

# Elektromobilität – Technologie mit Zukunft?

eingereicht als Diplomarbeit

an der



Autorin: Sandra Jung

Fakultät: Wirtschaftswissenschaften

Fachbereich: Wirtschaftsingenieurwesen

Berlin, 2014

Erstprüfer: Prof. Dr. rer. oec. Köbernik

Zweitprüfer: Prof. Dr. rer. pol. Tolkmitt

## **Bibliographische Beschreibung**

Jung, Sandra

Elektromobilität – Technologie mit Zukunft?

114 Seiten, Hochschule Mittweida, University of Applied Sciences, Fakultät

Wirtschaftswissenschaften, Diplomarbeit, 2014

### **Referat**

Elektromobilität bedeutet für die Gesellschaft eine technologische Zeitenwende. Die stufenweise Elektrifizierung der Straßenfahrzeuge - vom Hybrid bis zum reinen elektrisch betriebenen Auto - eröffnet Optionen auf eine zukunftsfähige Mobilität. Nachfolgend gilt es, die Herausforderungen zu betrachten und zu analysieren. Neben geschichtlichen und technischen Fakten wird der Hauptaugenmerk auf die Förderpolitik, die Marktdurchdringung und die damit verbundenen Chancen und Risiken gelegt.

## Inhalt

<b>Inhaltsverzeichnis</b>	<b>III</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>VII</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>IX</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>X</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1 Inhalt und Ziel der Arbeit	1
1.2 Untersuchungsverlauf	3
<b>2 Elektromobilität – (k)eine neue Technologie</b>	<b>4</b>
<b>3 Treiber der Elektromobilität</b>	<b>8</b>
3.1 Legislative	8
3.2 Endliche Ressourcen	10
3.3 Zunehmende Urbanisierung	13
3.4 Kundenerwartungen	14
<b>4 Technischer Stand der Elektromobilität</b>	<b>16</b>
4.1 Definition Elektromobilität und Abgrenzung	16
4.2 Elektromobile Antriebskonzepte	18
4.2.1 Hybridtechnologie	18
4.2.1.1 Mikrohybrid	19
4.2.1.2 Mildhybrid	20
4.2.1.3 Vollhybrid	20

4.2.1.4	Plug-In-Hybrid	21
4.2.1.5	Paralleler Hybrid	22
4.2.1.6	Serieller Hybrid	23
4.2.1.7	Leistungsverzweigter Hybrid	24
4.2.2	Batterieelektrische Fahrzeuge (BEV)	24
4.2.3	Brennstoffzellenfahrzeuge	25
4.2.4	Übersicht und Vergleich elektromobiler Antriebskonzepte	26
4.2.5	Fazit	28
4.3	Energiespeicher	30
4.4	Ladesysteme	32
4.4.1	Konduktives Laden	33
4.4.2	Induktives Laden	34
4.4.3	Batteriewechselsysteme	34
4.4.4	Übersicht und Beurteilung verschiedener Ladesysteme	35
<b>5</b>	<b>Chancen, Risiken und Herausforderungen der Elektromobilität</b>	<b>38</b>
5.1	Technologische Betrachtung	38
5.1.1	Batterietechnologie	38
5.1.2	Technische Normen und Standards	43
5.2	Ökonomische Betrachtung	
5.2.1	Ladeinfrastruktur	47
5.2.2	Veränderungen der Wertschöpfungskette	51

5.2.3	Wirtschaftlichkeit für Nutzer	53
5.2.4	Kritische Rohstoffe	55
5.3	Soziale Betrachtung	59
5.4	Ökologische Betrachtung	64
5.4.1	Energieverbrauch und Treibhauseffekt	64
5.1.2	Umweltverschmutzung	64
<b>6</b>	<b>Marktpenetration von Elektrofahrzeugen</b>	<b>65</b>
6.1	Gegenwärtiger Marktanteil von Elektrofahrzeugen	
6.2	Marktpenetration und Verkaufsmodelle von Elektrofahrzeugen	68
6.3	Fazit	74
<b>7</b>	<b>Förderung der Elektromobilität</b>	
7.1	Instrumente der Förderpolitik	75
7.1.1	Förderung der Technologieentwicklung	76
7.1.2	Endverbrauchersubventionen	78
7.2	Länderbeispiele	80
7.2.1	China	81
7.2.2	Japan	81
7.2.3	USA	82
7.2.4	Deutschland	83
7.3	Fazit	85
<b>8</b>	<b>Neue Geschäftsmodelle von Elektromobilität</b>	
8.1	Elektromobilität für Kurzstrecken	87

8.2	E-Carsharing Konzept	89
8.3	E-Flottenkonzept	92
8.4	Neuartige Finanzierungskonzepte	93
8.5	Zweitwagen	94
<b>9</b>	<b>Zusammenfassung und Schlussbetrachtung</b>	<b>96</b>
<b>10</b>	<b>Literatur</b>	<b>97</b>
<b>11</b>	<b>Selbstständigkeitserklärung</b>	<b>105</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abb. 1	Kraftstoffpreise in Deutschland von 1976 bis 2012 im Vergleich	12
Abb. 2	Kriterien beim Neuwagenkauf	15
Abb. 3	Übersicht Antriebskonzepte	17
Abb. 4	Einteilung nach Hybridisierungsgrad	18
Abb. 5	Unterscheidung nach der topologischen Verschaltung eines Hybrid	19
Abb. 6	Varianten des Parallelhybrid	23
Abb. 7	Schematische Darstellung der Komponenten eines reinen Elektrofahrzeuges	25
Abb. 8	Schematische Darstellung der Komponenten eines Brennstoffzellenfahrzeuges	26
Abb. 9	Batteriesysteme für Elektrofahrzeuge	31
Abb. 10	Überblick Ladekonzepte	35
Abb. 11	Eigenschaften gängiger Lithium-Ionen-Batterietypen	42
Abb. 12	Für die Normung relevante Systemkomponenten und Domäne	44
Abb. 13	Wesentliche Elemente der Normungs- und Standardisierungslandschaft	45
Abb. 14	Verschiedene Ausführungen von Steckern und deren Kenndaten	46
Abb. 15	Öffentliche Ladestationen (Stand 2012)	48
Abb. 16	Wirtschaftlichkeit und Strom-Mehrkosten	50
Abb. 17	Kostenzusammensetzung für ein exemplarisches Mittelklassefahrzeug	54
Abb. 18	Gesamtkostenvergleich unterschiedlicher Antriebsarten von 2014 bis 2022	55
Abb. 19	Bewertung ausgewählter Rohstoffe durch die Ad-hoc-Working Group	57
Abb. 20	Kritische Rohstoffe in einem Elektrofahrzeug	58
Abb. 21	Wie gut sind Sie über Elektrofahrzeuge informiert?	60

Abb. 22	Wie viel Geld würden Sie für Elektrofahrzeuge gegenüber konventionellen Fahrzeugen zusätzlich ausgeben?	61
Abb. 23	Wie viel Geld würden Sie für Elektrofahrzeuge gegenüber konventionellen Fahrzeugen zusätzlich ausgeben?	61
Abb. 24	Präferenzen öffentliches u. halböffentliches Laden	62
Abb. 25	Rangfolge der Abrechnungs- und Bezahlssysteme	63
Abb. 26	Liste der zurzeit angekündigten oder produzierten Elektrofahrzeuge	67
Abb. 27	Absatz von Hybrid- und Elektrofahrzeugen in den USA (in Einheiten, Anteile in %)	68
Abb. 28	Parameter für die drei Szenarien (alle Preise sind reale Bruttopreise inkl. Mehrwertsteuer mit 2012 als Basisjahr)	73
Abb. 29	Neuzulassungen pro Jahr nach TCO-Entscheidung	73
Abb. 30	Entwicklung der Patentanmeldungen weltweit von 2002-2012 für Elektroautos, Hybrid-Fahrzeuge und Brennstoffzellenantriebe	77
Abb. 31	Kategorien der Endkundensubventionierung.	79
Abb. 32	Programme und Projekte der Elektromobilität	84
Abb. 33	Entwicklung der Carsharing Nutzung in Deutschland	90
Abb. 34	Übersicht Car-Sharing Unternehmen	91



## **Tabellenverzeichnis**

Tab. 1 Vergleich Elektromobile Antriebskonzepte	26
Tab. 2 Vor- und Nachteile Energiespeicher	31
Tab. 3 Vor- und Nachteile Ladesysteme	36
Tab. 4 Vergleich der Kraftstoffe nach Energiedichte und Nutzenergie	39
Tab. 5 Eckdaten der deutschen Automobilindustrie 2013	51

## Abkürzungsverzeichnis

ADAC	Allgemeiner Deutscher Automobil-Club e. V.
BDEW	Bundesverbandes Energie- und Wasserwirtschaft e.V.
BEV	Battery Electric Vehicle
BMFT	Bundesministerium für Forschung und Technologie
BRIC-Staaten	Brasilien, Russland, Indien, China
BCG	Boston Consulting Group
CO <sub>2</sub>	Kohlenstoffdioxid
CARB	California Air Resources Board
DAT	Deutsche Automobil Treuhand GmbH
EEG	Erneuerbare Energien Gesetz
EG	Europäische Gemeinschaft
EKFG	Energie- und Klimafondsgesetz
EU	Europäische Union
FCEV	Fuel Cells Electric Vehicle
KraftStg	Kraftfahrzeugsteuergesetz
NEP	Nationaler Entwicklungsplan Elektromobilität
NEFZ	Neuer Europäischer Fahrzyklus
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development
OPEC	Organisation of the Petroleum Exporting Countries
OEM	Original Equipment Manufacturer
PHV	Plug-in Hybrid Vehicle
PHEV	Plug-In Hybrid Electric Vehicle
Pkw	Personenkraftwagen
REEV	Range Extended Electric Vehicle

SAE	Society of Automobile Engineers
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change
VW	Volkswagen
WWF	World Wildlife Fund
ZEV	Zero Emission Vehicle

# 1 Einleitung

## 1.1 Inhalt und Ziel der Arbeit

Wir stehen derzeit vor einer der größten globalen Herausforderungen unserer Gesellschaft - wachsender Energiehunger zu Lasten des Klimas, der Menschen und der Natur. Der verschwenderische Umgang mit endlichen Ressourcen führt einerseits zur Verknappung und mithin Verteuerung wertvoller Rohstoffe. Andererseits zeigt der ungezügelte CO<sub>2</sub>-Ausstoß bereits deutlich seine Folgen. Diskussionen über die Auswirkungen des Klimawandels wie Dürren, Überschwemmungen, Hungersnöte, schmelzende Polarkappen und der daraus resultierende ansteigende Meeresspiegel finden zwar zunehmend Gehör in unserer Gesellschaft. Dennoch werden rund 31,5 Milliarden Tonnen CO<sub>2</sub> jährlich in die Atmosphäre abgegeben, die wichtigsten Quellen sind fossile Brennstoffe wie Kohle, Erdöl und Erdgas. Mit dramatischen Folgen: Der Anstieg der globalen Temperatur gefährdet ernsthaft die fragilen Wechselwirkungen des Weltklimas. Der World Wildlife Fund (WWF) ist davon überzeugt, dass der Temperaturanstieg deutlich unter 2 Grad Celsius liegen muss, um die gefährlichen Folgen des Klimawandels abwenden zu können.<sup>1</sup>

Zur Verhinderung des Klimakollapses wird umgehend eine geänderte und nachhaltig globale Klimapolitik benötigt. Die Mitgliedsstaaten der UN-Klimarahmenkonvention (United Nations Framework Convention on Climate Change - UNFCCC) haben sich diesem Ziel verschrieben.<sup>2</sup> Aufgabe ist es auf der nächsten Weltklimakonferenz 2015 in Paris einen gemeinsamen Vertrag zu verabschieden, wonach sich Industriestaaten, aber auch Schwellen- und Entwicklungsländer zu Klimazielen und konkreten CO<sub>2</sub>-Einsparungen verpflichten.<sup>3</sup> Die Europäische Union (EU) hat sich bereits seit Jahren auferlegt, die Treibhausgasemissionen bis 2020 um mindestens 20 Prozent (gegenüber dem Stand von 1990) zu reduzieren.

---

<sup>1</sup> Vgl. [www.wwf.de](http://www.wwf.de)

<sup>2</sup> Vgl. [www.nachhaltigkeit.info](http://www.nachhaltigkeit.info)

<sup>3</sup> Vgl. [www.goethe.de](http://www.goethe.de)

Mit einem Anteil von ca. 26 Prozent trägt der Verkehr erheblich zu den CO<sub>2</sub>-Gesamtemissionen in der EU bei. Der Pkw-Verkehr ist dabei mit rund 12 Prozent für etwa die Hälfte der Emissionen verantwortlich.<sup>4</sup>

Um diesen CO<sub>2</sub>-Belastungen zu begegnen, sind verschiedene Lösungen artikuliert worden - eine dieser Lösungen heißt Elektromobilität. Nicht nur Verkehrspolitiker und Klimaforscher sehen gerade bei Pkws ein erhebliches Einsparpotential an CO<sub>2</sub>. Ebenfalls halten Automobilhersteller Elektromobilität für einen geeigneten wirtschaftlichen Anreiz, auch um ihre Corporate Social Responsibility wahrzunehmen.

In den letzten Jahren ist die Elektromobilität aus ihrem langen Nischendasein erwacht. Jedoch ist die Frage noch nicht abschließend beantwortet, ob der elektrische Antrieb tatsächlich zur Alternative für die bisher eingesetzten Verbrennungsmotoren werden wird. Die Meinungen hierzu gehen weit auseinander und reichen von der Überzeugung, dass sich das Elektroauto überhaupt nicht durchsetzen wird, bis zum Glauben daran, dass der Durchbruch bereits in den nächsten Jahren stattfindet.

Eine Beantwortung dieser Fragen ist nur auf Basis einer erweiterten Analyse der derzeitigen Situation möglich. Einflussfaktoren wie der Stand der Technik, politische Rahmenbedingungen, Kosten oder auch der Wille und das Interesse der Industrie an Veränderungen spielen eine große Rolle.

Ziel dieser Arbeit ist es, eine Analyse zum Thema Elektromobilität sowohl in technologischer Hinsicht, z.B. die Darlegung des technischen Entwicklungsstandes von Antriebs- und Batterieladesystemen, als auch die Betrachtung von Chancen und Risiken unter ökonomischen, sozialen und ökologischen Aspekten herauszuarbeiten.

Überdies wird die Arbeit eine Auswahl an Einflussfaktoren für eine erfolgreiche Elektromobilität gewichten, einen Anriss der aktuellen Marktsituation sowie notwendige politische Rahmenbedingungen rund um den Elektromobilitätsdiskurs darlegen.

---

<sup>4</sup> Vgl. [www.bmub.bund.de](http://www.bmub.bund.de)

## 1.2 Untersuchungsverlauf

Beginnend mit einem Abriss der historischen Entwicklung von Elektromobilität in Kapitel 2 wird im folgenden dritten Kapitel der Stand der heutigen Technik dargestellt.

Das vierte Kapitel setzt sich mit den Treibern der Elektromobilität wie Ressourcenverknappung oder auch Luftverschmutzung in Ballungsräumen auseinander. Ebenfalls wird die Priorisierung einer nachhaltigen Energie- und Verkehrspolitik anhand ihres Widerhalls in der europäischen und nationalen Gesetzgebung wiedergegeben, die nicht nur zu gezielten und sinnvollen Rahmenbedingungen führen, sondern auch zur Quantität von Elektrofahrzeugen beitragen soll.

Kapitel 5 bildet den Hauptteil der Arbeit und setzt Chancen und Risiken von Elektromobilität sowie bevorstehende Herausforderungen in ihren technologischen, sozialen, ökonomischen und ökologischen Kontext. Themen wie Energieverbrauch, Umweltverschmutzung, Wirtschaftlichkeit für Endverbraucher und soziale Aspekte wie Nutzerverhalten und Kundenakzeptanz werden detailliert behandelt.

Im letzten Drittel der Arbeit, Kapitel 6 bis 8, wird den Fragen nachgegangen, wie erfolgreich die Einführung der Elektromobilität anhand der derzeitigen Marktpenetration zu beurteilen ist, wie konkrete internationale Anreizsysteme ausgestaltet sind und neue Mobilitätskonzepte die Einführung der Elektromobilität beschleunigend unterstützen können.

Kapitel 9 beinhaltet eine Zusammenfassung und Schlussbetrachtung zu dem Thema: Elektromobilität – Technologie mit Zukunft?

## 2 Elektromobilität – (k)eine neue Technologie

Nur wenige Erfindungen haben unsere Gesellschaft so nachhaltig beeinflusst wie die des Automobils. Am 29. Januar 1886 meldete Carl Benz sein „Fahrzeug mit Gasmotorenbetrieb“ zum Patent an. Im selben Jahr baute Gottlieb Daimler einen Verbrennungsmotor in eine Kutsche ein und machte einen ersten Schritt, zu seiner umfassenden Vision mit einem vielseitig einsetzbaren Motor die Welt zu mobilisieren.<sup>5</sup>

Auch das Elektrofahrzeug kann auf eine bewegte Geschichte zurückblicken. Sie ist sogar älter als die des Verbrennungsantriebes. Bereits fünf Jahre vor Daimler wurde durch den Franzosen Gustave Trouvé ein erstes offiziell anerkanntes Elektrofahrzeug der Öffentlichkeit vorgestellt.<sup>6</sup>

Bemerkenswert ist, dass die Elektromobilität aufgrund des rasch eintretenden technologischen Fortschritts schnell populär wurde und Elektrofahrzeuge um die Jahrhundertwende des 19./20. Jahrhunderts bereits eine führende Stellung in der Fahrzeugproduktion einnahmen. Beachtliche technische Fahrleistungen der Elektroautos haben zu einer Hochzeit der Elektromobilität geführt. Allerdings sind technische Verbesserungen von Verbrennungsmotoren und eine beständigere wie billigere Verfügbarkeit von Erdöl verantwortlich für die Verdrängung der Elektrofahrzeuge. Nach langem Nischendasein konnte die Elektromobilität jedoch in den letzten 25 Jahren aufgrund geänderter umweltpolitischer Rahmenbedingungen hervorgeholt und spürbar wiederbelebt werden.

Die folgende Übersicht gibt anhand von Eckpunkten einen Abriss über die Geschichte der Elektromobilität:

---

<sup>5</sup> Vgl. Seiffert (2009), S. 100 und 174.

<sup>6</sup> Vgl. Bozem/Nagl/Rennhak (2013), S. 5 f.

### ***Ende des 19. Jahrhunderts: Entwicklung und Aufschwung der Elektromobilität***

**1881** Gustave Trouvé präsentierte das erste „offizielle“ Elektrofahrzeug mit wieder aufladbarem Blei-Akkumulator und einer Höchstgeschwindigkeit von 12 km/h.<sup>7</sup>

**1882** Werner von Siemens stellte den elektrisch angetriebenen Kutschenwagen „Elektromote“ vor (gilt als Vorfahr der Oberleitungsbusse).<sup>8</sup>

**1890** Der US-Amerikaner William Morrison baute das erste Erfolgsmodell mit 2,5 PS, acht Batterien und einer Höchstgeschwindigkeit von 10 bis 12 km/h.<sup>9</sup>

**1899** Der Belgier Camille Jenatton erreichte mit dem Rennwagen „Jamais Contente“ eine Geschwindigkeit von über 100 km/h.<sup>10</sup>

**1900** Ferdinand Porsche stellte auf der Pariser Weltausstellung den „Lohner Porsche“ vor. Es war der erste transmissionslose Wagen mit einer Reichweite von 50 km und einer Maximalgeschwindigkeit von 50 km/h. In weiterer Folge entstand das serielle Hybridfahrzeug „Mixte“.<sup>11</sup>

**1901** Das Unternehmen Krieger stellte ein Elektroauto vor, das über 300 km mit einer mittleren Geschwindigkeit von knapp 20 km/h fuhr, ohne nachzuladen.

### ***Anfang des 20. Jahrhunderts***

Elektroautos in New York erreichten eine Quote von 50 Prozent, gefolgt von Dampfautos mit etwa 30 Prozent. 38 Prozent der Kraftfahrzeuge in USA fuhren elektrisch, 40 Prozent mit Dampf und 22 Prozent mit Benzin. Noch gab es keine Entscheidung, welche Antriebstechnologie sich durchsetzen würde.<sup>12</sup>

---

<sup>7</sup> Vgl. Bozem/Nagl/Rennhak (2013), S. 5 f.

<sup>8</sup> Vgl. Naunin (2007), S. 1.

<sup>9</sup> Vgl. [www.ecartec.de](http://www.ecartec.de)

<sup>10</sup> Vgl. Mom (2004) o.S.

<sup>11</sup> Vgl. Hofmann (2010), S. 6 f.

<sup>12</sup> Vgl. Kampker/Vallée/Schnettler (2013), S. 6 f.



***Anfang des 20. Jahrhunderts: Niedergang der Elektromobilität***

**1910** Der Niedergang der Elektromobilität setzte ein, als das Ankurbeln nicht mehr mittels Hand sondern mit elektrischem Anlasser erfolgte. Weitere Gründe waren extrem billiges Öl und die höhere Reichweite der Benziner.<sup>13</sup> Auch die Massenproduktion am Fließband von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren, beschleunigte den Prozess des Niedergangs.<sup>14</sup>

**1912** Zwanzig US-Amerikanische Hersteller bauten 33.842 Elektroautos, der vorläufige Höhepunkt des Elektrofahrzeugbaus war erreicht. Ein Jahr später waren in Detroit bereits 6.000 Elektroautos zugelassen.

**1920** Ab den 1920ern befanden sich Elektroautos in einem Nischenmarkt, überwiegend als Kleintransporter in geschlossenen Räumen z.B. als Gabelstapler oder im Außeneinsatz im städtischen Umfeld, z.B. als Omnibusse oder Postwagen.<sup>15</sup>

**Dann** eine jahrelange Stagnation, Elektrofahrzeuge wurden zwar weiterhin entwickelt und waren Gegenstände von Studien und Forschungsprojekten, doch konnte es keines zu einer Großserie schaffen.

***Ende des 20. Jahrhunderts: Wiederbelebung der Elektromobilität***

**1990** Das California Air Resources Board (CARB) beschloss das Zero Emission Vehicle Programme (ZEV), das eine Quote für die Einführung von Nullemissionsfahrzeugen vorsah. Ab 1998 mussten jährlich zwei Prozent der verkauften Neufahrzeuge Nullemissionsfahrzeuge sein, bis 2003 zehn Prozent. Aufgrund der damaligen technischen Entwicklungen kamen nur batteriebetriebene Fahrzeuge in Frage.<sup>16</sup>

**1990** In den 1990ern waren zahlreiche europäische Automobilhersteller mit Elektrofahrzeugmodellen vertreten, z.B. VW mit dem Citystromeer. Wegen fehlender Nachfrage wurden die Programme wieder beendet.<sup>17</sup>

---

<sup>13</sup> Vgl. [www.zvei.org](http://www.zvei.org)

<sup>14</sup> Vgl. [www.elektrofahrzeuge.lsw.de](http://www.elektrofahrzeuge.lsw.de)

<sup>15</sup> Vgl. Kampker/Vallée/Schnettler (2013), S. 7 u. 10.

<sup>16</sup> Vgl. Keichel/Schwedes (2013), S. 55.

<sup>17</sup> Vgl. Backhaus/Döther/Heupel/Klumpp (2011), S. 11.

**1992** Das Bundesministerium für Forschung und Technologie (BMFT) startete auf der Insel Rügen den weltweit größten Feldversuch mit 60 Elektrofahrzeugen. Diese wurden auf Alltagstauglichkeit und ökologische Auswirkungen untersucht.<sup>18</sup>

**1997** Toyota brachte den Hybrid „Prius“ auf den Markt, Verkaufszahlen der ersten Generation waren 12.3000 Stück.<sup>19</sup>

**2003** CARB schwächte seine Zielvorgaben auf Drängen der Automobilindustrie ab. Statt 10 Prozent emissionsfreier Fahrzeuge bis 2003, mussten es nur besonders emissionsarme Fahrzeuge sein.

**2006** In Kalifornien wurde der Tesla Roadster vorgestellt.

**2009** Die Deutsche Bundesregierung stellte den „Nationalen Entwicklungsplan Elektromobilität“ (NEP) vor mit dem Ziel, Deutschland als Leitmarkt für Elektromobilität zu etablieren und bis 2020 mindestens eine Million Elektrofahrzeuge auf deutschen Straßen fahren zu lassen.<sup>20</sup>

Der Opel Ampera, ein Elektrofahrzeug mit Reichweitenverlängerung wurde auf dem Genfer Autosalon vorgestellt.

**2013** In Deutschland waren im Jahr 2013 laut KBA (Kraftfahrt-Bundesamt), 7114 Elektrofahrzeuge und 64.995 Hybride zugelassen.<sup>21</sup> Jedoch bleibt der große Boom der Elektromobilität noch aus.

---

<sup>18</sup> Vgl. Keichel/Schwedes (2013), S. 56.

<sup>19</sup> Vgl. [www.toyota.de](http://www.toyota.de)

<sup>20</sup> Vgl. Keichel/Schwedes (2013), S. 57.

<sup>21</sup> Vgl. [www.kba.de](http://www.kba.de) (Stand 01. Januar 2013)

## 3 Treiber der Elektromobilität

### 3.1 Legislative

Eine Prämisse für die Durchsetzbarkeit alternativer Antriebskonzepte sind gesetzliche Rahmenbedingungen, auf internationaler, europäischer und nationaler Ebene. Diese können die Einführung neuer Technologie weit mehr forcieren oder auch verhindern als technische Aspekte.<sup>22</sup>

#### Gesetze auf europäischer Ebene

Gegenwärtig existieren in der EU drei bedeutende Richtlinien bzw. Verordnungen, die unmittelbaren Einfluss auf die Bestrebungen einzelner Mitgliedstaaten im Bereich der Elektromobilität haben.<sup>23</sup>

*RICHTLINIE 2009/28/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 23. April 2009 zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen und zur Änderung und anschließenden Aufhebung der Richtlinien 2001/77/EG und 2003/30/EG*

Die Richtlinie schreibt den EU-Mitgliedstaaten unter anderem vor, dass jeder Staat gewährleisten müsse, dass der Anteil von Energie aus erneuerbaren Quellen bei allen Verkehrsträgern im Jahr 2020 mindestens 10 Prozent seines Endenergieverbrauchs im Verkehrssektor entspricht.<sup>24</sup>

*Verordnung (EG) Nr. 443/2009 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. April 2009 zur Festsetzung von Emissionsnormen für neue Personenkraftwagen im Rahmen des Gesamtkonzepts der Gemeinschaft zur Verringerung der CO<sub>2</sub>-Emissionen von Personenkraftwagen und leichten Nutzfahrzeugen.*

Gegenstand dieser Verordnung ist die Vorgabe von CO<sub>2</sub>-Emissionsnormen für die Hersteller von Personenkraftwagen. Für neue Personenkraftwagen wurde ein Emissionsdurchschnitt von 130 Gramm CO<sub>2</sub> pro km festgelegt, der ab 2020 auf

---

<sup>22</sup> Vgl. Hofmann (2010), S. 55.

<sup>23</sup> Vgl. ÖPP Deutschland AG (2013), S. 26.

<sup>24</sup> Vgl. Richtlinie (EG) Nr. 28/2009, Artikel 3, Abs. 4.

95 Gramm CO<sub>2</sub> pro km gesenkt werden muss. In § 4 der Verordnung werden zur Bestimmung der durchschnittlichen spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen eines Herstellers folgende Prozentsätze der neuen Personenkraftwagen herangezogen, die vom Hersteller im betreffenden Jahr zugelassen werden:

- 65 Prozent im Jahr 2012,
- 75 Prozent im Jahr 2013,
- 80 Prozent im Jahr 2014,
- 100 Prozent ab 2015.<sup>25</sup>

*Richtlinie 2009/33/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. April 2009 über die Förderung sauberer und energieeffizienter Straßenfahrzeuge*

Die Richtlinie zwingt öffentliche Auftraggeber und andere Betreiber, bei der Vergabe öffentlicher Aufträge für Transportfahrzeuge, die Folgen des Fahrzeugbetriebs über die gesamte Lebensdauer bezüglich Energieverbrauchs, CO<sub>2</sub>-Emissionen und andere Schadstoffemissionen zu berücksichtigen.

§ 5 Abs. 2 dieser Richtlinie regelt, welche Faktoren dabei zu berücksichtigen sind:

- Energieverbrauch,
- CO<sub>2</sub>-Emissionen,
- Emissionen von Monostickoxiden,
- Nichtmethan-Kohlenwasserstoffen,
- und Partikeln.<sup>26</sup>

---

<sup>25</sup> Vgl. Verordnung (EG) Nr. 443/2009, Artikel 1-4, 13 Abs. 5.

<sup>26</sup> Vgl. Richtlinie (EG) Nr. 33/2009, Artikel 1-5.

### **Gesetze auf nationaler Ebene**

#### *Gesetz zur Errichtung eines Sondervermögens „Energie- und Klimafonds“ (EKFG)*

Die Deutsche Bundesregierung hat 2011 ein Sondervermögen mit der Bezeichnung „Energie- und Klimafonds“ eingerichtet. Es ermöglicht zusätzliche Ausgaben für Programme zur Förderung einer umweltschonenden, zuverlässigen und bezahlbaren Energieversorgung und des Klimaschutzes. Aus dem Sondervermögen können auch Maßnahmen für die Entwicklung der Elektromobilität finanziert werden.<sup>27</sup>

#### *Kraftfahrzeugsteuergesetz (KraftStg)*

Deutschland hat zur Förderung der Elektromobilität Steuerbefreiungen für das Halten von Elektrofahrzeugen beschlossen. Diese sind im § 3d KraftStg verankert.<sup>28</sup>

(1) Von der Steuer befreit ist das Halten von Elektrofahrzeugen im Sinne des § 9 Abs. 2. Die Steuerbefreiung wird ab dem Tag der erstmaligen Zulassung gewährt für:

1. zehn Jahre in der Zeit vom 18. Mai 2011 bis zum 31. Dezember 2015,
2. fünf Jahre in der Zeit vom 1. Januar 2016 bis zum 31. Dezember 2020.

(2) Die Steuerbefreiung wird für jedes Fahrzeug einmal gewährt. Soweit sie bei einem Halterwechsel noch nicht abgelaufen ist, wird sie dem neuen Halter gewährt.<sup>29</sup>

## **3.2 Endliche Öl-Reserven und steigende Kraftstoffpreise**

„Fossile Energieträger sind in der heutigen Zeit „der Lebenssaft der Weltwirtschaft“ Obwohl die Energieintensität der Wirtschaft vor allem in den Industriestaaten in den letzten drei Jahrzehnten stark abgenommen hat, dominieren die fossilen Rohstoffe noch immer alle Sektoren des Energiebedarfs - Transport, Wärmeerzeugung

---

<sup>27</sup> Vgl. [www.gesetze-im-internet.de](http://www.gesetze-im-internet.de)

<sup>28</sup> Vgl. [www.gesetze-im-internet.de](http://www.gesetze-im-internet.de)

<sup>29</sup> [www.gesetze-im-internet.de](http://www.gesetze-im-internet.de)

gung, Elektrizitätsgewinnung, Industrie, Privathaushalte und den Dienstleistungssektor.<sup>30</sup>

Schon seit vielen Jahren wird auf den Rückgang der fossilen Rohstoffe hingewiesen. Insbesondere kritisch wird dabei Erdöl betrachtet, da es als Ausgangsstoff für die Elektrizitätserzeugung und Treibstoffindustrie fast aller Verkehrs- und Transportmittel dient. Mit einem Anteil von über einem Drittel liefert es einen Großteil der weltweiten Energieversorgung.<sup>31</sup> Um die stete Nachfrage zu befriedigen, stieg seine Förderung in den letzten vier Jahrzehnten kontinuierlich an.

Wie lange der fossile Rohstoff Erdöl ausreicht, um die Bedürfnisse der Weltwirtschaft zu decken, ist umstritten. Die zahlreichen Studien zu diesem Thema gehen in ihrer Meinung teils stark auseinander und basieren oftmals auf Schätzungen.<sup>32</sup> Die Erdölvorkommen sind weltweit sehr ungleich verteilt (einige davon in politisch instabilen Regionen). Erdölproduzenten geben nur sehr wenige Informationen darüber, wie groß ihre Erdölvorkommen sind. Doch nicht nur die Ressourcenmenge ist schwer abschätzbar, sondern auch der Grad der Wirtschaftlichkeit.

Eine weitere Unbekannte hinsichtlich der Erdölverfügbarkeit ist seine Nachfrage. Die USA waren im Jahr 2012 die weltweit größten Erdölkonsumenten, dicht gefolgt von aufstrebenden Volkswirtschaften der sogenannten BRIC-Staaten (Brasilien, Russland, Indien und China). China nahm Platz zwei ein, gefolgt von Indien auf Platz vier, Russland auf Platz fünf und Brasilien auf Platz sieben.<sup>33</sup> In den vergangenen Jahren verzeichneten die BRIC-Staaten ein durchschnittliches Wachstum von vier bis zehn Prozent pro Jahr.<sup>34</sup> Diese Zuwächse sind oft an einen maßlosen Umgang mit fossilen Ressourcen gekoppelt. Die Organisation of the Petroleum Exporting Countries (OPEC) erwartet für die Volkswirtschaft China, dass diese allein ein Neuntel der weltweiten Erdölförderungen verbrauchen wird und rechnet mit einem weiteren zusätzlichen Verbrauch von 3,3 Prozent (dies entspricht

---

<sup>30</sup> Nötzold (2011), S. 28.

<sup>31</sup> Vgl. Rempel (2011), S. 17.

