuell ist die Marktdurchdringung noch gering und regional geprägt, kann aber, wenn sie sich durchsetzt, wie z. B. der Mobilfunk, das Smartphone oder der Computer, andere Technologien und Produkte, beispielsweise den Verbrennungsmotor und erdöhlhaltige Kraftstoffe, substituieren und ggf. verdrängen.²⁴

Durch eine sukzessive Zunahme an elektrisch angetriebenen Fahrzeugen und eine zumindest teilweise Ablösung der herkömmlichen Verbrennungsmotoren ist in Zukunft mit zahlreichen Veränderungen zu rechnen.

In Kapitel 2.2 wurden die Unterschiede im Fahrzeugaufbau beschrieben. Die Hauptsysteme, die betroffen sind, können zum einen in Verbrennungsmotor mit Getriebe, Abgas-, Einspritz- und Kraftstoffsystem und zum anderen in Elektromaschine mit Getriebe, Batterie, Leistungselektronik und Ladevorrichtung zusammengefasst werden.

An die Technologien für den elektrischen Antrieb werden die gleichen Ansprüche gestellt wie bei den bisher bestehenden Kraftfahrzeugen. Die Reduzierung des Energieverbrauchs, die Reduzierung des Schadstoffausstoßes sowie die vom Kunden gewünschten Nutzungseigenschaften bezüglich Fahrkomfort und Fahrleistung stehen im Vordergrund. Bezüglich Fahrleistung kommen bei elektrisch angetriebenen Fahrzeugen insbesondere technologische Möglichkeiten in den Fokus, die die Reichweite erhöhen können.

²⁴ Vgl. Enderlein H. et al. (2012), S. 34.

Kapitel 3 Technologische Unterschiede und Einflüsse

3.1 Impact Fahrzeug

Ein Großteil aller Innovationen und Technologien mit großem Einfluss auf die kaufentscheidenden Faktoren kann dem Antriebsstrang zugerechnet werden.²⁵

In den Jahren zwischen 2010 und 2015 konzentrierten diese sich hauptsächlich auf den konventionellen Bereich, also den Antrieb mit Verbrennungsmotoren. Von insgesamt über 2.100 Antriebsinnovationen lag die Quote von rein elektrischen Antrieben nur bei 10%.²⁶

Bei den Patentanmeldungen in den Jahren zwischen 2010 und 2015 wurden ca. 8.000 Patente im Bereich Verbrennungsmotor und ca. 3.800, die sich auf rein elektrische Fahrzeuge beziehen, angemeldet.²⁷

Für BEVs wird es eine Konzentration auf die Weiterentwicklung der Hauptantriebsstrangkomponenten, Traktionsbatterie, Elektromaschine, Leistungselektronik und Hochvoltsysteme geben.²⁸ Wobei Insbesondere die Elektromaschine in Verbindung mit wieder aufladbaren Batterien zu den wichtigsten technischen Merkmalen und technologischen Herausforderungen von Elektrofahrzeugen gezählt werden kann.²⁹

Durch diese Verschiebung von mechanischen zu elektrischen Komponenten und eine Reduzierung der Gesamtanzahl zu entwickelnder und zu produzierender Teile werden sich auch noch weitere Technologiefelder ändern.³⁰ So müssen das Thermomanagement, also die Kühlung und das Beheizen des Fahrgastraumes, sowie der Antrieb der Nebenaggregate, ohne die Abwärme bzw. ohne den Antrieb über Riemen des Verbrennungsmotors, neu gestaltet werden.

Besondere Bedeutung kommt vor allem den Themen hinsichtlich der Reichweite und der Versorgungssicherheit mit Energie zu. Beides ist aktuell stark an die Batterieentwicklung und die Ladekonzepte sowie deren technologische Ausrichtung gekoppelt.

²⁵ Vgl. Bratzel, S. et al. (2016), S. 28.

²⁶ Vgl. Bratzel, S. et al. (2016), S. 54.

²⁷ Vgl. Falck, O. et al. (2017), S. 48f.

²⁸ Vgl. Propfe, B. (2015), S. 130.

²⁹ Vgl. Adolf, J. et al. (2016), S. 49.

³⁰ Vgl. e-mobil BW GmbH (2011), S. 33.

Kapitel 3 Technologische Unterschiede und Einflüsse

Im Folgenden werden die neuen Hauptkomponenten und die Fahrzeugherstellung hinsichtlich technologischer Einflüsse und Besonderheiten betrachtet.

Traktionsbatterie:

Im Fokus stehen Technologien zur Erhöhung von Energie- und Leistungsdichte. Hier werden neue Materialien und Zusammensetzungen (Elektrochemie) wichtige Impulse liefern.³¹ Der Zelle als Kernelement der Batterie wird bei der Forschung und Fertigung eine besonders große Bedeutung zukommen.³²

Sonstige elektronische Komponenten, die die Funktion bzw. die Leistung der Batterien und des Gesamtsystems weiter optimieren, werden zukünftiges Entwicklungspotenzial bergen. Als ein Beispiel seien hier Hochleistungsdoppelschichtkondensatoren genannt, welche die Leistung schnell aufnehmen oder abgeben können. Diese können die Batterie unterstützen, wenn hohe Rekupe-
rationsenergie beim Bremsen aufgenommen oder beim starken Beschleunigen kurzzeitig viel Energie transportiert werden soll.³³

Da die Sicherheit, insbesondere auch der Brandschutz, eine große Rolle beim Batteriesystem spielt, können dadurch auch neue Löschsysteme oder Methoden erforderlich werden.

Elektromotor, Elektromaschine:

Die Elektromaschine ist in anderen Anwendungsbereichen schon lange eine etablierte Technologie. Für den Antrieb eines Fahrzeuges geht es jetzt vor allem darum, diese optimal an die Anforderungen im Fahrbetrieb anzupassen und in das Gesamtsystem und das Fahrzeugkonzept zu integrieren.

