

Einflussanalyse Elektromobilität

Ökonomische, Ökologische und gesellschaftliche Einflüsse

Inhaltsverzeichnis

Abbildungen und Tabellen	III
1 Übersicht	4
2 Ökonomische Einflüsse	5
2.1 Impact Fahrzeug.....	5
2.1.1 Bewertung der Hauptkomponenten.....	7
2.1.1.1 Spezifisch für Antrieb mit Verbrennungsmotor.....	7
2.1.1.2 Spezifisch für Antrieb mit Elektromotor.....	9
2.1.2 Herstellung.....	11
2.1.3 Rohstoffe.....	12
2.1.4 Aftersales (Reparatur, Wartung, Teilehandel).....	16
2.2 Impact Energiequelle.....	17
2.2.1 Energiemedium (Kraftstoff, Strom).....	18
2.2.2 Distribution von Kraftstoff und Strom.....	20
3 Ökologische Einflüsse	22
3.1 Impact Fahrzeug.....	22
3.2 Impact Energiequelle.....	23
3.2.1 Fossiler Kraftstoff (Benzin/Diesel).....	23
3.2.2 Strom.....	24
4 Gesellschaftliche Einflüsse	26
Quellenverzeichnis	XXVIII

Abbildungen und Tabellen

Abbildung 1 Übersicht Einflüsse Elektromobilität.....	4
Abbildung 2 Schadstoffausstoß bei der Kraftstoffherstellung.....	24
Tabelle 1: Spezifische Rohstoffe für elektrische Antriebskomponenten.....	14
Tabelle 2: Hauptunterschiede im Aftersales	16
Tabelle 3: Hochrechnung weltweiter PKW Dieselanteil	19

Kapitel 1 Übersicht**1 Übersicht**

Die folgende Abbildung gibt einen Überblick darüber, welche Einflussperspektiven bei der Analyse betrachtet wurden und in welchen Bereichen sich die Veränderungen auswirken.

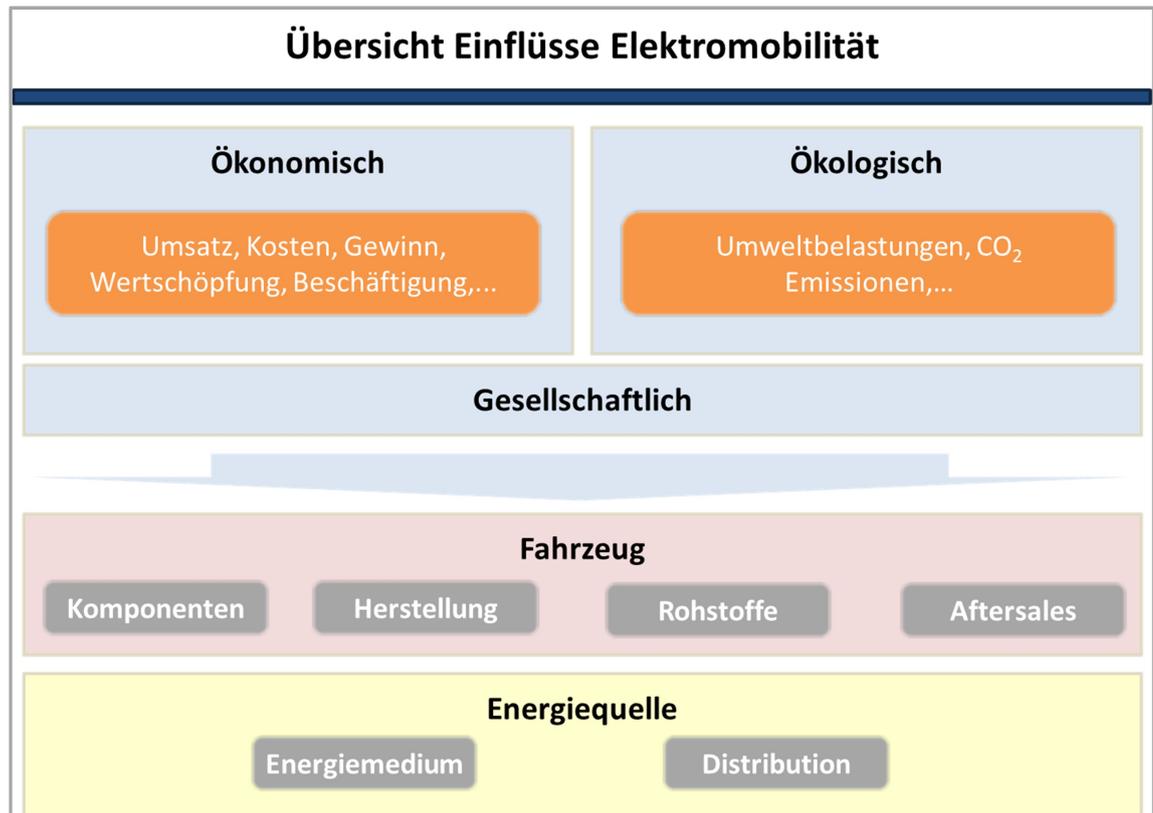


Abbildung 1 Übersicht Einflüsse Elektromobilität

2 Ökonomische Einflüsse

Es wird betrachtet, welche wirtschaftlichen Veränderungen zu erwarten sind. Wie entwickelt sich das Produktionsvolumen, welche Rohstoffe werden in größerem oder kleinerem Umfang benötigt, wie verschieben sich Kosten, Einnahmen sowie die Wertschöpfung?

Für alle Umrechnungen zwischen Euro und Dollar in dieser Arbeit wird ein Wechselkurs von 1,29 \$ für 1 € festgelegt. Dieser entspricht dem durchschnittlichen Dollar Umrechnungskurs zwischen 2008 und 2017. Berechnet mit den Euro-Referenzkursen der Europäischen Zentralbank.¹

2.1 Impact Fahrzeug

Die Veränderung der Teilebedarfe führt ggf. zum Wechsel von Lieferanten in der Automobilindustrie, der Verschiebung von Teilebezügen oder Automobilhersteller entschließen sich für die Eigenfertigung von Komponenten.

In dieser Bezugskette werden sich, je nach Marktanteil von Elektrofahrzeugen, entsprechend die Bedarfe von spezifischen ICEV Komponenten, den dafür benötigten Rohstoffen und die zur Produktion notwendigen Maschinen, reduzieren. Im Gegenzug entstehen neue Absatzmärkte für Hersteller von Elektronikkomponenten, unter anderem auch für neue Unternehmen, die bisher noch nicht in der Automobilbranche in größerem Umfang aktiv waren.² Ein Beispiel sind große Chemiekonzerne, die sich zunehmend mit der Entwicklung von Batterien, Batteriezellen oder neuen Materialzusammensetzungen für Elektrofahrzeuge beschäftigen.³

Der Wertschöpfungsanteil eines Automobilherstellers lag 2007 bei ca. 25%.⁴ Die Entscheidung der Hersteller, die Batterie selber herzustellen oder bei einem Zulieferer zu beschaffen, wird Einfluss darauf nehmen, ob sich die Wertschöpfung steigert oder verringert.

¹ Vgl. Deutsche Bundesbank (2018).

² Vgl. Peters, A. et al. (2012), S.185.

³ Vgl. Backhaus, O. et al. (2011), S. 93.

⁴ Vgl. Krcal, H.C. (2007), S. 10.