<sup>32</sup> „Der wichtigste Indikator ist die Peak Oil Theorie. Peak Oil bedeutet, dass die weltweiten Erdölvorräte irgendwann das Maximum ihrer möglichen Fördermenge erreicht haben werden und ab diesem Zeitpunkt (Peak- Höchstwert, Gipfel, Maximum) die Fördermenge rückläufig ist. Die wichtigste dieser Theorien ist die Hubbert Peak Theorie aus dem Jahre 1956. Marion King Hubbert stellte dabei die These auf, dass für jedes geografische Gebiet, die Erdölproduktionsrate einer Glockenkurve folgt.“; [www.investor-verlag.de](http://www.investor-verlag.de)

<sup>33</sup> [www.de.statista.com](http://www.de.statista.com)

<sup>34</sup> Vgl. Mildner/Schmucker (2012), S. 67.

zehn Millionen Barrel pro Tag).<sup>35</sup> Indien wird Prognosen zufolge bis zum Jahr 2030 den weltweit drittgrößten Energieverbrauch aufweisen.<sup>36</sup>

### ***Steigende Kraftstoffpreise***

Da die Verknappung eines Rohstoffs seine Verteuerung auf den Weltmarkt unmittelbar nach sich zieht, ist nicht nur die Verfügbarkeit von Erdöl als Grundlage für Brennstoffe von Benzin- und Dieselmotoren von Bedeutung. Es stellt sich auch die Frage: Wie lange bleibt fossile Mobilität bezahlbar? Und wann ist der kritische Punkt erreicht, bei dem die Nutzer auf alternative Antriebe umsteigen? „Die Kosten für Benzin und Diesel sind analog zu der Entwicklung des Rohölpreises seit den 1950er Jahren ungefähr um den Faktor acht gestiegen, [...]. Eine Abschwächung oder gar Umkehrung dieser Entwicklung ist nicht absehbar und aus heutiger Sicht auszuschließen. Dieser Trend wird sich mit knapper werdenden Ölreserven noch deutlich beschleunigen.“<sup>37</sup>

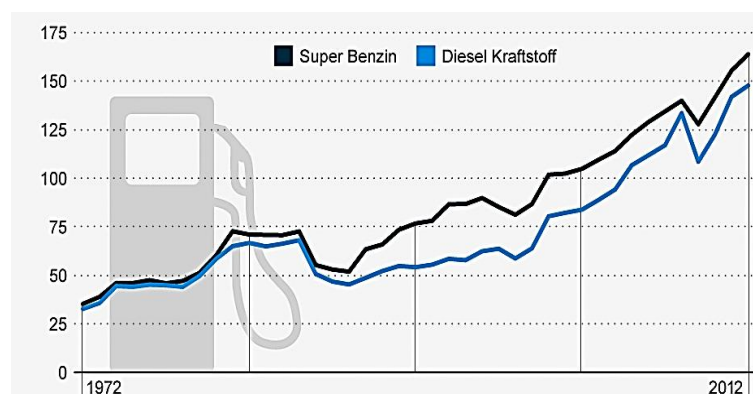


Abb. 1 Kraftstoffpreise in Deutschland von 1972 bis 2012 im Vergleich<sup>38</sup>

<sup>35</sup> Vgl. [www.focus.de](http://www.focus.de)

<sup>36</sup> Vgl. Bundeswehr (2012), o.S.

<sup>37</sup> Schramm/Koppers (2014), S. 5.

<sup>38</sup> [www.de.statista.com](http://www.de.statista.com)

### 3.3 Zunehmende Urbanisierung

Die Weltbevölkerung wird aktuell auf ca. sieben Milliarden Menschen geschätzt - und jedes Jahr kommen 80 Millionen dazu. Der bevölkerungsreichste Kontinent ist Asien mit über vier Milliarden Menschen, gefolgt von Afrika mit einer Milliarde und Europa mit 740 Millionen.<sup>39</sup> Durch verstärkte Binnenwanderung von ländlichen Regionen in Städte steigt der Urbanisierungsgrad, also der Anteil an der Stadtbevölkerung an der Gesamtbevölkerung eines Staates, gerade in Entwicklungs- wie Schwellenländern. Bis 2050 sollen laut Prognose der Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) 70 Prozent der Weltbevölkerung in Städten leben,<sup>40</sup> so genannte Mega-Cities sind die Folge.<sup>41</sup> Dazu kommen noch zahlreiche Groß- und Millionenstädte, die sich ebenfalls rasant entwickeln.

Der Einwohnerzuwachs in Städten erhöht die Verkehrsdichte insbesondere in Ballungsräumen und bringt eine Vielzahl von Folgeproblemen mit sich, z.B. eine signifikante Verdichtung des Straßenverkehrs, Parkraummangel und erhöhte Schadstoffemissionen. In den Städten werden heute 85 Prozent der Treibhausmissionen produziert.<sup>42</sup>

Um dieser Problematik entgegenzuwirken, muss das Thema der zunehmenden Urbanisierung und seine Folgeerscheinungen für Mensch und Umwelt sowohl in den gesellschaftspolitischen wie wissenschaftlichen Diskurs eingebracht und diskutiert werden.

Um die Lebensqualität zu verbessern, haben einige Städte ehrgeizige Ziele entwickelt und öffentlich gemacht. Die Stadt München will z.B. seinen CO<sub>2</sub>-Ausstoß bis 2030 um 50 Prozent reduzieren (gemessen an 1990). Die britische Hauptstadt London beabsichtigt, über denselben Zeitraum die städtischen Emissionen sogar um 60 Prozent zu senken und Kopenhagen will bis 2025 eine neutrale Kohlenstoffbilanz erreichen.

---

<sup>39</sup> Vgl. [www.bib-demografie.de](http://www.bib-demografie.de)

<sup>40</sup> Vgl. OECD (2012), S. 2.

<sup>41</sup> Mega-Citys sind laut UN Städte, die mehr als zehn Millionen aufweisen.; Vgl. [www.Wirtschaftslexikon.gabler.de](http://www.Wirtschaftslexikon.gabler.de)

<sup>42</sup> Vgl. Bundesministerium für Bildung und Forschung (2010), S.4.



Was jedoch bedeuten diese Pläne für Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor? Die Elektroautos würden zweifellos die Bemühungen der Städte unterstützen und Besitzer konventioneller Fahrzeuge verstärkt anhalten, auf umweltfreundlichere Transportmittel umzusteigen oder die Nutzung konventioneller Fahrzeuge in Innenstädten gänzlich zu vermeiden.<sup>43</sup>

Die Probleme, die mit der Urbanisierung einhergehen, stellen eine Chance für neue Mobilitätskonzepte dar. Die zurückgelegten Strecken in den Städten werden immer kürzer, was die Einsatzmöglichkeit für reichweitenlimitierte Elektrofahrzeuge aufwertet. Zum Beispiel in Verbindung mit Carsharing, ein Konzept wie es heute schon in vielen Großstädten existiert. Es lassen sich neue Zielgruppen erschließen, die bis dato noch gar keinen Bedarf dafür sahen. So kann z.B. der zusätzlich zweite Pkw im Haushalt wegfallen und öffentliche Verkehrsflächen eingespart werden.<sup>44</sup>

### **3.4 Kundenanforderungen**

Die Verbreitung neuer Technologien ist ein komplexes Verfahren. Letztlich sind es die Kunden, die über den Erfolg oder Misserfolg einzelner Konzepte entscheiden. Die Befriedigung der Kundenanforderungen zählen neben den rechtlichen Rahmenbedingungen zu den wichtigen Eckpfeilern der Elektromobilität.

Auf welche Prämissen richtet der Kunde sein Hauptaugenmerk? Dieser Frage geht seit Jahren das Unternehmen Deutsche Automobil Treuhand GmbH in seinem DAT-Report nach - einer repräsentativen Umfrage bei privaten Käufern und Haltern neuer und gebrauchter Pkw.<sup>45</sup> Die folgende Abbildung stellt die Kundenkriterien beim Neuwagenverkauf aus den DAT-Reporten 2010 und 2012 dar.

---

<sup>43</sup> Vgl. [www.allianz.com](http://www.allianz.com)

<sup>44</sup> Vgl. Bundesverband Carsharing (2012), S. 2.

<sup>45</sup> Vgl. [www.dat.de](http://www.dat.de)

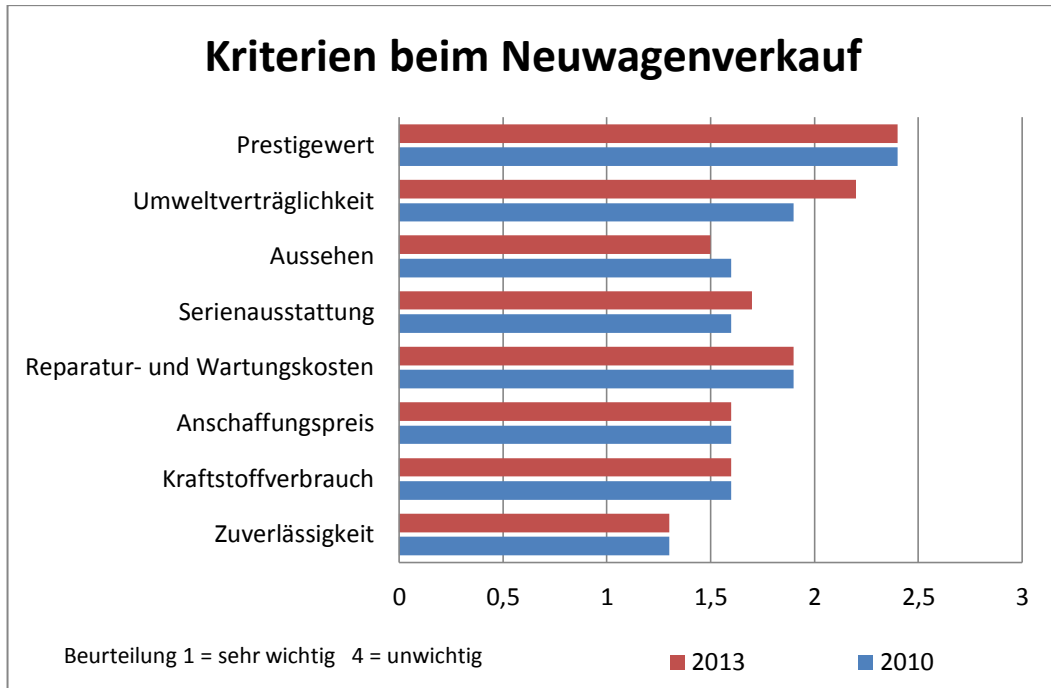


Abb. 2 Kriterien beim Neuwagenverkauf<sup>46</sup>

Wie aus der Abbildung ersichtlich ist der Kaufpreis neben der Zuverlässigkeit ein dominanter Faktor beim Autokauf, dicht gefolgt vom Kraftstoffverbrauch. Der Faktor Umweltverträglichkeit ist beim Fahrzeugkauf in den letzten Jahren in den Hintergrund getreten.<sup>47</sup>

Bei der Anschaffung eines Fahrzeuges mit alternativem Antrieb steht der Kunde vor einem Kompromiss zwischen Anschaffungskosten und laufenden Betriebskosten. Beim Erwerb hat er auf der einen Seite mit höheren Anschaffungskosten zu rechnen, auf der anderen Seite kann er jedoch Betriebskosten einsparen. Beim Kauf würde der Kunde langfristig davon profitieren. Trotz der erheblichen ökologischen Vorteile von Elektrofahrzeugen - im Rahmen einer breiten Markteinführung gewichten Kunden dennoch die Hemmnisse in den Kostenstrukturen bisweilen stärker.<sup>48</sup>

<sup>46</sup> Vgl. DAT-Report (2011), S. 21, (2014) S. 25.

<sup>47</sup> Siehe ARAL Studie (2013).

<sup>48</sup> Vgl. Wallentowitz/Freialdenhoven/Olschewski (2010), S. 22 f.

## 4 Technischer Stand der Elektromobilität

### 4.1 Definition Elektromobilität und Begriffsabgrenzung

Für den Begriff der Elektromobilität gibt es keine allgemeingültige Definition im eigentlichen Sinne. Im Folgenden werden verschiedene Perspektiven des Begriffes vorgestellt:

Der Begriff Elektromobilität fasst einerseits eine Vielzahl unterschiedlicher Formen elektrischer Fahrzeuge zusammen. Dazu gehören Automobile, Elektrobusse, elektrisch betriebene Zweiräder (z.B. E-Bikes), verschiedene Arten von Elektrolichtfahrzeugen und öffentliche Verkehrsmittel (z.B. S- und U-Bahnen).

Andererseits verweist der Begriff Elektromobilität auf Hybridfahrzeuge, die die Antriebsenergie nur teilweise elektrisch erzeugen. Elektromotoren zugeführte Energie muss nicht unbedingt nur durch Batterien bereitgestellt werden. Demnach zählen nicht nur batterieelektrische Fahrzeuge (Battery Electric Vehicle - BEV), sondern auch Brennstoffzellenfahrzeuge (Fuel Cells Electric Vehicles - FCEV) zu Elektrofahrzeugen. Brennstoffzellenfahrzeuge sind Fahrzeuge, die chemische Energie eines gespeicherten Brennstoffes (z.B. Wasserstoff) in einer Brennstoffzelle direkt in elektrische Energie umwandeln.<sup>49</sup>

Die deutsche Bundesregierung interpretiert den Begriff Elektromobilität in ihrem „Nationalen Entwicklungsplan Elektromobilität“<sup>50</sup> wie folgt: Die Elektromobilität umfasst „jene elektrischen Antriebe, bei denen die Batterie über das Stromnetz beladen wird. Zur „Elektromobilität“ zählen damit reine Batteriefahrzeuge (BEV), Range Extender (REEV) und Plug-In Hybride (PHEV). Nicht zur „Elektromobilität“ gehören Hybridfahrzeuge – bei denen die Beladung der Batterie lediglich über die Bremskraftrückgewinnung und nicht über das Stromnetz erfolgt - sowie Brennstoffzellenfahrzeuge.“<sup>51 52</sup>

---

<sup>49</sup> Vgl. Götze/Rehm (2011), S. 2.

<sup>50</sup> Der Nationale Entwicklungsplan Elektromobilität wurde 2009 von der Deutschen Bundesregierung verabschiedet. Ziel ist es, bis 2015 eine Million Elektrofahrzeuge auf deutschen Straßen fahren zu lassen und sich als Leitmarkt für Elektromobilität zu etablieren; Vgl. Deutsche Bundesregierung - Nationaler Entwicklungsplan Elektromobilität, 2009, S. 46.

<sup>51</sup> Bozem/Nagl/Rennhak (2013), S. 78

Im Kontext dieser Arbeit wird der Begriff Elektromobilität ausschließlich auf automobile Elektrofahrzeuge begrenzt.

Die folgende Abbildung zeigt eine Übersicht der verschiedenen Antriebstechnologien, angefangen vom klassischen Verbrennungsmotor über den Hybridantrieb, hin zum reinen Elektrofahrzeug mit seinen dazugehörigen einzelnen Varianten.

Arrangement of propulsion concepts into classes

	Combustion Engine				Hybrids			Electric Vehicle			
	Diesel, Otto, optimized engine, alternative fuels. Concepts A, B, C, D				Full Hybrids, Mild Hybrids Concepts E, F			PHEV, REEV, BEV Concepts G, H, I			
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
Identifier	SI engine, conventional	CI engine, conventional	(HEV) Subhybrid	HEV Microhybrid	HEV Mild Hybrid	HEV Full Hybrid	PHEV Full Hybrid	PHEV Range Extender ICE	EV	PHEV Range Extender Fuel Cell	Fuel Cell Hybrid
Drivetrain Structure											
Primary Energy Source	Hydrocarbons	Hydrocarbons	Hydrocarbons	Hydrocarbons	Hydrocarbons	Hydrocarbons	Hydrocarbons	Electricity (from grid)	Electricity (from grid)	Electricity (from grid)	Hydrogen
	Advanced, high efficiency si- and diesel technology; alternative fuels: CNG, LPG and even more		Additionally to A or B: start-stop-function by conventional equipment	Additionally to A or B: start-stop-function, with belt driven starter-alternator	Additionally to A or B: regenerative braking, acceleration assistance by integrat. SA. Instead of E: electric launch, acceleration assistance electric driving		Additionally to F: larger battery, plug-in-capability	Propulsion energy stored in the battery, only small ICE to recharge onboard	No onboard recharge unit.	Energy stored in the battery, only small fuel cell and hydrogen to recharge	PEM fuel cell produces electricity from hydrogen

Abb.3 Übersicht Antriebskonzepte<sup>53</sup>

## 4.2 Elektromobile Antriebskonzepte

Die heutige Motorisierung wird zunehmend von einer Diversifizierung technologischer Lösungen geprägt. Neben Verbrennungsmotoren und alternativen Kraftstoffen kommen auch immer mehr elektrifizierte Antriebskonzepte zum Tragen.<sup>54</sup> Laut

<sup>52</sup> Das Brennstoffzellenfahrzeug wird seit 2006 in dem gesonderten Entwicklungsplan „Nationales Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie“ (NIP) gefördert; Vgl. Bundesministerium

<sup>53</sup> [www.commonswikimedia.org](http://www.commonswikimedia.org)

<sup>54</sup> Vgl. Bertram/Bongard (2014), S. 30.

Definition in Abschnitt 4.1. zählt dazu der Hybridantrieb, einer Verbindung aus Verbrennungs- und Elektromotor sowie der reine Elektroantrieb, gespeist aus einer Batterie oder Brennstoffzelle.

#### 4.2.1 Hybridtechnologie

Für den Begriff Hybridtechnologie existieren zahlreiche Definitionen. Stellvertretend wird die Definition der Society of Automobile Engineers (SAE) herangezogen: „Ein Hybridfahrzeug besteht aus zwei oder mehr Energiespeichern mit ihren dazugehörigen Energiewandlern, die wahlweise gemeinsam oder jeweils getrennt das Fahrzeug antreiben“.<sup>55</sup>

Im Kontext dieser Arbeit dienen Hybridfahrzeuge mit einem kombinierten Antrieb aus Elektromotor/Energiespeicher und Verbrennungsmotor als Untersuchungsgegenstand.

Hybridfahrzeuge lassen sich unterscheiden nach dem Hybridisierungsgrad des Antriebsstranges. Differenziert werden Mikro-, Mild-, Voll-, und Plug-In Hybride.

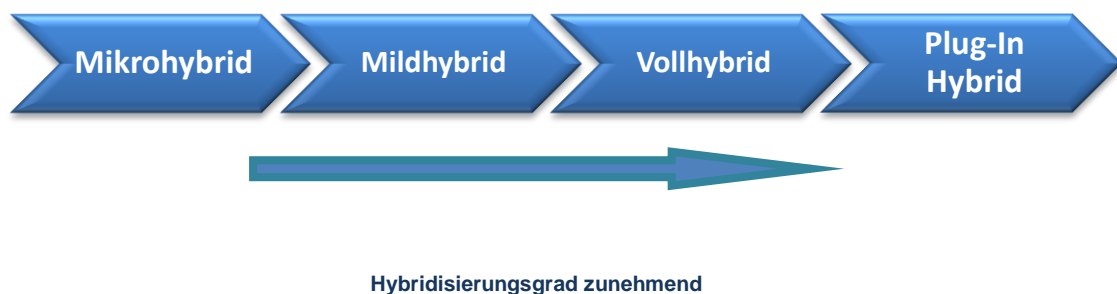


Abb. 4 Einteilung nach Hybridisierungsgrad

Der Hybridisierungsgrad definiert das Verhältnis der elektrischen Leistung zur Gesamtleistung von Elektro-/Verbrennungsmotoren und ist Indikator für die vom Fahrzeug gestellten Funktionen.<sup>56</sup> Abbildung 4 zeigt, dass der Hybridisierungsgrad vom Mikrohybrid zum Plug-In-Hybrid zunimmt.

<sup>55</sup> Reif/Noreikat/Borgeest (2012), S. 7.

<sup>56</sup> Vgl. Schramm/Koppers (2014), S. 21 u. 23.

Ein weiteres Unterscheidungsmerkmal ist die Topologie des Antriebsstranges<sup>57</sup> d.h. wie werden die verschiedenen Komponenten (Verbrennungsmotor, E-Maschine, Generator, Batterie und Getriebe) entsprechend ihrer Grundstruktur angeordnet. Hier wird nach seriellen, parallelen und leistungsverzweigten Hybriden unterschieden.<sup>58</sup>

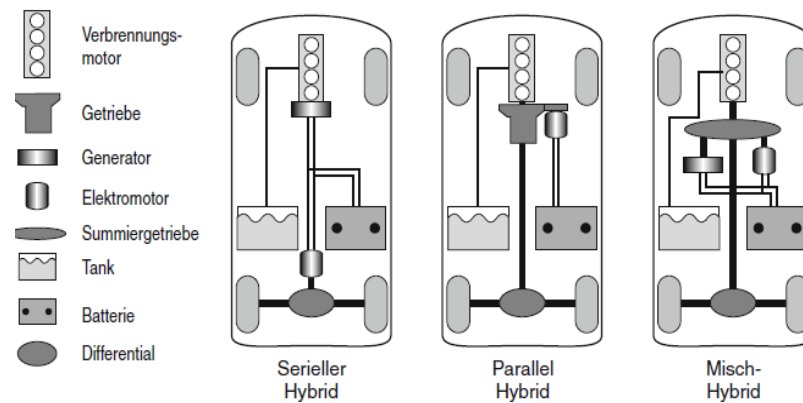


Abb. 5 Unterscheidung nach der topologischen Verschaltung eines Hybrid<sup>59</sup>

## **Unterscheidung nach dem Hybridisierungsgrad des Antriebsstranges**

### **4.2.1.1 Mikrohybrid**

Der Mikrohybrid stellt die einfachste Form der Hybridantriebe dar.<sup>60</sup> In herkömmlicher Ausführung verfügt ein Mikrohybrid über die Funktion eines „Start-Stopp-Systems“. Zusätzlich zur Start-Stopp-Funktion kann ein Mikrohybrid begrenzt Energie rekupieren.<sup>61</sup> Die Energie, die während des Bremsvorgangs entsteht, wird wiedergewonnen und zur herkömmlichen Autobatterie zurückgeführt. Die zurückgewonnene Energie wird zum Starten (nicht zum Antrieb) eines Fahrzeuges genutzt.<sup>62</sup> Mit dem Start-Stopp-System können nach den „Neuen Europäischen

<sup>57</sup> Vgl. Schramm/Koppers (2014), S. 23 ff.

<sup>58</sup> Vgl. Hofmann (2010) S. 17.

<sup>59</sup> Braess/Seiffert (2013), S. 188.

<sup>60</sup> Mikrohybride weisen lediglich eine Weiterentwicklung des Verbrennungsmotors auf. Sie sind streng genommen keine Hybride, werden aber vollständiger Weise in dieser Arbeit erwähnt.

<sup>61</sup> Vgl. Reif/Noreikat/Borgeest (2012), S. 63 f.

<sup>62</sup> Vgl. [www.lexus.de](http://www.lexus.de)

Fahrzeugzyklus“ (NEFZ) Einsparungen von bis zu 5 Prozent (innerhalb der Stadt) erreicht werden.<sup>63</sup>

#### 4.2.1.2 Mildhybrid

Der Mildhybrid stellt die erste Stufe der Hybridisierung dar und kann eine begrenzte elektrische Antriebsleistung vorweisen. Seine Funktionen sind neben dem Start-Stopp-Betrieb die Rekuperation.<sup>64</sup> Bei der Rekuperation des Mildhybrid fungiert der Elektromotor als Generator, um Energie zurückzugewinnen, die in der Batterie gespeichert wird. Eine weitere Funktion ist das „Boosten“. Hier nutzt der Elektromotor die gespeicherte Energie, um den Verbrennungsmotor bei Beschleunigungsvorgängen zu unterstützen.<sup>65</sup>

Ogleich Mildhybride im Vergleich zur Vorstufe der Mikrohybride immerhin 7 Prozent an Kraftstoff einsparen, sind aus wirtschaftlicher Sicht die Kosten und das Mehrgewicht zu hoch, so dass sich der Einsatz von Mildhybriden erst ab einem Mittelklassefahrzeug lohnt.<sup>66</sup>

#### 4.2.1.3 Vollhybrid

Aufbauend auf den Funktionen des Mildhybrid stellt der Vollhybrid die nächste Stufe der Hybridisierung dar. Er verfügt im Gegensatz zum Mildhybrid häufig über einen leistungsstärkeren Elektromotor und einer Batterie mit größerer Kapazität. Ein Vollhybrid kann rein elektrisch fahren. Dabei wird das Fahrzeug ausschließlich durch den Elektromotor betrieben, solange es die Batterie zulässt. Erst wenn der Ladestand der Batterie unter ein gewisses Minimum fällt, schaltet sich der Verbrennungsmotor nicht mehr ab. Das Fahrzeug fährt im Batteriebetrieb rein elektrisch, emissionsneutral und nahezu geräuschlos.<sup>67</sup> Diese Funktion ist derzeit jedoch noch sehr eingeschränkt. Zum Beispiel erzielt das Modell „Prius“ der Marke

---

<sup>63</sup> Vgl. Lienkamp (2012), S. 27.

<sup>64</sup> Vgl. Reif/Noreikat/Borgeest (2012), S. 67.

<sup>65</sup> Vgl. Öko-Institut e. V./Daimler AG/TU Clausthal/Unicore (2011), S. 10.

<sup>66</sup> Vgl. Lienkamp (2012), S. 27 ff.

<sup>67</sup> Vgl. [www.kraftstoffweb.de](http://www.kraftstoffweb.de)

Toyota eine Reichweite von lediglich 2 km bei einer Durchschnittsgeschwindigkeit von 50 km/h.<sup>68</sup>

Zusätzliche Funktionen des Vollhybrid sind der Segelbetrieb und die Schaltungsunterstützung. Beim Segelbetrieb sind Verbrennungsmotor und Elektroantrieb abgeschaltet, so kann man zusätzliche Energieeinsparungen erzielen. In diesem Zustand werden Zusatzverbraucher, z.B. ein Klimagenerator über die Batterie versorgt.<sup>69</sup> Bei der Schaltungsunterstützung kann das Schalten im Getriebe durch die Unterstützung des Elektromotors komfortabler gestaltet und Schwingungen vermieden werden. Eine weitere Funktion ist das intelligente Energiemanagement mit dem die elektrischen Nebenaggregate des Start-Stopp-Systems versorgt werden.<sup>70</sup>

Das Vollhybridfahrzeuge inzwischen sehr zuverlässig und populär geworden sind, zeigt sich am Beispiel des bislang erfolgreichsten Vertreters dieser Antriebstechnologie, dem Toyota Prius. War er bei Markteinführung 1997 noch ein Exot, hat er sich inzwischen in der dritten Generation über drei Millionen Mal verkauft.<sup>71</sup> 2009 war er das meist verkaufte Auto in Japan.<sup>72</sup>

#### **4.2.1.4 Plug-In-Hybrid (Plug-In-Hybrid Electric Vehicle - PHEV)**

Unter einem Plug-In-Hybrid versteht man einen Hybridantrieb, dessen Batterie zusätzlich an einer Ladestation oder heimischen Steckdose extern geladen werden kann. Oftmals hat der Plug-In-Hybrid eine größere Batterie als ein Vollhybrid. Der Plug-In entstand in Folge einer Weiterentwicklung zweier unterschiedlicher Antriebsformen, dem Vollhybrid und dem Elektroauto. Die Funktionalität des Elektroantriebs wird durch die Möglichkeit des heimischen Aufladens deutlich ausgeweitet. Die Energie, die für das rein elektrische Fahren nötig ist, muss nicht erst während der Fahrt mit dem Verbrennungsmotor erzeugt werden, sondern kann bereits im geladenen Akku gespeichert vorliegen.<sup>73</sup> Diese zusätzliche Alternative

---

<sup>68</sup> Vgl. Öko-Institut e. V./Daimler AG/TU Clausthal/Unicore (2011), S. 10.

<sup>69</sup> Vgl. [www.kraftstoffweb.de](http://www.kraftstoffweb.de)

<sup>70</sup> Vgl. Reif/Noreikat/Borgeest (2012), S. 68.

<sup>71</sup> Vgl. [motorvision.de](http://motorvision.de)

<sup>72</sup> Vgl. [www.manager-magazin.de](http://www.manager-magazin.de)

<sup>73</sup> Vgl. VDI/VDE-IT/AHK Japan (2014), S. 41.



der Batterieaufladung sowie die Verwendung größerer Batterien im Plug-In erlauben höhere Reichweiten und Geschwindigkeiten, ihre Alltagstauglichkeit wird erhöht. Zum Beispiel erreicht Toyota mit dem Plug-In „Prius PHV“ im vollen Elektrobetrieb die Reichweite von rund 25 km.<sup>74</sup>

### ***Unterscheidung nach der Topologie des Antriebsstranges***

#### **2.1.4 Paralleler Hybrid**

Ein paralleler Hybrid verbindet den Verbrennungsmotor und Elektromotor entlang des Antriebsstranges. Diese können die Räder parallel antreiben. Damit ist die Möglichkeit gegeben, rein elektrisch, mit Verbrennungsmotor oder auch im Verbund zu fahren.<sup>75</sup> Die Struktur des parallelen Hybrid wird meist bei Mikro-, Mild-, und zum Teil auch bei Vollhybriden angewandt.<sup>76</sup>

#### ***Varianten des parallelen Hybrid***

Je nach Anforderungen, lässt sich der Elektromotor an verschiedenen Stellen des Antriebsstranges realisieren. Mögliche Varianten sind durch die verschiedenen Positionen beim Einbau gegeben.<sup>77</sup>

---

<sup>74</sup> Vgl. [www.spiegel.de](http://www.spiegel.de)

<sup>75</sup> Vgl. Reif/Noreikat/Borgeest (2012), S. 32.

<sup>76</sup> Vgl. Schramm/Koppers (2014), S. 24.

<sup>77</sup> Vgl. Reif/Noreikat/Borgeest (2012), S. 33.

Bezeichnung	Weitere Bezeichnung	Beschreibung	Elektrische Fahrt	Regeneratives Bremsen
Start-Stopp-System	3S	Verstärkter Starter, geeignet für häufigen Start-Stopp-Betrieb	Nein	Nein
P1	BSG, RSG, ISG, Mikro-Hybrid, Mild-Hybrid	Elektrische Maschine am Verbrennungsmotor	Nein	Gering
P2	P2-HEV	Elektrische Maschine zwischen Verbrennungsmotor und Getriebe	Ja	Gut
P3	TS-HEV	Elektrische Maschine am oder hinter dem Getriebe	Ja	Gut
P4	AS-HEV	Elektrische Maschine an der zweiten Achse	Ja	Sehr gut

Abb. 6 Varianten des Parallelhybrid<sup>78</sup>

#### 4.2.1.6 Serieller Hybrid

Die mechanische Energie des Verbrennungsmotors wird einem Generator zugeführt und in elektrische Energie umgewandelt. Diese wird dann entweder zum Elektromotor geführt, welcher den Antrieb des Fahrzeugs übernimmt oder in elektrochemische Speicher (Batterien) zwischengespeichert.

#### ***Varianten des seriellen Hybridantriebes***

##### *Leistungshybrid (Eins-zu-Eins-Hybrid)*

Die klassische Variante für einen seriellen Antriebsstrang kombiniert drei ähnlich große Maschinen (Verbrennungsmotor, Generator und Elektromotor). Das Fahrzeug kann dauerhaft ohne jegliche Einschränkungen mit Höchstgeschwindigkeit betrieben werden, da die Leistung vom Verbrennungsmotor geliefert und kraft Generator und Elektromotor übertragen wird. Die elektrische Fahrzeugreichweite wird durch die Batteriegröße bestimmt.

<sup>78</sup> Reif/Noreikat/Borgeest (2012), S. 33.

### *Range Extender*

Bei der Range Extender-Variante haben Verbrennungsmotor und Generator eine geringere Leistung als der Elektromotor, der das Fahrzeug antreibt. Sie besitzen lediglich eine Hilfsfunktion, um bei ausbleibendem Batteriebetrieb die Reichweite dennoch zu verlängern.<sup>79</sup> Der Elektromotor fungiert als Hauptaggregat und treibt das Fahrzeug solo an.

#### **4.2.1.7 Leistungsverzweigter Hybrid**

Der leistungsverzweigte Hybrid wird hauptsächlich bei Vollhybriden angewandt. Er stellt eine Art Kombination aus parallelem und seriellem Hybrid dar. Die Leistung des Verbrennungsmotors wird einerseits durch das Planetengetriebe zur Antriebsachse weitergeleitet und andererseits im Generator in elektrische Energie umgewandelt. Über einen zweiten Elektromotor kann ein additives Drehmoment aufgebracht werden. Durch das Planetengetriebe ist eine nahezu freie Betriebspunktwahl des Verbrennungsmotors möglich. Zudem realisiert es eine stufenlose Übersetzung zwischen Verbrennungsmotor und Antriebsachse. Nachteil des leistungsverzweigten Hybriden sind die aufwendige Konstruktion und der Einsatz von zwei elektrischen Maschinen.<sup>80</sup>

#### **4.2.2 Batterieelektrische Fahrzeuge (Battery Electric Vehicle - BEV)**

Im Gegensatz zu den bisher aufgeführten Hybridfahrzeugen die im Verbund von Elektro- und Verbrennungsmotor konzipiert sind, wird das batterieelektrische Fahrzeug nur mit Hilfe eines Elektromotors angetrieben. Zu seinem Betrieb bedarf es elektrochemischer Energie, die in einer wieder aufladbaren Transaktionsbatterie gespeichert und mitgeführt wird.<sup>81</sup>

Gegenüber Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor entfallen für ein batterieelektrisches Fahrzeug verschleiß- und/oder kostenintensive Bauteile, wie der Motor-

<sup>79</sup> Vgl. Reif/Noreikat/Borgeest (2012), S. 28 ff.