Elektromotoren weisen im Vergleich zu Verbrennungsmotoren einen höheren Wirkungsgrad auf. Bei einem 4-Takt Ottomotor werden beispielsweise durchschnittlich unter 30% der Leistung genutzt.³⁴ Bei ungünstigen Lastverläufen, beispielsweise im Stadtverkehr, kann der Wirkungsgrad noch niedriger liegen. Die Wirkungsgrade von Elektromotoren mit Leistungen ab 100 PS weisen über 90% auf.³⁵ Unabhängig davon, wie der Elektromotor mit Energie versorgt wird,

³¹ Vgl. Le Bret, C. (2016), S. 16 ff.

³² Vgl. Nationale Plattform Elektromobilität (2015), S. 19.

³³ Vgl. Peters, A. et al. (2012), S.32.

³⁴ Vgl. Basshuysen R. / Schäfer F. (2017), S. 28.

³⁵ Vgl. Almeida, A. et al. (1997), S. 340 f.

Kapitel 3 Technologische Unterschiede und Einflüsse

bietet diese Technologie attraktive Spielräume, wie Fahrzeuge effektiver gestaltet werden können.

Elektromotoren können im Fahrzeug als Zentralmotor verbaut werden oder dezentral in separaten Antriebseinheiten. Ein Beispiel ist der platzsparende Radnabenmotor. Er ermöglicht es, dass jedes Rad einzeln durch einen eigenen Elektromotor angetrieben wird.

Leistungselektronik:

Zur erfolgreichen Weiterentwicklung der Leistungselektronik werden Technologien beitragen, die zu einer Verbesserung der Kühlsysteme, eine Erhöhung der Leistungsdichte und der Steigerung der Temperaturunempfindlichkeit von eingesetzten Materialien führen.³⁶ Ein Beispiel ist hier das „silver sintering“, das es ermöglicht, auch bei hohen Temperaturen eine gute Performance und Zuverlässigkeit zu gewährleisten.

Thermomanagement:

Bisher konnte die vom Motor produzierte Abwärme für die Heizung des Innenraumes genutzt werden. Die Kühlung bzw. der Klimakompressor wurde über einen Riementrieb des Verbrennungsmotors angetrieben. Bei rein elektrischem Antrieb wird für die Beheizung zu wenig Abwärme generiert und der Klimakompressor wird rein elektrisch betrieben. Das Thermomanagement in BEVs benötigt sehr viel Energie und hat daher großen Einfluss auf die Leistung und Reichweite des Fahrzeugs.³⁷

Herstellung:

Die Produktionstechnologien werden sich den veränderten elektrischen Komponenten anpassen, beziehungsweise es werden neue Verfahren entwickelt. Beim rein elektrischen Antrieb werden weniger Tätigkeiten im Bereich der Metallbearbeitung liegen, aber mehr im Zusammenbau der fertigen Elektronikkomponenten.

Durch die veränderten Technologiebedarfe werden sich auch die Anforderungen für Ingenieure bei der Entwicklung und der Produktion anpassen. Elektrotechnik und Materialwissenschaften werden immer mehr an Bedeutung gewinnen.

³⁶ Vgl. Le Bret, C. (2016), S. 111.

³⁷ Vgl. Pischinger, S. / Seiffert, U. (2016), S.93.

Kapitel 3 Technologische Unterschiede und Einflüsse

nen.³⁸ Das bedeutet nicht zwangsläufig, dass neue Ausbildungsberufe oder Studiengänge eingeführt werden müssen, sondern, dass die neuen Anforderungen in bisher bestehende einzugliedern sind.

Beim Fahrzeugdesign werden durch das Volumen, die Maße und den Aufbau der neuen Komponenten neue Fahrzeuggeometrien vorstellbar und umsetzbar sein. Fahrzeugausmaße können besser für bestimmte Anforderungen gestaltet werden. So können z. B. besonders schmale Bauformen für Umgebungen mit geringem Platzangebot, wie z. B. im urbanen Bereich, leichter entwickelt werden.³⁹

3.2 Impact Energiequelle

Ladevorgang:

Bei der Ladeinfrastruktur stehen neben der Bereitstellung der Stromversorgung und der Ladevorrichtungen vor allem neue Lösungen bezüglich der Abwicklung von Zahlungs- und Ladevorgang an. Kernthemen werden ein geeignetes Messsystem und die Entwicklung von Abgabezählern sowie die Steuerung des Abrechnungsprozesses sein.⁴⁰

Aufgrund dieser Komplexitäten werden die neuen Ladetechnologien stark abhängig oder stark geprägt von guten IKT-Systemen (IKT-Technologien) sein.

Im Zusammenhang mit der Elektromobilität wird sie hauptsächlich als Schnittstellentechnologie für die Vernetzung von Infrastruktur- und Fahrzeugkomponenten sowie zur Information und Interaktion durch den menschlichen Nutzer gesehen.⁴¹

Die bisherigen Ladeschnittstellen sind zwar meist kabelgebunden. In der Zukunft könnten sich aber kabellose Ladetechniken oder ein Modell des Batteriewechsels etablieren.⁴² Beim kabellosen Laden wird entscheidend sein, wieviel Energie z. B. durch induktive Ladung zur Verfügung gestellt bzw. übertragen werden kann. Für ein Konzept des Batteriewechsels ist zum einen die Verbau-

³⁸ Vgl. Schlick T. et al. (2011), S.12.

³⁹ Vgl. Visiongain (2015), S. 200.

⁴⁰ Vgl. Schäuble, J. et al. (2015), S. 115.

⁴¹ Vgl. e-mobile BW GmbH (2010), Systemanalyse BWe mobil, S.8.