Kapitel 2 Ökonomische Einflüsse

Die Entwicklung und Produktion von Batterien bzw. Batteriezellen wird am Markt einen neuen Stellenwert bekommen. Sie werden bei Elektrofahrzeugen den größten Anteil am Fahrzeugwert haben.

Wurden Lithium-Ionen-Batterien in den letzten Jahren hauptsächlich mit Mobiltelefonen und Tablets in Verbindung gebracht, werden diese nun zunehmend in verschiedenen Fortbewegungsmitteln als Energiequelle genutzt.

Prognosen sagen voraus, dass sich der Bedarf von Batteriekapazität für den Fahrzeugbau im Jahr 2020 auf ca. 130 GWh belaufen wird.⁵ 2014 lag dieser Wert unter 10 GWh.⁶

Die Rolle der Batterie und deren Einfluss auf zukünftige Umsätze in der Automobilbranche spiegeln sich auch in Förderprogrammen und finanziellen Zuschüssen von Regierungen zahlreicher Länder wieder. So investieren beispielsweise die USA, China und Südkorea Milliarden in die Forschung und Entwicklung von Batterien und Batteriekomponenten sowie deren Produktion.⁷

Für die Autohersteller stellt sich auch bei Leistungselektronik und Elektromotoren -zwei der neuen Hauptkomponenten- die Frage, ob sie diese extern beziehen möchten oder mit welcher Fertigungstiefe sie diese selbst produzieren.⁸

Die Wettbewerbsfähigkeit von kleinen und mittelständischen Unternehmen wird sich bei diesen drei Komponenten schwierig gestalten. Sie erfordert hohe Investitionen in Produktionseinrichtungen und die Entwicklung. Wie bereits in der Stakeholder Übersicht beschrieben, sind hier Unternehmen mit Zugang zu Kapital und der Möglichkeit des Zukaufs von Know-how im Vorteil. Es ist zu erwarten, dass der Großteil der neuen Komponenten und der damit zu generierende Umsatz sich auf große Konzerne verteilt.

Durch den Produktionsrückgang der Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor sind vor allem auch Unternehmen betroffen, die sich auf das metallverarbeitende Gewerbe und auf die Produktion von Maschinen zur Herstellung von Motoren- und Getriebeteilen konzentriert haben. Besonders interessant wird es bei Un-

⁵ Vgl. Schlick T. et al. (2011), S. 15.

⁶ Vgl. Le Bret, C. (2016), S. 184.

⁷ Vgl. Peters, A. et al. (2012), S. 8.

⁸ Vgl. Schlick T. et al. (2011), S. 11.

Kapitel 2 Ökonomische Einflüsse

ternehmen, die ein wenig differenziertes Produktportfolio haben und eine Weiterentwicklung oder Umstellung ihrer Produkte nicht stemmen können.

Im Folgenden werden die Hauptkomponenten, die Herstellung, die Rohstoffe und der Aftersales einzeln aufgeführt und bewertet.

2.1.1 Bewertung der Hauptkomponenten

2.1.1.1 Spezifisch für Antrieb mit Verbrennungsmotor

Um das wirtschaftliche Ausmaß der wegfallenden Komponenten zu betrachten, werden die Werte anhand der Materialkosten des Gesamtfahrzeuges abgeleitet. Da für die Bewertung der Veränderungen keine verhandelten Preise oder unternehmensinterne Kostenkalkulationen verfügbar sind, wird die Quantifizierung für Komponenten anhand recherchierbarer, plausibler Daten durchgeführt. Sind keine plausiblen Werte verfügbar, werden diese anhand von übergeordneten Größen und mit Hilfe von Kennzahlen (z. B. Kostenanteile am Fahrzeug) abgeleitet und annäherungsweise bestimmt.

Als Basis für die Kostenbewertung und Kalkulation wird von einem Mittelklassefahrzeug mit Verbrennungsmotor im Wert von ca. 25.000 € (32.250 \$) Nettoverkaufspreis ausgegangen.

Abschätzung des Materialkostenanteils:

McKinsey gibt für ein durchschnittliches U.S. Mittelklasse Fahrzeug in 2010 die Materialkosten mit 13.400 \$ an.⁹ Dies entspricht ca. 10.400 € bzw. einem Materialkostenanteil von ca. 42% je Fahrzeug.

Das Institut für Automobilwirtschaft ermittelte (Stand 2014) an einem Mittelklassewagen für Netto 22.500 € einen Materialkostenanteil von ca. 43,5%.¹⁰

Professor Stefan Bratzel gibt für ein Fahrzeug mit einem Nettopreis von 17.000 € einen Materialwert von 8.650 € also ca. 50% an.¹¹

In dieser Arbeit gehen wir für weitere Kalkulationen der Teileumfänge von einem Materialkostenanteil von 45%, bzw. einer Kalkulationsbasis von 11.250 € aus.

⁹ Vgl. McKinsey&Company (2012), S. 9.

¹⁰ Vgl. Institut für Automobilwirtschaft, zitiert nach Statista, online.

¹¹ Vgl. Anker, S. (2013), online.

Kapitel 2 Ökonomische Einflüsse

Bewertung der Hauptkomponenten ICEV:

Laut Bratzel nimmt der Motor durchschnittlich ungefähr 15%, das Getriebe 10%, die Auspuffanlage 5%, das Kraftstoffsystem 5% und sonstige spezifische Teile 5% der Materialkosten ein.¹² Es sind durch den Wegfall der spezifischen Komponenten für den Verbrennungsmotor wertmäßig ungefähr 35% betroffen.

Eine Studie der Commerzbank geht alleine von Motor und Getriebe bei traditionellen Fahrzeugen von einem Materialkostenanteil von 35% aus.¹³ Nimmt man noch die restlichen Komponenten hinzu, kann von über 40% Materialkostenanteil ausgegangen werden.

Lienkamp von der Technischen Universität München beziffert den Wert für Verbrennungsmotor, Abgasanlage, Getriebe und Tank auf etwa 4.000 € Herstellkosten also auf ca. 35% der Materialkosten.¹⁴

Eine weitere Studie der Technischen Universität München gibt für einen Verbrennungsmotor (Schnitt Diesel und Benzin) inklusive Getriebe und Einspritzung ca. 40 € pro kW Leistung (bei einem 100 kW Motor 4.000 €) an. Das Abgassystem wird im Schnitt mit 500 € und ein 50 Liter Tank mit 50 € beziffert.¹⁵ Das spiegelt in etwa einen Materialkostenanteil von 40% wieder.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass je nach Hersteller von einem Anteil der verbrennungsspezifischen Komponenten von mindestens 35% bis über 40% auszugehen ist. In dieser Arbeit wird für die weiteren Kalkulationen ein Wert von 40% oder 4.500€ für die entfallenden, ICEV spezifischen Komponenten veranschlagt. Anteilig von den Materialkosten werden 18% dem Verbrennungsmotor mit Anbauteilen, 10% dem Getriebe, jeweils 5% der Abgasanlage und dem Kraftstoffsystem sowie 2% den sonstigen spezifischen Teilen für den Verbrennungsmotor zugeordnet.

¹² Vgl. Anker, S. (2013), online.

¹³ Vgl. Commerzbank (2015), S. 18.

¹⁴ Vgl. Lienkamp, M. (2016), S. 46.

¹⁵ Vgl. Fries, M. et al. (2017), S. 12 f.