<sup>80</sup> Vgl. Schramm/Koppers (2014), S. 25.

<sup>81</sup> Vgl. VDI/VDE-IT/AHK Japan (2014), S. 41.

block, das Getriebe oder Kraftstofftank. Dies birgt nicht nur einen Kostenvorteil, sondern gleicht zumindest teilweise das hohe Gewicht von Elektrobatterien aus.

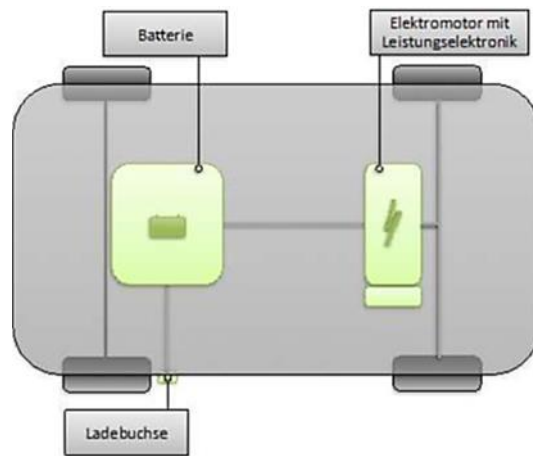


Abb. 7 Schematische Darstellung der Komponenten eines reinen Elektrofahrzeuges<sup>82</sup>

#### 4.2.3 Brennstoffzellenfahrzeuge (Fuel Cell Electric Vehicles - FCEV)

Das Brennstoffzellenfahrzeug besitzt wie das batterieelektrische Fahrzeug keinen Verbrennungsmotor, sondern nur einen Elektromotor. Als Energiespeicher kommt z.B. Wasserstoff zum Einsatz, welcher mittels Brennstoffzelle in elektrische Energie umgewandelt wird.

Der Antriebsstrang besteht aus Elektromotor, Akkumulator, Leistungselektronik und zusätzlichen Komponenten. Der Brennstoffzellen-Stack, der mittels Luftsauerstoff und Wasserstoff elektrische Energie erzeugt und dem Brennstoffzellen-Systemmodul, das abhängig vom Fahrbetrieb für genügend Sauerstoff, Wasserstoff und den notwendigen Einspeisedruck für die Brennstoffzelle sorgt. Der Wassertank speichert gasförmigen Wasserstoff unter sehr hohem Druck. Des Weiteren verfügt ein Brennstoffzellenfahrzeug über eine kleine Batterie, die zusätzlich Energie speichern kann und über die Brennstoffzelle oder Rekuperation geladen wird.

<sup>82</sup> Öko-Institut e. V./Daimler AG/TU Clausthal/Unicore (2011), S. 16.

Die gespeicherte Energie wird zur Abdeckung von Leistungsspitzen des Antriebes genutzt.<sup>83</sup>

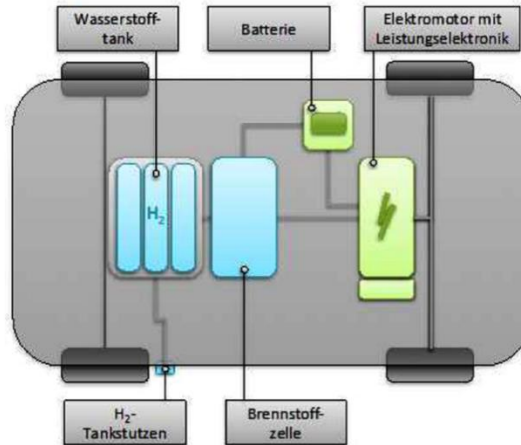


Abb. 8 Schematische Darstellung der Komponenten eines Brennstoffzellenfahrzeuges<sup>84</sup>

#### 4.2.4 Übersicht und Vergleich elektromobiler Antriebskonzepte

Die folgende Übersicht fasst die wichtigsten Punkte der vorgestellten Elektromobilen Antriebskonzepte zusammen, sie wird durch einen Vergleich ihrer Vor- und Nachteile, inklusive jener des Verbrennungsmotors ergänzt.

Antriebsart	Beispiel	Technik	Vor- und Nachteil
konventioneller PKW	VW Golf	<ul style="list-style-type: none"> <li>• konventioneller Verbrennungsmotor (Otto- und Dieselmotoren)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• bewährte Technik,</li> <li>• vorhandene Infrastruktur,</li> <li>• schlechter Wirkungsgrad der Motoren,</li> <li>• hohe Emissionen</li> </ul>
Mikrohybrid	Smart Fortwo mhd	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Start-Stopp-Funktion,</li> <li>• regeneratives Bremsen mit dem Startermotor,</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• kostengünstige Lösung,</li> <li>• Rückgewinnung von Bremsenergie,</li> </ul>

<sup>83</sup> Vgl. Öko-Institut e. V./Daimler AG/TU Clausthal/Unicore (2011), S. 12 u. 16.

<sup>84</sup> Öko-Institut e. V./Daimler AG/TU Clausthal/Unicore (2011), S. 17.

		<ul style="list-style-type: none"> <li>elektrische Leistung: 2 kW,</li> <li>Batteriekapazität: 0,6–1,2 kWh</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>resultierende Verbrauchsreduktion,</li> <li>nur geringes Einsparpotenzial,</li> <li>kaum Einsparung im Langstreckenbetrieb</li> </ul>
Mildhybrid	Mercedes-Benz S 400 HYBRID	<ul style="list-style-type: none"> <li>Start-Stopp-Funktion,</li> <li>regeneratives Bremsen,</li> <li>Beschleunigungsunterstützung,</li> <li>elektrische Leistung: 5–20 kW,</li> <li>Batteriekapazität: 1 kWh</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>gutes Aufwand-Nutzen-Verhältnis,</li> <li>spürbare Verbrauchsreduktion,</li> <li>teure Batterien,</li> <li>zusätzliche Komponenten verursachen Mehrgewicht und benötigen Platz</li> </ul>
Vollhybrid	BMW Active Hybrid X6	<ul style="list-style-type: none"> <li>Start-Stopp-Funktion,</li> <li>regeneratives Bremsen,</li> <li>Beschleunigungsunterstützung,</li> <li>kurzes elektrisches Fahren,</li> <li>elektrische Leistung: 30–50 kW,</li> <li>Batteriekapazität: 0,6–2 kWh</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>hohes Einsparpotenzial in der Stadt,</li> <li>lokal emissionsfreies Fahren,</li> <li>hoher technischer und finanzieller Aufwand,</li> <li>Einsparpotenzial auf Langstrecken nur gering,</li> <li>zusätzliches Gewicht</li> </ul>
Plug-In-Hybrid	Audi e-tron Spyder	<ul style="list-style-type: none"> <li>Start-Stopp-Funktion,</li> <li>regeneratives Bremsen,</li> <li>längeres elektrisches Fahren,</li> <li>elektrische Leistung: 30–70 kW,</li> <li>Batteriekapazität: 5–15 kWh</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>hohe konventionelle Reichweite,</li> <li>begrenzt elektrisches Fahren,</li> <li>Zusatzgewicht durch Batterie,</li> <li>hohe Herstellungskosten</li> </ul>
Range Extender	Opel Ampera	<ul style="list-style-type: none"> <li>regeneratives Bremsen,</li> <li>rein elektrisches Fahren,</li> <li>Stromversorgung über Verbrennungsmotor,</li> <li>elektrische Leistung: 30–70 kW,</li> <li>Batteriekapazität: 10–30 kWh</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ähnliche Reichweite wie konventionelle Fahrzeuge,</li> <li>geringere Batteriekosten,</li> <li>Mehrgewicht durch Hybridkomponenten,</li> <li>zusätzlicher Platzbedarf</li> </ul>
reines Batterie-fahrzeug	MINI E, Peugeot iOn	<ul style="list-style-type: none"> <li>regeneratives Bremsen,</li> <li>rein elektrisches Fahren,</li> <li>elektrische Leistung: 30–70 kW,</li> <li>Batteriekapazität: 10–30 kWh</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>emissionsfreies Fahren,</li> <li>nur eine Antriebsquelle,</li> <li>hohes CO<sub>2</sub>-Einsparpotenzial bei Stromerzeugung durch regenerative Energien,</li> </ul>

			<ul style="list-style-type: none"> <li>• begrenzte Reichweite,</li> <li>• lange Ladezeiten</li> </ul>
Brennstoffzellenfahrzeug	Mercedes-Benz B-Klasse F-CELL	<ul style="list-style-type: none"> <li>• regeneratives Bremsen,</li> <li>• rein elektrisches Fahren,</li> <li>• Spannung: 200–400 V,</li> <li>• elektrische Leistung:</li> <li>• 30–70 kW,</li> <li>• Brennstoffzelle mit zusätzlicher Batterie als Puffer</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• emissionsfreies Fahren, große Reichweite,</li> <li>• teure Technologie,</li> <li>• energieintensive Wasserstoffherstellung,</li> <li>• Speicherung im Fahrzeug,</li> <li>• fehlende Ladeinfrastruktur</li> </ul>

Tab.1 Vergleich Elektromobile Antriebskonzepte<sup>85</sup>

#### 4.2.5 Fazit

Der konventionelle Verbrennungsmotor ist die dominante Technologie unter den Fahrzeugantrieben. Die bewährte Technik und vorhandene Ladeinfrastruktur sind bislang konkrete praxisorientierte Argumente, die der heutigen Mobilitätsvorstellung eines Kunden entsprechen. Seiner perspektivischen Nutzung abträglich hingegen sind hohe Emissionen und ein schlechter Wirkungsgrad.

Trotz sich intensivierender Forschung und Entwicklung von elektrifizierten Antriebstechnologien ist das Kosten/Nutzen-Potenzial des Verbrennungsmotors für Autohersteller wie –nutzer weiterhin wirtschaftlich wie gewinnversprechend, so dass eine Weiterentwicklung dieser Technologie zumindest parallel zu Alternativantrieben laufen wird. Deutliche Ansatzpunkte sind z.B. ein verbessertes Emissionsverhalten, das „Downsizing“ von Verbrennungsmotoren, das Thermomanagement oder eine weitere Verbesserung der Einspritz- und Verbrennungstechnik.

Die Hybridtechnologie stellt die derzeit technologisch ausgereifteste Alternative zu einem konventionellen Verbrennungsmotor dar, sie wird oft als Brückentechnologie zwischen Verbrennungsmotor und dem batteriebetriebenen Elektrofahrzeug bezeichnet. Unter den verschiedenen Hybridtechnologien besitzt der Vollhybrid das größte Potenzial zur Verbrauchsminderung, das sich aus der Rekuperation im oftmals stadtbedingten Stop-and-go-Verkehr ergibt sowie bei der emissions-

<sup>85</sup> Büro für Technikfolgenabschätzung beim Deutschen Bundestag (2012), S. 25 f.

verbesserten Zurücklegung von Kurzstrecken. Bei längeren Distanzen verschwindet dieser Vorteil. Ein weiteres Hemmnis wurde am Beispiel des Vollhybrid deutlich, es ist der hohe technische und finanzielle Aufwand bei der Herstellung.

Die batteriebetriebene Elektrofahrzeugtechnik wird als mögliches gutes Antriebskonzept erwogen, um die Abhängigkeit vom Rohöl zu reduzieren. Es besitzt ein hohes CO<sub>2</sub> Einsparpotenzial. Allerdings sind batteriebetriebene Elektrofahrzeuge in ihrer praktischen Anwendung noch nicht ausgereift (zu geringe Reichweiten bei langer Ladezeit der Energiespeicher), so dass sich dieses Konzept bisher noch nicht erfolgreich durchsetzen konnte – weder beim Hersteller noch beim Kunden. Der derzeitige Entwicklungsstand lässt momentan keine konkrete Prognose weiterführender Lösungen zu.

Brennstoffzellenfahrzeuge stellen für die Automobilhersteller bislang ebenfalls keine praktikable Alternative dar. Ausnahmen sind die japanischen Unternehmen Honda und Toyota, die trotz Kosten- und Energieintensivität – letztere entsteht durch die Wasserstoffherstellung – planen, im Jahre 2015 Brennstoffzellen-Limousinen auf den Markt zu bringen. Immerhin bieten beide Hersteller bereits Brennstoffzellenfahrzeuge auf Leasingbasis für Kommunen und Firmenkunden an.<sup>86</sup>

---

<sup>86</sup> Vgl. [www.automobil-produktion.de](http://www.automobil-produktion.de)



### 4.3 Energiespeicher

In der Fachwelt ist man sich einig, dass der Energiespeicher einen der wichtigsten Faktoren im Gesamtsystem der Elektromobilität darstellt.<sup>87</sup>

Gegenwärtig sind drei Batterietypen in der Automobilindustrie vorherrschend:

Blei-, Nickel-Metallhydrid-, und die Lithium-Ionen-Batterie.

Bleisäure-Batterien kommen zum Einsatz als Starterbatterie und in der Bordnetzversorgung elektrifizierter Fahrzeuge.<sup>88</sup> Nachteilig ist die niedrige Energiedichte. Diese gibt an, wie viel Energie pro Masse (Wh/kg) bzw. Volumen (Wh/l) in der Batterie gespeichert werden kann. Je größer sie ist, umso kleiner bzw. leichter wird die Batterie bei gleicher Kapazität.

Lediglich die Leistungsdichte weist hohe Werte auf. Die Leistungsdichte ist wichtig für das Beschleunigungsvermögen und die Geschwindigkeit. Sie beschreibt, wie viel Leistung pro Volumen (W/l) oder Masse (W/kg) aus der Batterie entnommen werden kann.<sup>89</sup> Die günstigen Anschaffungskosten der Bleisäure-Batterien stellen keinen Vorteil dar, da die geringe Batterielebensdauer diese kompensiert.

Die Nickel-Metallhydrid-Batterie besitzt eine hohe Energie- und Leistungsdichte (höher als Bleisäure-Batterien). Während die hohen Kosten<sup>90</sup> und der Memory-Effekt (bei unzureichender Entladung sinkt die Batteriekapazität kontinuierlich) nachteilig sind,<sup>91</sup> Für den Einsatz in Elektrofahrzeugen (BEV und FCEV) ist sie weniger geeignet.

Gegenwärtig stellt die Technologie der Lithium-Ionen-Batterie die einzig sinnvolle und für die Automobilbranche geeignete Alternative dar. Vorteilhaft sind ihre hohe Energie- und Leistungsdichte sowie die hohen Lade- und Entladungsgrade.<sup>92</sup>

---

<sup>87</sup> Im Kontext dieser Arbeit sollen nur die Energiespeicher für Elektrofahrzeuge betrachtet werden, da Brennstoffzellenfahrzeuge gegenwärtig noch keine Option darstellen.

<sup>88</sup> Vgl. Schramm/Koppers (2014), S. 13.

<sup>89</sup> Vgl. [www.bem-ev.de](http://www.bem-ev.de)

<sup>90</sup> Vgl. Braess/Seiffert (2013), S. 168.

<sup>91</sup> Vgl. Lienkamp (2012), S. 33.

<sup>92</sup> Vgl. Braess/Seiffert (2013), S. 168 f.

**■ Tabelle 4.9** Batteriesysteme für Elektrofahrzeuge im Vergleich

Batterietyp	prakt. Energiedichte	Leistungs-dichte	Lebensdauer		Kosten
	Wh/kg	W/kg	Zyklen	Jahre	€/kWh
Blei	30–35	200–300	300–1500	2–3	100–150
Nickel/Cadmium	35–50	200–300	>2000	3–10	250
Nickel/Metallhydrid	60–75	200–300	>2000	10	300–350
Natrium/Nickelchlorid	100–120	160	1000	5–10	< 250
Lithium/Ionen	120–150	400–600	2000	10	300–600
Lithium/Polymer	110–130	ca. 300	< 600	k.A.	300
Zink/Luft	100–220	ca. 100	k.A.	k.A.	60
Zielwerte:	100–200	75–200	1000	10	100–150

k. A. = derzeit keine abgesicherten Angaben bzw. nicht zutreffend

Abb. 9 Batteriesysteme für Elektrofahrzeuge<sup>93</sup>

Die folgende Übersicht fasst die wichtigsten Punkte der vorgestellten Batterietechnologien hinsichtlich ihrer Vor- und Nachteile zusammen.

Technologie	Vorteile	Nachteile	Anwendung
Blei-Säure	<ul style="list-style-type: none"> <li>• kostengünstig,</li> <li>• zuverlässig,</li> <li>• kurzzeitig hohe Ströme möglich,</li> <li>• bei gasdichten Aufbau wartungsarm</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• sehr schwer durch geringe Energiedichte,</li> <li>• beschränkte Anzahl an Tiefentladungen,</li> <li>• keine Schnellladung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Starterbatterie,</li> <li>• Elektrofahrzeuge,</li> <li>• Mikrohybride</li> </ul>
Nickel-Metallhydrid	<ul style="list-style-type: none"> <li>• hohe Energie- u. Leistungsdichte,</li> <li>• umweltverträglich,</li> <li>• lange Kalender- u. Zyklenlebensdauer,</li> <li>• schnelles Wiederaufladen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• hohe Kosten,</li> <li>• Selbstentladung,</li> <li>• geringe Zellspannung,</li> <li>• schlechtes Tieftemperaturverhalten,</li> <li>• geringe Effizienz,</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hybridfahrzeuge,</li> <li>• Plug-In Hybride,</li> <li>• Elektrofahrzeuge</li> </ul>

<sup>93</sup> Braess/Seiffert (2013), S. 168.

<p>Lithium-Ionen Batterie</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• höchste Energie- u. Leistungsdichte,</li> <li>• lange Zyklenlebensdauer,</li> <li>• hohe Effizienz,</li> <li>• hohe Zellspannung,</li> <li>• geringe Selbstentladung,</li> <li>• wartungsfrei</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kosten,</li> <li>• Überladung/Überentladung problematisch,</li> <li>• aufwendiges Batteriemangement,</li> <li>• nicht vollständig ausgereift</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hybridfahrzeuge,</li> <li>• Plug-In Hybride,</li> <li>• Elektrofahrzeuge</li> </ul>
-------------------------------	---	--	--

Tab. 2 Vor- und Nachteile Energiespeicher<sup>94</sup>

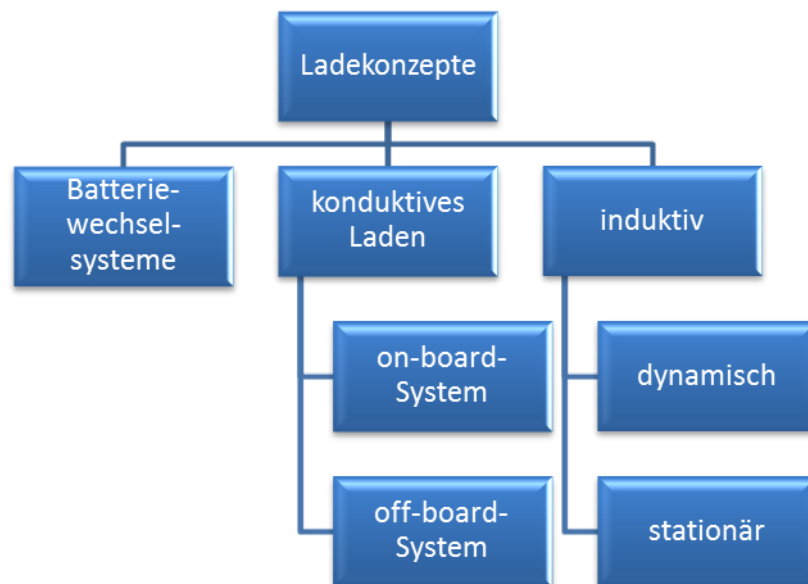
#### 4.4 Ladekonzepte

Neben der Antriebs- und Speichertechnologie spielt die Entwicklung der Ladeinfrastruktur eine wichtige Rolle für die Elektromobilität der Zukunft. Eine flächendeckende Ladeinfrastruktur, ähnlich dem heutigen Tankstellennetz, stellt einen hohen Grad an Mobilität und Flexibilität sicher und kann den Nachteil der geringen Reichweite ausgleichen.

„Mit der Diskussion um die Ladeinfrastruktur verbunden, ist auch die Frage nach dem Übertragungsweg der elektrischen Energie vom Stromanschluss zum Fahrzeug.“<sup>95</sup> Fahrer von Elektrofahrzeugen verlangen nach alltagstauglichen, unkomplizierten und vor allem schnellen und sicheren Lademöglichkeiten von Batterien. Gegenwärtig sind drei Ladekonzepte in der Diskussion, das Laden mittels Ladekabel (konduktiv), das induktive Laden und das Batteriewechselsystem.

<sup>94</sup> Forschungszentrum Karlsruhe (2009), S. 40.

<sup>95</sup> Schraven /Kley/Wietschel (2010), S.2.

Abb. 10 Überblick Ladesysteme<sup>96</sup>

#### 4.4.1 Konduktives Laden

„Die Möglichkeiten der Ladung per Kabel, Stecker und Buchse (konduktiv) ist den Menschen aus dem Haushalt bekannt. Die Handhabung gestaltet sich relativ einfach und die Ladung kann direkt an einer üblichen Haushaltssteckdose erfolgen.“<sup>97</sup> Man unterscheidet zwei Systeme des konduktiven Ladens. Das On-board-System: es benötigt keine spezielle Zusatzverbindung zwischen Fahrzeug und Ladeeinheit. Fahrzeuge können an haushaltsüblichen Wechselstromanschlüssen geladen werden. Die Gleichrichtung des Ladestroms erfolgt anschließend im Fahrzeug. Beim Off-board-Ladesystem wird die Leistungselektronik in der Ladestation untergebracht und überträgt mit speziell ausgelegten Kabeln Gleichstrom ins Fahrzeug.<sup>98</sup>

<sup>96</sup> Büro für Technikfolgenabschätzung beim Deutschen Bundestag (2012), S. 42.

<sup>97</sup> Schraven/Kley/Wietschel (2010), S. 2

<sup>98</sup> Vgl. Büro für Technikfolgenabschätzung beim Deutschen Bundestag (2012), S. 42 f.

#### 4.4.2 Induktives Laden

Unter induktiven Laden versteht man eine Ladetechnik, bei der das Laden kontaktlos ohne direkte Verbindung zum Stromnetz unter Nutzung elektromagnetischer Felder erfolgt.<sup>99</sup> Das Grundprinzip ist nicht neu: In Antrieben für Elektrohängebahnen und fahrerlosen Transportsystemen wird diese Variante der Energieversorgung für industrielle Anwendungen seit Jahren erfolgreich angewendet.<sup>100</sup>

Bei dem induktiven Laden kommt eine Primärspule zum Einsatz, die vollkommen im Boden versenkt wird. Diese Spule bildet die Verbindung zum Netz. Beginnt der Ladevorgang wird die Spule mit Strom versorgt und ein Magnetfluss baut sich auf. Dieser induziert wiederum elektrischen Strom in der ebenfalls im Fahrzeug eingebauten Sekundärspule. Mit dem induzierten Strom wird die Batterie aufgeladen. Beide Spulen müssen zueinander sehr genau positioniert sein, um Übertragungsverluste zu vermeiden, da sich der Magnetfluss nur in einem sehr begrenzten Raum zwischen Spulen aufbaut.<sup>101</sup> Zwei Varianten des induktiven Ladens sind denkbar. Zum einen das dynamische Laden, bei der der Autofahrer über eine in die Fahrbahn eingelassene Linienleiter fährt sowie das stationäre Laden per Induktion an einer dafür eingerichteten Station.<sup>102</sup>

#### 4.4.3 Batteriewechsel

Um Zwischenladungen auf längeren Strecken zu ermöglichen, muss ein Batteriewechsel vorzugsweise an öffentlichen Tauschstationen entwickelt werden. Anstatt eine leere Batterie zu laden, wird diese in einer Station gegen eine aufgeladene Batterie ausgetauscht. Dieser Vorgang kann schnell erfolgen und würde somit eine schnelle umgehende Weiterfahrt ermöglichen.

In der Öffentlichkeit wird das Ladekonzept des Batterietausches oft mit dem Unternehmen Better Place in Verbindung gebracht, dass 2006 gegründet wurde. Better Place wollte den Batteriewechsel nutzen, um das Kernproblem der Elektroau-

---

<sup>99</sup> Vgl. [www.erneuerbar-mobil.de](http://www.erneuerbar-mobil.de)

<sup>100</sup> Vgl. [www.brose.com](http://www.brose.com)

<sup>101</sup> Vgl. Reif/Noreikat/Borgeest (2012) S. 71 f.

<sup>102</sup> Vgl. Büro für Technikfolgenabschätzung beim Deutschen Bundestag (2012), S. 44.

tos, seine begrenzte Reichweite verbunden mit der langen Ladezeit, zu lösen. An speziellen Stationen sollte der Fahrer innerhalb weniger Minuten seine Batterie vollautomatisch wechseln lassen können. Zum Unternehmenskonzept gehörte, dass die Batterien Eigentum von Better Place wären und die Kunden diese im Rahmen eines Mobilitätspakets hätten mieten können.<sup>103</sup> 2013 meldete das Unternehmen Insolvenz an. Kurz zuvor hatte sich das Partnerunternehmen Renault mit der Aussage zurückgezogen, dass der Batteriewechsel nicht zeitgemäß wäre. Die Menschen präferieren aufladbare Batterien. Neben dem Elektro-Auto Fluence ZE von Renault gab es keine weiteren Modelle mehr mit Batteriewechselmöglichkeiten.<sup>104</sup>

#### 4.4.4 Übersicht und Beurteilung verschiedener Ladesysteme

Die folgende Übersicht fasst Vor- und Nachteile der Ladetechnologien zusammen.

Technologie	Stärken	Schwächen
konduktives Laden	<ul style="list-style-type: none"> <li>• einfaches System,</li> <li>• hohe Übertragungsleistung,</li> <li>• Standards weitestgehend entwickelt,</li> <li>• Informationen zur Ladesteuerung über Kabel gut zu übermitteln,</li> <li>• private Lademöglichkeiten zum Teil schon vorhanden bzw. leicht installierbar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• öffentlich zugängliche Ladestationen sind Witterungseinflüssen und Vandalismus ausgesetzt</li> </ul>
induktives Laden	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Wegfall des Kabels und damit kein Nutzereingriff erforderlich,</li> <li>• geringer Verschleiß, u. a. keine Witterungseinflüsse und Vandalismus,</li> <li>• berührungssicher und spannungsfrei</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• niedrige Anschlussleistungen,</li> <li>• relativ niedriger Übertragungswirkungsgrad,</li> <li>• Positionierung der Spulen beim Parken kompliziert,</li> <li>• Rückspeisung nicht möglich,</li> <li>• hohe Investition in Infrastrukturausbau nötig</li> </ul>

<sup>103</sup> Vgl. [www.autohaus.de](http://www.autohaus.de)

<sup>104</sup> Vgl. [www.focus.de](http://www.focus.de)

<b>Batterie- wechsel- system</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ermöglicht kurze Stopps und schnelle Weiterfahrt,</li> <li>• ermöglicht bei hinreichender Zahl von Wechselstationen breiteren Einsatz von Batteriefahrzeugen durch Erhöhung der Reichweite</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Batteriewechsel technisch aufwendig (Gewicht und hohe Spannungen),</li> <li>• Änderung des Fahrzeugaufbaus erforderlich, da Batterie nur im Unterboden einsetzbar,</li> <li>• verschiedene Batteriegrößen erhöhen Kapitalbindungskosten (implizite Batterie-standardisierung),</li> <li>• hohe Investition in Infrastrukturausbau nötig, höherer Batterieverschleiß bei Nutzung fremder Batterien, bzw. Beschädigungen beim Tausch</li> </ul>
--	--	--

Tab. 3 Vor- und Nachteile Ladesysteme<sup>105</sup>

Abschließend lässt sich sagen, dass die konduktive Ladung für die Elektromobilität die derzeit beste Alternative der verschiedenen Ladekonzepte darstellt. Es ist am leichtesten realisierbar, da die Voraussetzungen für eine funktionierende Ladeinfrastruktur (die Anzahl der Lademöglichkeiten, die Bedienbarkeit und auch Standards) aktuell am weitesten fortgeschritten sind.

Die Induktive Ladung ist technisch die fortschrittlichere Alternative und würde das Laden viel leichter gestalten. Doch noch bewirken die aktuellen Probleme, insbesondere die zu niedrigen Anschluss- und Übertragungsleistungen, dass diese zu einer echten Alternative in der nächsten Zeit werden könnte. Gegenwärtig befindet sich die stationäre induktive Ladung in der Entwicklungsphase und die Realisierung scheint noch in weiter Ferne zu liegen. Die Herausforderungen, das gesamte Straßennetz mit den benötigten Linienleitern auszustatten, die benötigte Anschlussleistung bereitzustellen und diese abzurechnen, scheint technisch wie wirtschaftlich aus heutiger Sicht auch in ferner Zukunft keine Option darzustellen.

Eine breite Einführung eines Batteriewechselsystems wird in nächster Zeit nicht als realisierbar eingeschätzt, wie am Beispiel des Unternehmens Better Place sichtbar wurde. Hier stellen hauptsächlich die hohen Kosten der Infrastruktur, die

<sup>105</sup> Büro für Technikfolgenabschätzung beim Deutschen Bundestag (2012), S. 45.

erforderlichen Standards und die Veränderungen am Fahrzeug eine komplexe Herausforderung dar, die noch nicht bewältigt werden kann.<sup>106</sup>

---

<sup>106</sup> Vgl. Büro für Technikfolgenabschätzung beim Deutschen Bundestag (2012), S. 46.



## 5 Herausforderungen, Chancen und Risiken der Elektromobilität

### 5.1 Technologische Bewertung

#### 5.1.1 Batterietechnologie

„Bei der Entwicklung von Elektrofahrzeugen kommt dem elektrischen Energiespeicher eine Schlüsselrolle zu. Lebensdauer, Schnellladefähigkeit, Betriebssicherheit und Kosten sind Schlagwörter, die stets in Zusammenhang [...] mit Batterien [...] im automobilen Bereich genannt werden. Tatsächlich liefern moderne Speichersysteme noch längst nicht die Menge an Energie, die von Automobilherstellern und Kunden gewünscht wird.“<sup>107</sup>

Batterien für Elektrofahrzeuge müssen in technischer Hinsicht von denen aus anderen Einsatzfeldern unterschieden werden. Probleme resultieren daraus, dass für den Einsatz in Elektrofahrzeugen Anforderungen definiert werden, die in ihren bisherigen Anwendungsfeldern (z.B. Konsumelektronik) keine großen Rollen gespielt haben.<sup>108</sup>

Die Verbesserungen folgender Batterieanforderungen sind entscheidend für die Erhöhung der Leistungsfähigkeit in Elektrofahrzeugen.

#### ***Energie- und Leistungsdichte***

Eine mangelnde Reichweite von Elektrofahrzeugen ist zurückzuführen, auf die geringe Energiedichte von Batterien. Die gegenwärtig in der Automobilbranche favorisierte Lithium-Ionen Batterie erreicht eine Energiedichte von 100-140 Wh/kg (im Vergleich zu diesel- oder brennstoffstoffbetriebenen Fahrzeugen entspricht dies nur einem Prozent). Um gleiche Reichweiten wie im konventionellen Fahr-

---

<sup>107</sup> Hrach/Cifrain (2011), S. 16.

<sup>108</sup> Vgl. Deutsche Bank Research (2011), S. 5.

zeugbau zu erreichen, sollte die Batterietechnologien weiterentwickelt und ihre Grundlagenforschung langfristig verstärkt werden.<sup>109</sup>

	Benzin/Diesel	Ethanol	Erdgas bei 200 bar	H <sub>2</sub> bei 200 bar	Li-Ionen- Akkumulator
<b>Energiedichte<sub>(m)</sub> in Wh/kg</b>	12.800	7.440	12.000	33.000	80-200
<b>Energiedichte<sub>(l)</sub> in Wh/l</b>	9.000	5.800	2.600	500	300
<b>Nutzenergie in Wh/l</b>	1.800	1.300	500	200	150

Tab. 4 Vergleich der Kraftstoffe nach Energiedichte und Nutzenergie<sup>110</sup>

Für Elektrofahrzeuge spielt die Leistungsdichte im Fahrbetrieb keine große Rolle. Für einen Hybriden stellt sie eine kritische Größe dar, da dessen Elektromotor den Verbrennungsmotor kurzfristig mit sehr hohen Leistungen unterstützen muss.<sup>111</sup>

Vorrangig auf dem Gebiet der Energiedichte besteht noch großer Forschungsbedarf. Während die Leistungsdichte heutiger Batterien schon der spezifischen Leistungsdichte eines Verbrennungsmotors entspricht.<sup>112</sup>

<sup>109</sup> Vgl. Bertram/Bongard (2014), S. 101.

<sup>110</sup> Bertram/Bongard (2014), S. 102.

<sup>111</sup> Vgl. VDI/VDE-IT/AHK Japan (2014), S. 35.

<sup>112</sup> Vgl. Bertram/Bongard (2014), S. 101.