⁴² Vgl. Visiongain (2015), S. 39.

Kapitel 3 Technologische Unterschiede und Einflüsse

ung und Standardisierung von Batterie und deren Befestigung entscheidend und zum anderen, welche Varianz unterschiedlicher Batterien an den Wechselstationen vorhanden ist.

Stromnetz:

Bisher sind die meisten Stromnetze auf eine zentrale Energieerzeugung und Versorgung durch große Kraftwerke ausgelegt. In Zukunft werden Technologien benötigt, die eine Transformation hin zu einem flexiblen, intelligent vernetzten Gesamtsystem ermöglichen.⁴³

Aus technischer Sicht wird es weniger eine Herausforderung bei der Produktion des zusätzlich für Elektromobilität benötigten Stromes geben, sondern bei Lösungen, ihn in ausreichender Menge zur richtigen Zeit am richtigen Orten zur Verfügung zu stellen.⁴⁴ In Deutschland wird beispielsweise aktuell (2019) aufgrund zahlreicher Grundlastmeiler zu viel Strom produziert.⁴⁵

Beim Laden an einer Steckdose zu Hause sind 3-6 KW Ladeleistung üblich. Das entspricht in etwa dem Betreiben einer üblichen Klimaanlage oder eines größeren Heizgerätes. Kommen aber Schnellladesysteme zum Einsatz, werden Leistungen vom Netz abgerufen, die einen normalen Haushaltsbedarf deutlich übersteigen.⁴⁶

Bestehende Niederspannungsnetze sind nicht auf diese hohen Stromverbräuche, insbesondere wenn sie durch gleiche Ladegewohnheiten geballt abgerufen werden, ausgelegt.⁴⁷ Diese Herausforderungen können entweder durch Maßnahmen im Netzausbau oder durch intelligente IKT-Technologien zur Versorgung mit Ladestrom gelöst werden.

Der für Elektromobilität benötigte zusätzliche Strom stellt im Vergleich zu sonstigen Zuwächsen des Energiebedarfes (etwa der Industrie) einen geringen Anteil dar. Die IEA schätzt hier bis ins Jahr 2030 einen Anteil von 1,5% vom gesamten Energiebedarf.⁴⁸ Die Stromproduktion im Zeitraum zwischen 1974 und

⁴³ Vgl. e-mobile BW GmbH (2010), Systemanalyse BWe mobil, S.5.

⁴⁴ Vgl. International Energy Agency (2017), Global EV Outlook 2017, S. 46.

⁴⁵ Vgl. Ellenbeck, S. / Schmidt, P. (2013), online.

⁴⁶ Vgl. Visiongain (2015), S. 170.

⁴⁷ Vgl. Bundesnetzagentur (2017), S. 39.

⁴⁸ Vgl. International Energy Agency (2017), Global EV Outlook 2017, S. 41.

Kapitel 3 Technologische Unterschiede und Einflüsse

2015 beispielsweise, erhöhte sich von 6.287 TWh auf 24.345 TWh. Dies entspricht einer durchschnittlichen jährlichen Wachstumsrate von 3,4%.⁴⁹

Der weltweite Einstieg oder sogar geplante Umstieg auf erneuerbare Energien stellt zukünftig ebenfalls neue Anforderungen an die Stromnetze. Es wird daher bereits über technologische Möglichkeiten nachgedacht, wie sowohl Elektromobilität und erneuerbare Energien gemeinsam sinnvoll integriert werden können. So soll erneuerbarer Strom z. B. in Deutschland neben Wärmeerzeugung und Versorgung der Industrie auch effizient bei der Elektromobilität eingesetzt werden.⁵⁰

Technologien, die ein intelligentes Stromnetz ermöglichen, werden der Schlüssel dazu sein, Elektromobilität erfolgreich in ein Gesamtnetz zu integrieren.

Unter dem Überbegriff „Smart Grid“ z. B. wird eine Möglichkeit gesehen, die Autobatterien flexibel im Netz zu nutzen. So sollen sie nicht nur zum Laden, sondern auch als Stromspeicher, der Energie wieder ans Netz abgeben kann, genutzt werden. Das Angebot und die Nachfrage aller am Stromnetz Beteiligten sollen durch diese Technologie so besser aufeinander abgestimmt und gesteuert werden können.⁵¹

Die technologisch reizvoll beschriebene Möglichkeit, die Fahrzeugbatterie auch als Speicher im Stromnetz zu verwenden, geht einher mit einem Ausbau des gesamten Stromnetzes. Der dadurch zusätzlich ausgelöste Transportbedarf für den Strom erhöht die Kosten, die dann von allen Nutzern wieder getragen werden müssen.⁵²

Eine weitere zukünftige Entwicklung können Speichertechnologien sein, die anhand ökonomischer Kriterien entscheiden, wann und von welcher Energie sie gespeist werden. Beispielsweise ist eine stromtarifbasierte Ladung denkbar.⁵³ Aus wirtschaftlicher Sicht besteht dieser Anreiz aber nur dann, wenn der günstigere Strompreis auch tatsächlich beim Endkunden ankommt.⁵⁴

⁴⁹ Vgl. International Energy Agency (2017), Electricity Information 2017, S. 3.

⁵⁰ Vgl. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2017), S. 13.

⁵¹ Vgl. Backhaus, O. et al. (2011), S. 51 ff.

⁵² Vgl. Bundesnetzagentur (2017), S. 49.

⁵³ Vgl. Bürgel, J. / Juroszek, T. (2017), S. 3.

⁵⁴ Vgl. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2017), S. 14.