Kapitel 2 Ökonomische Einflüsse

2.1.1.2 Spezifisch für Antrieb mit Elektromotor

Bewertung Traktionsbatterie:

Aktuell ist die Traktionsbatterie die Komponente mit der höchsten Wertschöpfung und somit auch der größte Kostenfaktor am gesamten Fahrzeug. Der Anteil am Materialwert eines Mittelklasse Wagens wird Stand 2015 - 2016 auf 40% bis sogar über 50% beziffert.¹⁶ Demnach sind die Kosten alleine für die Batterie schon höher angesetzt als die gesamten Materialkosten eines traditionell mit Verbrennungsmotor angetriebenen Fahrzeuges.¹⁷

In einer Studie geht McKinsey in 2016 von einem Batteriepackpreis von 230 \$ bzw. 178 € pro kWh aus. Bei einer typischen Batteriegröße von 60 kWh fallen also ca. 10.700 € für eine Traktionsbatterie an.¹⁸

Horváth & Partners sah 2016 den Preis bei ca. 225 € pro kWh und prognostiziert Preise unter 100 € pro kWh in den kommenden Jahren.¹⁹

Studien der TU München gingen bereits in 2017 von Preisen für Batteriepacks für unter 150 € pro kWh aus. Der Ausblick für die kommenden Jahre lag im Vergleich zu McKinsey oder Horvát & Partners mit 112-130 € pro kWh etwas höher.²⁰

Keiner dieser prognostizierten Werte entspricht aktuell einem von Automobilherstellern verhandelten Serienpreis für eine im Mittelklassensegment übliche Stückzahl.

In den Jahren 2010 bis 2015 sind die Preise für Lithium Ionen Batterien von 1.000 \$ auf 350 \$ pro kWh gefallen. Das entspricht bei dem festgelegten Umrechnungskurs von 1,29 \$ zu 1,00 € von ca. 775 € auf 270 €. Aufgrund der aktuellen Entwicklungen wird davon ausgegangen, dass die Preise in den kommenden Jahren weiter sinken und unter 100 \$ bzw. 78 € fallen werden.²¹

Für 2018 liegen die Prognosen von McKinsey, Horváth und der TU München zwischen 135 € und 157 €. Für die kommenden Jahre, in denen auch die Seri-

¹⁶ Vgl. Schaufenster Elektromobilität (2015), Fortschrittsbericht 2015, S. 69.

¹⁷ Vgl. Fries, M. et al. (2017), S. 4.

¹⁸ Vgl. Frankel, D. / Wagner, A. (2017), online.

¹⁹ Vgl. Horváth AG (2017), online.

²⁰ Vgl. Fries, M. et al. (2017), S. 4.

²¹ Vgl. McKinsey&Company / Bloomberg New Energy Finance (2016), S. 15.

Kapitel 2 Ökonomische Einflüsse

Herstellung von mehr rein elektrischen Fahrzeugen anläuft, werden Werte wie bereits beschrieben, zwischen 78 € und 130 € erwartet.

Für die Bewertung der Batterie wird in dieser Arbeit von einem mittleren Wert von ca. 100 € pro kWh für die kommenden Jahre ausgegangen. Dies entspricht in der Kalkulation, für eine durchschnittliche Batterie mit 60 kWh, einem Preis von 6.000 €.

Bewertung Sonstige Komponenten:

Für die Elektromaschine werden aktuell, je nach Ausführung, Kosten zwischen 5 € und 13 € je kW angenommen. Die Leistungselektronik bewegt sich in einer Spanne zwischen 3,50 € und 5,00 € je kW. Hinzu kommt ein geeigneter Converter (Spannungswandler) für ca. 250 €. ²² Experten von der Technischen Universität München gehen bei der Leistungselektronik von einer Wertschöpfung von 750 € aus. ²³

Für die Motorleistung werden 100 kW als Bemessungsgrundlage angenommen. Für die Elektromaschine mit einfachem Getriebe wird ein Wert von 12,00 € je kW, ca. 1.200 €, für die Leistungselektronik mit 5 € je kW, inklusive Converter insgesamt 750 € kalkuliert. Für die restlichen spezifischen Komponenten wird ein Wert von 250 € für zusätzliche Teile an Bremse, Ladevorrichtung und sonstigen benötigten elektronischen Bauteilen veranschlagt.

Je nach Stückzahlenszenario und zukünftiger Entwicklungen können hier Schwankungen noch höher sein als bei den verbrennungsspezifischen Komponenten. Für die weitere Kalkulation wird der Wert der neu hinzu kommenden Komponenten insgesamt mit 8.200 € beziffert.

Haltbarkeit der Komponenten:

Die Lebensdauer eines herkömmlichen Kraftfahrzeugs wird maßgeblich durch spezifische Komponenten des Antriebs mit Verbrennungsmotor, insbesondere durch Lager im und am Motor, beeinflusst. Bei BEVs stellt die Traktionsbatterie die ausschlaggebende Komponente für die Fahrzeuglebensdauer dar. Richt-

²² Vgl. Fries, M. et al. (2017), S. 12 f.

²³ Vgl. Lienkamp, M. (2016), S. 46.

Kapitel 2 Ökonomische Einflüsse

werte sind bei beiden ca. 200.000 km bis 300.000 km Laufleistung oder 10 bis 15 Betriebsjahre.²⁴

2.1.2 HerstellungEntwicklungskosten:

Fahrzeuge mit Elektroantrieb haben weniger zu entwickelnde Bauteile. Mit dem Entfall der Komponenten im Bereich der Abgas- und Einspritzsysteme werden hier keine Entwicklungsleistungen mehr erforderlich. Bei Motor, Kühlung und Getriebe fällt ebenfalls nur ein reduzierter Umfang an. Bain führt z. B. allein beim Tausch von Verbrennungsmotor und Getriebe durch Elektromotor mit Getriebe ungefähr 1.200 weniger Teile an. Ein elektrifizierter Antriebsstrang enthält nur ca. 210 Einzelteile im Vergleich zu einem konventionellen mit ca. 1.400 Teilen.²⁵

Unternehmen die nur elektrisch angetriebene Fahrzeuge herstellen oder die in der Zukunft planen, ihr Produktportfolio auf Elektroautos umzustellen, werden keine Investitionen mehr in Technologiefelder wie beispielsweise der Gemischaufbereitung, der Einspritzung oder der Abgasreinigung tätigen. Damit sind dann unmittelbar auch alle Unternehmen betroffen, die an der Produktion dieser Teile mitwirken oder Entwicklungsdienstleistungen anbieten.

Produktions- Personalkosten:

Geringere Teileanzahl und deren Beschaffenheit sowie Teilegeometrie (als Vergleich Batteriepack zu Verbrennungsmotor mit Anbauteilen) ermöglichen, den Automatisierungsgrad in der Produktion zu erhöhen. Verkürzte Montagezeiten werden eine günstigere Montage ermöglichen.²⁶ Es kann von einer Reduktion der Fertigungszeiten bei den Arbeitsgängen Drehen, Fräsen, Bohren und Schleifen ausgegangen werden. Dadurch werden weniger Arbeitskräfte für manuelle Bearbeitungsschritte benötigt. Der Bedarf an qualifiziertem Personal zur Bedienung der neuen Produktionsanlagen und der Montage von neuen Hochvoltkomponenten wird steigen.²⁷

²⁴ Vgl. Schaufenster Elektromobilität (2017), S.168.

²⁵ Vgl. Kampker, A. (2014), S. 17.

²⁶ Vgl. Enderlein H. et al. (2012), S. 17.

²⁷ Vgl. Spath, D. et al. (2012), S. 37 f.