### **Lebensdauer**

Zum jetzigen Stand der Entwicklung von Elektrofahrzeugen stellt die Batterie das kostenintensivste Bauteil eines Elektrofahrzeuges dar, ihr Defekt käme einem hohen wirtschaftlichen Schaden gleich. Die Lebensdauer eines Energiespeichers sollte im Optimum mit der Lebensdauer des Fahrzeuges übereinstimmen. Aktuell ist ein Fahrzeug auf eine Betriebsdauer von ca. zehn Jahren ausgelegt.<sup>113</sup> Der Batterie-Experte Werner Tillmetz vom Ulmer Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung sagte dazu: „...dass man über die Haltbarkeit von Lithium-Ionen-Akkus im Auto derzeit nur begrenzt Aussagen machen könne. Es fehlten Erfahrung mit der Lithium-Ionen-Technik im Automobilbereich und daraus entwickelte Prüfverfahren, die die Lebensdauer simulieren. Natürlich gibt es schon grundsätzliche Erkenntnisse. Beispielsweise leiden Batterien bei Temperaturen um 50 bis 60 Grad Celsius, auch hohe Strombelastungen bei niedrigen Temperaturen können schädlich sein. Das gleiche gilt für die Schnellladung, wie Tillmetz erklärt: "Hohe Ströme können – wenn das Batteriesystem nicht dafür optimiert ist – zu lokaler Überhitzung führen und beschleunigen den Degradationsprozess des Akkus.“<sup>114</sup> Die Automobilindustrie forscht auf dem Gebiet der Lithium-Ionen-Batterie intensiv weiter. Gibt aber an, dass eine Verbesserung der Technologie begrenzt ist.<sup>115</sup>

Mit der Lebensdauer ist auch die Frage nach der Zyklenfestigkeit verbunden. Ein Fahrzeug sollte innerhalb seines Lebenszyklus 2500 bis 5000 Ladevorgänge ohne Leistungseinbußen überstehen, auch hier besteht noch Forschungsbedarf.<sup>116</sup>

### **Kosten**

„Für eine erfolgreiche Marktdurchdringung von Elektrofahrzeugen stellen die *Akkumulatorkosten* einen kritischen Faktor dar. Während das anzustrebende Kostenziel bei 250 bis 500 Euro/kWh liegt, belaufen sich die Kosten für eine Kilowattstunde heute auf rund 600 bis 1.200 Euro. Für ein typisches kleines Elektroauto

---

<sup>113</sup> Vgl. Wallentowitz/Freialdenhoven/Olschewski (2010) S. 86.

<sup>114</sup> Vgl. [www.zeit.de](http://www.zeit.de)

<sup>115</sup> Vgl. [www.zeit.de](http://www.zeit.de)

<sup>116</sup> Vgl. Bertram/Bongart (2013), S. 103.

mit 100 Kilometer Reichweite entstehen somit Batteriekosten von 10.000 bis 15.000 Euro, was weit über den international formulierten Zielsetzungen liegt.“<sup>117</sup> Eine Studie der Boston Consulting Group (BCG) schätzt die heutigen Batteriekosten auf 1000 bis 1110 US\$/kWh.<sup>118</sup>

### **Sicherheit**

Der Faktor Sicherheit von Lithium-Ionen Batterien wird in der Öffentlichkeit immer wieder thematisiert. Der Aspekt, dass Fahrzeuge mit dieser Technologie nicht den Sicherheitsstandards entsprechen, lässt viele Kunden von ihrem Kaufvorhaben absehen. Eine neue Studie des Deutschen Kraftfahrzeug-Überwachungs-Vereins (DEKRA) konnte diese Aussage allerdings widerlegen. In der Studie wurde dargelegt, dass Elektro- und Hybridautos mit Lithium-Ionen-Antriebsbatterien im Brandfall<sup>119</sup> mindestens genauso sicher sind wie Fahrzeuge mit konventionellem Antrieb.<sup>120</sup> Dennoch bestehen Batterien aus brennbaren Materialien, die bei normalen Fahrzeugbränden auch indirekt entzündet werden können. Es können toxische Emissionen beim Abbrennen des Elektrolyten entstehen.

Die folgende Abbildung zeigt die Eigenschaften von fünf gängigen Li-Ionen-Batterietypen. Je größer die dunkle Fläche, desto besser sind die Eigenschaften bezüglich des entsprechenden Indikators.

---

<sup>117</sup> Vgl. Bundesministerium für Bildung und Forschung, BMBF (Hrsg.) (2010), S. 24; vgl. Dinger, A. et al. (2010), S. 5; vgl. Goppelt, G. (2011a) in Bertram/Bongard (2014), S. 100.

<sup>118</sup> Vgl. BCG (2010), o.S. in de Haan/Zah (2013), S. 33.

<sup>119</sup> wird mehr Löschwasser und spezielle Zusätze gebraucht

<sup>120</sup> Vgl. Dekra (2012), o.S.

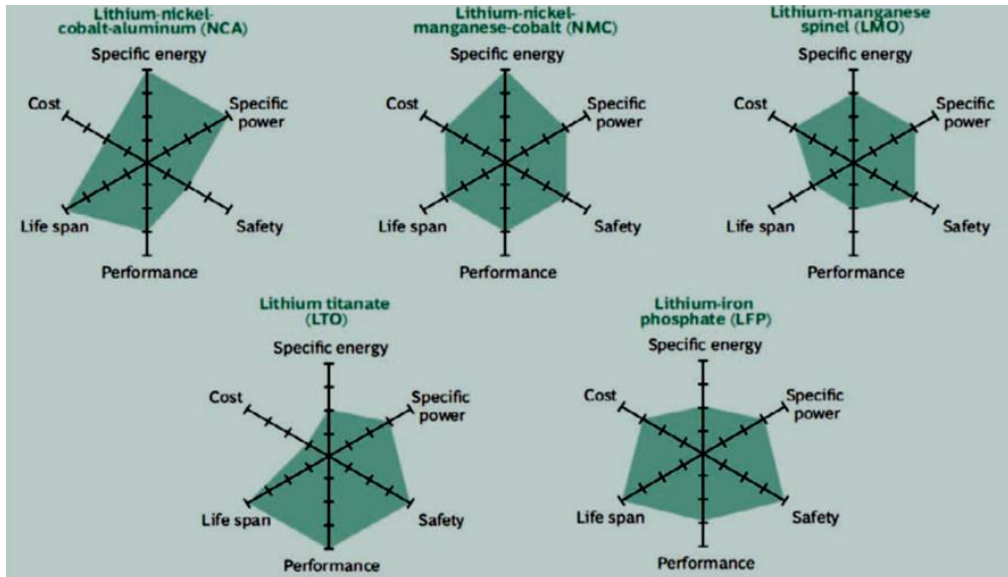


Abb. 11 Eigenschaften gängiger Lithium-Ionen-Batterietypen<sup>121</sup>

Die Leistungs- und Energiedichte, Lebensdauer, Kosten sowie Sicherheit sind in allen Punkten noch weiter verbesserungsbedürftig. Um der Elektromobilität langfristig zum Durchbruch zu verhelfen, müssen neben den existierenden und angewandten Speichertechnologien weitere neue Batterietechnologien entwickelt werden. Vielversprechend ist der Ansatz, eine neue Lithium-Chemie zu erforschen. Dieser Ansatz basiert inhaltlich auf der Suche nach einer optimalen Verbindung aus Luft (Sauerstoff), Silizium und Schwefel.<sup>122</sup> Folgende Optimierungspotentiale werden derzeit auf der Suche nach einer verbesserten Gesamtperformance hauptsächlich verfolgt:

#### *Zink/Luft-Batterie*

- zählt zu den Primärbatterien (nicht wiederholt elektrisch aufladbar),
- hat die höchste Energiedichte bei relativ kleiner Leistungsdichte,
- zum Ausbau (Wechseltechnik) und der Wiederaufbereitung ist spezielle Infrastruktur nötig,
- Einsatz ist auf wenige Demonstrationsprojekte beschränkt.<sup>123</sup>

<sup>121</sup> de Haan/Zah (2013), S. 32.

<sup>122</sup> Vgl. de Haan/Zah (2013), S. 32 u. 34.

<sup>123</sup> Vgl. Braess/Seiffert (2013), S. 169.

### *Lithium-Silizium-Anoden*

- Silizium als Anodenmaterial (theoretische Kapazität von 4000 mAh/g - zehnmal höher als bei bisherigen Anodenmaterial Graphit),
- niedrige Produktionskosten,
- Problem ist die Volumenänderung bei Lade-/Entladevorgang (verhindert derzeitigen Batterieeinsatz).

### *Lithium-Schwefel-Kathoden*

- hohe theoretische Kapazität (1600 mAh/g – höher als bei gegenwärtigen Kathodenmaterial Metalloxid und Phosphat),
- besitzt fünfmal höhere Energiedichte als herkömmliche Lithium-Ion-Batterie,
- Probleme sind signifikante strukturelle Veränderungen während Lade-/Entladezyklen und die Auflösung der Lithium-Polysulfide im Elektrolyten.<sup>124</sup>

## **5.1.2 Technische Normen und Standards**

Für die Akzeptanz und Durchsetzung der Elektromobilität sind nicht nur die Fragen der Batterieentwicklung und der Ausbau der Ladeinfrastruktur von entscheidender Bedeutung. Gleichmaßen ausschlaggebend ist auch die Festlegung internationaler Normen und Standards, um eine Vereinheitlichung auf dem weltweiten Fahrzeugmarkt zu gewährleisten und Parallelentwicklungen zu minimieren. „Normung auf dem Gebiet der Elektromobilität ist eine besondere Herausforderung, weil vielfältige Aktivitäten unterschiedlicher Branchen und Industriezweige bedarfsgerecht und zielführend zu koordinieren und zu integrieren sind. Ohne einheitliche Standards und Normen kann sich Elektromobilität nicht zu einem Massenmarkt entwickeln.“<sup>125</sup>

Speziell bei der Umsetzung folgender Punkte dienen Normen und Standards als wichtige Wegbereiter zur Implementierung von Elektromobilität:

- Ausbau einer geeigneten Infrastruktur,

---

<sup>124</sup> Vgl. de Haan/Zeh (2013), S. 34 f.

<sup>125</sup> www.bdew.de [21.04.2014].

- Anwendersicherheit durch allgemein akzeptierte Regeln und Prüfverfahren,
- Standardisierung und Beschreibung einzelner Schnittstellen zur Senkung der Systemkosten welche nicht nur durch Innovation, sondern auch durch hohe Stückzahlen gesenkt werden können.

Die folgende Übersicht weist die wichtigsten zu normenden und standardisierenden Systemkomponenten sowie Domänen der Elektromobilität aus.

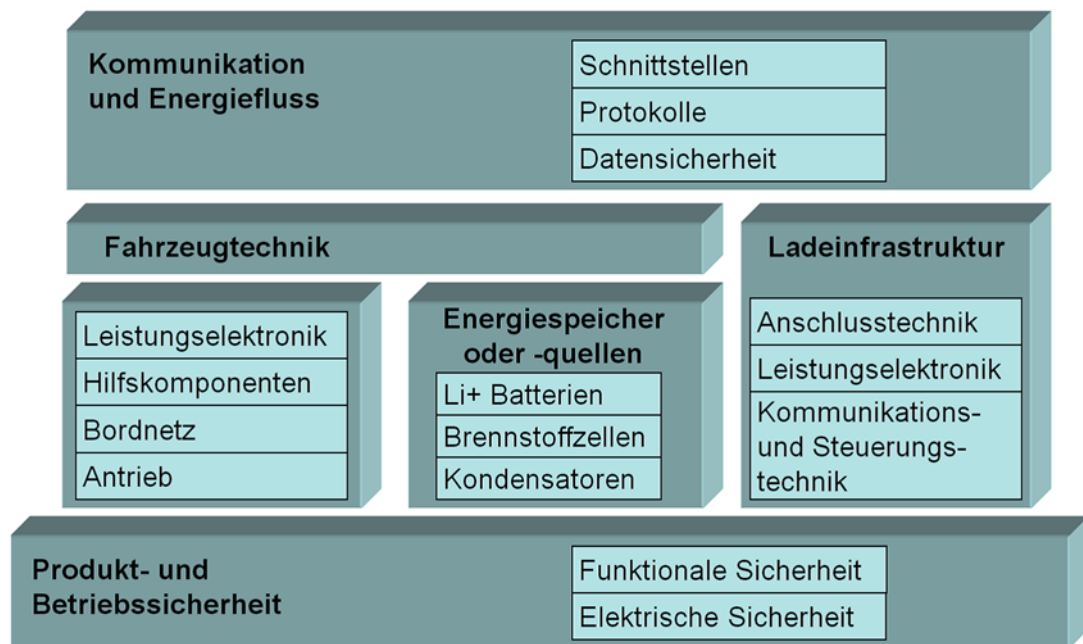


Abb. 12 Für die Normung relevante Systemkomponenten und Domäne<sup>126</sup>

Das Setzen von Normen und Spezifikationen für die Elektromobilitätstechnologie sollte bestenfalls auf mehreren Ebenen (nationalstaatliche, europäische, internationale) sowie in verschiedenen Organisationen (z.B. SAE International)<sup>127</sup> stattfinden. Zuträglich sind dabei sich ergänzende und auf Konsens basierende Rege-

<sup>126</sup> Nationale Plattform Elektromobilität (2013), o. S.

<sup>127</sup> „SAE International (ehemals Society of Automotive Engineers, SAE) ist eine international agierende Organisation für Fachleute aus den Mobilitätsbranchen Luft- und Raumfahrt, Automobilindustrie und Nutzfahrzeugbau. Innerhalb der Vereinigten Staaten ist SAE eine Organisation, die Normen erarbeitet für die Konstruktion von Kraftfahrzeugen aller Art, einschließlich Autos, Lastkraftwagen, Boote und Flugzeuge.“ [www.beuth.de/de/artikel/sae-standard](http://www.beuth.de/de/artikel/sae-standard)

lungen, die eine einheitliche Verfahrensweise sowie einen kooperierenden Weiterentwicklungsansatz fördern.



\*) Weitere nationale Organisationen (z.B. SAE, ANSI/UL International)

Abb. 13 Wesentliche Elemente der Normungs- und Standardisierungslandschaft<sup>128</sup>

Eine Herausforderung für einheitliche Normierung und Standardisierung von Elektromobilität ist die derzeitige Vielzahl weltweit konkurrierender Normungskonzepte.<sup>129</sup>

Als Beispiel soll die Norm IEC 62196-2 für Elektrofahrzeuge genannt werden. Diese beschreibt wichtige Anforderungen und Hauptmaße für AC-Ladesteckvorrichtungen. Teil dieser Norm sind unter anderem die verschiedenen länderspezifischen Ladesteckvorrichtungstypen, die untereinander nicht kompati-

<sup>128</sup> Nationale Plattform Elektromobilität (2013), o. S.

<sup>129</sup> Vgl. Nationale Plattform Elektromobilität (2013), o. S.



bel sind. Die folgende Abbildung stellt die verschiedenen existierenden Steckervarianten dar.<sup>130</sup>

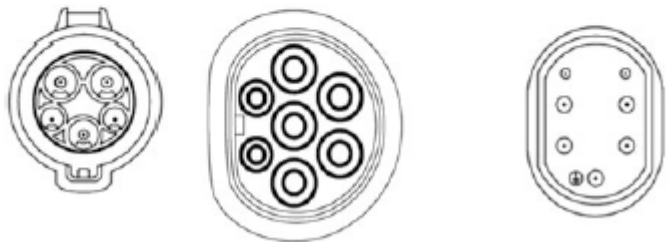
	Typ 1	Typ 2	Typ 3
Phasen	Einphasig	Ein- oder dreiphasig	Ein- oder dreiphasig
Maximaler Strom	32 A	70 A (einphasig) 63 A (dreiphasig)	32 A
Maximale Spannung	250 V	500 V	500 V
Anzahl der Pins	5	7	5 oder 7
Land	USA, Japan	Deutschland	Frankreich, Italien
Norm		VDE-AR-E-2623-2-2	
Stecker			

Abb. 14 Verschiedene Ausführungen von Steckern und deren Kenndaten<sup>131</sup>

Das Europäische Parlament konnte sich 2014 auf einen einheitlichen europäischen Stecker zur Aufladung von Elektrofahrzeugen einigen. Die Entscheidung fiel auf den Typ-2 Stecker der deutschen Firma Menneke. Spätestens in drei Jahren müssen in Europa alle Ladestationen mit einheitlichen Typ-2 Steckdosen ausgestattet sein.

Für Kunden und Automobilhersteller schafft diese Entscheidung Klarheit und bringt Investitionssicherheit.<sup>132</sup>

<sup>130</sup> Vgl. Reif/Noreikat/Borgeest (2012), S. 70.

<sup>131</sup> Reif/Noreikat/Borgeest (2012), S. 70.

<sup>132</sup> Vgl. [www.tagesspiegel.de](http://www.tagesspiegel.de)

## 5.2 Ökonomische Betrachtung

### 5.2.1 Ladeinfrastruktur

Der flächendeckende Aufbau einer Ladeinfrastruktur ist eine Voraussetzung für die erfolgreiche Marktfähigkeit von Elektrofahrzeugen (neben der Batterietechnologie). Mit einem für den Kunden zufriedenstellenden Netz wird die Akzeptanz für Elektromobilität gesteigert.

Gegenwärtig lassen sich drei Ladeinfrastrukturen unterscheiden:

- private und halböffentliche Anschlüsse,
- sowie öffentliche Ladesäulen.

Die private Ladeinfrastruktur verlangt nach einem Garagenstellplatz oder der Möglichkeit, dass das Fahrzeug an einer heimischen Steckdose aufgeladen werden kann. In Deutschland ist diese Voraussetzung in hohem Maße gegeben. 71 Prozent der Pkw-Halter im ländlichen Raum und 43 Prozent der Nutzer in Großstädten können darauf zurückgreifen, ihr Fahrzeug in einer Garage abzustellen.

Privates Laden erfolgt mittels Hausanschluss über mehrere Stunden (bevorzugt nachts). Die Abrechnung gestaltet sich unkompliziert mit der privaten Stromrechnung. Zudem fallen keine Zusatzkosten für die Ladeinfrastruktur an.<sup>133</sup> Eine Möglichkeit zur gewöhnlichen Haushaltssteckdose bietet die Wall Box. Das Elektrofahrzeug kann komfortabel und schnell geladen werden (zehnmal schneller als mit einer gewöhnlichen Haushaltssteckdose). Die Kosten für die Installation einer Wall Box belaufen sich auf rund 1.200 Euro.<sup>134</sup>

Lademöglichkeiten auf Firmenparkplätzen oder öffentlich zugängliche Flächen im Privatbesitz werden als halböffentliche Ladeinfrastruktur bezeichnet. Häufig sind Stromanschlüsse vorhanden oder können vergleichsweise einfach mit Ladevorrichtungen ausgebaut werden. Da das Parken auf diesen Plätzen häufig zugangsbeschränkt ist (z.B. nur für Arbeitnehmer) reicht es, die Ladung an der Steckdose

---

<sup>133</sup> Vgl. Büro für Technikfolgenabschätzung beim Deutschen Bundestag (2012), S. 47.

<sup>134</sup> Vgl. [www.electrodrive-europe.com](http://www.electrodrive-europe.com)

zu ermöglichen und einfache Abrechnungsmöglichkeiten vorzusehen (z.B. pauschale Abrechnung).

Personen, die keinen Zugang zu privaten oder halböffentlichen Lademöglichkeiten haben, weil sie z.B. in städtischen Wohnstraßen oder Siedlungen wohnen, sind auf das Vorhandensein öffentlicher Ladestationen angewiesen. Aber auch für Zwischenladungen auf längeren Fahrten ist der Aufbau von öffentlichen Ladesäulen unerlässlich.<sup>135</sup>

In Deutschland existieren laut BDEW (Bundesverbandes Energie- und Wasserwirtschaft e.V.) gegenwärtig rund 4.500 öffentliche Ladestationen.<sup>136</sup>

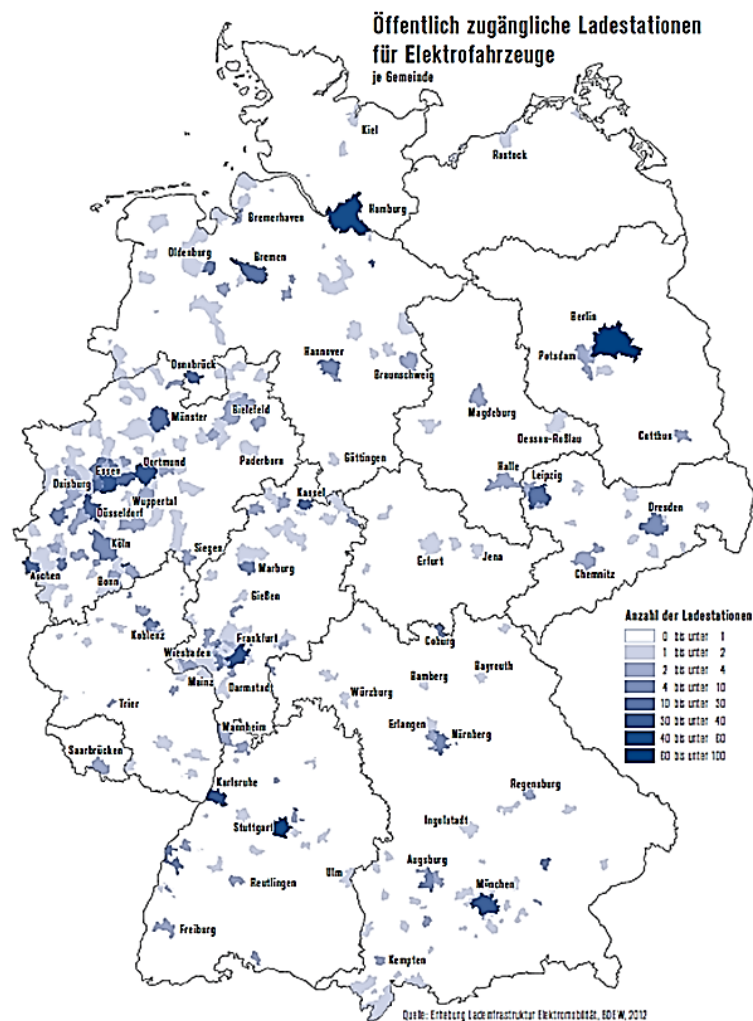


Abb. 15 Öffentliche Ladestationen (Stand 2012)<sup>137</sup>

<sup>135</sup> Büro für Technikfolgenabschätzung beim Deutschen Bundestag (2012), S. 47.

<sup>136</sup> www.handelsblatt.com

Gegenwärtig findet der Ladevorgang hauptsächlich im privaten und halböffentlichen Bereich dar. Der Verband kommunaler Unternehmen sagte dazu ... „Ladestationen im öffentlichen Straßenraum sind ein wichtiger Beitrag zur Flexibilität von Elektrofahrzeugen gerade in Städten mit hohen Mieterstrukturen und für den Pendlerverkehr. Die Erfahrung hat aber gezeigt, dass der Hauptteil der Ladeaktivitäten nicht im öffentlichen Bereich stattfindet, sondern an privaten Lademöglichkeiten zu Hause und im halböffentlichen Raum, beispielsweise in Parkhäusern oder am Arbeitsplatz. Diese Erkenntnis erklärt, wieso der Schwerpunkt des künftig geplanten Aufbaus von Ladeinfrastruktur zunehmend im privaten Bereich liegt“<sup>138</sup>

Das größte Problem der Ladeinfrastruktur stellt der Ausbau des öffentlichen Netzes dar. Es ist mit einem hohen Investitionsvolumen verbunden. Gegenwärtig können nur die Stromunternehmen diese Investition tätigen. Mit Kosten pro Ladepunkt von 2.000 bis 8.000 Euro, lassen sich diese längerfristig über einen Strompreis in Höhe des Haushaltstroms nicht amortisieren.<sup>139</sup> Hohe Ladestrompreise, die zu einer Refinanzierung des Investitionsvolumens führen, würden die Kunden davon abhalten Ladepunkte zu benutzen. Die Nationale Plattform Elektromobilität schätzt eine jährliche Deckungslücke von 500 bis 2.000 Euro je Ladepunkt, bedingt durch geringe Umsätze bei gleichzeitig hohen Abschreibungen sowie Betriebs- und Wartungskosten.<sup>140</sup>

In der folgenden Abbildung werden die verschiedenen Ladeinfrastrukturen hinsichtlich Kosten und Amortisationszeit erläutert.

---

<sup>137</sup> Nationale Plattform Elektromobilität (2012), S.3.

<sup>138</sup> Vgl. [www.vku.de](http://www.vku.de)

<sup>139</sup> Vgl. Fraunhofer Institut (o.J.), o.S.

<sup>140</sup> Vgl. Nationale Plattform Elektromobilität, NPE (2012), S. 50.

Ladeinfrastruktur		Kosten pro Ladeeinheit (in €, ohne Wiederbeschaffung)	Fahrzeuge pro Ladeeinheit (in Stück)	Infrastrukturkosten pro Fahrzeug (in €)	Kosten pro kWh (in €/kWh)
	Privater Anschluss	100-200 €	1	100-200 €	0,01 €/kWh
	Ohne Abrechnung	100-200 €	4	25-50 €	0,002 €/kWh
	Mit Abrechnung	1.000-2.000 €	4	250-500 €	0,02-0,03 €/kWh
	Langsamladung (11 kW)	2.000-8.000 €	12	170-670 €	0,01-0,04 €/kWh
	Schnellladung (60 kW)	22.000-38.000 €	24	920-1580 €	0,06-0,10 €/kWh

Note: Fahrzeugverbrauch 16 kWh/100km, Jahresfahrleistung 10.000 km; Batteriekapazität 24 kWh; Anschlussleistung 3,5 kW für den privaten und halböffentlichen Anschluss, öffentliche Ladestationen sind mit 11 kW (Langsamladestation) oder mit 60 kW (Schnellladestation) angeschlossen. Ladung ist somit jeden vierten Tag nötig. Infrastrukturkosten sind über 10 Jahre mit einem Zins von 3% diskontiert.

Ladeinfrastruktur	Kosten pro Ladeeinheit (in €, ohne Wiederbeschaffung)	Fahrzeuge pro Ladeeinheit (in Stück)	Infrastrukturkosten pro Fahrzeug (in €)	Umsatzmarge pro Fahrzeug (bei 5%, in €/a)	Amortisationszeit (in a)
	100-200 €	1	100-200 €	12 € (Gesamt: 240 € <sup>(6)</sup> )	8-16 Jahre
	100-200 €	1-2	50-200 €		4-16 Jahre (ggf. freie Abgabe)
	2.000-8.000 € <sup>(1)</sup>	12 <sup>(4)</sup>	170-670 €		14-55 Jahre
	-750.000 € <sup>(2)</sup> + 1.450.000 € Batterien <sup>(3)</sup>	2.750 <sup>(5)</sup>	-800 €		67 Jahre <sup>(8)</sup>
<b>Herkömmliche Tankstelle</b>	-750.000 € <sup>(2)</sup>	2.750 <sup>(5)</sup>	-272 €	39 € (Gesamt: 780 € <sup>(7)</sup> )	7 Jahre (Shops nicht eingerechnet)

Note: Fahrzeugverbrauch 12 kWh/100km, Jahresfahrleistung 10.000 km; (1) Ladesäulen werden aufgrund von Vandalismusschutz etc. eher am oberen Ende zu bewerten sein; (2) Kosten einer durchschnittlichen, herkömmlichen Tankstelle gemäß Expertenmeinung; (3) Jeden Tag kommen ca. 700 Fahrzeuge gleich verteilt über 12 h an (siehe auch (5)), d.h. ~180 Batterien müssen gleichzeitig laden, eine Batterie kostet ca. 8.000 €, das entspricht ~1.450.000 € (4) Max. 3 Ladungen pro Tag durch erhöhte Standzeit, Fahrzeuge müssen alle 4 Tage aufgeladen werden, d.h. 12 Fahrzeuge können an einer Ladesäule geladen werden; (5) 14.500 Tankstellen in Deutschland auf etwa 40 Mio. Fahrzeuge; (6) Abgabepreis von 0,20 €/kWh bei einem Gesamtverbrauch von 1.200 kWh; (7) Benzinpreis von 1,30 €/l bei einem Verbrauch von 6 l/100km; (8) Insb. Wiederbeschaffung der Batterie verlängert Amortisationszeit

Abb. 16 Wirtschaftlichkeit und Strom-Mehrkosten<sup>141</sup>

Für den Aufbau einer öffentlichen Ladeinfrastruktur müssen verschiedene Maßnahmen ergriffen werden. Dies könnten Finanzierungsmöglichkeiten, wie z.B. Sonderabschreibungen oder zinsgünstige Kredite sein. Auch die spezifischen Betriebskosten könnten anteilig gefördert werden. Mittels Reduktion von steuerlichen

<sup>141</sup> Fraunhofer Institut (o.J.) o.S.

und umlagebedingten Kostenbestandteilen des Stroms. Weiterer Ansatzpunkte sind die Entwicklung neuer Geschäftsmodelle (z.B. Parken und Laden), die Incentivierung von Fahrzeugnutzern (laden während Standzeiten) und eine Forcierung der Technologieentwicklung.<sup>142</sup>

### 5.2.2. Veränderungen der Wertschöpfungskette

„Die Automobilindustrie ist einer der Eckpfeiler der deutschen Wirtschaft. Ihre besondere Bedeutung rührt nicht nur aus dem im internationalen Vergleich sehr hohen Beitrag zu Wertschöpfung, Beschäftigung und Exporten. Sie nimmt als eine Branche mit besonders umfangreichen Vorleistungsverflechtungen auch eine Schlüsselrolle für andere Sektoren ein, die weit über die angestoßenen Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte hinausreichen.“<sup>143</sup>

	2012	2013	Differenz %
<b>Umsatz (in Mio. Euro)</b>	356.973	360.000	+ 0,85
<b>Inlandsumsatz (in Mio. Euro)</b>	128.238	126.380	- 1,4
<b>Auslandsumsatz (in Mio. Euro)</b>	228.735	233.620	+ 2,1
<b>Beschäftigte (Jahresdurchschnitt)</b>	742.199	756.000	+ 1,9
<b>Bruttoanlageinvestitionen der Automobilindustrie (in Mio. Euro)</b>	13.440	13.050	- 2,9
<b>Pkw-Produktion deutscher Hersteller weltweit (Stück)</b>	13.624.275	14.073.562	+ 3,3
<b>Inlandsproduktion (Pkw/Stück)</b>	5.388.459	5.439.904	+ 1,0
<b>Auslandsproduktion (Pkw/Stück)</b>	8.235.816	8.633.658	+ 4,8

<sup>142</sup> Vgl. Nationale Plattform Elektromobilität, NPE (2011), S. 38 ff.

<sup>143</sup> Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung GmbH (ZEW), Niedersächsisches Institut für Wirtschaftsforschung (NIW), (2009), S. 6.

<b>Pkw-Export (Stück)</b>	4.131.279	4.197.516	+ 1,6
<b>Pkw-Exportquote (in Prozent der Produktion)</b>	76,7	77,2	

Tab. 5 Eckdaten der deutschen Automobilindustrie 2013<sup>144</sup>

Mit Blick auf die Elektromobilität, sind perspektivisch Veränderungen in der automobilen Wertschöpfung und deren Verteilung zu erwarten. Die Herausforderungen, die sich im Zuge dieser Veränderungen an die deutschen Automobilhersteller ergeben, bestehen einerseits darin, die führende Rolle auf dem Gebiet des verbrennungsmotorisierten Antriebsstranges zu sichern und andererseits das langfristige Vordringen des Elektroautos in den Pkw-Markt vorzubereiten.<sup>145</sup>

Der elektrifizierte Antriebsstrang wird langfristig gesehen den Verbrennungsmotor und die damit verbundenen Komponenten ersetzen. Der Bedarf von Komponenten, deren Produktionskompetenz bislang beim Automobilhersteller liegt, wird abnehmen. Die Elektrifizierung des Antriebsstranges würde zu einem Verlust von 30 Prozent der automobilen Wertschöpfung führen. Bislang konzentrieren die Automobilhersteller nur einen kleinen Teil der Elektromotorenwertschöpfung auf sich. Die OEM (Original Equipment Manufacturer) müssten nach Angaben der Unternehmensberatung McKinsey 50 Prozent der Elektromotoren produzieren und im Bereich der Batteriesysteme führend sein, um im Jahr 2030 den gleichen Wertschöpfungsanteil wie bisher zu haben. Die Herausforderungen liegen für die Zulieferer darin, die verbleibenden Kernkompetenzen an die sich verändernden Bedürfnisstrukturen auszurichten und neue Geschäftsfelder und Kooperationen mit vor- und nachgelagerten Akteuren entlang der Wertschöpfungskette zu nutzen.<sup>146</sup>

Es ergeben sich Wachstumschancen auf den Kerngebieten der Batterietechnologie und Leistungselektronik, die genutzt werden müssen um Effekte der Wertschöpfungsschrumpfung zu kompensieren. Die Produktion und

<sup>144</sup> [www.bmwi.de](http://www.bmwi.de)

<sup>145</sup> Vgl. Deutsche Bank Research (2011), S. 7.

<sup>146</sup> Vgl. Kampker, Valleé, Schnettler (2010), S. 110 f.; Vgl. McKinsey (2011), o.S.

Entwicklung der Batteriezellen konzentriert sich geografisch weitestgehend auf Ostasien. Auf dem Gebiet der Batteriesysteme besitzt Deutschland gegenwärtig nur einen geringen Weltmarktanteil. Diesen Rückstand gilt es einzuholen. In Deutschland ist eine sehr leistungsfähige Elektronikindustrie angesiedelt, die eine Schlüsselrolle bei der Entwicklung der Leistungselektronik von Batteriesystemen einnehmen kann.<sup>147</sup>

Neue Akteure werden am Markt auftreten mit dem Resultat, dass sich die Industriekultur zunehmend verändert.<sup>148</sup>

### **5.2.3. Wirtschaftlichkeit für Nutzer**

Damit der elektrischen Antriebstechnik zum Durchbruch verholfen werden kann ist es erforderlich, die Kosten eines Elektrofahrzeuges zumindest in die Nähe eines Fahrzeuges mit Verbrennungsmotor zu bringen. Dabei sind die Anschaffungskosten in den Blick zu nehmen, die maßgeblich durch die Herstellung elektrischer Energiespeicher bestimmt werden.<sup>149</sup> Betrachtet werden müssen aber auch laufende Betriebskosten (Steuern und Versicherungen). Diese Gesamtkostenbetrachtung lässt sich unter den Begriff TCO (Total Cost of Ownership) zusammenfassen.