Quellenverzeichnis**Quellenverzeichnis**

- Adolf, J. / Balzer, C. / Haase, F. / Lenz, B. / Lischke, A. / Knitschky, G. (2016): Shell Nutzfahrzeug-Studie – Diesel oder alternative Antriebe – Womit fahren LKW und Bus morgen? Fakten, Trends und Perspektiven bis 2040, Shell Deutschland Oil GmbH, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt.
- Adolf, J. / Balzer, C. / Joedicke, A. / Schabla, U. / Wilbrand, K. / Rommerskirchen, S. / Anders, N. / Auf der Maur, A. / Ehrentraut, O. / Krämer, L. / Straßbur, S. (2014): Shell PKW-Szenarien bis 2040 Fakten, Trends und Perspektiven für Auto-Mobilität, Shell Deutschland Oil GmbH, Prognos AG.
- Albemarle Corporation (2017): Annual Report 2017, Charlotte.
- Almeida, A. / Bertoldi, P. / Leonhard, W. (1997): Energy Efficiency Improvements in Electric Motors and Drives, Berlin / Heidelberg / New York / Barcelona / Budapest / Hong Kong / London / Milan / Paris / Santa Clara / Singapore / Tokyo.
- Angerer, G. / Marscheider-Weidemann, F. / Lüllmann, A. / Erdmann, L. / Scharp, M. / Handke, V. / Marwede, M. (2009): Rohstoffe für Zukunftstechnologien. Einfluss des branchenspezifischen Rohstoffbedarfs in rohstoffintensiven Zukunftstechnologien auf die zukünftige Rohstoffnachfrage, Im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie Referat III A 5 - Mineralische Rohstoffe I D 4 - 02 08 15 - 28/07.
- Anker, S. (2013): Das Geheimnis der Gewinnspanne beim Autokauf, in: Welt (02.06.2013), unter: <<https://www.welt.de/motor/article116695390/Das-Geheimnis-der-Gewinnspanne-beim-Autokauf.html>> (abgerufen 29.06.2018).
- Attias, D. (2017): The Automobile Revolution – Towards a new Electro-Mobility Paradigm, Laboratoire Genie Industriel, CentraleSupélec Université Paris-Saclay, Chatenay-Malabry.
- Autohaus24 (2016): Kraftstoffverbrauch im Überblick: Welche sind die sparsamsten Neuwagen 2016? (Februar 2016), unter: <<https://www.autohaus24.de/ratgeber/kraftstoffverbrauch-im-ueberblick-welche-sind-die-sparsamsten-neuwagen-2016>> (abgerufen 30.06.2018).
- Automobilwoche (2016): Experten-Studie: E-Autos werden auch 2025 kein Schnäppchen sein (29. November 2016), unter: <<https://www.automobilwoche.de/article/20161129/NACHRICHTEN/161129898/experten-studie-e-autos-werden-auch-kein-schnaepchen-sein>> (abgerufen 28.06.2018).
- AutoScout24 GmbH (2017): Typischer Aufbau und Funktionsweise eines Elektroautos, unter: <<http://www.autoscout24.de/themen/elektroauto/technik/aufbau-und-funktionsweise/>> (abgerufen 15.06.2018).
- Backhaus, O. / Döther, H. / Heupel, T. (2011): Elektroauto - Milliardengrab oder Erfolgsstory? Entstehungsgeschichte, Marktanalyse 2010 und Zukunftspotenziale der Elektromobilität, Institut für Logistik- & Dienstleistungsmanagement, Schriftenreihe Logistikforschung, No. 19.
- Basshuysen R. / Schäfer F. (2017): Handbuch Verbrennungsmotor Grundlagen Komponenten Systeme Perspektiven, 8. Auflage, Bad Wimpfen / Hamm.

Quellenverzeichnis

- Berylls Strategy Advisors (2016): Die Top 100 Zulieferer, unter: < www.berylls.com/wp-content/uploads/2018/01/20171219_Studie_Top_100.pdf > (abgerufen 29.06.2018).
- BHP Billiton Limited (2017): Annual Report 2017, Melbourne.
- Bloomberg New Energy Finance (2017): Lithium-ion Battery Costs and Market, unter: < <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=5&ved=0ahUKEwiJ7bP3hfnbAhWDCOWKHdUZDVkQFghiMAQ&url=https%3A%2F%2Fdata.bloomberglp.com%2Fbnf%2Fsites%2F14%2F2017%2F07%2FBNEF-Lithium-ion-battery-costs-and-market.pdf&usg=AOvVaw1WFOS28jgXXrhBzIPB2gDN> > (abgerufen 30.06.2018).
- BMW: Kraftstoff-/Stromverbrauch und CO₂-Emissionen, unter: <https://www.bmw.de/de/neufahrzeuge/bmw-i/i3/2017/auf-einen-blick.html> (abgerufen 30.06.2018).
- BP (2018): BP Statistical Review of World Energy, 67th Edition.
- Bratzel, S. / Tellermann, R. / Hauke N. (2016): Automotive Innovations 2016, Die Innovationen der globalen Automobilkonzerne, Center of Automotive Management, Fachhochschule der Wirtschaft in Bergisch Gladbach.
- Bundesministerium der Finanzen (2016): Kassenmäßige Steuereinnahmen nach Steuerarten in den Kalenderjahren 2010 – 2016, unter: < https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0ahUKEwjOpcntlfvAhXkMewKHWtUCrUQFggvMAA&url=https%3A%2F%2Fwww.bundesfinanzministerium.de%2FContent%2FDE%2FStandardartikel%2FThemen%2FSteuern%2FSteuerschaetzungen_und_Steuereinnahmen%2F2017-05-05-steuereinnahmen-nach-steuerarten-2010-2016.pdf%3F__blob%3DpublicationFile%26v%3D5&usg=AOvVaw2uQQojQpLkKosqYszliJQ3 > (abgerufen 30.06.2018).
- Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2017): Ergebnispapier Strom 2030. Langfristige Trends – Aufgaben für die kommenden Jahre, Berlin.
- Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2018): Elektromobilität in Deutschland, unter: < <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Dossier/elektromobilitaet.html> > (abgerufen 27.06.2018).
- Bundesnetzagentur (2017): Flexibilität im Stromversorgungssystem. Bestandsaufnahme, Hemmnisse und Ansätze zur verbesserten Erschließung von Flexibilität, Diskussionspapier.
- Bürgel, J. / Juroszek, T. (2017): Schlaglichter der Wirtschaftspolitik, Monatsbericht 06-2017, Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, Referat: Umweltinnovationen, Elektromobilität.
- Center of Automotive Management (2018): E-Mobilität: Absatztrends in wichtigen globalen Automobilmärkten. Jahresbilanz 2017, unter: < http://auto-institut.de/pm_studien.htm > (abgerufen 27.06.2018).
- Commerzbank (2015): Autozulieferer Branchenbericht – Corporate Sector Report.
- Das Elektroauto Journal (2016): Komponenten eines Elektroautos, unter: < <https://e-auto-journal.de/komponenten-elektroautos/> > (abgerufen 17.06.2018).
- Dekra e. V.: CO₂ spielt eine entscheidende Rolle, unter: < <https://www.dekra.de/de-de/umwelt-und-co2/> > (abgerufen 30.06.2018).