Kapitel 2 Ökonomische Einflüsse

Um Neueinstellungen und Entlassungen zu reduzieren, müssen die Mitarbeiter im Umgang mit den neuen Hochvoltkomponenten geschult werden.²⁸ Eine sinkende Stückzahl der Fahrzeugmodelle mit Verbrennungsmotor bedeutet, dass der Personalbedarf sinkt und durch die spezifisch verursachten Fixkosten, bei gleichbleibenden Preisen, die Gewinnmarge reduziert wird.

Zulieferbetriebe, die überwiegend Teile für Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor herstellen, müssen sich ebenfalls auf einen Rückgang ihrer Produktion mit den damit verbundenen Folgen einstellen.

Eine Studie des Leibniz-Institut für Wirtschaftsforschung, die in ihrem Szenario von einem komplettem Zulassungsverbot von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor ausgeht, sieht in Deutschland, vor allem bei kleinen, spezialisierten Unternehmen, viele stark gefährdete Stellen.²⁹

Dagegen entstehen aber auch zusätzliche Bedarfe an neuen Produkten und Anlagen, die durch zunehmende Elektromobilität steigen. Hier werden zum einen Arbeitsplätze für die Herstellung der Komponenten geschaffen und zum anderen auch für die Fertigung der gesamten Fahrzeuge.

Obwohl Europa aktuell noch nicht maßgeblich an der Batterieproduktion partizipiert, geht die Nationale Plattform Elektromobilität von positiven Arbeitsplatzeffekten durch die Elektromobilität in Deutschland aus.³⁰

Die Bewertung der betroffenen Hauptkomponenten lässt eine höhere gesamte Wertschöpfung von 3.700 € pro Fahrzeug durch einen rein elektrischen Triebstrang erwarten. Global gesehen wird dadurch zusätzlicher Umsatz erzeugt. Es ist einerseits davon auszugehen, dass zusätzliche Arbeitsplätze entstehen, einzelne davon mit höheren Gehältern, und andererseits auch vermehrt Gelder an Investoren fließen.

2.1.3 Rohstoffe

Als besonders wichtige Rohstoffe für Komponenten eines elektrischen Antriebsstrangs wurden von der Deutschen Rohstoffagentur³¹, der NPE³² und vom

²⁸ Vgl. Enderlein H. et al. (2012), S. 26.

²⁹ Vgl. Falck, O. et al. (2017), S. 43.

³⁰ Vgl. Nationale Plattform Elektromobilität (2016), Arbeitsplatzeffekte, S. 4.

³¹ Vgl. Marscheider-Weidemann, F. et al. (2016), S. 144, 260 ff.

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

Kapitel 2 Ökonomische Einflüsse

Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim deutschen Bundestag³³ Lithium, Kupfer, Kobalt, Graphit, Mangan und Nickel identifiziert.

Aktuelle Studien, beispielsweise eine die vom Öko Institut e.V., im Oktober 2017 veröffentlicht wurde, zeigen, dass Ressourcen von allen Rohstoffen in ausreichender Menge vorhanden sind.³⁴

Entscheidend wird sein, wer bzw. welches Unternehmen die steigenden Bedarfe fördern und anbieten wird, in welcher Region die Rohstoffe gefördert werden und wie schnell auf die jeweiligen Mengenanforderungen reagiert werden kann.

Die folgende Tabelle gibt einen Überblick, in welchen Bauteilen die Rohstoffe im Fahrzeug benötigt werden und wo diese hauptsächlich abgebaut werden.

³³ Vgl. Peters, A. et al. (2012), S. 210 ff.

³⁴ Vgl. Öko-Institut (2017), S.25 ff.

Kapitel 2 Ökonomische Einflüsse**Tabelle 1: Spezifische Rohstoffe für elektrische Antriebskomponenten**

Rohstoff	Bauteil	Verwendung	Herkunft*	%**
Kupfer	Elektromaschine	Spulenwicklung	Chile	27,1
			Peru	12,1
			China	9,4
			USA	6,4
			Kongo	4,3
Lithium	Batterie	In Elektrolytlösung, in positiver und negativer Elektrode	Australien	43,5
			Chile	32,8
			Argentinien	12,8
			China	7,0
Graphit	Batterie	negative Elektrode	China	65,0
			Indien	12,5
			Brasilien	7,9
Kobalt	Batterie	positive Elektrode	Kongo	58,2
			Russland	5,1
			Australien	4,5
			Kanada	4,3
			Kuba	4,2
Mangan	Batterie	positive Elektrode	Süd Afrika	33,1
			China	15,6
			Australien	13,8
			Gabon	10,0
			Brasilien	7,5
Nickel	Batterie	positive Elektrode	Indonesien	19,0
			Philippinen	11,0
			Kanada	10,0
			Neukaledonien	10,0
			Australien	9,0

Quelle: Eigene Darstellung. Herkunft und Prozentangaben aus: U.S. Geological Survey (2018), S. 51, 53, 73, 99, 105, 113.

* Top Produktionsländer mit mindestens 4% Weltmarktanteil.

** Anteil an Gesamtproduktion weltweit Stand 2017.

Aus der Tabelle wird ersichtlich, dass aktuell wenige Länder den Großteil der für die heutige elektrische Antriebstechnologie notwendigen Rohstoffe fördern.

Da die Batterieforschung noch sehr dynamisch ist und sich bei der genauen Materialzusammensetzung (insbesondere bei den Kathoden) Veränderungen ergeben können, sind die Bedarfe an den jeweiligen Rohstoffmengen aktuell

Kapitel 2 Ökonomische Einflüsse

nicht genau abzuschätzen. Für Unternehmen ist es daher mit Risiken verbunden, sich auf einen speziellen Rohstoff bei der Förderung zu konzentrieren.

Die dadurch entstehenden gegenseitigen Abhängigkeiten machen die zukünftige Entwicklung der Rohstoffversorgung schwer vorhersehbar.

Die langfristigen Bedarfe sind aufgrund der technologischen Weiterentwicklung und ggf. dem Einsatz neuer Materialien noch nicht bekannt. Diese zu kennen ist aber bei kostenintensiven Förderprojekten für die Planung der Amortisation erforderlich. Werden aufgrund dieser Unsicherheiten keine zusätzlichen Kapazitäten der aufgeführten Rohstoffe geschaffen, entsteht bei einer starken Durchdringung der Elektromobilität und einer Fokussierung auf einen oder mehrere der Rohstoffe eine Situation, in der die Nachfrage das Angebot übersteigen wird und somit Auswirkungen auf sowohl Preis als auch Verfügbarkeit zu erwarten sein werden.

Für eine grobe Abschätzung der Rohstoffe Lithium und Graphit, die voraussichtlich bei den meisten Batterievarianten verwendet werden, sind die Bedarfe für eine Batterie zum einen für Graphit aus dem Tesla S abgeleitet. Hier werden für eine 85 kWh Batterie schätzungsweise 54 kg Graphite benötigt.³⁵ Berechnet man den Anteil pro Kilowattstunde wird der Bedarf für eine Batterie mit 60 kWh bei ca. 38 kg Graphit liegen. Der Lithiumgehalt zum anderen wird aus einem näherungsweise bestimmten spezifischen Wert von 200 g pro kWh Batteriekapazität errechnet.³⁶ Es ergibt sich für eine 60 kWh Batterie ein Lithiumbedarf von ca. 12 kg.

Klarer prognostizieren lassen sich die Verschiebungen bei gängigen Rohstoffen im Motoren- und Getriebebereich.