Die nachfolgende Abbildung basiert auf einer Kostenerhebung von fünf verschiedenen Antriebsarten für ein Mittelklassefahrzeug. Berücksichtigt wurde eine durchschnittliche Laufleistung von 15.000 km/Jahr.

---

<sup>147</sup> Vgl. Deutsche Bank Research (2011), o.S.

<sup>148</sup> Vgl. Kampker, Vallée, Schnettler (2010), S. 110 f.

<sup>149</sup> Vgl. Schramm/Koppers (2014), S.29



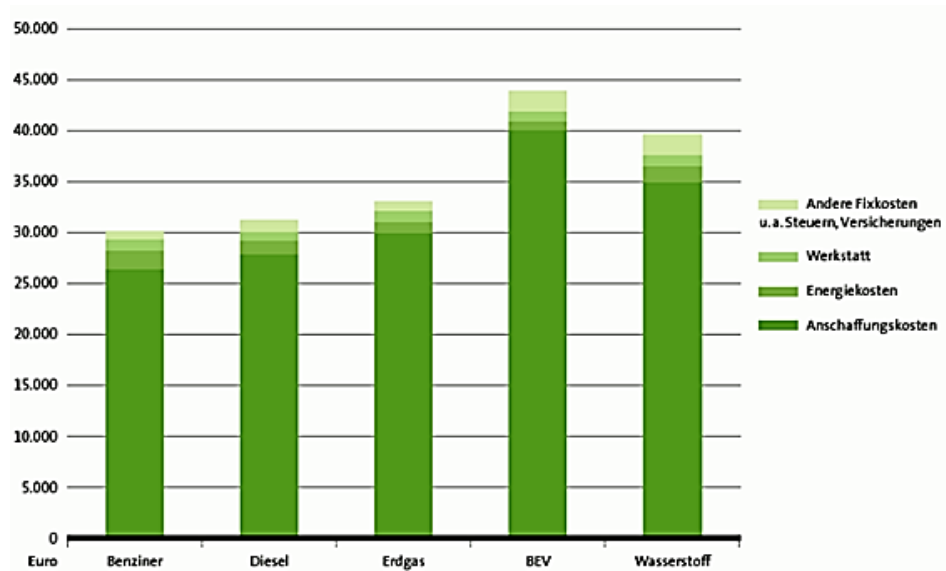


Abb. 17 Kostenzusammensetzung für ein exemplarisches Mittelklassefahrzeug<sup>150</sup>

Aus der Darstellung wird ersichtlich, dass Elektrofahrzeuge im Vergleich zu den anderen vier Antriebsarten in der kumulativen Kostenbetrachtung die höchsten Gesamtkosten verursachen und somit nachteilig abschneiden. Insbesondere die Kosten der Batterie bzw. Batterietechnik sind beim Elektrofahrzeug um ca. ein Drittel höher als beim Benzin. Die Anschaffungskosten für ein Mittelklassefahrzeug ohne Batterie bewegen sich im Rahmen dieser Kostenerhebung durchschnittlich bei ca. 30.000 Euro. Sofern das Fahrzeug mit einer Batteriekapazität von 16 kWh (Reichweite von ca. 130 km) ausgestattet werden soll, entstehen zusätzliche Batteriekosten in Höhe von ca. 6.400 bis 9.000 Euro. Der Gesamtanschaffungspreis erhöht sich dadurch um mindestens 20 bis 30 Prozent. Aus der Darstellung ist ebenfalls ersichtlich, dass der Energiekostenanteil beim Elektrofahrzeug im Vergleich zu den anderen Antriebsarten den geringsten Wert aufweist.

Dieser Kostenvorteil führt, wie Abbildung 17 exemplarisch für die Gesamtkostenentwicklung von Mittelklassefahrzeugen verdeutlicht dazu, dass der Kostennachteil von Elektrofahrzeugen im Vergleich zu den anderen Antrieben im Zeitverlauf deutlich abnimmt.

<sup>150</sup> ÖPP GmbH (2013), S.40.

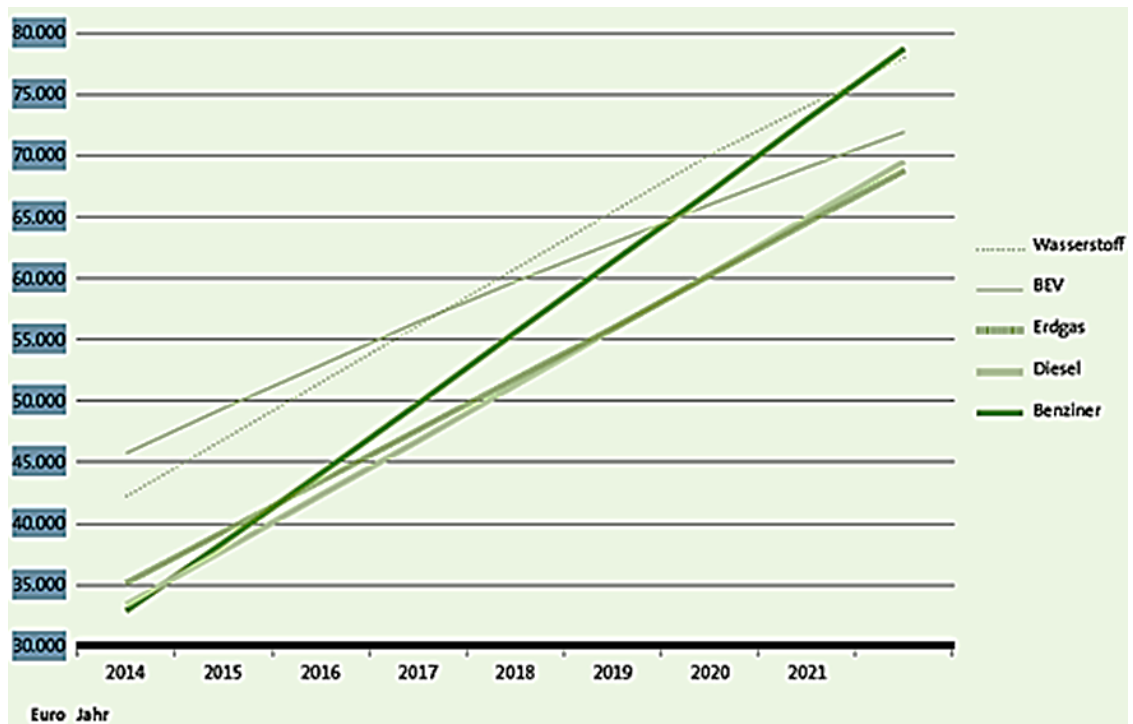


Abb.18 Gesamtkostenvergleich unterschiedlicher Antriebsarten von 2014 bis 2022<sup>151</sup>

Wie aus der Abbildung ersichtlich, geht die Kostenprognose davon aus, dass ungefähr im Jahr 2019/2020 die Gesamtkosten eines Elektrofahrzeugs identisch mit denen eines Benzinfahrzeugs sind und der Kostennachteil somit sukzessive sinken wird. Je höher die jährliche Laufleistung der Fahrzeuge, desto höher die Betriebskosten und umso stärker verringert sich auch der Kostennachteil des Elektrofahrzeugs im Vergleich zum Benziner, z.B. durch niedrigere Werkstatt- und Energiekosten.<sup>152</sup>

#### 5.2.4 Kritische Rohstoffe

„In den letzten [...] Jahren erfolgte eine deutliche Neubewertung der Versorgungsrisiken für alle Rohstoffe. Ereignisse wie z. B. die Ölpreisspitze von 2008, oder die 2009 erfolgte Ankündigung Chinas, die Exporte für Seltene Erden zu drosseln [...] führten dazu, dass die Versorgungssicherheit zu einer fundamentalen politischen

<sup>151</sup> ÖPP GmbH (2013), S.40.

<sup>152</sup> Vgl. ÖPP GmbH (2013), S.39 ff.

Frage in Europa und anderen Teilen der Welt wurde. Steigende Nachfrage nach Seltenen Erden und anderen seltenen Rohstoffen haben den Fokus auf die Versorgungssituation verstärkt. "Kritisch" bedeutet für jeden etwas anderes. Es ist zumindest im nationalen Rahmen eine subjektive Beurteilung, spezifische Metalle als kritisch einzustufen. Es gibt keine internationale Übereinstimmung darüber welche Metalle kritisch sind, und ebenso sind Bewertungen der Kritikalität notwendigerweise landesspezifisch. Regierungsangaben basieren normalerweise auf geopolitischen und makroökonomischen Betrachtungen. Hierin eingeschlossen sind politische und ökonomische Stabilität der Lieferanten, Mangel oder Engpass bei Ersatzstoffen, geringe Recyclingquoten und nur zu einem geringeren Anteil die physische Knappheit<sup>153</sup>

Zu dieser Problematik existieren zahlreiche Publikationen.<sup>154</sup> Darunter eine Veröffentlichung der „Ad-hoc Working Group on Defining Critical Raw Materials“ - einer Expertengruppe, die im Auftrag der Europäischen Union eine Methodik zur Ermittlung von kritischen Rohstoffen entwickelte. Gegenstand der Untersuchung waren 41 Metalle und Minerale, die hinsichtlich ihrer geologischen, technologischen und geopolitisch-wirtschaftlichen Verfügbarkeit betrachtet wurden. Das Resultat war die Identifizierung von 14 Rohstoffen, deren Versorgungssicherheit sich für die europäische Wirtschaft als kritisch darstellt.<sup>155</sup>

Die folgende Abbildung stellt die Einordnung kritischer Rohstoffe hinsichtlich Versorgungsrisiko und wirtschaftlicher Bedeutung für die Europäische Union dar.<sup>156</sup>

---

<sup>153</sup> Kausch/Bertau/Guzmer/Matschullat (2014), S.15 f.

<sup>154</sup> Siehe Institut für Zukunftsstudien u. Technologiebewertung (IZT) (2011), Fraunhofer (2009).

<sup>155</sup> Nach Empfehlung der Ad-hoc Working Group sollte die Ermittlung kritischer Rohstoffe alle fünf Jahre neu erfolgen

<sup>156</sup> Vgl. Gandenberger/Marscheider-Weidemann/Tercero (2010) S. 12 f.

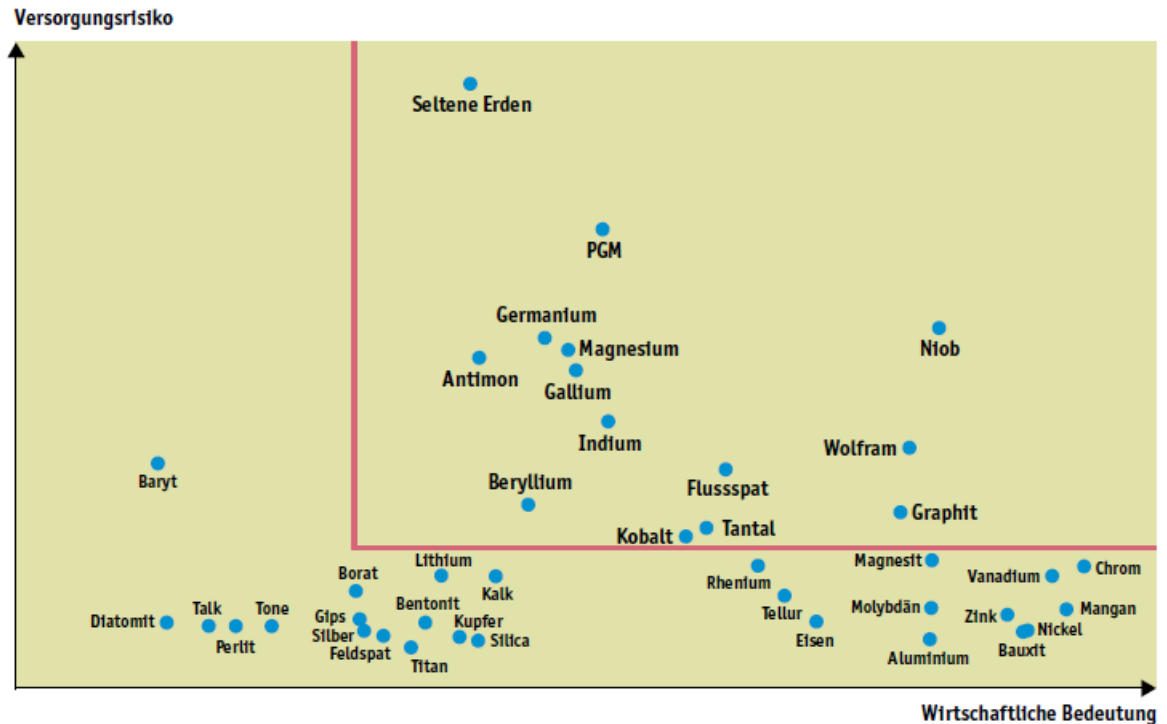


Abb.19 Bewertung ausgewählter Rohstoffe durch die Ad-hoc-Working Group<sup>157</sup>

Für Deutschland ist eine gesicherte Rohstoffversorgung von elementarer Bedeutung. Zwar verfügt die Bundesrepublik über eigene Vorkommen an heimischen Rohstoffen (z.B. Braunkohle und Steinsalz), bei den primären Metallrohstoffen (z.B. Seltene Erden) besteht jedoch eine nahezu 100-prozentige Importabhängigkeit.<sup>158</sup>

In einer Vielzahl von Zukunftstechnologien kommen kritische Rohstoffe zum Einsatz. Die folgende Abbildung zeigt das Vorkommen kritischer Rohstoffe in ausgewählten Komponenten heutiger und zukünftiger Fahrzeuge.

<sup>157</sup> Gandenberger/Marscheider-Weidemann/Tercero (2010), S. 15.

<sup>158</sup> Vgl. Pilarsky (2014), S. 59.

	Komponenten	Silber	Gold	Beryllium	Kobalt	Gallium	Germanium	Indium	Lithium	Magnesium	Niob	Platmetalle	Seltene Erden	Antimon	Zinn	Wolfram	Zirkonium
BEV, HEV, PHEV, ICE	Elektromotoren	-	-	-	x	-	-	-	-	-	-	-	x	-	x	-	-
BEV, HEV, PHEV, ICE	IKT/UE	x	x	x	x	x	x	x	-	-	x	x	x	x	x	x	x
BEV, HEV, PHEV, ICE	Kontakte	-	x	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	-	-
BEV, HEV, PHEV, ICE	Sensoren	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	?	?	-	x	-	x
BEV, HEV, PHEV, ICE	Steuergeräte	x	x	x	x	x	x	x	-	-	x	x	x	x	x	x	x
BEV, HEV, PHEV, ICE	User Interface (Cockpit)	x	x	-	-	x	-	x	-	-	-	-	x	-	x	?	-
BEV, HEV, PHEV, ICE	Aktoren	-	-	-	?	-	-	-	-	-	-	-	?	-	x	-	-
BEV, HEV, PHEV, ICE	Beleuchtung	-	-	-	-	x	-	x	-	-	-	-	x	-	x	x	-
BEV, HEV, PHEV, ICE	Battene	-	-	-	x	-	-	-	x	-	-	-	x	-	-	-	-
HEV, PHEV, ICE	Katalysatoren	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	x	-	-	-	-
BEV, HEV, HEV, ICE	Antriebsstrang	-	-	-	x	-	-	-	x	x	-	?	?	-	x	-	-
BEV, HEV, HEV, ICE	Glider	-	-	-	x	-	-	-	x	x	-	?	x	?	-	-	-

- x - kommt mit großer Wahrscheinlichkeit vor;
- ? - kommt eventuell vor;
- - - kommt eher nicht vor:

Abb. 20 Kritische Rohstoffe in einem Elektrofahrzeug<sup>159</sup>

Für Deutschland, das sich auf dem Gebiet der Elektromobilität als Leitmarkt etablieren möchte, ist ein gesicherter Zugang zu diesen Rohstoffen wichtig. Die Deutsche Bundesregierung versucht mit bilateralen Abkommen (z.B. mit Kasachstan und der Mongolei), die Rohstoffversorgung langfristig zu sichern.

Deutsche Unternehmen äußern jedoch zunehmend Kritik an dieser Strategie. Ein effektiveres Instrument zur langfristigen Rohstoffsicherung für die deutsche Industrie, seien direkte Lieferverträge, Rohstoffbörsen und die Beteiligung an Rohstoffprojekten.<sup>160</sup>

<sup>159</sup> de Haan/Zah (2013), S. 99. aus Blaser (2012).

<sup>160</sup> Vgl. Konrad Adenauer Stiftung, (2013), S. 3.

### 5.3. Soziale Betrachtung

Die Deutsche Bundesregierung hält an ihren ehrgeizigen Plänen fest, bis 2020 eine Million Elektrofahrzeuge auf deutschen Straßen fahren zu lassen und sich zum Leitanbieter sowie Leitmarkt in der Elektromobilitätstechnologie zu etablieren. Gemessen an aktuellen Zulassungszahlen des Bundeskraftfahrtamts für das Jahr 2014 sind diese Pläne als ambitioniert zu werten, immerhin werden gegenwärtig 98,45 Prozent aller Fahrzeuge mit Verbrennungstechnologien betrieben, wie aus der folgenden Abbildung ersichtlich ist.<sup>161</sup>

Doch was hält die Kunden zurück, Elektrofahrzeuge anzunehmen? Dieser Frage geht eine gemeinsame Studie des Lehrstuhls für Dienstleistungsmanagement an der Technischen Universität Braunschweig und der P3 Ingenieurgesellschaft GmbH im Jahre 2013 nach. Unter dem Titel „Akzeptanz von Elektrofahrzeugen – Aussichtsloses Unterfangen oder große Chance?“ wurden 1633 Deutsche online befragt; die gewonnenen Antworten wurden nach folgenden beiden Leitfragen ausgewertet.

1. Welche Präferenzen haben Kunden angesichts elektromobilitätsspezifischer Aspekte wie Ladetechnik, Reichweitenanforderung und Abrechnungsmodalitäten?
2. Welche Einflussgrößen fördern die Akzeptanz von Elektromobilität?“

#### *Informationsstand*

- Ein Drittel der Befragten sind aktiv über das Thema Elektromobilität informiert (alle anderen kennen zumindest den Begriff).
- 15 Prozent der Befragten haben ein E-Fahrzeug bereits auf Probe gefahren.

Die Studie kommt beim Punkt Informationsstand zum Schluss, dass Kunden stärker an das Thema Elektromobilität herangeführt werden sollten um das Akzeptanzpotential zu steigern.<sup>162</sup> Ein ähnliches Ergebnis lieferte eine durchgeführte Studie in Frankreich und Deutschland im Jahre 2010, die von Statistica veröffent-

---

<sup>161</sup> [www.kba.de](http://www.kba.de)

<sup>162</sup> Vgl. TU-Braunschweig/P3 Ingenieurgesellschaft GmbH (2013), S. 7.

licht wurde. Hier lag die Anzahl der sehr gut bis gut informierten Befragten Deutschen bei Prozent.<sup>163</sup> Mit einem kontinuierlich gezielteren Herantreten an potenzielle Kunden (Privatkunden, Unternehmen, öffentliche Einrichtungen) könnte die Zielgruppe erweitert und weitere Interessenten gewonnen werden. Im Fokus sollten dabei gerade die technologischen Faktoren liegen (z.B. die Reichweite), die zur Identifizierung geeigneter Einsatzfelder beitragen.

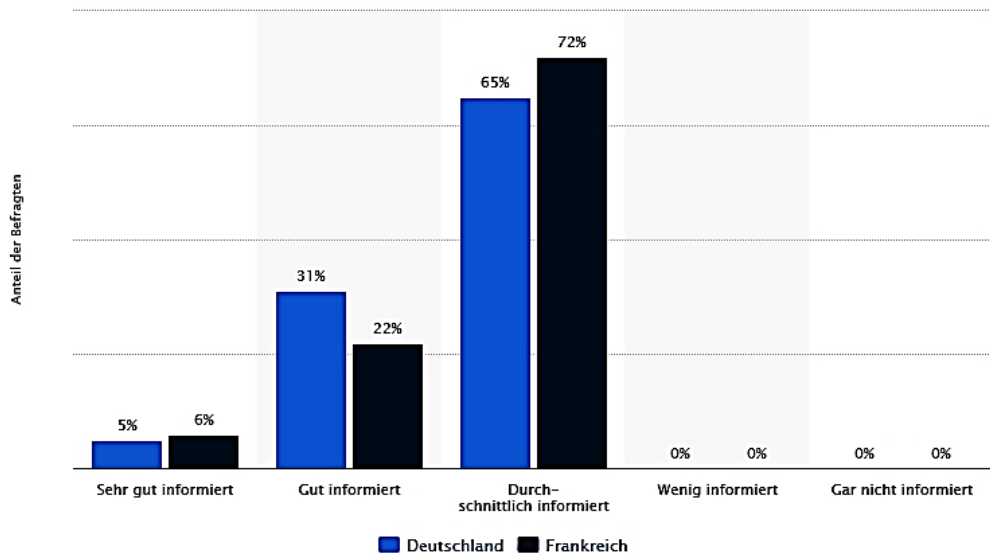


Abb. 21 Wie gut sind Sie über Elektrofahrzeuge informiert?<sup>164</sup>

### *Anschaffungskosten*

Die hohen Anschaffungskosten der Elektrofahrzeuge sind das wichtigste Kriterium bei einer Kaufentscheidung. Ein Vergleich der Erhebungen in den Jahren 2013 (Abb. 22) und 2010 (Abb. 23) macht deutlich, dass maximal ein Viertel der Befragten (24 Prozent) bereit sind, die zusätzlich entstehenden Kosten gegenüber konventionellen Fahrzeugen zu übernehmen.

<sup>163</sup> www.de.statista.com

<sup>164</sup> www.de.statista.com

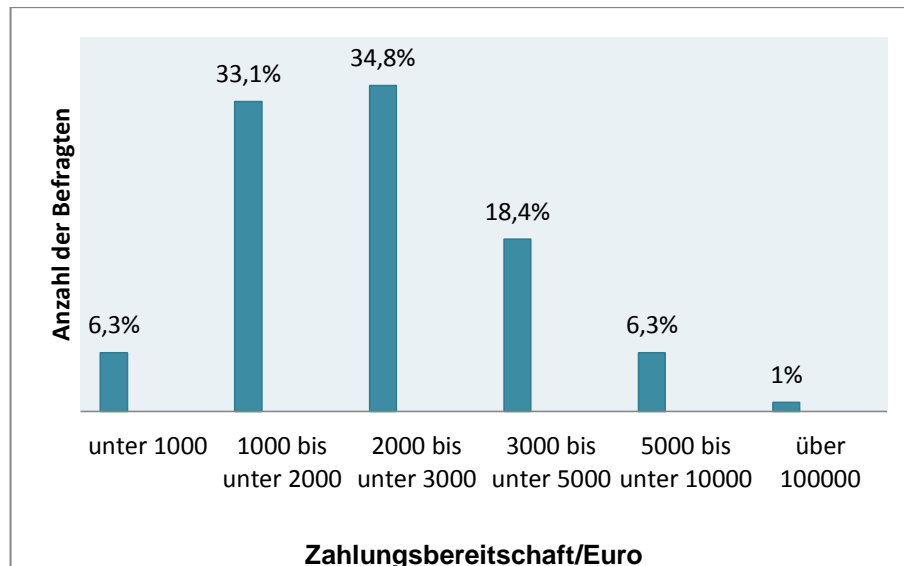


Abb. 22 Wie viel Geld würden Sie für Elektrofahrzeuge gegenüber konventionellen Fahrzeugen zusätzlich ausgeben?<sup>165</sup>

Zum Vergleich dazu, wird eine Befragung nach den Mehrkosten aus dem Jahr 2010 herangezogen.

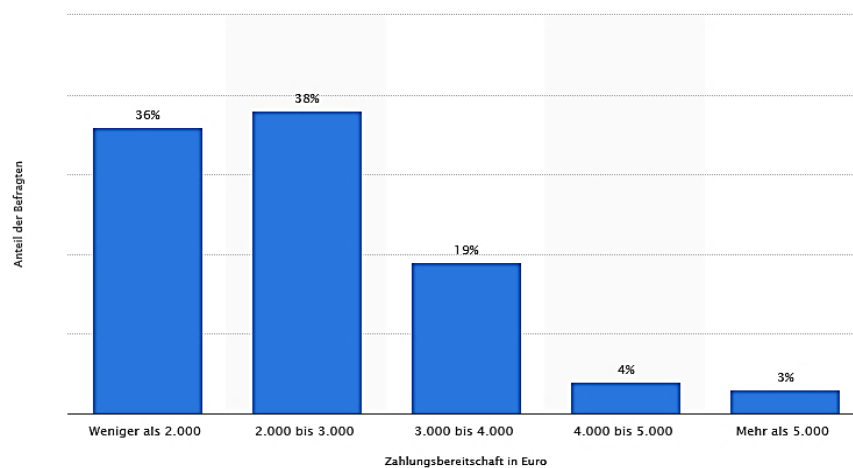


Abb. 23 Wie viel Geld würden Sie für Elektrofahrzeuge gegenüber konventionellen Fahrzeugen zusätzlich ausgeben?<sup>166</sup>

<sup>165</sup> Vgl. TU-Braunschweig/P3 Ingenieurgesellschaft GmbH (2013), S. 6.

<sup>166</sup> [www.de.statista.com](http://www.de.statista.com)



### Reichweite

Der Kunde hat eine realistische Vorstellung von der Reichweite eines Elektrofahrzeuges. Die durchschnittliche Fahrstrecke die ein Nutzer täglich zurücklegt, liegt oft unter der maximalen Reichweite eines elektrifizierten Antriebes und sollte das Problem der Kurzstreckenmobilität in den Hintergrund treten lassen. Dennoch stellt die Reichweite ein wichtiges Kriterium für die Kundenakzeptanz dar.

### Ladeinfrastruktur

Ein weiteres Akzeptanzkriterium von Elektromobilität ist seine Ladeinfrastruktur. 40 Prozent der Befragten gaben an, dass sie an einer Ladesäule laden möchten. Zusätzlich sprachen sich viermal soviel Personen für eine öffentliche Ladeinfrastruktur gegenüber einer halböffentlichen Ladeinfrastruktur aus. Zudem gaben 50 Prozent der Befragten an, dass sie über eine eigene Lademöglichkeit verfügen.

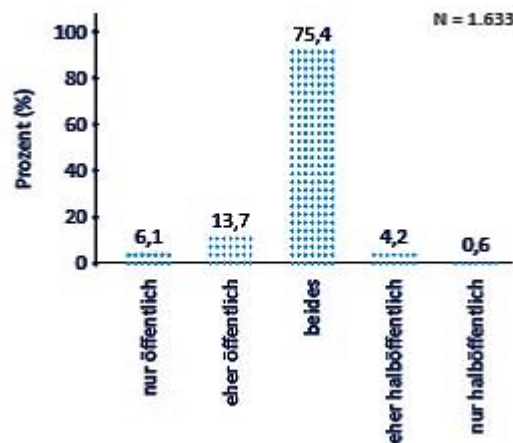


Abb. 24 Präferenzen öffentliches u. halböffentliches Laden<sup>167</sup>

### Abrechnungs- und Bezahlssysteme

Der Kunde möchte ein einfaches Bezahlssystem, z.B. bar oder per Eurocheque. Aufwendigere Systeme wie ID-Cards oder Fahrzeug-IDs stehen dem nach.<sup>168</sup>

<sup>167</sup> TU-Braunschweig/P3 Ingenieurgesellschaft GmbH (2013), S. 8.

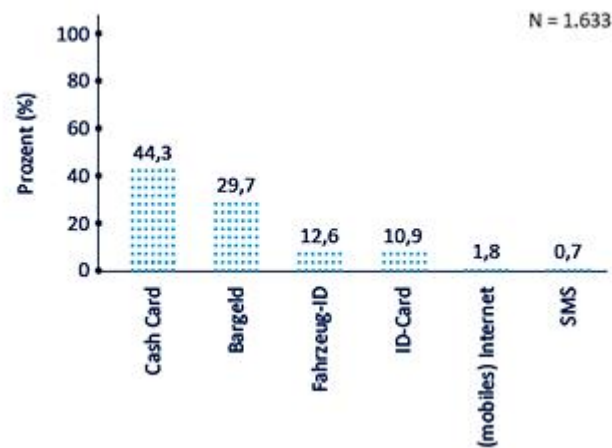


Abb. 25 Rangfolge der Abrechnungs- und Bezahlssysteme<sup>169</sup>

Auf Basis der Untersuchungsergebnisse und der daraus gewonnenen Erkenntnisse können Handlungsempfehlungen für die Automobilhersteller, Infrastrukturbetreiber oder auch politischer Entscheider im Bereich der Elektromobilität abgeleitet werden. Ansatzpunkte sind die Ausgestaltung von Kaufanreizmodellen, die Entwicklung von Ladeinfrastrukturkonzepten, die Definition von einfach handhabbaren Zahlungsmodellen für den Bezug von Ladestrom oder auch die Ableitung von Marketingkonzepten zur Vermarktung der Elektromobilität.<sup>170</sup>

<sup>168</sup> TU-Braunschweig/P3 Ingenieurgesellschaft GmbH (2013), S. 12

<sup>169</sup> TU-Braunschweig/P3 Ingenieurgesellschaft GmbH (2013), S.8.

<sup>170</sup> Vgl TU-Braunschweig/P3 Ingenieurgesellschaft GmbH (2013), S. 14.

## **5.4. Ökologische Aspekte**

### **5.4.1 Energieverbrauch und Treibhauseffekt**

Gegenwärtig existieren eine Vielzahl von Studien zu Energieverbrauch und Treibhauseffekt, in Verbindung mit Elektrofahrzeugen. Viele vertreten den Standpunkt, dass der Ladevorgang die Schwachstelle des Elektrofahrzeuges in Punkto Energieverbrauch ist. Ein Elektrofahrzeug kann emissionsfrei fahren, vorausgesetzt die Energie stammt größtenteils aus erneuerbaren Energien. Gegenwärtig dominieren diese in Deutschland noch nicht den Strommarkt. Doch macht man bezüglich der Klimabilanz keinen Rückschritt – sondern erschließt zeitgleich andere Vorteile der Elektromobilität (lokale Umweltwirkungen, Lärm, Diversifizierung etc.).

### **5.4.2 Umweltverschmutzung**

Die lokalen Umweltprobleme des deutschen Verkehrssektors bestehen aus Belastungen von Partikeln, Stickstoffoxiden und Lärm. An diesem Sachverhalt ist der konventionelle Antrieb zu einem überwiegenden Teil beteiligt. Elektrofahrzeuge haben Verbrennungsmotoren gegenüber einen entscheidenden Vorteil. Das rein elektrische Batteriefahrzeug verursacht generell keine lokal wirksam luftgetragenen Lärmemissionen.<sup>171</sup>

---

<sup>171</sup> Vgl. Ketterer, B./Karl, U./Möst, D (2009), S.1-7.

## 6 Marktpenetration von Elektrofahrzeugen

### 6.1. Gegenwärtiger Marktanteil

Trotz erheblicher technischer Fortschritte der elektrischen Antriebe und einer wachsenden Zahl von verfügbaren Serienfahrzeugen fristet die Elektromobilität gemessen an den Zulassungszahlen von batteriebetriebenen Elektrofahrzeugen auch heute noch ein Schattendasein. Bemerkenswert ist, dass zwischenzeitlich viele Fahrzeuganbieter serienreife Elektromobile in Ihrem Portfolio haben und Neulinge wie TESLA die Konkurrenz in der Branche bereichern. Die nachfolgende Liste zeigt die bereits produzierten und bis 2015 angekündigten batteriebetriebenen Elektromodelle, welche im Handel erhältlich sind bzw. bis 2015 sein werden.

car make	size class	PHEV	launch	range [km]	charge [h]	pruce [CHF]	luggage [liter]	length [mm]	mass [kg]	battery 100km/h [kWh]	[g]
Tesla Roadster	Micro		2010	343	3.5	135000	100	3937	1235	56	3.9
Mitsubishi i-MiEV	Micro		2010	150	8	45690	170	3480	1185	16	13.5
Chevrolet Volt	Compact	Yes	2011	80	4	50490	310	4498	1715	18	9
Fisker Karma	Fullsize	Yes	2011	80	9	129900	200	4996	2200	20	5.9
Citroen zEro	Micro		2011	150	8	45690	170	3480	1185	16	13.5
Nissan leaf	Compact		2011	175	8	46650	330	4445	1595	24	11.9
Toyota Prius Plug-in	Compact	Yes	2012	23	1.5	45300	445	4460	1500	4.4	10.7
Honda FCEV Platform	Compact	Yes	2012	24	1.5	48050	310	4560	1500	6	10
Volvo V60 Plug-in hybrid	Compact	Yes	2012	50	4.5	50000	320	4628	2026	12	6.9
Opel Ampera	Compact	Yes	2012	80	4	52900	310	4498	1712	16	9
smart fortwo electric drive	Micro		2012	145	8	28290	220	2695	900	17.6	12.9
Peugeot iOn	Micro		2012	150	8	73800	170	3480	1185	16	13.5
Renault Zoe	Compact		2012	160	8	34832	292	4086	1392	22	8
Honda Jazz EV	Compact		2012	160	5.75	38500	300	3900	1460	26.5	12.1
Ford Focus Electric	Compact		2012	160	3.5	49000	277	4361	1614	23	10
Renault Fluence Z.E	Compact		2012	160	8	47100*	317	4748	1543	22	9.9
Renault Kangoo Z.E	Compact		2012	160	8	28404*	3000	4213	1410	22	5.1
Renault Kangoo Maxi Z.E	Compact		2012	160	8	31500*	4000	4597	1483	22	5.1
Renault Twizy	3-Wheeler		2012	115	4	9600*	40	2337	450	7 (<80km/h)	
Toyota RAV4 EV (US only)	Fullsize		2012	140	18	80000*	1031	4232	1560	90	8
Coda	Compact		2012	175	6	39900	399	4470	1665	31	4.9
Toyota iQ EV	Micro		2012	91		22950	80	2990	1120	24	5
Tesla Model S	Fullsize		2013	260	18	71250	1042	4978	1735	42	5.6
Tesla Model S	Fullsize		2013	370	30	83750	1042	4978	2071	70	5.6
Tesla Model S	Fullsize		2013	480	40	95250	1042	4978	2311	90	5.6
Audi A1 e-tron	Compact	Yes	2013	50	4	32150	270	3954	1200	12	10.2
Ford C-Max Energi	Compact	Yes	2013	50	3	46863	765	4409	1510	10	10
VW E-Up!	Micro		2013	130	5	23186	80	3190	1100	18	11.3
Hyundai BlueOn	Micro		2013	140	6	26330	225	3585	1283	16.4	13.1
VW Golf blue e-motion	Compact		2013	150	8	36900	237	4199	1545	26.5	11.8
BMW i3	Compact		2013	160	6	49200	200	3845	1250	27.6	7.9
Mercedes B E-Cell	Compact	Yes	2014	100	5	53000	486	4359	1534	11	11.6
Chevrolet Volt MPV5	Compact	Yes	2013	44.8	4	50490	310	4498	1715	16	9
Tesla Model X	Fullsize		2014	370	30	84000	1042	4978	2071	60	4.4
Tesla Model X	Fullsize		2014	480	40	95250	1042	4978	2311	85	4.4
Audi A2 concept	Compact		2015	200	4	48050	310	3800	1150	31	9.3

Abb. 26 Liste der zurzeit angekündigten oder produzierten Elektrofahrzeuge<sup>172</sup>

<sup>172</sup> de Haan/Zah (2013), S.18.