Quellenverzeichnis

Deutsche Automobil Treuhand GmbH (2016): DAT Report 2016.

Deutsche Bundesbank (2018): Devisenkursstatistik, Stand vom 12.2.2018, Euro-Referenzkurse der Europäischen Zentralbank Jahresendstände und –durchschnitte.

DIN EN 228 (2017): Kraftstoffe - Unverbleite Ottokraftstoffe - Anforderungen und Prüfverfahren; Deutsche Fassung EN 228:2012+A1:2017, Ausgabe 2017-08.

DIN EN 590 (2017): Kraftstoffe - Dieselmotortreibstoff - Anforderungen und Prüfverfahren; Deutsche Fassung EN 590:2013+A1:2017.

Dudenhöffer, F. (2016): Weltautomarkt wächst 2017 auf 85 Millionen Verkäufe (13.12.2016), in: Absatzwirtschaft, unter: <<http://www.absatzwirtschaft.de/weltautomarkt-waechst-2017-auf-85-millionen-verkaeufe-94885/>> (abgerufen 30.06.2018).

Edwards, R. / Larive, J. F. / Rickard, D. / Weindorf, W. (2014): Well to Wheels Analyses of Future Automotive Fuels and Powertrains in the European Context, Technical Report by the Joint Research Centre of the European Commission, Luxembourg.

Ellenbeck, S. / Schmidt, P.: Deutschland produziert zu viel Strom, in: Zeit online (2. September 2013), unter: <<https://www.zeit.de/wirtschaft/2013-09/stromproduktion-deutschland-ueberschuss-energiegewende>> (abgerufen 29.06.2018).

e-mobil BW GmbH (2011): Strukturstudie BWe mobil 2011, Baden-Württemberg auf dem Weg in die Elektromobilität, Landesagentur für Elektromobilität und Brennstoffzellentechnologie Baden Württemberg GmbH.

e-mobil BW GmbH, (2010): Systemanalyse BWe mobil. IKT- und Energieinfrastruktur für innovative Mobilitätslösungen in Baden-Württemberg, Fraunhofer IAO, Baden Württemberg Wirtschaftsministerium, e-mobile BW GmbH.

e-mobil BW GmbH, (2013): Entwicklung der Beschäftigung im After Sales.

Enderlein H. / Krause S. / Spanner-Ulmer B. (2012): Elektromobilität – Abschätzung arbeitswissenschaftlich relevanter Veränderungen, Technische Universität Dresden, Dortmund/Berlin/Dresden.

European Automobile Manufacturers Association: Average Vehicle Age, unter: <<https://www.acea.be/statistics/tag/category/average-vehicle-age>> (abgerufen 30.06.2018).

European Environment Agency (2016): Electric vehicles in Europe, EEA Report 20/2016, Kopenhagen.

Falck, O. / Ebnet, M. / Koenen, J. / Dieler, J. / Wackerbauer, J. (2017): ifo Studie - Auswirkungen eines Zulassungsverbots für Personenkraftwagen und leichte Nutzfahrzeuge mit Verbrennungsmotor, ifo Zentrum für Industrieökonomik und neue Technologien, ifo Zentrum für Energie, Klima und erschöpfbare Ressourcen, München.

Fetene, G. M. / Prato, C. G. / Kaplan, S. / Mabit, S. L. / Jensen, A. F. (2016): Harnessing Big-Data for Estimating the Energy Consumption and Driving Range of Electric Vehicles, Paper presented at Transportation Research Board (TRB) 95th Annual Meeting, Washington, D.C.

Figenbaum, E. / Kolbenstvedt, M. (2013): Electromobility in Norway - experiences and opportunities with Electric vehicles, Institute of Transport Economics, Oslo.