Eine Studie des österreichischen Bundesamtes geht bei Motor, Getriebe und den Nebenaggregaten von ca. 120 kg Stahl und 70 kg Gusseisen aus, welches für BEV weniger benötigt wird. Ein zusätzlicher Bedarf von ca. 50 kg Kupfer pro Fahrzeug entsteht vor allem durch die Wicklungen in der Elektromaschine.³⁷

³⁵ Vgl. Lambert, F. (2016), online.

³⁶ Vgl. Angerer, G. (2009), S.170 f.

³⁷ Vgl. Pötscher, F. et al. (2014), S. 116.

Kapitel 2 Ökonomische Einflüsse**2.1.4 Aftersales (Reparatur, Wartung, Teilehandel)**

Auch nach der Produktentstehung und dem Verkauf wirken sich die veränderten Teileumfänge auf viele Marktteilnehmer und die Kunden aus. Im Folgenden sollen die Einflüsse, die beim Teilehandel, der Wartung und dem Service entstehen, betrachtet werden.

Tabelle 2: Hauptunterschiede im Aftersales

Hauptunterschiede im Aftersales			
Kernthema	Beschreibung Veränderung	Einfluss	Abhängig von
Werkzeug, Werkstatt-ausrüstung	Es müssen neue Werkzeuge und Einrichtungen zum Umgang und zur Reparatur der Hochvoltkomponenten beschafft werden.	zusätzliche Investitionskosten für Werkstätten	Werkstattgröße und Werkstatt Kundenstamm
Qualifizierung Mitarbeiter	Mitarbeiter müssen bezüglich der Hochvoltkomponenten qualifiziert werden. Sicherheit im Umgang gewährleisten.	zusätzliche Kosten und Zeitverlust durch Schulungen	Anzahl Mitarbeiter
Abgasuntersuchung	Bei BEVs sind keine Abgasuntersuchungen erforderlich.	Umsatzrückgang bei Service (AU)	angebotenen Werkstattleistungen, BEV Penetrationsrate
Austausch Betriebsmittel (Beispiel Motoröl)	Bei BEVs entstehen andere Anforderungen. Weniger Bedarf an Betriebsmitteln. Z. B. entfällt der Motorölwechsel.	Umsatzrückgang bei Service und "Teilen"	angebotenen Werkstattleistungen, BEV Penetrationsrate
Austausch Verschleiß- und wartungsrelevanter Komponenten	Weniger Teile. Z. B.: Luft-, Kraftstoff-, Ölfilter, Zünd-, Glühkerzen, Kupplung, Abgasanlage, Zahn- und Keilriemen werden nicht benötigt.	Umsatzrückgang bei Service und "Teilen"	angebotenen Werkstattleistungen, BEV Penetrationsrate

Quelle: Eigene Darstellung. In Anlehnung an: e-mobil BW GmbH (2013), S. 14 ff.

Kapitel 2 Ökonomische Einflüsse

Um die Auswirkungen im Aftersales zu beziffern, wird als Basis der Wartungs- und Reparaturaufwand pro gefahrenem Kilometer verwendet. Dieser lag 2015 für die Wartung bei rund 1,6 Cent und für die Reparatur bei 1,1 Cent.³⁸

Propfe erstellte in seiner Arbeit über Marktpotenziale elektrifizierter Antriebskonzepte ein Instandhaltungskostenmodell. In diesem Modell vergleicht er unter anderem ein rein elektrisch angetriebenes Fahrzeug anhand der zu erwartenden Instandhaltungsarbeiten, die einzelnen Komponenten bezüglich eines möglichen Ausfalls, mit einem ICEV. Er kommt zu dem Ergebnis, dass die zu erwartenden Instandsetzungskosten von BEVs bei kleinen Fahrzeugen 30% bei mittleren Fahrzeugen 19% und bei großen ca. 13% geringer sind.³⁹

Eine Studie der e-mobil BW GmbH geht im Reparaturbereich im Schnitt von ca. 35% niedrigeren Arbeitswerten aus. Im Wartungsbereich wird bezüglich des Umgangs mit den Hochvoltkomponenten ein geringfügig höherer Arbeitsaufwand prognostiziert. Für die gesamte Instandhaltung wird von einem Rückgang von ca. 13% ausgegangen.⁴⁰ Hier sind die weniger benötigten Teile und der geringere Bedarf an Betriebsflüssigkeiten allerdings noch nicht berücksichtigt.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass aufgrund noch schwacher Erfahrungswerte und nur weniger Serienmodelle mit hohen Stückzahlen, sich die genauen Instandhaltungskosten nur näherungsweise abschätzen lassen. Als Anhaltspunkt scheinen 20% geringere Umsätze im Aftersales für Mittelklassefahrzeuge aktuell als realistisch.

2.2 Impact Energiequelle

Bei der Nutzung wird die Verwendung einer anderen Energiequelle zu einer Verschiebung der Fahrzeugverbräuche von fossilen Brennstoffen auf Strom führen. Die Nachfrage bzw. der Bedarf nach Mineralöl wird sich verringern und der Bedarf an Strom entsprechend steigen.

Unter Berücksichtigung üblicher Marktmechanismen, ist davon auszugehen, dass diese Nachfragsverschiebung auch eine Änderung der Preise betroffener Produkte mit sich bringen wird. So ist anzunehmen, dass Preise von Mineralöl-

³⁸ Vgl. Deutsche Automobil Treuhand GmbH (2016), S. 60 ff.

³⁹ Vgl. Propfe, B. (2015), S. 116 ff.

⁴⁰ Vgl. e-mobil BW GmbH (2013), S. 24

Kapitel 2 Ökonomische Einflüsse

produkten für den Fahrzeugbetrieb sinken werden und sich im Gegenzug der Preis von Strom für Elektrofahrzeuge erhöhen wird.

Bezüglich volkswirtschaftlicher Auswirkungen ist anzunehmen, dass erdölexportierende und -importierende Länder unter rückläufigen Bedarfen und Preissenkungen in Zukunft hinsichtlich ihres Brutto Inlandsprodukt gewinnen oder verlieren werden.

Je höher der Anteil an Elektromobilität wird, desto größer werden auch die Auswirkungen auf die länderspezifischen Steuereinnahmen. Viele Länder, beispielsweise Deutschland, haben hohe Einnahmen durch Steuern auf Benzin und Diesel. Laut Bundesfinanzministeriums machten diese 2016 insgesamt ca. 6% der Steuereinnahmen des Gesamtstaates aus. Die Steuern auf Strom hingegen nur knapp 1%.⁴¹ Die sogenannte Energiesteuer würde analog zum Anteil an weniger verbrauchten Kraftstoffen sinken. Um diese Steuerausfälle zu kompensieren, ist eine logische Schlussfolgerung, auch Steuern für den zur Mobilität verwendeten Strom einzuführen.⁴²

2.2.1 Energiemedium (Kraftstoff, Strom)

Um die beiden unterschiedlichen „Kraftstoffarten“ vergleichbar zu machen, wird kurz beschrieben, welche energetischen Werte Strom bzw. Diesel / Benzin haben und wie die jeweiligen Verbräuche sind.