Anmerkung: Angaben zur Größe des Gepäckraums, des Leergewichts und der benötigten Zeit für die Beschleunigung von 0 auf 100 km/h wurden, wenn fehlend, geschätzt.

Trotz einer größeren öffentlichen Aufmerksamkeit und zunehmenden Interesses für die neue Antriebstechnologie hat sich dies, zumindest in Deutschland, noch nicht erfolgreich in den Verkaufszahlen niedergeschlagen. Laut Statistischen Bundesamt wurden in Deutschland im Jahre 2012 nur 2.956 batteriebetriebene Elektrofahrzeuge verkauft.<sup>173</sup> Zwar hat sich diese Zahl im Jahr 2013 auf 6.051 Neuzulassungen verdoppelt, jedoch kann man bei einem Marktanteil von 0,2 Prozent noch nicht einmal von einem Nischenmarkt sprechen. Elektromobilität spielt gegenwärtig nur eine untergeordnete Rolle in Deutschland.

Dass es auch anders geht, zeigen die Verkaufszahlen einiger „Erfolgsländer“. Automobilersteller in den USA verkauften im Jahr 2013 etwa 97.000 batteriebetriebene Fahrzeuge – 83 Prozent mehr als im Vorjahr. Auch in Europa gibt es gute Beispiele: So hatten in Norwegen Elektrofahrzeuge im Jahr 2013 einen Anteil von 5,5 Prozent bei den Neuzulassungen. Dank staatlicher Maßnahmen registrierten die Niederlande im Dezember 2013 einen Marktanteil der Batteriewagen von 24 Prozentpunkten. Neben Fördergeldern haben sich vor allem Steuervergünstigungen in den drei genannten Ländern als verkaufsfördernd erwiesen.<sup>174</sup>

Trotz nationaler Erfolge im Verkauf von Elektrofahrzeugen, ist in globaler Hinsicht kein signifikanter Durchbruch dieser Technik zu verzeichnen. Die Gründe dafür sind verschieden: Obgleich Umweltaspekte wie reduzierter Verkehrslärm und Imagekampagnen den Bekanntheitsgrad und das Interesse an elektromobilen Zukunftstechnologien steigern, überwiegt dennoch eine Kaufzurückhaltung, die sich insbesondere auf die hohen Kosten, kurze Reichweiten, lange Ladezeiten oder auf den bislang unausgereiften Entwicklungsstand der Technologie zurückführen lässt. Teils mangelnder Informationsstreuung besteht häufig Unkenntnis darüber, welche Möglichkeiten staatlicher Fördermaßnahmen bestehen, um die Kosten für die Anschaffung und den Unterhalt eines Fahrzeuges zu reduzieren und diese mit den Konditionen eines spritbetriebenen Fahrzeuges vergleichbar zu machen oder sogar besser zu stellen.

---

<sup>173</sup> Vgl. [www.ezapftis.de](http://www.ezapftis.de)

<sup>174</sup> Vgl. [www.manager-magazin.de](http://www.manager-magazin.de)

Ebenfalls ist das Argument der Reichweite von Elektrofahrzeugen nur bedingt nachvollziehbar, da die Leistungsstärke von vielen Elektromodellen inzwischen ausreicht, um tägliche Strecken problemlos zu bewältigen. Fahrzeugbesitzer benutzen ihr Fahrzeug zum täglichen Pendeln zwischen Heim und Arbeitsstätte sowie für andere innerstädtische Fahrten bis max. 100 km. Bei einer ADAC-Umfrage wurde der Arbeitsweg von 72,9 Prozent der Teilnehmer mit einer maximalen Fahrtstrecke von 60 km angegeben, die Fahrten zu Freizeitaktivitäten liegen für 65,2 Prozent im Bereich bis 50 km und bei den Einkaufsfahrten werden von 87,7 Prozent bis zu 30 km zurückgelegt.<sup>175</sup> Für ein herstellerübergreifendes und alltagtaugliches Fahrzeug ergibt sich derzeit eine Reichweite bis etwa 150 km mit einer vollständigen Aufladung des Elektroautos.<sup>176</sup> Basierend auf diesen Umfrageergebnissen könnte daher bereits heute ein Großteil der Autofahrer mit der möglichen Reichweite von Elektroautos die täglichen Fahrten mit einem Elektroauto durchführen.<sup>177</sup> Auffallend ist aber gleichzeitig die konträre Erwartungshaltung der Kunden. So gaben beim ADAC nur etwa 10 Prozent der Befragten an, mit einer Reichweite von 100 km zufrieden zu sein.<sup>178</sup> Das bis jetzt noch häufig genannte Argument der mangelnden Ladeinfrastruktur hilft das Problem der Reichweite, in vielen Köpfen, aufrecht zu erhalten. Jedoch schränkt die noch mangelnde Reichweite tatsächlich die spontane Flexibilität, d.h. ungeplante Fahrten sowie Fahrten über größere Entfernungen (>150km) ein.

Dehnt man den Begriff der Elektromobilität von reinen batteriebetriebenen Elektromobilen auf Hybridfahrzeuge aus, sieht man bereits einen deutlich größeren Verkaufserfolg der Hybridtechnologie bzw. Elektromobilität, die sich auch in den Zulassungszahlen niederschlägt. Die angeführten Nachteile der rein batteriebetriebenen Fahrzeuge werden durch die höhere Flexibilität der Hybridtechnologie wettgemacht und vom Käufer entsprechend positiv bewertet. Ein umweltschonenderes Fahrzeug mit herkömmlicher Reichweite und Flexibilität ist deutlich attraktiver, selbst bei leicht höheren Anschaffungskosten. Laut einer Schätzung des Konzerns Toyota wurden seit Einführung der Hybridtechnologie in Serienfahrzeugen

---

<sup>175</sup> Vgl. ADAC (2009), S. 17 in Klumpp/Backhaus/Döther/Heupel (2011), S.85.

<sup>176</sup> Vgl. Klima: aktiv mobil (2010), S.15 in Klumpp/Backhaus/Döther/Heupel (2011), S.85.

<sup>177</sup> Vgl. Klumpp/Backhaus/Döther/Heupel (2011), S.85.

<sup>178</sup> Vgl. ADAC (2009), S. 27 in Klumpp/Backhaus/Döther/Heupel (2011), S.85.

bis heute ca. 6,5 Millionen Hybridfahrzeuge weltweit verkauft.<sup>179</sup> Toyota ist der weltweite Marktführer mit einem Anteil von knapp 5 Millionen Fahrzeugen. 12,5 Prozent aller derzeit weltweit verkauften Toyota-Fahrzeuge haben einen Hybridantrieb.<sup>180</sup> Die größten Absatzmärkte sind die USA und Japan mit inzwischen mehr als zwei Millionen Fahrzeugen insgesamt.<sup>181</sup> Der Erfolg der Hybridtechnologie bewirkte in den USA im Jahre 2012 einen Marktanteil von 3,4 Prozent, der jährlich weiter zunehmen dürfte. Der Trend über den Zeitraum von 2010 bis 2012 spricht deutlich dafür, da die Zulassungszahlen pro Jahr kontinuierlich steigen. Im Jahre 2012 war es sogar ein deutlicher Sprung aufgrund des Anstiegs von batteriebetriebenen Elektrofahrzeugen - auf über 52.000 Fahrzeuge.

Jahr	Hybrid	Elektro	Insgesamt	Anteil am Gesamtmarkt
2010	274.536	19	274.555	2,37
2011	274.000	10.064	284.064	2,23
2012	434.645	52.835	487.480	3,38

Abb. 27 Absatz von Hybrid- und Elektrofahrzeugen in den USA (in Einheiten, Anteile in %)<sup>182</sup>

## 6.2 Marktpenetration und Verkaufsmodelle von Elektrofahrzeugen

„Die Marktpenetration ist eine Wachstumsstrategie (Marketing-Strategie), bei der durch Intensivierung der Marketingaktivitäten den vorhandenen Produkten auf den gegenwärtigen Märkten zu mehr Umsatz verholfen werden soll. Es wird zum einen die Erhöhung von Marktanteilen und zum anderen die Vergrößerung des Marktvolumens angestrebt.“<sup>183</sup>

<sup>179</sup> Vgl. [www.faszination-hybrid.de](http://www.faszination-hybrid.de)

<sup>180</sup> Vgl. [www.toyota.de](http://www.toyota.de)

<sup>181</sup> Vgl. [www.grueneautos.com](http://www.grueneautos.com)

<sup>182</sup> [www.gtai.de](http://www.gtai.de)

<sup>183</sup> [www.wirtschaftslexikon24.com](http://www.wirtschaftslexikon24.com)

Wie die Erfolgsbeispiele USA, Norwegen und Niederlande deutlich zeigen, haben staatliche Förderpolitiken, also monetäre und/oder nichtmonetäre Anreize einen unmittelbaren Einfluss auf die Verkaufszahlen von Elektrofahrzeugen und beweisen einen messbaren Erfolg der Elektromobilität.

Zahlreiche Studien mit teils sehr unterschiedlichen Ergebnissen sind ein Beleg dafür wie schwer es ist, zukünftige Marktentwicklungen dieses Segments zu indizieren und zu berechnen. Zu viele Unsicherheitsfaktoren spielen eine Rolle, die zum heutigen Zeitpunkt nicht vorhersehbar sind bzw. sich aufgrund äußerer Einflüsse ständig ändern können. Keiner kann vorhersagen wie sich Kerntechnologien (z.B. die Batterietechnik) weiterentwickeln, ob und wie nationale Förderprogramme aufgesetzt werden - auch in Abhängigkeit der sich ständig ändernden finanziellen Rahmenbedingungen, ob Städte und Kommunen der Elektromobilität Vorrang einräumen, aber auch ob der Faktor Mensch die neue Technologie annimmt, akzeptiert und im Konsumverhalten priorisiert.

Da eine Vielzahl von Kombinationen dieser Einflussfaktoren möglich ist, arbeiten viele Studien und Untersuchungen zu Marktentwicklungen mit verschiedenen Szenarien, um die verschiedenen Rahmenbedingungen grob berücksichtigen zu können. Oft wird ein negatives und positives Case Scenario abgebildet, um die zwei gegensätzlichsten möglichen Marktentwicklungen abzubilden. Im Rahmen dieser Arbeit sollen am Beispiel von zwei durchgeführten Untersuchungen die möglichen Marktentwicklungen für Deutschland aufgezeigt werden. Interessant ist dabei, ob die Verfasser dieser Studien auf einem Markt mit einem bisher eher sehr verhaltenem Erfolg von batteriebetriebenen Elektrofahrzeugen, gemessen an den Verkaufszahlen, ein deutliches Wachstumspotential erkennen und wenn ja, unter welchen Rahmenbedingungen.



**Studie 1:**

**Klumpp, Matthias (Hrsg.); ild Schriftenreihe Logistikforschung Band 19, „Elektroauto – Milliardengrab oder Erfolgsstory?“,**

**Entstehungsgeschichte, Marktanalyse 2010 und Zukunftspotenziale der Elektromobilität, Essen 2011**

In der Studie werden zwei Szenarien über die mögliche Entwicklung von Elektroautos in Deutschland vorgestellt in denen konventionelle Fahrzeuge in unterschiedlichem Maße durch Elektrofahrzeuge substituiert werden. Die Prognosen des Minimal-Szenarios und des Maximal-Szenarios für das Jahr 2020 basieren auf Überlegungen der Forschungsstelle für Energiewirtschaft e. V. Als Berechnungsgrundlage für diese Studie wurde von 46,2 Mio. zugelassenen Pkw in Deutschland im Jahr 2004 ausgegangen.<sup>184</sup> Die voraussichtliche Serienreife der Elektrofahrzeuge wird für das Jahr 2015 unterstellt.<sup>185</sup> Als Elektromobile werden rein batteriebetriebene Fahrzeuge sowie Plug in Hybride berücksichtigt.

**Minimal Szenario**

Grundlegende Annahmen in diesem Szenario sind,:

- dass seitens der Politik oder Wirtschaft keine weiterführenden Fördermaßnahmen eingeführt werden,
- dass zukünftig mehr Fahrverbote in Innenstädten eingeführt werden um die Schadstoffemission einzudämmen,
- dass das Verkehrsaufkommen in den Innenstädten bei ca. 1,5 Millionen Fahrzeugen liegt,
- dass Elektrofahrzeuge aufgrund hoher Anschaffungspreise nur als Zweitwagen angeschafft werden, Haushalte mit geringem Einkommen schaffen sich kein Elektrofahrzeug an, sondern nutzen sowohl für das Pendeln zur Arbeit, als auch für lange Distanzen ein konventionelles Fahrzeug.

---

<sup>184</sup> Vgl. Blank, T. (2007), S. 42. in Klumpp/Backhaus/Döther/Heupel (2011), S.95.

<sup>185</sup> Vgl. Klump /Backhaus/Döther/Heupel (2011), S.95.

Unter Annahme dieser Voraussetzungen würden in diesem Minimal Szenario in Deutschland im Jahre 2020 ca. 840.000 Elektrofahrzeuge zugelassen, was in etwa einem Marktanteil von 1,8 Prozent entspricht.<sup>186</sup>

### *Maximal Szenario*

Dem Maximal Szenario liegen folgende grundsätzliche Annahmen zugrunde:

- dass staatliche Förderprogramme mit ausgewählten monetären und nicht-monetären Instrumenten eingeführt werden,
- dass Dank des technischen Fortschrittes durch leichtere Fahrzeuge und leistungsfähigeren Batterien größere Reichweiten möglich sind,
- dass diese Verbesserungen einhergehen mit sinkenden Preisen der Fahrzeugkomponenten und einem gleichzeitig steigendem Ölpreis, wodurch die Rentabilität von Elektroautos steigen würde,
- dass sich auch Haushalte mit geringerem Einkommen Elektroautos leisten könnten und Haushalte mit weiten Strecken zur Arbeit oder im privaten Bereich Elektroautos auch als Erstfahrzeug in Betracht ziehen.

Unter Berücksichtigung dieser Annahmen würden in einem Maximal Szenario im Jahre 2020 in Deutschland etwa 8,4 Millionen Fahrzeuge zugelassen werden, was einem Marktanteil von ca. 18,2 Prozent entspricht.<sup>187</sup>

---

<sup>186</sup> Vgl. Klumpp/Backhaus/Döther/Heupel (2011), S.96.

<sup>187</sup> Vgl. Klumpp/ Backhaus/Döther/Heupel (2011), S.96f.

**Studie 2:**

***Fraunhofer ISI, „Markthochlaufszzenarien für Elektrofahrzeuge“, Studie im-Auftrag der acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften und der Arbeitsgruppe 7 der Nationalen Plattform Elektromobilität (NPE), Karlsruhe 2013***

Innerhalb dieser Studie werden 3 Szenarien betrachtet. Im Mittelpunkt der Untersuchung steht ausschließlich das Ergebnis, welchen Einfluss die Total Cost of Ownership (TCO) auf den Markthochlauf von Elektrofahrzeugen haben. „Die drei festgelegten Szenarien unterscheiden sich in der Festlegung ihrer Rahmenbedingungen folgendermaßen: Im Pro-EV-Szenario werden eher optimistische Annahmen bezüglich eines Markterfolgs von Elektrofahrzeugen gesetzt, im Contra-EV-Szenario werden eher pessimistische Annahmen zusammengefasst und im dritten Szenario werden mittlere Annahmen unterstellt. Die drei Szenarien beschreiben Entwicklungen für Deutschland bis 2020 und werden wie folgt benannt:

- Annahmen Pro-Elektrofahrzeuge („**Pro-EV-Szenario**“)
- Annahmen Kontra Elektrofahrzeuge („**Contra-EV-Szenario**“)
- Mittlere Annahmen („**Mittleres Szenario**“).

In keinem Szenario werden extreme Annahmen getroffen, weshalb zusätzlich für besonders relevante Einflussgrößen Sensitivitätsrechnungen durchgeführt werden. Ziel der Sensitivitätsanalyse ist neben der Prüfung der Stabilität der Entwicklungen die Identifikation von Parametern, die einen starken Einfluss auf das Ergebnis haben. Es ergibt sich ein Bild über die Unsicherheiten aufgrund der unbekanntem Entwicklung äußerer Faktoren.“<sup>188</sup> Folgende Parameter variieren in den verschiedenen Szenarien: Batteriepreise, Rohölpreise (Kraftstoffpreise) und Strompreise. Die Details finden sich in der folgenden Abbildung.

---

<sup>188</sup> Fraunhofer ISI (2013), S.21.

Parameter	Jahr	Pro-EV-Szenario	Mittleres Szenario	Contra-EV-Szenario
Dieselpreis [€/Liter]	2013		1,45	
	2020	1,73	1,58	1,43
Benzinpreis [€/Liter]	2013		1,57	
	2020	1,79	1,65	1,54
Strompreis Privat [€/kWh]	2013		0,265	
	2020	0,29	0,29	0,33
Strompreis gew. [€/kWh]	2013		0,20	
	2020	0,215	0,215	0,25
Batteriepreis [€/kWh]	2013	470	520	575
	2020	320	335	370

Abb. 28 Parameter für die drei Szenarien (alle Preise sind reale Bruttopreise inkl. Mehrwertsteuer mit 2012 als Basisjahr)<sup>189</sup>

Auf Basis dieser verschiedenen Annahmen ergeben sich für die drei Szenarien folgende Hochlaufkurven mit den erwarteten Zulassungszahlen in Deutschland im Jahre 2020:

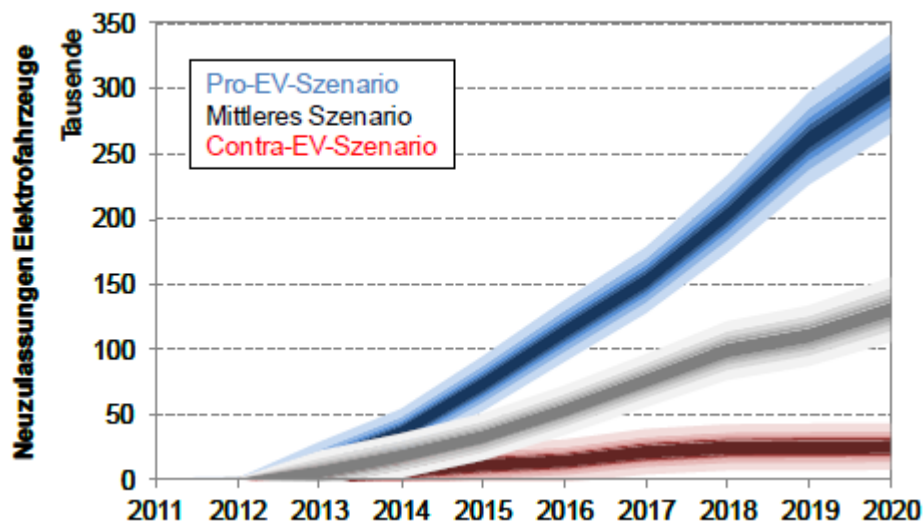


Abb. 29 Neuzulassungen pro Jahr nach TCO-Entscheidung<sup>190</sup>

<sup>189</sup> Fraunhofer ISI (2013), S.22.

<sup>190</sup> Fraunhofer ISI (2013), S.121.

Die Zulassungszahlen variieren im Jahre 2020 zwischen 300.000 Fahrzeugen im günstigsten Pro EV Szenario, ca. 125.000 Fahrzeugen im mittleren Szenario sowie 25.000 Fahrzeugen im Contra EV Szenario.

### **6.3. Fazit**

Schon aus diesen zwei Beispielen von Untersuchungen lässt sich erkennen, wie groß die Bandbreite der Erwartungen für zukünftige Zulassungszahlen von Elektrofahrzeugen ist und wie schwierig die Prognosen in Abhängigkeit aller zu berücksichtigender Faktoren sind. Während in Studie 1 selbst im minimalen Szenario noch 840.000 Fahrzeuge im Jahr zugelassen werden, werden in Studie 2 im Contra EV Szenario nur 25.000 Fahrzeuge 2020 als Neuzulassungen erwartet. Dies entspricht einer Differenz von 97 Prozent. Ähnlich verhält es sich im Best Case Szenario von 300.000 Fahrzeugen versus 8,4 Millionen Fahrzeuge im Jahr 2020, dies entspricht ebenfalls einer Differenz von ca. 97 Prozent.

Vielen Studien ist gemein, dass flankierende politische Rahmenbedingungen zur Unterstützung der Elektromobilität einen erheblichen Einfluss auf die Geschwindigkeit des Markthochlaufs haben. Diese Maßnahmen müssen vor allem darauf hinzielen die Technologie leistungsfähiger zu machen, aber vor allem auch die Kosten für Käufer attraktiver und für Nutzer aus allen Gesellschaftsschichten bezahlbar zu gestalten.

## 7 Förderung von Elektromobilität

### 7.1 Instrumente der Förderpolitik

Aufgrund zahlreicher Nachteile gestaltet sich die Konjunktur der Elektromobilität verhalten. Die genannte magische Jahreszahl „2020“ der Deutschen Bundesregierung, als Zeitpunkt der Etablierung von 20 Millionen Elektrofahrzeugen, scheint gegenwärtig schwer realisierbar. Die Verschiebung der Marktdurchdringung von Elektrofahrzeugen kollidiert mit den Ansprüchen der nachhaltigen Klima-, Umwelt-, und Verkehrspolitik, zu deren Notwendigkeit sich Nationalstaaten und weitere Akteure der internationalen Wirtschaft ausgesprochen und teils vertraglich vereinbart haben. Ziele wie die Eindämmung des Treibhauseffekts können bei einer verzögerten Implementierung der Elektromobilität nur schwer mit den derzeitigen klimapolitischen Ambitionen in Einklang gebracht werden.

Der Politik kommt bei der Umsetzung von Klimazielen eine Schlüsselrolle zu. Key-Technologien - wie die der Elektromobilität - müssen Prioritäten in der Unterstützung und Förderung eingeräumt werden. Wichtigste Aufgabe der Politik ist es mit geeigneten Investitions- und Fördermaßnahmen Anreize zu schaffen, die der Elektromobilität mittel- und langfristig zum Durchbruch verhelfen.

Eine gezielte Stimulation der Elektrofahrzeuge kann Nachteile, die Nutzer und Hersteller davon abhalten in Elektromobilität zu investieren, kompensieren und der Technologie zu einem weiteren Sprung verhelfen. Sind es aus Sicht der Hersteller die eingangs hohen Investitionskosten, die trotz unklarer Marktdynamik und schwer zu kalkulierender Absatzentwicklung notwendig werden, sind es die hohen Anschaffungskosten für private Nutzer von Elektrofahrzeugen, oder ist es die noch mangelhafte Ladeinfrastruktur, die durch die bislang geringen Reichweiten notwendig wird – all diese Anschubhemmnisse von Elektromobilität sind mit den „Grünen Gewissen“ allein kaum zu beheben.

Viele Regierungen (z.B. Deutschland, Frankreich und Niederlande) haben die Notwendigkeit von politischen Regelungen und unterstützenden Programmen als

flankierende Maßnahmen der Einführung von Elektromobilität erkannt und bereits seit Jahren umgesetzt. Grundidee der Förderung von Elektromobilität ist einerseits die Technologieentwicklung durch eine gezielte Entwicklungsförderung zu stützen, z.B. von Schlüsseltechnologien, als auch andererseits eine Subventionspolitik im Sinne einer Endverbrauchersubvention zur Stimulierung von Käuferanreizen einzuführen. Diese lassen sich nach monetären und nichtmonetären Anreizen unterscheiden.

### **7.1.1 Förderung zur Technologieentwicklung**

Der Grundgedanke, der sich hinter einer Entwicklungsförderung befindet, ist gezielte Anreize durch öffentliche Forschungs- und Entwicklungszuschüsse für Automobilhersteller, Zulieferer aber auch andere Forschungseinrichtungen und Universitäten zu geben, damit diese die Entwicklung von Key-Technologien vorantreiben. In der Elektromobilität sprechen wir bei Key-Technologien vor allem über Speicher-, Hybrid- und Ladetechnologien sowie der Entwicklung leichter Materialien zur Gewichtsreduzierungen von Elektrofahrzeugen.

Anhand von existierenden Förderprogrammen ist sichtbar, dass sich vor allem speziell aufgesetzte nationale Förderprogramme zur Technologieentwicklung eignen. Die Forschungs- und Entwicklungszuschüsse helfen, die hohen finanziellen Entwicklungsaufwendungen der Industrie zu reduzieren. Hilfreich ist auch die finanzielle Unterstützung von nationalen Partnerschaften aus Regierungen, Industrie und Forschungseinrichtungen zur Bündelung von Know-How aus verschiedenen Bereichen zur Forcierung der Technologieentwicklung.

Natürlich spielen aber auch nationale Interessen eine große Rolle. Die Entwicklung von traditionellen Technologien (z.B. Verbrennungsmotoren) rückt in den Hintergrund, grundlegend neue Antriebskonzepte müssen entwickelt werden. Dadurch ergibt sich im Unterschied zur Vergangenheit eine identische Ausgangslage für alle Industrienationen, so dass „die Karten“ neu gemischt werden. Durch industrielle Restrukturierungen, Optimierung der Ressourcenverteilung und Entwicklung neuer Antriebskonzepte (speziell elektrischer Antriebe) wollen viele Län-

der, auch aufkommende Industriestaaten, wichtige Positionen in der Neuausrichtung der weltweiten Automobilindustrie besetzen.<sup>191</sup> Daher werden staatliche Zuschüsse zur Schaffung von Arbeitsplätzen gezahlt, um die Attraktivität eines Landes oder einer Region als Wirtschaftsstandort zu fördern oder zinsgünstige Kredite an interessierte Investoren zur Ansiedlung von Produktionsstätten gegeben, die unmittelbar mit der Produktion von Elektrofahrzeugen und Komponenten in Verbindung stehen.

Das dieses gezielt eingesetzte Instrument der Entwicklungsförderung Früchte trägt, ist am Erfolg der Entwicklungsaktivitäten in Bezug angemeldeter Patente zu sehen. In den letzten 10 Jahren ist ein deutlicher Anstieg bei den angemeldeten Patenten für Lösungen in der Hybridtechnologie, als auch für reine Elektroautos zu vermelden. Seit 2009 ist dabei sogar ein deutlicher Anstieg für reine Elektrofahrzeuge, gegenüber der Hybrid- und Brennstoffzellentechnologie zu verzeichnen. 2012 wurde der Höchststand von über 6.000 weltweiten Patentanmeldungen für reine Elektrofahrzeuge erreicht, zurückzuführen wahrscheinlich auf verstärkte Erfolge in der Batterietechnikentwicklung.<sup>192</sup>

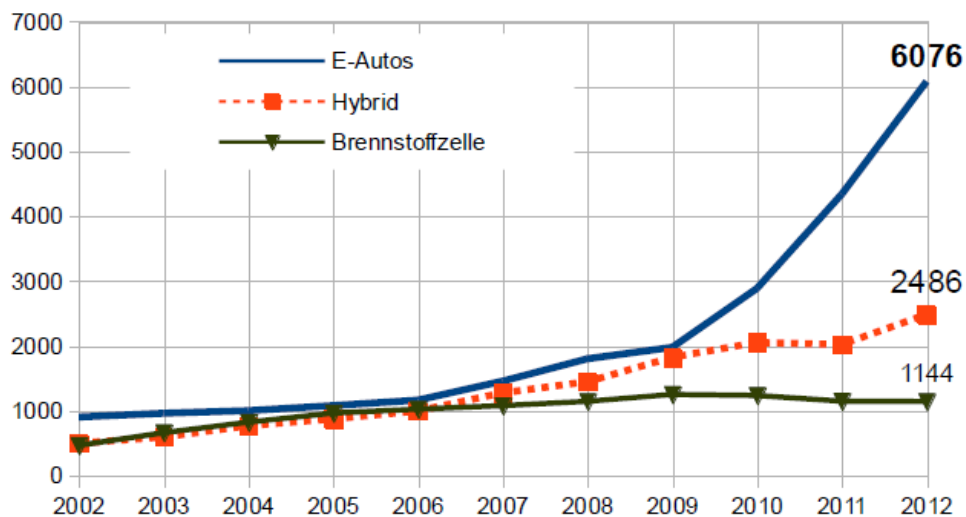


Abb. 30 Entwicklung der Patentanmeldungen weltweit von 2002-2012 für Elektroautos, Hybrid-Fahrzeuge und Brennstoffzellenantriebe<sup>193</sup>

<sup>191</sup> Bozem/Nagl/Rennhak (2013), S. 16.

<sup>192</sup> Grünecker (2013), S.2.

<sup>193</sup> Grünecker (2013), S.2.



## 7.1.2 Endverbrauchersubventionen

### a) Monetäre Anreize

Monetäre Anreize haben den Zweck einerseits höhere Kosten der Elektromobilität auszugleichen, andererseits aber auch die Elektromobilität durch einen günstigeren Unterhalt, gegenüber konventionellen Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor attraktiver zu machen. Gängige Praktiken sind Subventionen im Kaufpreis durch Zahlung einer Prämie bei Neuwagenkauf oder auch Steuervergünstigungen bei Kauf und Betrieb eines Elektrofahrzeuges. Je nach nationalen Steuermodellen können Vergünstigungen oder Wegfall der Kraftfahrzeug-, Erwerbs-, Umsatz-, Luxus- oder Einkommenssteuer berücksichtigt werden. Weitere beispielhafte monetäre Anreize, die bereits national oder lokal gegeben werden, sind der Wegfall von Anmeldegebühren für ein Elektrofahrzeug sowie der Erlass der City Maut, die in manchen Großstädten zur Reduzierung des innerstädtischen Verkehrs erhoben werden.

Monetäre Anreize nicht nur für Privatanutzer, sondern auch für städtische Kommunen führen zu einer Belebung der Elektromobilität. Öffentliche Institutionen und Behörden könnten von finanzieller Unterstützung bei der Umrüstung von Fahrzeugflotten profitieren. Kommunen können Subventionen vom Staat oder Land bei Schaffung von Ladeinfrastrukturen erhalten.

### b) Nichtmonetäre Anreize

Neben monetären Anreizen sind nichtmonetäre Anreize attraktiv, da diese die Mobilität vor allem in verkehrsreichen Großstädten erhöhen können und für viele mögliche Nutzer von Elektrofahrzeugen eine größere Stimulation darstellen. Gute Ansätze sind hier u.a. das Fahren von Elektrofahrzeugen die Nutzung von Bus- und Sonderspuren erlaubt wird sowie eine bevorzugte Parkplatznutzung, möglichst in Verbindung mit einer Ladestation in Innenstädten. Auch könnten abgasfreien Elektrofahrzeugen mittels Plakette

die Einfahrt in städtische Bereiche gestattet werden, die anderen Fahrzeugen verwehrt bleibt.