Quellenverzeichnis

- Frahm, C. / Pander, J. (2017): Ladestationen für Elektroautos: Zapfsäulen zu Steckdosen (21.01.2017), in: Zeit online, unter: <<https://www.zeit.de/2017/02/ladestationen-elektroautos-ladenetz-dauer-fragen>> (abgerufen 30.06.2018).
- Frankel, D. / Wagner, A. (2017): Battery storage: The next disruptive technology in the power sector, in: McKinsey.com (06/2017), unter: <<https://www.mckinsey.com/business-functions/sustainability-and-resource-productivity/our-insights/battery-storage-the-next-disruptive-technology-in-the-power-sector>> (abgerufen 29.06.2018).
- Fries, M. / Kerler, M. / Rohr, S. / Schickram, S. / Sinning, S. / Lienkamp, M. / Kochhan, R. / Fuchs, S. / Reuter, B. / Burda, P. / Matz, M. (2017): An Overview of Costs for Vehicle Components, Fuels, Greenhouse Gas Emissions and Total Cost of Ownership Update 2017, Institute of Automotive Technology, Technische Universität München, TUM CREATE Limited, Garching / Singapore.
- Gabler Wirtschaftslexikon, Definition Kraftfahrzeug, unter: <<https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/kraftfahrzeug-kfz-38005#definition>> (abgerufen 27.06.2018).
- Gebhardt, M., autoscout24, (2015): Unser Auto von morgen 2015. Einschätzungen, Wünsche und Visionen.
- Global Carbon Project (2017): Carbon budget and trends 2017, unter: <<http://www.globalcarbonproject.org/carbonbudget/17/highlights.htm>> (abgerufen 01.07.2018).
- Global Casting Magazine (2018): Global Casting Production Growth Stalls (04.05.2018), unter: <<https://www.globalcastingmagazine.com/index.php/2018/05/04/global-casting-production-growth-stalls/>> (abgerufen 01.07.2018).
- Götze, U. / Rehme, M. (2011): Elektromobilität – Herausforderungen und Lösungsansätze aus wirtschaftlicher Sicht, Fakultät für Wirtschaftswissenschaften, Technische Universität Chemnitz, Chemnitz.
- Helms, H. / Jöhrens, J. / Kämper, C. / Giegrich, J. / Liebich, A. / Vogt, R. / Lambrecht, U. (2014): Weiterentwicklung und vertiefte Analyse der Umweltbilanz von Elektrofahrzeugen, Texte 27/2016 Umweltforschungsplan des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit, Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH, Heidelberg.
- Horváth AG (2017): Studie: Preise für E-Autos stagnieren - trotz rasant fallender Batteriekosten, in: Horváth AG, Aktuelle Pressemitteilungen (03.07.2017), unter: <<https://www.horvath-partners.com/es/presse/aktuell/detail/date/2017/07/03/studie-preise-fuer-e-autos-stagnieren-trotz-asant-fallender-batteriekosten/>> (abgerufen 30.06.2018).
- Institut für Automobilwirtschaft, zitiert nach Statista (2014): Zusammensetzung des Preises eines Neuwagens in Deutschland (Stand: 2014; anhand des Netto-Listenpreises), unter: <<https://de.statista.com/statistik/daten/studie/387632/umfrage/zusammensetzung-des-neuwagenpreises-in-deutschland/>> (abgerufen 30.06.2018).
- International Energy Agency (2017): Electricity Information Overview (2017 edition).
- International Energy Agency (2017): Global EV Outlook 2017. Two million and counting.
- International Energy Agency (2017): Key world energy statistics.

Quellenverzeichnis

-
- International Organization of Motor Vehicle Manufacturers (2015): Vehicles in use, unter: <http://www.oica.net/category/vehicles-in-use/> (abgerufen 02.07.2018).
- International Organization of Motor Vehicle Manufacturers (2015): Vehicles in use - By country and type 2005-2015 – Passenger Cars, unter: <http://www.oica.net/category/vehicles-in-use/> (abgerufen 27.06.2018).
- International Organization of Motor Vehicle Manufacturers (2016): 2016 Production Statistics, unter: <http://www.oica.net/category/production-statistics/2016-statistics/> (abgerufen 01.07.2018).
- Jerram, L. / Gartner J. (2016): Navigant Research Leaderboard Report: EV Charging Network Companies Assessment of Strategy and Execution for 12 Companies Offering Public Charging Networks and EV Charging Services.
- Kampker, A. (2014): Elektromobilproduktion. Lehrstuhl für Produktionsmanagement, RWTH Aachen University, Aachen.
- Kley, F. (2011): Ladeinfrastrukturen für Elektrofahrzeuge – Entwicklung und Bewertung einer Ausbastrategie auf Basis des Fahrverhaltens. Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung, Stuttgart.
- Kraftfahrt-Bundesamt (2017): Jahresbilanz der Neuzulassungen 2017, unter: https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Neuzulassungen/neuzulassungen_node.html (abgerufen 27.06.2018).
- Kraftfahrt-Bundesamt (2018): Bestand am 1. Januar 2018 nach Fahrzeugalter, unter: https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Bestand/Fahrzeugalter/fahrzeugalter_node.html (abgerufen 30.06.2018).
- Krcal, H.-C. (2007): Strategische Implikationen einer geringen Fertigungstiefe für die Automobilindustrie, University of Heidelberg, Discussion Paper Series No. 456.
- Kurzweil, P. (2015): Chemie: Grundlagen, Aufbauwissen, Anwendungen und Experimente, 10. Auflage. Wiesbaden.
- Lambert, F. (2016): Breakdown of raw materials in Tesla's batteries and possible bottlenecks, in: Elektrek (01.11.2016), unter: <https://electrek.co/2016/11/01/breakdown-raw-materials-tesla-batteries-possible-bottle-neck/> (abgerufen 30.06.2018).
- Le Bret, C., (2016): Power electronics for EV/HEV 2016: market, innovations and trends, Yole Développement.
- Lienkamp, M. (2016): Status Elektromobilität 2016 oder wie Tesla nicht gewinnen wird, Technische Universität München.
- Lorentzen, E. / Haugneland, P. / Bu, C. / Hauge, E. (2017): Charging infrastructure experiences in Norway - the worlds most advanced EV market, EVS30 Symposium Stuttgart.
- Mahle GmbH (2017): Geschäftsbericht 2017 Zukunft vorausdenken, Stuttgart.
- Marscheider-Weidemann, F. / Langkau, S. / Hummen, T. / Erdmann, L. / Tercero Espinoza, L. / Angerer, G. / Marwede, M. / Benecke, S. (2016): Rohstoffe für Zukunftstechnologien 2016. – DERA Rohstoffinformationen 28, Berlin.