Durchschnittlicher Stromverbrauch eines Mittelklassewagens bei einer Laufleistung von 100 km

Hersteller, beispielsweise BMW, geben für das Modell BMW i3 einen Verbrauch von 14,3 kWh auf 100 km an.⁴³ Die Bundesregierung Deutschland ging in einer Studie von 2011 von einem Stromverbrauch von ca. 20 kWh für 100 km aus.⁴⁴ Eine Studie aus Dänemark mit über 700 Fahrern von Elektrofahrzeugen ermittelte 2016 einen Durchschnittsverbrauch von 18,3 kWh unter realen Bedingungen (0.168 kWh/km im Sommer, 0.225 kWh/km im Winter).⁴⁵ Für alle weiteren Berechnungen wird in dieser Arbeit ein durchschnittlicher Stromverbrauch für

⁴¹Vgl. Bundesministerium der Finanzen (2016), online.

⁴²Vgl. Rey, L. (2012), S. 38.

⁴³Vgl. BMW, online.

⁴⁴Vgl. e-mobil BW GmbH (2011), S. 40.

⁴⁵Vgl. Fetene, G. M. et al. (2016), S. 7 f.

Kapitel 2 Ökonomische Einflüsse

einen rein elektrisch angetriebenen Mittelklassewagen von 18 kWh pro 100 km angenommen (bzw. 0,18 kWh pro km).

Erdölbedarf für die Herstellung von einem Liter Benzin (Diesel)

Aus einem Barrel Rohöl (was ca. 159 Litern entspricht) können neben anderen Produkten in etwa 76 Liter Benzin und 42 Liter Diesel hergestellt werden.⁴⁶ Das bedeutet, um 1 Liter Benzin herzustellen, werden ca. 2 Liter Rohöl benötigt.

Weltweiter näherungsweise Anteil Dieselfahrzeuge

Für alle weiteren Kalkulationen wird von einem Mischwert der beiden Kraftstoffe Benzin und Diesel ausgegangen. Im Folgenden wird die Dieselquote ermittelt.

Um den Anteil näherungsweise zu bestimmen, werden die sechs größten Automärkte 2016 China, EU, USA, Japan, Indien und Brasilien in der folgenden Tabelle betrachtet.

Tabelle 3: Hochrechnung weltweiter PKW Dieselanteil

Land	Neuzulassungen 2016	Dieselanteil 2014	Anzahl Dieselfahrzeuge
China	23.693.400	1%	236.934
EU	14.641.415	53%	7.759.950
USA	17.464.777	3%	523.943
Japan	4.146.458	2%	82.929
Indien	2.980.000 ⁴⁷	52%	1.549.600
Brasilien	1.988.597	0%	0
Summe	64.914.647	16%	10.153.356

Quelle: Eigene Darstellung. Werte der Neuzulassungen 2016 von: Verband der Automobilindustrie (2018), Automobilproduktion, online. Werte Dieselanteil 2014 von: Roland Berger (2015), S. 3, online.

Für die weiteren Berechnungen und Mischkalkulationen wird jeweils vereinfacht von einem Dieselanteil von 20% ausgegangen.

⁴⁶ Vgl. U.S. Department of Energy (2016), online.

⁴⁷ vgl. Dudenhöffer, F. (2016), online.

Durchschnittlicher Verbrauch Benzin, Diesel eines Mittelklassewagens bei einer Laufleistung von 100 km

Der durchschnittliche Verbrauch für einen Mittelklassewagen liegt 2016 laut Herstellerangaben zwischen vier und fünf Litern bei Dieselfahrzeugen⁴⁸ und ungefähr bei fünf bis sieben Litern bei Benzinfahrzeugen. Für die Berechnung wird ein Wert für den Verbrauch bei Dieselfahrzeugen von viereinhalb Litern und bei Benzinfahrzeugen von sechs Litern angenommen.

Bezieht man die Verteilung von Benzin und Dieselfahrzeugen mit ein, erhält man einen weltweiten durchschnittlichen Verbrauch von 5,7 Litern pro Fahrzeug auf 100 km bzw. 0,057 Liter auf 1 km.

2.2.2 Distribution von Kraftstoff und Strom

Durch die veränderte Aufnahme von Energie, wird eine neue Nutzung der Tank- bzw. Ladeinfrastruktur entstehen. War es bisher notwendig, Tankstellen aufzusuchen, um die Kraftstoffreserven wieder aufzufüllen, so stehen durch die Elektromobilität neue Optionen zur Verfügung. Diese führen dazu, dass nicht mehr der gesamte Energiebedarf an öffentlichen Tankstellen bzw. Ladestationen bezogen wird, sondern laut Umfragen sogar überwiegend private Möglichkeiten zur Ladung der Batterie genutzt werden. Zum Beispiel eine einfache Steckdose am Haus oder in der Garage.

Bereits existierende Smart Metering Tarife (zeitabhängig gesteuerte Preise für den Strom), die bisher für Normalhaushalte bei Standardverbräuchen nicht lukrativ sind, könnten durch das gezielte Laden der Autobatterien kostenseitig interessant werden. Dadurch könnte der bisher kleine Markt für Smart Metering Produkte langfristig wachsen.⁴⁹

Ladeinfrastruktur:

Der Aufbau einer flächendeckenden Ladeinfrastruktur wird aktuell beispielsweise von Autoherstellern, Kooperationen unterschiedlicher Unternehmen, spezialisierten Ladeinfrastrukturunternehmen und auch den Energieversorgern direkt betrieben. Es ist allerdings noch nicht klar, wie sich die Ladesäulen wirtschaft-

⁴⁸ Vgl. Autohaus24 (2016), online.

⁴⁹ Vgl. Götze, U. / Rehme, M. (2011), S. 34 ff.

Kapitel 2 Ökonomische Einflüsse

lich rechnen werden bzw. wie sich diese in ein gewinnbringendes Geschäftsmodell umwandeln lassen.⁵⁰

Der Anteil an elektrischen Fahrzeugen ist in den meisten Märkten noch relativ gering, und es sind noch zahlreiche Lademöglichkeiten bereitgestellt, an denen kostenlos Strom bezogen werden kann (Beispiel Parkplätze beim Arbeitgeber oder an manchen Kaufhäusern). Es ist noch nicht klar, inwieweit Kunden bereit sind bzw. bereit sein werden, für den Ladeservice zu bezahlen.⁵¹

Je nach Verbreitung der Elektromobilität und der Dichte der Ladeinfrastruktur wächst ein neuer Markt für Ladesysteme und die dazu benötigten Komponenten heran.

Zusätzlich benötigte Ladestationen und daraus resultierende Marktpotenziale

Eine Prognose der deutschen Bundesregierung geht für eine Million Elektrofahrzeuge von ca. 35.000 Ladepunkten aus.⁵² Daraus würde sich das Marktpotenzial für ein Fahrzeug von 0,035 Ladestationen ergeben. Eine betriebsbereite Ladestation in Deutschland aufzubauen kostet ca. 24.000 €. Hinzu kommen weitere Umsätze von ca. 1.500 € für die Unterhaltskosten pro Jahr.⁵³ Eine Studie aus den USA geht von durchschnittlichen Kosten pro Ladestation von 31.000 \$ aus⁵⁴ (entsprechend 24.031 €).

Tankstellen:

Die Umsätze von Tankstellen werden bei Kraftstoffen zurückgehen. Durch weniger tankende Kunden wird sich auch das lukrative Shop Geschäft aufgrund geringerer Laufkundschaft verschlechtern. Wie hoch die Einbußen bei Produkten wie beispielsweise Backwaren, Tabakwaren oder Getränken im Genauen sind, wird hier wertmäßig nicht prognostiziert.

⁵⁰ Vgl. Schaufenster Elektromobilität (2015), Fortschrittsbericht 2015, S. 30.