Nicht zuletzt soll hier auch auf richtungslenkende Gesetzgebung als Instrument der Politik verwiesen werden, die Quote von Elektrofahrzeugen zu erhöhen. Eine Vorreiterrolle hat der Bundesstaat Kalifornien übernommen, der sowohl Abgasregelungen sowie eine Herstellerquote für den Verkauf von Elektrofahrzeugen eingeführt hat.<sup>194</sup>

Die folgende Übersicht soll die Mittel der Endkundensubventionierung noch einmal verdeutlichen:

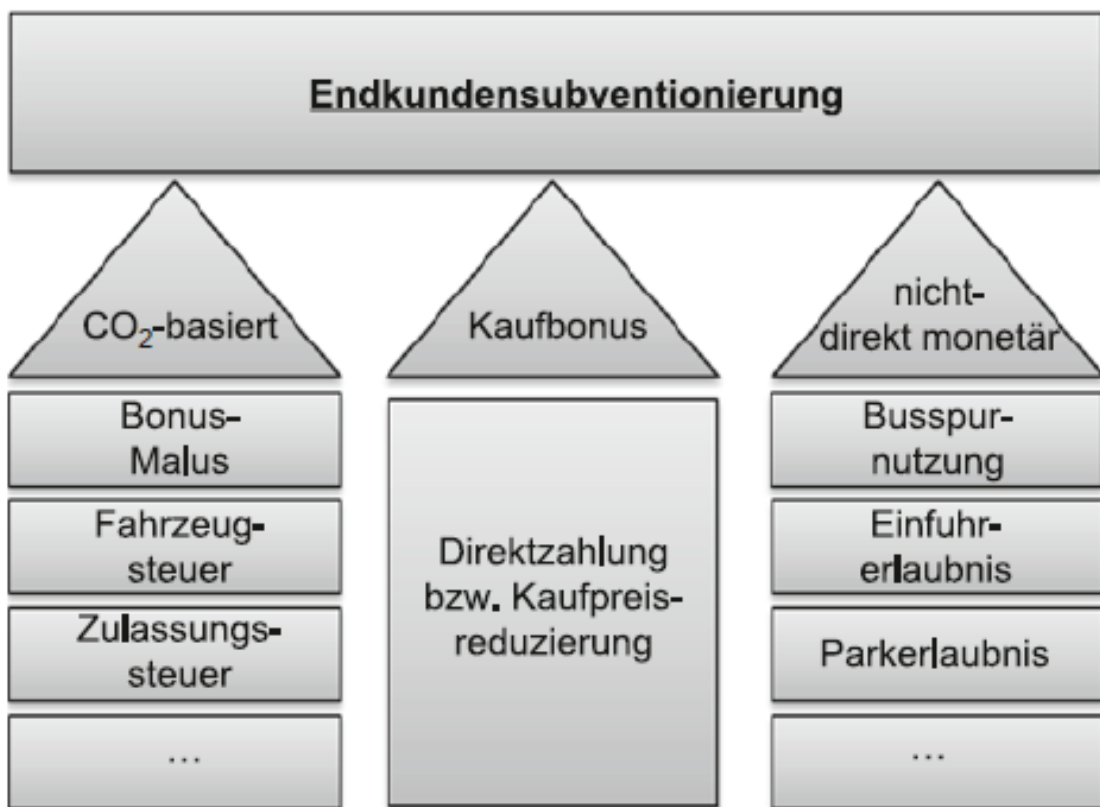


Abb. 31 Kategorien der Endkundensubventionierung<sup>195</sup>

<sup>194</sup> Vgl. Bozem/Nagl/ Rennhak (2013), S.28.

<sup>195</sup> Vgl. Bozem/Nagl/ Rennhak (2013), S.50.

## 7.2. Länderbeispiele

### 7.2.1 China

Die chinesische Regierung unterstützt die Verbreitung von Elektrofahrzeugen durch Förderungen in den Bereichen Produktion, Vertrieb und Infrastruktur. Dies kann durch direkte Investitionen sowie durch Richtlinien für die Entwicklung, Produktion und Anwendung erfolgen und geht aus dem zwölften Fünfjahresplan hervor.<sup>196</sup> „Nach Artikel 4 des Gesetzes zur Besteuerung von Kraftfahrzeugen und Schiffen sind alternative Antriebe seit dem 01.01.2012 steuerbegünstigt zu berücksichtigen.“<sup>197</sup> So wird zum Beispiel für ein Fahrzeug mit bis zu 1,6 Litern Hubraum und maximal neun Sitzplätzen, ein um 50 Prozent reduzierter Steuersatz erhoben (10 zu 5 Prozent) um die Entwicklung der chinesischen Automobilindustrie zu fördern.<sup>198</sup> Auch wird der Kauf von derzeit 71 Modellen von 16 Automobilherstellern mit einer Subvention von 3000,00 CNY gefördert, vorausgesetzt diese befinden sich auf der offiziellen förderungswürdigen Liste und deren Hubraum übersteigt nicht 1,6 Liter.<sup>199</sup>

Laut Festlegung der chinesischen Regierung sind in 25 Pilotstädten, darunter Peking, Chongqing und Shanghai, Kfz-Neuzulassungen für umweltfreundliche Pkw derzeit kostenfrei, um mehr Käufer zum Kauf eines Autos mit alternativem Antrieb zu bewegen.<sup>200</sup> Die Stadt Peking plant im Zeitraum von 2011 bis 2015 die Automobilhersteller bei den Schlüsseltechnologien der Batterie- und Hybridtechnologie zu unterstützen, sowohl bei der Forschung, als auch bei dem Aufbau von neuen Marken und Produktionen. Um diese Ziele zu erreichen, wurden neue Regulierungen, die den Verkauf, die Vermietung und Benutzung von alternativen Pkw betreffen angekündigt.<sup>201</sup> Bei der Anschaffung von öffentlichen Fahrzeugen wie Bussen, Taxen, Krankenwagen und Postfahrzeugen, die mit einem alternativen Antrieb ausgerüstet sind, werden die Stadtregierungen von 20 Modellstädten, darunter

---

<sup>196</sup> Vgl. Bozem/Nagl/ Rennhak (2013), S.19.

<sup>197</sup> Standing Committee of the National People's Congress (2011), o. S. in Bozem/Nagl/ Rennhak (2013), S.19

<sup>198</sup> Vgl. State administration of Taxation (2009), o. S. in Bozem/Nagl/ Rennhak (2013), S.19.

<sup>199</sup> Vgl. Bozem/Nagl/ Rennhak (2013), S.19

<sup>200</sup> Vgl. Chinese Government (2011), o. S. in Bozem/Nagl/ Rennhak (2013), S.19

<sup>201</sup> Vgl. Chinese Government (2011), o. S. in Bozem/Nagl/ Rennhak (2013), S.20.

Peking, Shanghai und Chongqing, Subventionen durch das chinesische Finanzministerium erhalten.<sup>202</sup>

Aktuell entwickelt das chinesische Verkehrsministerium einen Zehnjahresplan, der den Bau von drei bis fünf Elektrofahrzeugwerken ebenso vorsieht wie die Errichtung von zwei bis drei Erzeugungsstätten für Batterien.<sup>203</sup> Im Rahmen eines Pilotprojektes wurden 5 Städte Hefei, Changchun, Hangzhou, Shenzhen und Shanghai mit jeweils mehreren Millionen Einwohnern ausgesucht. In diesen wird der Kauf eines Elektroautos mit 3.000,00 bis 50.000,00 CNY gefördert.<sup>204</sup> Ferner haben drei der Pilotstädte zusätzliche Anreizprogramme geschaffen. So wird der Kauf eines Elektrofahrzeuges in Shanghai mit 40.000,00 bis 60.000,00 CNY, in Shenzhen mit 30.000,00 CNY und in Changchun mit 40.000,00 CNY subventioniert.<sup>205</sup>

## 7.2.2 Japan

Seit Jahrzehnten unterstützt die japanische Regierung die Entwicklung der Elektromobilität bereits mit gesetzlichen Vorgaben, Forschungsförderung und Kaufanreizen.<sup>206</sup> Festgehalten wurden die Ziele der Regierung für die Verbreitung elektrifizierter Fahrzeuge 2010 im Next Generation Vehicle Plan des METI<sup>207</sup> (METI, 2010).<sup>208</sup>

Die japanische Regierung versucht durch Kaufprämien das Preisniveau von Elektrofahrzeugen erheblich zu senken, um diese wettbewerbsfähiger gegenüber Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor zu machen. Mit Hilfe staatlicher Subventionen kann der Kaufpreis eines Elektroautos um bis zu 25 Prozent reduziert werden, wie der japanische Nissan Konzern mit seinem Fahrzeugmodell „Leaf“ demonstriert. Nissan wirbt in großen japanischen Tageszeitungen sowie auf der Firmenhomepage für die hohe Subventionsfähigkeit des Elektrofahrzeuges. Mit Hilfe der Subventionen in Höhe von 9.340 € kann der Verkaufspreis des Nissan Leaf auf ca.

---

<sup>202</sup> Vgl. Chinese Government (2010), o. S. in Bozem/Nagl/ Rennhak (2013), S. 20.

<sup>203</sup> Vgl. Shirouzu (2010), o. S. in Bozem/Nagl/ Rennhak (2013), S.21.

<sup>204</sup> Vgl. Bozem/Nagl/ Rennhak (2013), S.20.

<sup>205</sup> Vgl. School of Public and Environmental Affairs (2011), S. 60 in Bozem/Nagl/ Rennhak (2013), S.20.

<sup>206</sup> Vgl. VDI/VDE-IT/AHK Japan (2014), S.87.

<sup>207</sup> Bezeichnung für japanisches Wirtschaftsministerium

<sup>208</sup> Vgl. VDI/VDE-IT/AHK Japan (2014), S.89.

26.500 € reduziert werden.<sup>209</sup> Weitere Maßnahmen der japanischen Regierung sind Forschungs- und Entwicklungszuschüsse, Steuersenkungen, Einmalprämien und die Aufklärung der Bevölkerung zu alternativen Antrieben.<sup>210</sup> Der Wechsel zu einem Next-Generation-Vehicle wird durch Steuervergünstigungen belohnt. Die KFZ-Steuer für Elektrofahrzeuge ist in Japan um 50 Prozent geringer, als für Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor. Ferner sind Halter von Elektroautos von der Erwerbssteuer, die ca. 5 Prozent des Neufahrzeugpreises beträgt, sowie der Pkw-Tonnagen-Steuer 134 befreit.<sup>211</sup>

### 7.2.3 USA

Die Einführung von alternativ betriebenen Fahrzeugen wird in den USA sowohl von der Regierung, als auch von einzelnen Staaten und Kommunen gefördert. Im Rahmen des *American Recovery and Reinvestment Act 2009* wurden die Steueranrechnungen von 2.482 Dollar auf 7.448 Dollar pro Elektrofahrzeug angehoben. Darüber hinaus investiert die amerikanische Regierung knapp 4 Milliarden € in Entwicklung sowie den Ausbau der Infrastruktur.<sup>212</sup> Die populärsten Maßnahmen sind Steueranrechnungen oder Umsatzsteuerbefreiungen, die von 580 Euro in Utah bis hin zu 15.460 Euro für kommerziell genutzte Fahrzeuge in Kalifornien reichen.<sup>213</sup> Zusätzlich werden die Besitzer von der Motorsteuer befreit. In bestimmten Gebieten wird darüber hinaus die Ladeinfrastruktur subventioniert. Die Summen reichen bis max. 50 Prozent für die Kosten des Baus alternativer Betankungsstationen.<sup>214</sup>

Die Entwicklung einer fortschrittlichen Batterietechnik ist das Kernstück aller Forschungen und Entwicklungen, ist Dreh- und Angelpunkt der Bemühungen. Die Schlüsselkriterien der Batterietechnik umfassen dabei die Speicherkapazität, die Reichweite, die Lebensdauer und Zyklenfestigkeit sowie die ökonomischen und ökologischen Gesichtspunkte. Dabei muss auch die Verwertbarkeit alter Batterien

---

<sup>209</sup> Vgl. Fritz (2011, S. 71). Bozem/Nagl/ Rennhak (2013), S.25

<sup>210</sup> vgl. Japan Automobile Research Institute (2003, o. S.) in Bozem/Nagl/ Rennhak (2013), S.25.

<sup>211</sup> Vgl. Capozza (2011). In n Bozem/Nagl/ Rennhak (2013), S.25f.

<sup>212</sup> Vgl. Department of Energy (2009), o. S. in Bozem/Nagl/Rennhak (2013), S.29.

<sup>213</sup> Vgl. Simon (2010, S. 20). Bozem/Nagl/Rennhak (2013), 29.

<sup>214</sup> Vgl. School of Public and Environmental Affairs (2011, S. 52). in Bozem/Nagl/Rennhak (2013), S.29.

und die Nutzung der Rohstoffe aus diesem Recyclingkreislauf betrachtet werden. Die US-Regierung hat ein sogenanntes *Vehicle Technology Program* erstellt, das der Industrie und den einzelnen Bundesstaaten ermöglicht, eigene Batterie- und Komponentenwerke für Elektrofahrzeuge zu bauen. Die US Regierung hat geplant den Kongress davon zu überzeugen, 650 Millionen Dollar für die Erforschung der Reichweitenverbesserung sowie der Preisreduzierung von alternativ angetriebenen Fahrzeugen zu bewilligen.<sup>215</sup>

Die USA investiert ebenfalls in Forschungsprojekte um die Entwicklung, insbesondere bei der Elektromobilität, voranzubringen. Ein Projekt, das die Akzeptanz in der Öffentlichkeit und deren Alltagstauglichkeit der Elektromobilität beweisen soll, ist beispielsweise das kabellose Aufladen von Elektrofahrzeugen. Das innovative Projekt wird derzeit vom *Office of Energy Efficiency and Renewable Energy* (EE-RE) mit 4 Millionen Dollar unterstützt.<sup>216</sup>

## Deutschland

Im Jahre 2009 hat die Bundesregierung den „Nationalen Entwicklungsplan Elektromobilität“ im Rahmen des „Regierungsprogramm Elektromobilität“ mit dem Ziel verabschiedet, dass Deutschland zum Leitmarkt der Elektromobilität wird.

Um die Ziele aus dem Nationalen Entwicklungsplan Elektromobilität zu erreichen, wird in Deutschland bislang nahezu ausschließlich die Forschung und Entwicklung im Bereich Elektromobilität gefördert. Im Konjunkturpaket II hat die Bundesregierung hierfür insgesamt 500 Millionen Euro bereitgestellt, wobei dies die Förderung der Modellregionen (z.B. Bayern und Baden-Württemberg) in Höhe von 115 Millionen Euro umfasst. Individuelle Kaufanreize für den Erwerb eines Elektromobils sind nach heutigen Aussagen der Bundesregierung für die nächste Zukunft nicht vorgesehen. Ein ursprünglich geplantes Konzept der direkten Zuschussung in Höhe von je 5.000 Euro für die ersten 100.000 Käufer von Elektromobilen wurde nicht umgesetzt. Neben industriepolitischen Gründen wird dabei auch auf die nicht

---

<sup>215</sup> Bozem/Nagl/Rennhak (2013), S.30.

<sup>216</sup> Vgl. U.S. Department of Energy (2012b, o. S.). in Bozem/Nagl/Rennhak (2013), S.31.

ausschließlich positive Erfahrung und die öffentliche Wahrnehmung der Umwelt-/Abwrackprämie verwiesen. Bis heute profitiert der Käufer eines Elektrofahrzeuges deshalb – neben den von selbst eintretenden geringeren Lebenshaltungskosten – lediglich von einer Befreiung von der Kfz-Steuer für einen Zeitraum von fünf Jahren.<sup>217</sup>

Neben dem nationalen Entwicklungsplan Elektromobilität gibt es noch andere zahlreiche Programme und Projekte zur Förderung der Elektromobilität, wie z.B. das Nationale Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie, das mit Mitteln von 1,4 Milliarden Euro unterstützt wird. Weitere Projekte sind die Schaffung von acht Modellregionen, vier Schaufensterregionen als auch sechs F & E Leuchtturmprojekte, mit einer Fördermenge von ca. 1,2 Milliarden Euro zur Entwicklung von Kerntechnologien der Elektromobilität.<sup>218</sup>

Im folgenden Bild werden nochmals alle Programme und Projekte der Elektromobilität sowie die geschaffenen Institutionen, die im Rahmen der Förderung geschaffen wurden dargestellt.

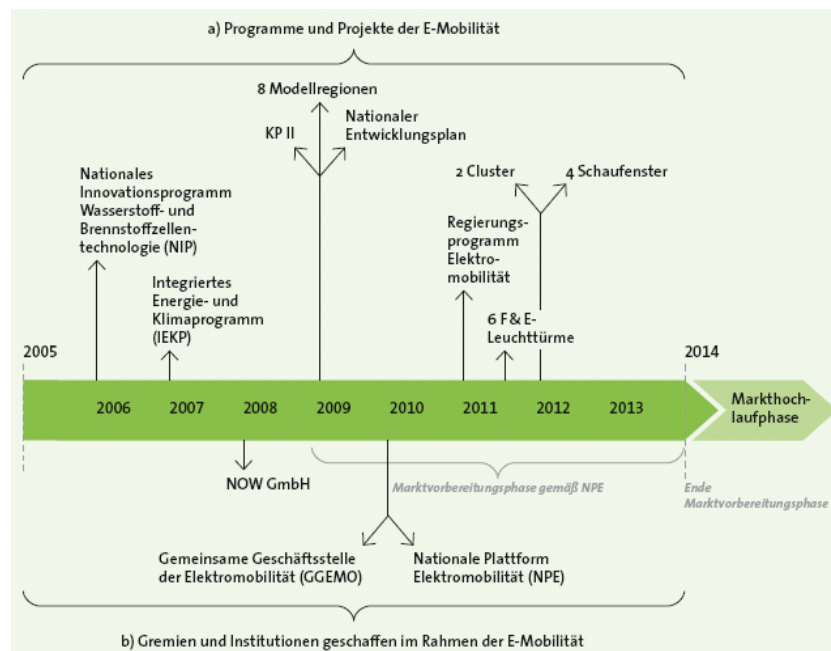


Abb. 32 Programme und Projekte der Elektromobilität<sup>219</sup>:

<sup>217</sup> vgl. [www.bem-ev.de](http://www.bem-ev.de)

<sup>218</sup> ÖPP GmbH (2013), S.20 ff.

<sup>219</sup> ÖPP GmbH (2013), S.20.

### 7.3 Fazit

Ein Vergleich der Ländermärkte zeigt zwei grundlegenden Strategien, innerhalb derer die Regierungen annähernd gleiche Maßnahmen zur Marktdurchdringung von Elektrofahrzeugen ergreifen. Die eine Strategie bindet die Endverbraucher in die Förderung stärker ein, zum Beispiel durch einen Bonus beim Kauf eines Fahrzeuges während die andere Möglichkeit den Fokus auf die Entwicklung legt, um die Technologie nach einer gewissen Optimierungsphase dem Kunden kostengünstiger oder zumindest vergleichbar zu herkömmlich angetriebenen Fahrzeugen anbieten zu können. Die Förderung der Forschung und Entwicklung von elektrofahrzeugspezifischen Komponenten sowie der Ausbau einer flächendeckenden Ladeinfrastruktur sind von höchster Priorität, stehen sie insbesondere in der Einführungsphase an erster Stelle und dienen als Türöffner für die Verbreitung der Elektromobilität.<sup>220</sup>

Für die Entwicklung elektromobiler Märkte bedarf es jedoch nicht nur zwingend monetärer Anreize. Häufig reicht es aus den Rechtsrahmen entsprechend zu ändern oder zu schaffen, damit neue Anreize gesetzt werden können. Aber auch Kommunen können im Rahmen ihrer Selbstverwaltungshoheit eigene Initiativen für mehr Elektromobilität in ihrer Stadt initiieren. So sind etwa Vergünstigungen im Rahmen der Stellplatzsatzung oder Benutzung eigener Fahrspuren ebenso möglich, wie konkrete Vorgaben zum Aufbau von Ladeinfrastruktur in der Bauleitplanung. Deshalb sind nicht nur die Regierungen gefordert, sondern auch der Mut und die Kreativität der Entscheidungsträger in den Kommunen. Auch sie können einen ganz erheblichen Beitrag für mehr Elektromobilität leisten.<sup>221</sup>

Unternehmen sind auf verlässliche Rahmenbedingungen angewiesen. Die Untersuchungen zeigen, dass eine national einheitliche und nachhaltig strukturierte Förderung notwendig ist. Die bisherigen teilweise noch provisorischen Richtlinien der Staaten sowie Förderungen erscheinen volatil und werden teilweise je nach Finanzlage jährlich überarbeitet, verlängert oder gestrichen. Dies könnte zu einem eher zurückhaltenden Investitionsverhalten der Unternehmen und einem zurückhaltenden Kaufverhalten der Endverbraucher führen, die in der fortwährenden An-

---

<sup>220</sup> Bozem/Nagl/Rennhak (2013), S.61.

<sup>221</sup> Vgl. [www.bem-ev.de](http://www.bem-ev.de)



passung mangelnde Transparenz sehen und die Technologie als riskant bewerten.<sup>222</sup>

---

<sup>222</sup> Bozem/Nagl/Rennhak (2013), S.52.

## 8 Neue Geschäftsmodelle der Elektromobilität

### 8.1 Elektromobilität für Kurzstrecken

Trotz zunehmender Angebote von Elektrofahrzeugen, verbesserter Infrastruktur sowie Kaufanreizen, die insgesamt zu einer besseren Alltagstauglichkeit führen, können sich immer noch wenige Fahrzeugbesitzer vorstellen auf Elektromobilität umzusteigen. Ein Umstieg auf ein Elektrofahrzeug ist für die meisten Nutzer/-innen nur dann vorstellbar, wenn es ein echtes Serienfahrzeug geworden ist, dessen „Kinderkrankheiten“ kuriert wurden, das im Preis deutlich gesunken und in den technischen Eigenschaften (v. a. Reichweite) verbessert ist. Zudem müsse das Ladeproblem zufriedenstellend gelöst werden.<sup>223</sup>

Dies alles sind Kinderkrankheiten einer neuen Technologie, die eine Markteinführung erschweren. Jedoch muss man bei genauer Analyse ausgewählter Argumente feststellen, dass es sich gar nicht mehr bei allen Aspekten um reine Kinderkrankheiten handelt. Elektrofahrzeuge werden immer mehr zu Serienfahrzeugen und damit auch immer zuverlässiger. Auch werden Ladeprobleme lokal durch immer bessere Verfügbarkeit von Ladestation im innerstädtischen Bereich behoben.

Unter der Annahme dass die Rohölpreise in den nächsten Jahren nicht exorbitant steigen werden sowie die Reichweite schrittweise Fortschritte machen wird, ist aus technischer und wirtschaftlicher Sicht der Ausbau der Elektromobilität über die nächsten Jahre vor allem für den Kurzstreckenverkehr sinnvoll. Herkömmliche Diesel- und Benzinfahrzeuge haben im Stadtverkehr bei Stopp & Go einen relativ hohen Spritverbrauch, Motor und Getriebe sowie andere Verschleißteile unterliegen einer hohen Abnutzung. Hier werden sich vor allem Elektrofahrzeuge in den nächsten Jahren positionieren. Das Elektrofahrzeug wird in erster Linie in einem überschaubaren Zeitrahmen und überwiegender Verwendung mehr ein Kurzstreckenfahrzeug bleiben, wenn es natürlich auch technisch bereits gute Ansätze für längere Reichweiten gibt. Ein vielversprechender Ansatz ist das Flottenkonzept für

---

<sup>223</sup> Vgl. TU Berlin (o.J), S. 67f.

verschiedene Nutzergruppen, z.B. bei der Post, Pflegediensten oder auch Zustellunternehmen.<sup>224</sup>

Es stellt sich die Frage wie neue Geschäftsmodelle und Konzepte im Zeitalter der aufkommenden Elektromobilität aussehen könnten, um verschiedenen Trends gerecht zu werden und diese zu berücksichtigen. Die zu beobachtenden Haupttrends sind einerseits ein gestiegenes Mobilitätsbedürfnis bei gleichzeitiger Änderung des Mobilitätsverhaltens, bezahlbare und sichere Technologien zur Erfüllung des Mobilitätsbedürfnisses und vor allem die Reduzierung der CO<sub>2</sub> Emission zur Reduzierung des Treibhauseffektes im Sinne einer nachhaltigen Verkehrs- und Klimapolitik.<sup>225</sup>

Es müssen attraktive Angebote und Finanzierungsbedingungen an potentielle Nutzer von Elektromobilität gemacht werden um die noch existierenden, vor allem preislichen Nachteile auszugleichen. Ansatzpunkte sind neue Leasingmodelle aber auch attraktive Angebote für Car-Sharing.<sup>226</sup> Die Sicherstellung des Endkundenzugangs zur Elektromobilität steht bei der Begründung der Geschäftsmodelle im Mittelpunkt. Die neuen Geschäftsmodelle müssen sich daran ausrichten und bedienen sowie sich am Kundennutzen orientieren.<sup>227</sup>

Nicht unberücksichtigt soll bleiben, dass attraktive Angebote vor allem für Konzepte mit großem Fahrzeugbedarf in der Erstausrüstung wie Flotten- oder Car-sharing-Konzepte auch zu einem höheren Gebrauchtwagenmarkt für Elektrofahrzeuge führt. Preiswertere Gebrauchtfahrzeuge machen Elektromobilität für viele private Endnutzer bezahlbar und führen zu einer höheren Attraktivität der Elektromobilität.

---

<sup>224</sup> Vgl. Lienkamp (2012), S.34.

<sup>225</sup> Bozem/Nagl/Rennhak (2013), S.184.

<sup>226</sup> Bozem/ Nagl/Rath (2013), S.40.

<sup>227</sup> Kampker/Vallee/Schnettler (2013), S.129.

## 8.2 E-Carsharing Konzept

„Ein aufsteigendes Geschäftsmodell, um die Mobilitätsbedürfnisse der Kunden zu befriedigen, ist das Carsharing. Dabei steht die Fahrzeugnutzung und nicht der Fahrzeugbesitz im Vordergrund. Das E-Carsharing ist eine Weiterentwicklung des klassischen Geschäftsmodells mit Verbrennungsmotor. Mithilfe dieses Modells kann ein einfacher und günstiger Zugang zu einem neuen Fahrerlebnis in Ballungsgebieten gewährt werden, das gleichzeitig eine transportable Flexibilität der Nutzer erlaubt. Beim E-Carsharing wird eine Elektrofahrzeugflotte einem organisierten Nutzerkreis auf Zeit zur Verfügung gestellt. Der Flottenbetreiber ist für Wartung, Pflege und evtl. anfallende Reparaturen zuständig. Des Weiteren trägt er die Steuern sowie Versicherungs-, Reparatur- und Stromkosten.“<sup>228</sup>

„Insbesondere in Großstädten eignet sich Carsharing, da einerseits meist ein ausgebautenes öffentliches Verkehrsnetz besteht und die Notwendigkeit des Fahrzeugbesitzes somit mindert. Begründet durch die Urbanisierung arbeiten und leben die Menschen am selben Ort, dadurch werden durchschnittlich zwischen 7.000 und 8.000 km pro Jahr von Stadtbewohner zurückgelegt. Bei derartiger Nutzung rentiert sich die Anschaffung eines Elektrofahrzeugs für den Konsumenten nicht; dennoch wird zu vereinzelt Anlässen ein Fahrzeug benötigt.

Daraus ergeben sich für den Fahrzeugnutzer überdies Pooling-Effekte.“<sup>229</sup> „Die Elektrofahrzeuge werden an viel frequentierten Orten wie Flughäfen oder Hauptbahnhöfen auf festen Parkplätzen mit entsprechenden Ladeinstallationen bereitgestellt und können via Internet und Smartphone geortet, auf Verfügbarkeit geprüft und gemietet werden. Klassische Geschäftsmodellbetreiber auf dem Markt für E-Carsharing sind Autovermietungen wie bspw. Sixt oder Europcar sowie schon existierende Carsharing Anbieter für Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor.“<sup>230</sup>

Das Thema „Carsharing“ wird aktuell breitflächig diskutiert und zahlreiche Automobilhersteller versuchen in diesem Markt Fuß zu fassen, um den sinkenden Absatzzahlen vor allem bei jungen Kunden aufgrund eines geänderten Mobilitätsver-

---

<sup>228</sup> Kampker/Vallee/Schnettler (2013), S. 129.

<sup>229</sup> Bozem/Nagl/Rennhak (2013), S.174.

<sup>230</sup> Kampker/Vallee/Schnettler (2013), S. 130.

haltens entgegenzuwirken<sup>231</sup> „Carsharing kommt dem steigenden Umweltbewusstsein vieler Menschen entgegen. Es fördert die individuelle Mobilität der Teilnehmer und trägt gleichzeitig zur Umwelt- und Klimaentlastung bei.“<sup>232</sup> Das das Carsharing Konzept von den Verbrauchern angenommen wird zeigen die Wachstumsszahlen der Branche.

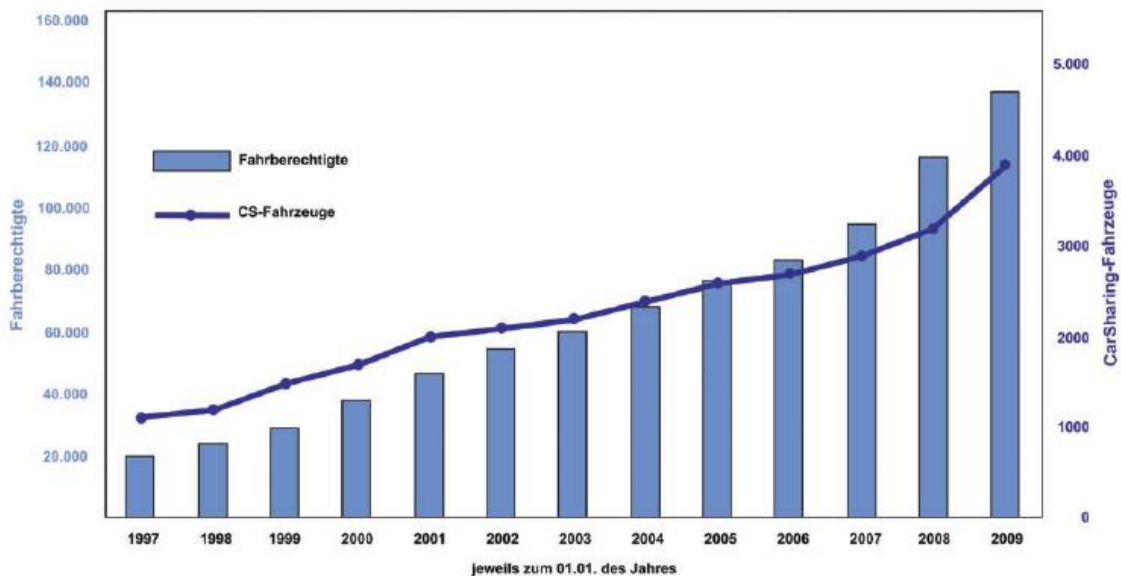


Abb. 33 Entwicklung der Carsharing Nutzung in Deutschland<sup>233</sup>

Als eines der wichtigsten Pilotprojekte startete 2008 das Car2go Projekt, welches sich 4 Jahre später in der konkreten Umsetzungsphase befindet. Car2go ist ein Carsharing Anbieter des deutschen Automobilherstellers Daimler sowie des Mietwagenunternehmens Europcar. Es wird in verschiedenen Innenstädten mehrerer Länder angeboten. In Europa und Nordamerika kann car2go in 25 Städten von über 500.000 registrierten Kunden genutzt werden. Von den rund 10.500 Fahrzeugen sind über 1200 mit batterieelektrischem Antrieb ausgestattet. In Deutschland ist car2go in sieben Städten mit über 3000 Fahrzeugen aktiv und verfügt über 160.000 registrierte Nutzer.<sup>234</sup> Weitere E-Carsharing Unternehmen sind aus der folgenden Abbildung zu entnehmen.

<sup>231</sup> Bozem/Nagl/Rath (2013), S.41.

<sup>232</sup> Bozem/Nagl/Rennhak (2013), S.173.

<sup>233</sup> Bundesverband Car Sharing (BCS), 2009; S.17

<sup>234</sup> wikipedia.org/wiki/Car2go

Anbieter	Region	angekündigte Gesamtflotte (Stand 1.7.2012)	Elektrofahrzeuge (Stand 30.11.2012)	
			Anzahl	Typ/Kommentar
<i>klassische Carsharingangebote</i> (ausschließlich feste Standorte, vorbestimmte Nutzungsdauer)				
Flinkster (DB Rent GmbH)	140 Städte (D, A)	4.500	100	Citroën e-C1, Citroën C-Zero, Smart ED (BEV), Toyota Prius Plug-in Hybrid (PHEV), 50 Fahrzeuge in Berlin
stadtmobil-Gruppe	74 Städte (D)	1.500	14	1 PHEV (Toyota Prius), 3 BEV (Fiat 50, Renault Fluence) in Karlsruhe
cambio-Gruppe	37 Städte (D, B)	1.400	7	Mitsubishi i-MiEV (BEV) in Köln, Hamburg, Aachen
Autolib	Paris	k. A.	250	Bolloré Bluecar (BEV); mittelfristig bis 3.000 Fahrzeuge geplant
<i>flexible Carsharingangebote</i> (Einwegfahrten und offene Nutzungszeiten)				
DriveNOW (BMW i, MINI und Sixt)	5 Städte (D, USA)	800	4	BMW Active-E (BEV) (geplant ab Nov./Dez. 2012)
car2go (Daimler)	17 Städte (D, A, NL, USA, CAN)	5.800	300	San Diego
Zebra Mobil	München	55	k. A.	Angebot von E-Fahrzeugen in Planung
Multicity Carsharing Berlin (Citroën)		100	100	Citroën C-Zero. Ausweitung auf 500 Fahrzeuge geplant (Berlin)

D: Deutschland, A: Österreich, B: Belgien, NL: Niederlande, CAN: Kanada

Abb. 34 Übersicht Carsharing Unternehmen mit Elektrofahrzeugen<sup>235</sup>

<sup>235</sup> Büro für Technikfolgenabschätzung beim Deutschen Bundestag (2012), 79.