Quellenverzeichnis

- McKinsey&Company / Bloomberg New Energy Finance (2016): An Integrated Perspective on the Future of Mobility.
- McKinsey&Company, (2012): The Future of the North American Supplier Industry: Evolution of Component Costs, Penetration, and Value Creation Potential Through 2020.
- McKinsey&Company, (2016): Automotive revolution – perspective towards 2030.
- Mechnisch M. (2012): Elektroautos, einst technische Avantgarde: Als die Stromer laufen lernten, in: Der Tagesspiegel online (26.03.2012), unter: <<https://www.tagesspiegel.de/wirtschaft/emobility/elektroautos-einst-technische-avantgarde-als-die-stromer-laufen-lernten/6372586.html>> (abgerufen 27.06.2018).
- Mertschenk, G. (2017): Costa Rica erzeugt erneut über 98 Prozent saubere Energie, in: Amerika 21 (21.01.2017), unter: <<https://amerika21.de/2017/01/168350/costa-rica-saubere-energie>> (abgerufen 29.06.2018).
- Nationale Plattform Elektromobilität (2012): Fortschrittsbericht der Nationalen Plattform Elektromobilität (Dritter Bericht).
- Nationale Plattform Elektromobilität (2015): Roadmap integrierte Zell- und Batterieproduktion Deutschland, Publikation AG 2 – Batterietechnologie und UAG 2.2 – Zell- und Batterieproduktion der Nationalen Plattform Elektromobilität.
- Nationale Plattform Elektromobilität (2016): Arbeitsplatzeffekte einer umfassenden Förderung der Elektromobilität in Deutschland, AG 6 – Rahmenbedingungen.
- NYC Taxi & Limousine Commission (2013): Take Charge: A Roadmap to Electric New York City Taxis, Mayor's Long-Term Electric Taxi Task Force.
- Öko-Institut (2017): Strategien für die nachhaltige Rohstoffversorgung der Elektromobilität. Synthesepapier zum Rohstoffbedarf für Batterien und Brennstoffzellen, Studie im Auftrag von Agora Verkehrswende.
- Peters, A. / Doll, C. / Kley, F. / Möckel, M. / Plötz, P. / Sauer, A. / Schade, W. / Thielmann, A. / Wietschel, M. / Zanker, C. (2012): Konzepte der Elektromobilität und deren Bedeutung für Wirtschaft, Gesellschaft und Umwelt, Innovationsreport, Arbeitsbericht Nr. 153, Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag.
- Pischinger, S. / Seiffert, U., (2016): Vieweg Handbuch Kraftfahrzeugtechnik, 8. Auflage, RWTH Aachen University, WiTech Engineering GmbH, Aachen / Braunschweig.
- Pötscher, F. / Winter, R. / Pölz, W. / Lichtblau, G. / Kutschera, U. / Schreiber, H. (2014): Ökobilanz alternativer Antriebe – Elektrofahrzeuge im Vergleich, Umweltbundesamt GmbH, Wien.
- Propfe B. (2015): Marktpotentiale elektrifizierter Fahrzeugkonzepte unter Berücksichtigung von technischen, politischen und ökonomischen Randbedingungen, Fakultät Konstruktions-, Produktions- und Fahrzeugtechnik der Universität Stuttgart, Stuttgart.
- Rey, L. (2012): Chancen und Risiken der Elektromobilität für die Schweiz. Szenarien zu ökologischen und ökonomischen Auswirkungen, Zentrum für Technologiefolgen-Abschätzung TA-SWISS.
- Rio Tinto (2017): 2017 Annual Report.

Quellenverzeichnis

- Roland Berger (2015): Diesel controversy –Temporary shock or paradigm shift in powertrain? Impact of the diesel controversy on OEMs and suppliers, unter:
<https://www.rolandberger.com/publications/publication_pdf/roland_berger_diesel_controversy_1.pdf> (abgerufen 30.06.2018).
- Schäuble, J. / Jochem, P. / Fichtner, W. (2015): Cross-border Mobility for Electric Vehicles. Selected results from one of the first cross-border field tests in Europe, Karlsruher Institut für Technologie, Karlsruhe.
- Schaufenster Elektromobilität (2015): Begleit- und Wirkungsforschung Schaufenster Elektromobilität. Fortschrittsbericht 2015, Ergebnispapier der Begleit- und Wirkungsforschung, Eine Initiative der Bundesregierung.
- Schaufenster Elektromobilität (2017): Abschlussbericht der Begleit- und Wirkungsforschung 2017, Eine Initiative der Bundesregierung.
- Schlick T. / Hertel G. / Hagemann B. / Maiser E. / Kramer M. (2011): Studie Zukunftsfeld Elektromobilität Chancen und Herausforderungen für den deutschen Maschinen und Anlagenbau, Roland Berger Strategy Consultants, VDMA.
- Schreiner, K. (2017): Verbrennungsmotor – Kurz und Bündig, Fakultät Maschinenbau, HTWG Konstanz, Konstanz.
- Shell Deutschland Oil GmbH (2014): PKW-Szenarien bis 2040 Fakten, Trends und Perspektiven für Automobilität, 26. Ausgabe der Shell Pkw-Studie, Hamburg.
- Sociedad Química y Minera de Chile S.A. (2017): Annual Report 2017, Santiago.
- Spath, D. / Bauer, W. / Voigt, S. / Borrmann, D. / Herrmann, F. / Brand, M. / Rally, P. / Rothfuss, F. / Sachs, C. / Friedrich, H.E. / Frieske, B. / Propfe, B. / Redelbach, M. / Schmid, S. / Dispan J. (2012): Elektromobilität und Beschäftigung. Wirkungen der Elektrifizierung des Antriebsstrangs auf Beschäftigung und Standortumgebung (ELAB), Studienergebnisse, Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. – Institut für Fahrzeugkonzepte (DLR-FK), IMU Institut, Stuttgart.
- Stahlecker, T. / Lay, G. / Zanker, C. (2011): Elektromobilität: Zulieferer für den Strukturwandel gerüstet? Status quo und Handlungsempfehlungen für den Automobilstandort Metropolregion Stuttgart, Industrie- und Handelskammer Stuttgart.
- Stromvergleich: Der deutsche Strommix: Stromerzeugung in Deutschland, Strommix 2016, unter:
<<https://1-stromvergleich.com/strom-report/strommix/#strommix-2017-deutschland>> (abgerufen 30.06.2018).
- Tesla, in: Tesla steht für eine Mission: Die Beschleunigung des Übergangs zu nachhaltiger Energie, unter:
<https://www.tesla.com/de_DE/about> (abgerufen 27.06.2018).
- Thomson Reuters (2016): Age of vehicles on U.S. roads rises to 11.6 years: IHS Markit (22.11.2016), unter: <<https://www.reuters.com/article/us-usa-autos-age/age-of-vehicles-on-u-s-roads-rises-to-11-6-years-ihs-markit-idUSKBN13H1M7>> (abgerufen 30.06.2018).
- U.S. Department of Energy, Energy Information Administration (2017): Monthly Nuclear Utility Generation (MWh) by State and Reactor, 2017 December, EIA-923 and EIA-860 Reports.