⁵¹ Vgl. Jerram, L. / Gartner J. (2016), S. 5.

⁵² Vgl. Falck, O. et al. (2017), S. 72.

⁵³ Vgl. Frahm, C. / Pander, J. (2017), online.

⁵⁴ Vgl. NYC Taxi & Limousine Commission (2013), S.54.

3 Ökologische Einflüsse

3.1 Impact Fahrzeug

Die CO₂ Bilanz bei der Herstellung der elektrischen Komponenten, insbesondere der Batterie, wird aktuell schlechter als für die Komponenten eines Fahrzeuges mit Verbrennungsmotor eingeschätzt. Ungefähr 90% der CO₂-Emissionen entstehen beim BEV nicht durch den Fahrtbetrieb, also den Verbrauch von Strom, sondern bei der Fahrzeugherstellung.⁵⁵ So liegen nach Bewertungen aus den Jahren 2013 und 2016 Werte für die Schadstoffbelastung bei der Herstellung eines Mittelklassewagens für ein Fahrzeug mit Verbrennungsmotor bei ca. 6.000 kg CO₂ und bei einem rein elektrisch angetriebenen bei ca. 9.400 kg CO₂ Äquivalenten.⁵⁶

Umweltbelastungen fallen also überwiegend in den Länder an, in denen die Fahrzeuge bzw. Fahrzeugkomponenten und Rohstoffe produziert werden und nicht dort, wo die Autos verkauft und gefahren werden.

Der hohe Rohstoffaufwand und Materialeinsatz wird in Zukunft die Entsorgung beziehungsweise Recyclingmöglichkeiten für die werthaltigen Elektrokomponenten und vor allem die Traktionsbatterien neu gestalten. Sinnvolle Konzepte zur weiteren Verwendung nach dem Dienst im Fahrzeug werden notwendig werden. Ansätze für die weitere Nutzung für Batterien sind beispielsweise schon im Bereich der Stromzwischenspeicherung vorhanden.⁵⁷

So könnten Batterien beispielweise in Netzwerken eingesetzt werden um Lastspitzen auszugleichen oder um Preisschwankungen zu nutzen. Ein weiterer Einsatz wäre auch im Bereich der Notstromaggregate möglich.⁵⁸

Wie ökologisch die Herstellung von reinen Elektrofahrzeugen in Zukunft sein wird, hängt stark von der Rohstoffverfügbarkeit, der Rohstoffgewinnungsart und der Gestaltung der Batterieproduktion ab. Es wird sich zeigen, ob diese um-

⁵⁵ Vgl. Rey, L. (2012), S. 37.

⁵⁶ Vgl. Helms, H. et al. (2014), S.85.

⁵⁷ Vgl. International Energy Agency (2017), Global EV Outlook 2017, S. 47.

⁵⁸ Vgl. Schaufenster Elektromobilität (2015), Fortschrittsbericht 2015, S. 105 ff.

Kapitel 3 Ökologische Einflüsse

weltverträglich hergestellt oder recycelt werden oder ob, vor allem in Drittländern, bedenkliche Produktionsverhältnisse entstehen.⁵⁹

3.2 Impact Energiequelle

Beim Elektroantrieb entstehen die Emissionen für den benötigten Strom nur bei der „Energieherstellung“ nicht mehr bei der Fahrzeugnutzung. Gesetzlich vorgeschriebene Werte zur Einhaltung von CO₂ Ausstößen für die Hersteller würden bei einem hohen Flottenanteil an Elektrofahrzeugen somit problemlos möglich werden. Im Folgenden werden die beiden Antriebsmedien gegenübergestellt.

3.2.1 Fossiler Kraftstoff (Benzin/Diesel)

Durchschnittlicher Schadstoffausstoß beim Verbrauch von einem Liter Kraftstoff:

Bei der Verbrennung entstehen pro Liter Benzin ungefähr 2.370 g und pro Liter Diesel ungefähr 2.650 g CO₂.⁶⁰ Bei der Mischbetrachtung von Benzin und Diesel ergibt es einen Wert von ca. 2.425 g pro Liter.

Durchschnittlicher Schadstoffausstoß bei der Herstellung von einem Liter Kraftstoff:

Shell gibt an, dass bei der Herstellung von einem Liter Kraftstoff ca. 15-20% der CO₂ Ausstöße des Verbrennungsprozesses entstehen.⁶¹ Dies entspricht bei Benzin in etwa einem Ausstoß zwischen 355 g und 475 g CO₂, bei Diesel zwischen 400 g und 530g pro hergestellten Liter Kraftstoff.

Eine Studie der europäischen Kommission liegt bei den Werten für Benzin bei knapp 20% (19,2%) und bei Diesel leicht über 20% (21%). Sie gibt bei der Herstellung von Kraftstoff einen CO₂ Ausstoß von ca. 13 g für Benzin und 15 g für Diesel pro Megajoule an.⁶² Für die eigene Berechnung wird pro Liter Benzin von einem Brennwert in Höhe von 46,7 MJ/kg und von Diesel in Höhe von 44,8 MJ/kg ausgegangen.⁶³ Bei einer durchschnittlichen Dichte von ca. 750 g pro

⁵⁹ Vgl. Peters, A. et al. (2012), S. 10, S. 115 f.

⁶⁰ Vgl. Dekra e. V., online.

⁶¹ Vgl. Shell Deutschland Oil GmbH (2014), Seite 68.

⁶² Vgl. Edwards, R. et al. (2014), S. 84.

⁶³ Vgl. Kurzweil, P. (2015), S. 127.

Kapitel 3 Ökologische Einflüsse

Liter bei Benzin⁶⁴ und ca. 830 g pro Liter bei Diesel⁶⁵ ergeben sich für den bei der Herstellung verursachten CO₂ Ausstoß folgende Werte:

Schadstoffausstoß bei der Kraftstoffherstellung		
	Benzin	Diesel
Brennwert pro Kilogramm:	46,7 Megajoule	44,8 Megajoule
	X	X
Durchschnittliche Dichte:	750 g pro Liter	830 g pro Liter
	=	=
Brennwert pro Liter:	35,02 Megajoule	37,15 Megajoule
	X	X
CO₂ Ausstoß pro Megajoule:	13 g	15 g
	=	=
CO₂ Ausstoß pro Liter:	455,3 g CO ₂ pro Liter	557,7 g CO ₂ pro Liter
Mischbetrachtung bei 20% Dieselanteil: 475 g CO₂ pro Liter		

Abbildung 2 Schadstoffausstoß bei der Kraftstoffherstellung

Schadstoffausstoß gesamt pro Liter als Benzin / Diesel Mischwert:

Für Herstellung und Nutzung entstehen somit insgesamt für einen Liter Benzin ca. 2.825 g CO₂ und für einen Liter Diesel ca. 3.208 g CO₂.

Ausgehend von einem weltweiten Dieselanteil bei PKWs von 20% entstehen für den Verbrauch insgesamt, d. h. bei Herstellung und Nutzung, ca. 2.900 g CO₂ pro Liter Kraftstoff.

3.2.2 Strom

Welche Auswirkungen auf die Umwelt bzw. CO₂ Emissionen durch die Stromproduktion entstehen, wird sehr stark davon abhängen, auf welche Weise dieser für die Fortbewegung erzeugt wird. Je mehr aus natürlichen Energiequellen, also aus Sonne, Wind und Wasser, gewonnen wird, je höher wird der Beitrag

⁶⁴ Vgl. DIN EN 228 (2017).