Quellenverzeichnis

- U.S. Department of Energy, Energy Information Administration (2016): Carbon Dioxide Emissions Coefficients (02.02.2016), unter: <https://www.eia.gov/environment/emissions/co2_vol_mass.php> (abgerufen 30.06.2018).
- U.S. Department of Energy, Energy Information Administration (2017): Total Petroleum and Other Liquids Production – 2017, unter: <<https://www.eia.gov/beta/international/?view=production>> (abgerufen 01.07.2018).
- U.S. Geological Survey (2018): Mineral commodity summaries 2018, U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey, Reston.
- Umweltbundesamt (2017): Treibhausgas-Emissionen in Deutschland (20.03.2017), unter: <<https://www.umweltbundesamt.de/daten/klima/treibhausgas-emissionen-in-deutschland#textpart-1>> (abgerufen 01.07.2018).
- Umweltbundesamt (2018): CO2-Emissionen pro Kilowattstunde Strom sinken weiter, unter: <<https://www.umweltbundesamt.de/themen/co2-emission/en-pro-kilowattstunde-strom-sinken>> (abgerufen 30.06.2018).
- Vale (2017): Fact Sheet. One of the largest mining companies in the world, unter: <http://www.vale.com/PT/investors/company/fact-sheet/Documents/factsheet_i.pdf> (abgerufen 30.06.2018).
- Veltman A. / Pulle D. / Doncker R. (2016): Fundamentals of Electrical Drives, Second Edition, Culemborg / Milperra / Aachen.
- Verband der Automobilindustrie (2018): Automobilproduktion: Zahlen zur Automobilproduktion im In- und Ausland (29.03.2018), unter: <<https://www.vda.de/de/services/zahlen-und-daten/jahreszahlen/automobilproduktion.html>> (abgerufen 30.06.2018).
- Verband der Automobilindustrie, (2016): Jahresbericht 2016, Die Automobilindustrie in Daten und Fakten.
- Verein Freier Ersatzteilemarkt e.V.: Autolexikon, unter: <<https://www.mein-autolexikon.de/autolexikon.html>> (abgerufen 20.01.2018).
- Verlag Moderne Industrie GmbH (2017): Die 10 größten Kupferproduzenten der Welt (06.11.2017), in: Technik+Einkauf, unter: <<https://www.technik-einkauf.de/news/maerkte-unternehmen/die-10-groessten-kupferproduzenten-der-welt/>> (abgerufen 01.07.2018).
- Visiongain, 2015, Automotive Battery Electric Vehicle (BEV) Market Report 2015-2025.
- Wissenschaftliche Dienste des Deutschen Bundestages (2007): CO2-Bilanzen und Netto-Energiebilanzen verschiedener Energieträger Klimafreundlichkeit von fossilen Energien, Kernenergie und erneuerbaren Energien im Vergleich, Fachbereich WD 8: Umwelt, Naturschutz, Reaktorsicherheit, Bildung und Forschung, Ausarbeitung WD 8 - 056/2007.
- World Steel Association (2017): Steel Statistical Yearbook 2017.

Quellenverzeichnis

Zentrum für Sonnenenergie und Wasserstoff-Forschung (2018): Systemanalyse. Zahl der Elektroautos steigt weltweit von zwei auf über drei Millionen, unter: <<https://www.zsw-bw.de/presse/aktuelles/detailansicht/news/detail/News/zahl-der-elektroautos-steigt-weltweit-von-zwei-auf-ueber-drei-millionen.html>> (abgerufen 27.06.2018).

Zetsche, D., in: Mercedes-Benz Elektroauto "Concept EQ". Mobilität neu gedacht, unter: <<https://www.daimler.com/innovation/specials/elektromobilitaet/concept-eq.html>> (abgerufen 27.06.2018).

ZF (2016): Drive – The ZF magazine, 01.2016, Switched on - E-power special.

ZF (2017): „Für Achshybride oder reine E-Fahrzeuge: ZF integriert leistungsstarken elektrischen Antrieb direkt in innovative Hinterachse“, in: ZF Press Center (22.06.2017), unter: <https://press.zf.com/site/press/de_de/microsites/press/list/release/release_33659.html> (abgerufen 27.06.2018).