⁶⁵ Vgl. DIN EN 590 (2017).

Kapitel 3 Ökologische Einflüsse

zur Verringerung der Emissionen sein. Wichtig wird in diesem Zusammenhang sein, den erzeugten regenerativen Strom auch tatsächlich zu nutzen.

Sinnvoll erscheint auch die Möglichkeit, die Batterien als Energiespeicher für hauseigene Photovoltaikanlagen zu nutzen. McKinsey hält vor allem in sonnigen Gebieten eine Koppelung von Elektrofahrzeugen und produzierter Sonnenenergie für sinnvoll. So kann je nach Bedarf, das Netz gespeist oder die Batterie mit dieser umweltfreundlichen Energie geladen werden.⁶⁶

CO₂ Ausstoß bei der Herstellung von 1 kWh (Strom)

Der Rohstoffbedarf zur Erzeugung des Stromes ist aktuell je nach Land unterschiedlich. Je nach Herstellart unterscheiden sich die Werte deutlich. Folgende CO₂ Ausstöße pro kWh können als Richtwerte für die jeweiligen Energieträger angenommen werden:⁶⁷

Kohle	ca. 800 bis 1.000 g	Gas	ca. 300 bis 700 g
Kernkraft	ca. 20 g	Wasser, Sonne, Wind	ca. 10 - 50 g

Für die Herstellung einer kWh Strom bei einer deutschen Stromzusammensetzung von 2015 (ungefähr 50% fossile Brennstoffe) werden laut deutschem Bundesumweltamt 534 g CO₂ erzeugt.⁶⁸ 2016 wurden in Deutschland insgesamt 648 Milliarden Kilowattstunden Strom produziert und 306 Millionen Tonnen CO₂ ausgestoßen. Das ergab einen Wert von ca. 472 g CO₂ pro kWh.⁶⁹

Weltweit gesehen kamen überwiegend fossile Brennstoffe zum Einsatz. So stellte sich die Stromzusammensetzung 2015 aus ca. 39% Kohle, 23% Gas, 4% Öl, 11% Kernkraft sowie 16% Wasserkraftwerken und 7% sonstigen regenerativen Energien zusammen (insgesamt 24.255 TWh).⁷⁰

Unter der Annahme, dass in der Zusammensetzung für Kohle und Öl 900 g, für Gas 600 g, für Kernkraft 20 g und für regenerative Energieerzeugung 30 g CO₂ anfallen, beläuft sich weltweit gesehen der CO₂ Ausstoß pro hergestellte kWh Strom auf ca. 530 g.

⁶⁶ Vgl. McKinsey&Company / Bloomberg New Energy Finance (2016), S. 21.

⁶⁷ Vgl. Wissenschaftliche Dienste des Deutschen Bundestages (2007), S. 21 ff.

⁶⁸ Vgl. Umweltbundesamt (2018), online.

⁶⁹ Vgl. Stromvergleich, online.

⁷⁰ Vgl. International Energy Agency (2017), Key world energy statistics, S. 30.

4 Gesellschaftliche Einflüsse

Ein geräuschloses, emissionsloses Fahren wird insbesondere in Ballungsräumen zu einer Verbesserung der Lebensqualität beitragen. Verkehrsbedingte Luftverschmutzungen und Lärm können stark reduziert werden.

Der neue Tank- bzw. Ladevorgang kann sowohl über hundert Jahre etablierte Gewohnheiten von Autofahrern beim Gebrauch ihres Fahrzeuges als auch die Versorgung und Zahlung für Strom revolutionieren.

Mit dem zusätzlichen Stromverbrauch einhergehende Veränderungen könnten beispielsweise unterschiedliche Kosten für Verbrauchsstrom und Batterieladestrom sein. Eine weitere Variante könnten auch verbrauchsmotivierende Strompreismodelle, um Engpasssituation durch Netzüberlastungen zu vermeiden, sein.

Die bisherige Infrastruktur zur Versorgung von Fahrzeugen mit Kraftstoff ist durch ein nahezu weltweit ausgebautes Netz an Tankstellen geprägt. Der Tankvorgang dauert wenige Minuten. Der Kraftstoff wird zumeist in flüssiger Form in den im Fahrzeug integrierten Tank gefüllt. Die Abgabemenge wird an den Zapfsäulen in Volumeneinheiten (z. B. Galone oder Liter) gemessen. Als Zahlungsmethoden sind bar oder Kartenzahlung etabliert.

Um ein Elektroauto „zu tanken“, bzw. wieder mit Energie zu versorgen, gibt es verschiedene Alternativen. Die aktuell gebräuchlichste ist das konduktive Laden. So kann der Ladevorgang sowohl an öffentlich eingerichteten Ladestationen oder auch über die private elektrische Versorgung erfolgen. Eine Veränderung, die sich hier abzeichnet ist, dass aktuell (Stand 2016) Nutzer eines Elektroautos das Laden am eigenen Haus, an der eigenen Wohnung gegenüber öffentlichen Ladestationen bevorzugen.⁷¹ Das heißt, die Notwendigkeit „Tankstellen“ zur Energieversorgung aufzusuchen, entfällt, falls man nicht eine längere Distanz zurücklegen möchte, die die Kapazität einer Batterieladung übersteigt. Eine Umfrage bei BEV Nutzern in Norwegen ergab, dass Bewohner von frei

⁷¹ Vgl. International Energy Agency (2017), Global EV Outlook 2017, S. 31.

Kapitel 4 Gesellschaftliche Einflüsse

stehenden Häusern ihre Fahrzeuge zu 97% täglich oder wöchentlich daheim aufluden.⁷²

Auch längere Ladezeiten sowie neue Prozesse bei der Abnahmemessung und der Bezahlung müssen Kunden erst noch in ihr bisheriges Alltagsleben integrieren.

Der Ladevorgang an sich, dauert aktuell von ca. sechs bis acht Stunden an einer herkömmlichen Haushaltssteckdose bis ca. 30 Minuten an sogenannten Super Chargern bzw. Schnellladestationen.

⁷² Vgl. Lorentzen, E. et al. (2017), S. 7.

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.

Quellenverzeichnis

- 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/expertenstudie-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.
- 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).

Quellenverzeichnis

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=0ahUKEwjOpcntlfvbAhXkMewKHWtUCrUQFggvMAA&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://autoinstitut.de/pm_studien.htm> (abgerufen 27.06.2018).

Commerzbank (2015): Autozulieferer Branchenbericht – Corporate Sector Report.

Quellenverzeichnis

- 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).
- 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 - Dieseldieselkraftstoff - 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-energiewende>> (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, Frau-

Quellenverzeichnis

enhofer 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 Umwelt-

Quellenverzeichnis

bilanz 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-rasant-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.

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

Quellenverzeichnis

-
- 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 Ausbaustrategie 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.

Quellenverzeichnis

-
- Marscheider-Weidemann, F. / Langkau, S. / Hummen, T. / Erdmann, L. / Terce-ro Espinoza, L. / Angerer, G. / Marwede, M. / Benecke, S. (2016): Rohstoffe für Zukunftstechnologien 2016. – DERA Rohstoffinformationen 28, Berlin.
- 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.

Quellenverzeichnis

- 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 Auto-Mobilität, 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.

Quellenverzeichnis

- 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-ihm-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.
- 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).

Quellenverzeichnis

- Umweltbundesamt (2018): CO2-Emissionen pro Kilowattstunde Strom sinken weiter, unter: <<https://www.umweltbundesamt.de/themen/co2-emissionen-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).