### 8.3 E-Flottenkonzept

Das E-Car als Flottenauto, die Eignung dieses Modells für den Bereich der Elektromobilität erhöht sich durch die Tatsache, dass gerade das rein elektrisch betriebene Automobil für hoch frequentierte Fahrten mit geringer Reichweite innerhalb von Ballungszentren einsetzbar ist. Zielgruppen sind im gesamten Stadtverkehr insbesondere im Bereich der Nutzfahrzeuge zu finden. Innerstädtische Lieferdienste, Service- oder Handwerksbetriebe, kommunale Fuhrparks und Taxis gehören dazu. Innovative Flottenkonzepte sollten sich darüber hinaus von Geschäftsmodellen mit Verbrennungsmotoren unterscheiden. So können Fuhrparks mit Elektromotoren bspw. dort eingesetzt werden, wo Fahrzeuge mit Geräusch- oder CO<sub>2</sub>-Emissionen nicht eingesetzt werden können oder nicht erwünscht sind, so etwa in Hallen und Gebäuden, Naturschutzgebieten, Zoo- und Grünanlagen, auf Flughäfen, im Bergbau oder in Fußgängerzonen.<sup>236</sup> Vorteilhaft ist der Einsatz einer E-Flotte vor allem in planbaren Fuhrparks, wo täglich eine bestimmte Kilometerzahl abgefahren wird und die Fahrzeuge über Nacht wieder in einem festen Rhythmus aufgeladen werden können, vorausgesetzt die entsprechende Infrastruktur mit Lademöglichkeiten ist gegeben. Für Fuhrparks mit plötzlichen unvorhergesehenen Bedarfen erhöht sich dann der Planungs- und Bereitstellungsaufwand.

„Außerdem muss ein effektives Flottenmanagement die Verfügbarkeit, Zuverlässigkeit und Flexibilität im Sinne des Kundennutzens sicherstellen. Elektrofahrzeuge können diesen Bedarf im urbanen Raum durch ihre hohe Wartungsarmut decken. Als weiteren Kundennutzen kann der Imageeffekt für gewerbliche Fuhrparks angesehen werden. Durch eine Nutzung von E-Flottenfahrzeugen wird eine Unternehmensstrategie, die für Umweltschutz und Nachhaltigkeit steht, unterstützt.“<sup>237</sup>

Die Möglichkeiten im Flottenbereich werden bis jetzt jedoch nur eingeschränkt genutzt. Viele große potentielle Anwender haben diesem Thema noch nicht erste Priorität eingeräumt: Fuhrpark-Besitzer kennen das Thema oft nur aus der Presse und den Medien und hören vor allem von den Nachteilen. Das wird einige ab-

<sup>236</sup> Vgl. Kampker/Vallee/Schnettler (2013), S. 131.

<sup>237</sup> Kampker/Vallee/Schnettler (2013), S. 132.

schrecken. Sie wissen oft gar nicht, welches Potenzial für Elektrofahrzeuge ihre Flotte tatsächlich birgt. Viele Unternehmen wissen zwar, was ihre Fahrzeuge kosten, führen aber keine Statistiken über die Streckenlängen und Auslastungen ihrer Fahrzeuge. Um eine größere Aufmerksamkeit für E-Flotten in Unternehmen und damit einen höheren Durchdringungsgrad zu erreichen ist es sinnvoll, die Unternehmen bei der Frage eines möglichen Einsatzes von Elektrofahrzeugen zu beraten.<sup>238</sup>

Vorreiterrolle können vor allem öffentliche Institutionen übernehmen. Exemplarische für viele andere internationale Beispiele soll hier erwähnt werden, dass die Berliner Polizei gegenwärtig neun reine Elektromobile im Einsatz hat, die Anschaffung weiterer Elektrofahrzeuge ist innerhalb der nächsten zwei Jahre geplant.<sup>239</sup>

## 8.4 Neuartige Finanzierungskonzepte

Die Entwicklung eines Geschäftsmodells im Bereich der Elektromobilität für die Automobilindustrie und die Energiewirtschaft setzt voraus, die Zielgruppe richtig zu verstehen. Der Großteil der Menschen wird zukünftig in Städten leben. Das Leben in der Stadt geht oftmals, besonders bei den jüngeren Generationen, mit einem modernen Lebensstil einher. Dieser Lebensstil ist von Anwendungen und elektronischen Geräten geprägt, die das tägliche Leben vereinfachen sollen und einen jederzeit und ortsunabhängig erreichbar sein lassen. Für den Nutzer soll sich der Alltag dadurch möglichst übersichtlich, einfach und bequem gestalten lassen, um beispielsweise vermehrt Zeit für Familie, Karriere aber auch Freizeit zur Verfügung zu haben. Gleichzeitig ist es, besonders für die junge Generation, nicht mehr so bedeutsam wie früher, ein eigenes Fahrzeug zu besitzen. Der mit dem Fahrzeugbesitz assoziierte Prestigegewinn findet so heute nicht mehr im damals gekannten Ausmaß statt – vielmehr wird das Fahrzeug stärker als reines Alltags- und Nutzobjekt angesehen. Demzufolge sinkt die Bereitschaft der Kunden, für einen Fahrzeugkauf die früheren Summen zu investieren. Gleichzeitig soll jedoch die Mobilität und Flexibilität bestehen bleiben. In Hinsicht auf die noch immer vergleichbar

---

<sup>238</sup> Vgl. [www.zeit.de](http://www.zeit.de)

<sup>239</sup> [www.berlin.de](http://www.berlin.de)



hohen Anschaffungskosten eines Elektrofahrzeugs im Vergleich zu verbrennungsmotorbetriebenen Fahrzeugen muss deshalb ein Konzept geschaffen werden, das nicht nur vermögenden Verkehrsteilnehmer die Nutzung eines Elektrofahrzeugs ermöglicht.<sup>240</sup>

Da sich für die Elektromobilität herkömmliche Finanzierungsformen als veraltet erweisen, muss den neuen eben beschriebenen Anforderungen Rechnung getragen werden.“ Bei der Entwicklung eines neuen Geschäftsmodelles kann es ratsam sein, einen Vergleich zu branchenfremden Industrien zu ziehen und demzufolge zu übernehmen, was sich bereits in anderen Bereichen bewährt hat.“<sup>241</sup> Beispielsweise sind Anlehnungen an gängige Mobilfontarife möglich um für Fahrzeug- oder auch Stromanbieter optimale Finanzierungs- und Tariflösungen zu finden. Denkbar sind unter anderem folgende integrative Finanzierungsverbindungen von Fahrzeugkauf/Leasing, Batterieleasing oder auch günstigen Stromanbietern: Fahrzeugkauf/Batterieleasing, Fahrzeugkauf/Batterieleasing/Autostrom, Fahrzeugleasing inkl. Batterie oder E-Fahrzeugleasing/Autostrom.<sup>242</sup>

Automobilherstellern oder Energieversorgungsunternehmen steht der Zugang zu neuen Geschäftsmodellen im Dienstleistungsbereich der neuen Finanzierungs- und Leasingkonzepte offen. Nur muss der Weg dorthin durch entsprechendes Branding innovativ und kundenorientiert gestaltet werden.<sup>243</sup>

## 8.5. Zweitwagen

Eine Umfrage in Berlin sowie Nordrhein-Westfalen hat gezeigt, dass Elektrofahrzeuge auch in der Großstadt nicht als alleiniges Fahrzeug gelten, sondern eher als klassischer Zweitwagen bzw. als Ergänzung in einer Fahrzeugflotte (gewerblich), weil sich die Fahrzeuge nicht für alle Fahrten eignen (zu unflexibel, beschränkte Nutzung, Größe, Reichweite, Geschwindigkeit und Beschleunigung, lange Ladedauer).<sup>244</sup> Dieses Umfrageergebnis wird auch durch andere Studien bestätigt,

---

<sup>240</sup> Vgl. Bozem/Rennhak/Nagl (2013), S.173.

<sup>241</sup> Bozem/Rennhak/Nagl (2013), S.178.

<sup>242</sup> Vgl. Bozem/Nagl/Rennhak (2013) S.46.

<sup>243</sup> Vgl. Kampker/Vallee/Schnettler (2013), S. 131.

<sup>244</sup> Vgl. TU Berlin (o.J.) S.110.

dass Elektrofahrzeuge eine große Domäne der Zweit- und Drittfahrzeuge werden. Es gibt in dieser Klasse schon erste Konzepte mit dem Renault Twizy, dem Think, Elektrosmart und Revai. Forscher der TU München sind beispielsweise überzeugt von dem Marktvolumen und dem wirtschaftlichen Erfolg dieses Fahrzeugsegments der Zweitwagen. Es erschließt sich aber nur ein wirtschaftliches Gesamtkonzept, wenn man deutliche Einschränkungen gegenüber dem „richtigen“ Auto vornimmt. Zur Reduktion der Kosten muss die Reichweite auf ein sinnvolles Maß von maximal 150 km eingeschränkt werden. Damit sinken die Akkumulatorkosten deutlich und das Gewicht bleibt im Rahmen. So kann auch die Antriebsleistung reduziert werden, was mit einer beschränkten Höchstgeschwindigkeit von maximal 130 km/h einhergeht.<sup>245</sup> Unterstützt werden könnte das Zweitwagenkonzept durch unterstützende Maßnahmen aus Politik und Wirtschaft, wie beispielsweise der Nutzung von Busspuren oder der kostenlosen Aufladung von Elektrofahrzeugen.

Das dies ein großes Marktpotential sein kann, wird aus den folgenden Zahlen deutlich: In Deutschland besitzen aktuell 22 Prozent aller Haushalte mindestens einen Zweitwagen, dabei sind über zehn Millionen Zweit- oder sogar Drittwagen.<sup>246</sup> Weltweit sprechen wir wahrscheinlich mindestens über einen Markt von einhundert Millionen Fahrzeugen. Dass die Erschließung dieses Marktes realistisch wäre, zeigen die Akzeptanzwerte in der deutschen Bevölkerung. Die repräsentative Umfrage des Internetportal Autoscout24 hat ergeben, dass auch wenn man in Deutschland Elektromobile zurzeit nur vereinzelt sieht, sich 81 Prozent vorstellen können, für kürzere Distanzen einen Strome als Zweitwagen zu nutzen, so zum Beispiel innerhalb der Innenstädte.<sup>247</sup>

---

<sup>245</sup> Vgl. Markus Lienkamp „Elektromobilität“, S.34

<sup>246</sup> Vgl. Bozem/Nagl/Rennhak (2013), S.137.

<sup>247</sup> [www.mein-elektroauto.com](http://www.mein-elektroauto.com)

## 9 Fazit und Schlussfolgerung

Das Elektrofahrzeug befand sich in der Vergangenheit schon einmal im Konkurrenzkampf mit dem Verbrennungsmotor. Damals setzte sich dieser durch und Elektrofahrzeuge waren lange Zeit nicht präsent. Vor wenigen Jahren wurde diese Technologie wiederbelebt.

Verschiedene Aspekte machen die Elektrofahrzeuge für die heutige Zeit wieder attraktiv. Die Technologie könnte helfen verschiedene Probleme zu lösen, wie z.B. die Knappheit von fossilen Brennstoffen oder die Probleme, die mit der Urbanisierung einhergehen. Natürlich ist das Elektrofahrzeug nicht die alleinige Lösung. Es könnte aber ein helfender Faktor sein.

Gegenwärtig kann das Elektrofahrzeug noch keine hohen Verkaufszahlen vorweisen. Die Kunden stehen dem Elektroantrieb immer noch skeptisch gegenüber, bedingt durch mangelnde Reichweite und den hohen Anschaffungskosten für Batterietechnologien.

Doch versuchen Regierungen und Unternehmen, dieses Problem zu beseitigen. Durch gezielte gesetzliche und politische Rahmenbedingungen könnte dem Elektrofahrzeug die Marktdurchdringung erleichtert werden. Helfen könnten auch neue Verkehrs- und Mobilitätskonzepte, die es dem Kunden erleichtern sich der Elektromobilität zu öffnen.

Als Fazit lässt sich sagen, dass Elektromobilität zukünftig eine wichtige Rolle in unserer Mobilitätsgesellschaft spielen wird. Gegenwärtig dominieren zwar noch die Nachteile gegenüber den Vorteilen und der Durchbruch wird auch nicht in dem von der Bundesregierung festgelegten Rahmen erfolgen, dennoch hat die Elektromobilität ein großes Potential.

## 10 Literaturverzeichnis

### Monografien

Aral Studie: Trends beim Autokauf 2013 – Bochum: 2014

Backhaus, O. /Döther, H. /Heupel, T./Klump, M. (Hrsg.): Elektroauto – Milliardengrab oder Erfolgsstory?: Entstehungsgeschichte, Marktanalyse 2010 und Zukunftspotenziale der Elektromobilität. - Schriftenreihe Logistikforschung der FOM Hochschule für Ökonomie & Management, Band 19., Essen: ild Institut für Logistik- & Dienstleistungsmanagement, 2011

Bertau, M./Guzmer, J./Kausch, P.: Strategische Rohstoffe – Risikovorsorge. Wiesbaden/Heidelberg: Springer Verlag, 2014

Bertram, M. /Bongard, S.: Elektromobilität im motorisierten Individualverkehr: Grundlagen, Einflussfaktoren und Wirtschaftlichkeitsvergleich - Wiesbaden: Springer Verlag, 2014

Bozem, K./Nagl, A./Rennhak, C. (Hrsg.): Energie für nachhaltige Mobilität: Trends und Konzepte. – Wiesbaden: Springer Verlag, 2013

Bozem /Nagl/Rath – Elektromobilität: Kundensicht, Strategien, Geschäftsmodelle Ergebnisse der repräsentativen Marktstudie FUTURE MOBILITY – Wiesbaden: Springer Verlag, 2013

Braess, H./Seiffert, U.(Hrsg.): Vieweg Handbuch Kraftfahrzeugtechnik. – 7. Aufl. Wiesbaden: Springer Verlag, 2014

Büro für Technikfolgenabschätzung beim Deutschen Bundestag: Konzepte der Elektromobilität und deren Bedeutung für Wirtschaft, Gesellschaft und Umwelt. - Arbeitsbericht Nr. 153, Berlin: 2012

Bundesministerium für Bildung und Forschung: Megastädte – die Welt von morgen nachhaltig gestalten. – Bonn: 2010

Bundesministerium für Bildung und Forschung, Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie: Entwicklungsplan: Nationales Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NIP). Berlin: 2006

Bundesverband CarSharing: Positionspapier Elektromobilität und CarSharing. Berlin: 2012

Bundeswehr: Peak Oil-Sicherheitspolitische Implikationen knapper Ressourcen. – 1. Teilstudie, Berlin: 2012

Dahlmann, A./Mildner, S.: Deutschlands Rohstoffpartnerschaften: Modell mit Zukunftscharakter? - Konrad-Adenauer-Stiftung Analysen & Argumente, Nr. 137, Berlin: 2013

DAT-Report: Dossier Kfz-Betrieb – Ostfildern: Vogel Business Media, Ausgabe 2011/2014

De Haan, P./Zah: Chancen und Risiken der Elektromobilität in der Schweiz. – Zürich: vdf Verlag, 2013

Deutsche Bank Research: Elektromobilität - Sinkende Kosten sind conditio sine qua non – Studie mit Institut für deutsche Wirtschaft Köln (IWF), Frankfurt am Main: 2011

Deutsche Bundesregierung: Nationaler Entwicklungsplan Elektromobilität der Bundesregierung. Berlin: 2009

Europäische Union: Richtlinie 2009/28/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. April 2009 zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen und zur Änderung und anschließenden Aufhebung der Richtlinien 2001/77/EG und 2003/30/EG. - Amtsblatt der Europäischen Union, L140, Luxemburg: 2009

Europäische Union: Verordnung (EG) Nr. 443/2009 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. April 2009 zur Festsetzung von Emissionsnormen für neue Personenkraftwagen im Rahmen des Gesamtkonzepts der Gemeinschaft zur Verringerung der CO<sub>2</sub>-Emissionen von Personenkraftwagen und leichten Nutzfahrzeugen, Amtsblatt der Europäischen Union, L140, Luxemburg: 2009

Frauenhofer ISI, „Markthochlaufszszenarien für Elektrofahrzeuge“, Studie im-Auftrag der acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften und der Arbeitsgruppe 7 der Nationalen Plattform Elektromobilität (NPE), Karlsruhe: 2013

Frauenhofer Foliensatz ohne Jahr und Seite

Grünecker Patent- und Rechtsanwälte: Grünecker E-Auto-Patentindex. München: 2013

Goetze, U./Rehme, M.: Elektromobilität – Herausforderungen und Lösungsansätze aus wirtschaftlicher Sicht - Wirtschaftswissenschaftliche Diskussionspapiere, Chemnitz: 2011

Hofmann, P.: Hybridfahrzeuge: Ein Alternatives Antriebskonzept für die Zukunft. – Wien: Springer Verlag, 2010

Hrach, D./Cifrain, M.: Batterietechnik und –management im Elektrofahrzeug. In: Elektrotechnik und Informationstechnik, 2011, Heft 1.

Kampker, A./Vallée, D./Schnettler, A.: Elektromobilität Grundlagen einer Zukunftstechnologie. – Berlin: Springer Verlag, 2013

Kausch, P./Bertau, M./Gutzmer, J./Matschullat, J.: Strategische Rohstoffe-Risikovorsorge Heidelberg: Springer Verlag 2014

Keichel, M./Schwedde, O.: Das Elektroauto: Mobilität im Umbruch. – Wiesbaden: Springer Verlag, 2013

Ketterer, B./Karl, U./Möst, D.: Lithium-Ionen Batterien - Stand der Technik und Anwendungspotenzial in Hybrid-, Plug-In Hybrid- und Elektrofahrzeugen. – wissenschaftlicher Bericht FZKA 7503. Karlsruhe: 2009

Lienkamp, M.: Elektromobilität - Hype oder Revolution?. – Wiesbaden/Berlin: Springer Verlag, 2012

Mildner, S.A./Schmucker, C.: Die BRICS-Staaten. In: Zeitschrift Internationale Politik: 2013, Ausgabe Mai/Juni, S. 67, ISSN 1430-175X

Mom, G.: The Electric Vehicle: Technology and Expectations in the Automobile Age. – Maryland: The John Hopkins Press, 2004

Nationale Plattform Elektromobilität: Fortschrittsbericht der Nationalen Plattform Elektromobilität. Berlin: 2012

Nationale Plattform Elektromobilität – Die Deutsche Normungs-Roadmap. Berlin: 2013

Naunin, D.: Hybrid-, Batterie- und Brennstoffzellen-Elektrofahrzeuge: Technik, Strukturen und Entwicklungen. – 4. Aufl. Renningen: Expert Verlag, 2007

Nötzold A.: Die Energiepolitik der EU und der VR China: Handlungsempfehlungen zur europäischen Versorgungssicherheit. – Wiesbaden: VS Verlag, 2011

OECD: OECD-Umweltausblick bis 2050: DIE KONSEQUENZEN DES NICHTHANDELNS – Zusammenfassung, 2012

Öko-Institut e. V./Daimler AG/TU Clausthal/Unicore: Ressourceneffizienz und ressourcenpolitisch Aspekte des Systems Elektromobilität. - Arbeitspaket 7 des Forschungsvorhabens OPTUM: Optimierung der Umweltentlastungspotenziale von Elektrofahrzeugen. Darmstadt: 2011

ÖPP Deutschland AG: Partnerschaftsmodelle Elektromobilität. – Schriftenreihe, Band 13. Berlin: 2013

Pilarsky, G.: Wirtschaft am Tropf. Wiesbaden: Springer Verlag, 2014

Reif, K./Noreikat, K./Borgeest, K.: Kraftfahrzeug-Hybridantriebe: Grundlagen, Komponenten, Systeme, Anwendungen. – Wiesbaden: Springer Verlag, 2012

Rempel, H.: Verfügbarkeit von nicht-erneuerbaren Energierohstoffen. In: Zeitschrift für Energiewirtschaft, 2011, Vol. 35, S. 17, ISSN 0343-5377

Schramm, D./Koppers, M.: Das Automobil im Jahr 2025: Vielfalt der Antriebstechnik. – Wiesbaden: Springer Verlag, 2014

Schraven, S./Kley, F./Wietschel, M.: Induktives Laden von Elektromobilen – Eine techno-ökonomische Bewertung. - Working Paper Sustainability and Innovation No. S 8. Karlsruhe: Fraunhofer Institut, 2010

Seiffert, R.: Die Ära Gottlieb Daimlers. – 1. Aufl. Wiesbaden: Vieweg-Teubner, 2009

TU-Berlin: Teilprojekt „Analyse Nutzerverhalten und Raumplanung regionale Infrastruktur“ – Qualitative Analyse der Nutzer/-innen von EV (AP 4.6.) - im Rahmen des Projektes „IKT-basierte Integration der Elektromobilität in die Netzsysteme der Zukunft“ – o.J.

TU-Braunschweig und P3 Ingenieurgesellschaft GmbH: Studie „Akzeptanz von Elektrofahrzeugen: Aussichtsloses Unterfangen oder große Chance?“ 2013

VDI/VDE-IT/AHK Japan: Trendbericht Elektromobilität in Japan. Berlin/Tokyo: 2014

Wallentowitz; H./Freialdenhoven, A./Olschewski, I.: Strategien zur Elektrifizierung des Antriebstranges: Technologien, Märkte und Implikationen. – Wiesbaden: Vieweg/Teubner Verlag, 2011

Zeitschrift Die Volkswirtschaft: Kritische Rohstoffe aus Europäischer Sicht. 2010

Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung GmbH, Niedersächsisches Institut für Wirtschaftsforschung: Die Bedeutung der Automobilindustrie für die deutsche Volkswirtschaft im europäischen Kontext: Endbericht an das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie. Hannover/Mannheim: 2009

### **Internetquellen:**

Aachener Stiftung Kathy Beys (2014): UN Klimarahmenkonvention (UNFCCC).  
URL: [http://www.nachhaltigkeit.info/artikel/klimaschutzkonvention\\_903.htm](http://www.nachhaltigkeit.info/artikel/klimaschutzkonvention_903.htm)  
[12.02.2014]

Allianz (2013): Chance für neue Mobilitätskonzepte.  
URL: [https://www.allianz.com/v\\_1369221222000/media/press/document/1305-Risk-Pulse-Mobilitaet-DE.pdf](https://www.allianz.com/v_1369221222000/media/press/document/1305-Risk-Pulse-Mobilitaet-DE.pdf) [16.04.2014]

Autobild (2012): Batterien sind feuerfest E- und Hybridautos mit Lithium-Ionen-Batterien sind im Brandfall sicher wie herkömmliche Fahrzeuge. Das ergab ein Test der Dekra.  
URL: <http://www.autobild.de/artikel/dekra-testet-lithium-ionen-akkus-3694458.html>  
[12.02.2014]

Autohaus - Online (2011): Better Place eröffnet erste Batteriewechselstation.  
URL: <http://www.autohaus.de/better-place-eroeffnet-erste-batteriewechselstation-in-europa-1047413.html> [22.03.2014]

Automobilproduktion (2014): Toyota will Kosten für Brennstoffzellen-Fahrzeuge deutlich senken  
URL: <http://www.automobil-produktion.de/2014/03/toyota-will-kosten-fuer-brennstoffzellen-fahrzeuge-deutlich-senken/> [14.03.2014]

BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V.: Normung.  
URL: [http://www.bdew.de/internet.nsf/id/DE\\_Normungsroadmap](http://www.bdew.de/internet.nsf/id/DE_Normungsroadmap) [03.03.2014]

Berlin (2011): Berliner Polizei geht mit Elektroautos auf Verbrecherjagd.  
URL: [www.berlin.de/aktuelles/berlin/2316351-958092-polizei-geht-mit-elektroautos-auf-verbre.html](http://www.berlin.de/aktuelles/berlin/2316351-958092-polizei-geht-mit-elektroautos-auf-verbre.html) [12.04.2014]

Beuth Verlag (2014): SAE Standards.  
URL: <http://www.beuth.de/de/artikel/sae-standards> [12.04.2014]

- BiB - Bundesinstitut für Bevölkerungsforschung (2014): Regionale Verteilung der Weltbevölkerung.  
URL: [bib-demografie.de/DE/ZahlenundFakten/Weltbevoelkerung/regionale\\_verteilung.html?nn=3072756](http://bib-demografie.de/DE/ZahlenundFakten/Weltbevoelkerung/regionale_verteilung.html?nn=3072756) [12.04.2014]
- Brose Gruppe: Induktives Laden: kleine Batterien, große Reichweite.  
URL: [http://www.brose.com/apps/download/download.cfm?file=shared/data/pdf/oem\\_brose.pdf](http://www.brose.com/apps/download/download.cfm?file=shared/data/pdf/oem_brose.pdf) [22.02.2014]
- Bundesverband eMobilität e.V.: Förderungen im Europäischen Vergleich.  
URL: <http://www.bem-ev.de/forderungen-im-europaischen-vergleich/> [01.03.2014]
- Bundesverband eMobilität e.V. (2012): ABC der Batteriesystemen - Informationen rund um die gängigen Akkumulatoren.  
URL: <http://www.bem-ev.de/abc-der-batteriesysteme/> [03.03.2014]
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit: Induktives Laden.  
URL: <http://www.erneuerbar-mobil.de/de/schlagwortverzeichnis/induktives-laden> [09.03.2014]
- Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie: Automobilindustrie: Eckdaten der deutschen Automobilindustrie.  
URL: <http://www.bmwi.de/DE/Themen/Wirtschaft/branchenfokus,did=195940.html> [03.03.2014]
- Bundesrecht Deutschland: Gesetz zur Errichtung eines Sondervermögens „Energie- und Klimafonds“.  
URL: <http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/ekfg/gesamt.pdf> [09.03.2014]
- Bundesrecht Deutschland: Kraftfahrzeugsteuergesetz.  
URL: <http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/ekfg/gesamt.pdf> [29.03.2014]
- Christoph Ziedler (2014): Ein Stecker für alle E-Autos, In: Der Tagesspiegel.  
URL: <http://www.tagesspiegel.de/wirtschaft/elektromobilitaet-ein-stecker-fuer-alle-e-autos/9768324.html> [2.03.2014]
- DAT- Deutsche Automobil Treuhand GmbH: Markt- und Konsumforschung für die Automobilwirtschaft.  
URL: <http://www.dat.de/angebote/verlagsprodukte/dat-report.html> [03.03.2014]
- eCarTec (2013): Die Evolution des Elektroautos.  
URL: [http://ecartec.de/fileadmin/ecartec\\_magazin\\_03\\_2013\\_deutsch\\_online\\_print.pdf/](http://ecartec.de/fileadmin/ecartec_magazin_03_2013_deutsch_online_print.pdf/) [08.03.2014]
- ElectroDrive Europe: Wall Box & Montage-Sie möchten Ihr Elektroauto sicher und schnell zuhause laden.  
URL: [http://www.electrodrive-europe.com/de/de/produkte\\_renault.php](http://www.electrodrive-europe.com/de/de/produkte_renault.php) [03.03.2014]
- Europäische Union: Die EU-Verordnung zur Verminderung der CO<sub>2</sub> – Emissionen von Personenkraftwagen.  
URL: [http://www.bmub.bund.de/fileadmin/bmuimport/files/pdfs/allgemein/application/pdf/eu\\_verordnung\\_co2\\_emissionen\\_pkw.pdf](http://www.bmub.bund.de/fileadmin/bmuimport/files/pdfs/allgemein/application/pdf/eu_verordnung_co2_emissionen_pkw.pdf) [12.02.2014]



Europäische Union:

URL: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/ALL/?uri=CELEX:32009L0033>  
[12.02.2014]

Elektroautos-Verkaufszahlen:

URL: <http://www.ezapftis.de/tag/verkaufszahlen/> [17.03.2014]

Focus (2013): Die Organisation Erdöl exportierender Länder (Opec) hat ihre Prognose für den weltweiten Ölverbrauch im kommenden Jahr unverändert belassen.

URL: [http://www.focus.de/finanzen/news/wirtschaftsticker/opec-prognose-weltweiter-oelverbrauch-steigt-2014-um-1-2-prozent\\_id\\_3471696.html](http://www.focus.de/finanzen/news/wirtschaftsticker/opec-prognose-weltweiter-oelverbrauch-steigt-2014-um-1-2-prozent_id_3471696.html)  
[12.02.2014]

Focus (2013): Akku-Pionier Batter Place ist pleite.

URL: <http://www.focus.de/auto/news/autoabsatz/akku-pionier-better-place-ist-pleite-tauschbatterien-entsprechen-nicht-> [18.03.2014]

Goethe Institut (2013): Das „Tor zur Klimarettung“ – angelehnt oder weit offen?.

URL: <http://www.goethe.de/ges/umw/prj/kuk/the/kkf/de10360269.htm> [12.02.2014].

GTAI - Germany Trust and Invest: US-Automobilmarkt verzeichnet Rekordjahr.

URL: <http://www.gtai.de/GTAI/Navigation/DE/Trade/maerkte,did=764914.html>  
[17.03.2014]

Grüne Autos:

URL: [www.grueneautos.com](http://www.grueneautos.com) [12.02.2014]

Investor Verlag: Peak Oil-Theorien

URL: [www.investor-verlag.de/rohstoffe/peak-oil-theorien-/111048382/](http://www.investor-verlag.de/rohstoffe/peak-oil-theorien-/111048382/)  
[20.02.2014]

KBA - Kraftfahrzeug-Bundesamt (2013): Neuzulassungen 2013.

URL: [http://www.kba.de/clin\\_031/nn\\_191064/DE/Statistik/Fahrzeuge/Neuzulassungen/Umwelt/2013](http://www.kba.de/clin_031/nn_191064/DE/Statistik/Fahrzeuge/Neuzulassungen/Umwelt/2013) [17.03.2014]

Kraftstoffweb: Lexikon Hybridantriebe

URL: <http://www.kraftstoffweb.de/indexc.php?/Lexikon/Hybridantrieb/betriebsmodi-bei-hybridfahrzeugen.html> [04.03.2014]

Lexus: GUT, BESSER, AM BESTEN

URL: <http://www.lexus.de/hybrid/#/GoodBetterBest> [02.02.2014]

LWS Energie GmbH & Co. KG (2014): Geschichte und Entwicklung der Elektromobilität.

URL: <http://elektrofahrzeuge.lsw.de/Default.aspx?n=2a5afdb0-ad20-4f04-96fe-4b2f452c3a4c&cs=90729BED-6CC1-4CBC-A9EF-44F5EB5FA966&csid=1070&ch=1> [12.02.2014].

Manager Magazin Online (2010): Toyota Prius 2009 meistverkauftes Auto.

URL: <http://www.manager-magazin.de/unternehmen/artikel/a-670763.html>  
[14.03.2014]

Manager Magazin Online:

URL: <http://www.manager-magazin.de/unternehmen/autoindustrie/elektroautos-2013-markt-trotz-bmw-i3-vw-e-up-renault-zoe-schwach-a-942592.html>  
[17.03.2014]

- Mein Elektroauto: 81% der Deutschen können sich ein Elektrofahrzeug als Zweitwagen vorstellen.  
URL: <http://www.mein-elektroauto.com/2014/04/81-prozent-der-deutschen-koennen-sich-ein-elektroauto-als-zweitwagen-vorstellen/13605/> [14.03.2014]
- Toyota (2013): Über drei Millionen Toyota Prius weltweit verkauft: Vom Exoten zum Bestseller in 16 Jahren.  
URL: [http://www.toyota.de/about/news/2013/details\\_2013\\_57.tmex](http://www.toyota.de/about/news/2013/details_2013_57.tmex) [17.03.2014]
- Toyota (2014): Mehr als sechs Millionen Toyota und Lexus Hybridfahrzeuge weltweit verkauft - In Europa insgesamt 646.000 Hybride abgesetzt.  
URL: [http://www.toyota-media.de/Article/view/2014/01/15/Mehr-als-sechs-Millionen-Toyota-und-Lexus-Hybridfahrzeuge-weltweit-verkauft/12975/?utm\\_source=export](http://www.toyota-media.de/Article/view/2014/01/15/Mehr-als-sechs-Millionen-Toyota-und-Lexus-Hybridfahrzeuge-weltweit-verkauft/12975/?utm_source=export) [15.03.2014]
- Toyota Rekordjahr für Toyota: Hybridfahrzeuge knacken die Millionengrenze.  
URL: [http://www.toyota.de/about/news/2013/details\\_2013\\_06.tmex](http://www.toyota.de/about/news/2013/details_2013_06.tmex) [17.03.2014]
- Tom Grünweg (2012): Sieben Tage mit dem Toyota Prius Plug-in: Anschluss gesucht. In: Spiegel.  
URL: <http://www.spiegel.de/auto/aktuell/toyota-prius-plug-in-hybrid-das-teure-teilzeit-elektroauto-a-872425.html> [15.03.2014]
- Statista (2013): Verbrauch von Erdöl der Top 15 Länder 2012 (1.000 Barrel pro Tag).  
URL: <http://de.statista.com/statistik/daten/studie/233302/umfrage/laender-mit-dem-hoechsten-erdoelverbrauch-2011/> [20.03.2014]
- Statista (2012): Der Preis der Mobilität.  
URL: <http://de.statista.com/infografik/238/entwicklung-der-kraftstoffpreise-in-deutschland/> [17.03.2014]
- Statista (2010): Wie gut sind Sie über Elektrofahrzeuge informiert?  
URL: <http://de.statista.com/statistik/daten/studie/156170/umfrage/informationsstand-bezueglich-elektrofahrzeugen-im-jahr-2010/> [17.03.2014]
- Statista (2010): Wie viel Geld würden Sie für Elektrofahrzeuge gegenüber konventionellen Fahrzeugen zusätzlich ausgeben?  
URL: <http://de.statista.com/statistik/daten/studie/156175/umfrage/zahlungsbereitschaft-beim-kauf-von-elektrofahrzeugen-im-jahr-2010/> [17.03.2014]
- Verband kommunaler Unternehmen: Pressemitteilung Öffentliche Ladeinfrastruktur.  
URL: <http://www.vku.de/service-navigation/presse/pressemitteilungen/liste-pressemitteilung/erzeugungszahlen00.html> [17.03.2014]
- Wagner Christian (2013): Hybrid-Pionier: Toyota Prius mit drei Millionen Käufern. In: Motorvision.  
URL: <http://www.motorvision.de/news/toyota-prius-verkaufszahlen-hybrid-pionier-millionen-kaeufern-112401.html> [12.02.2014]
- Wikimedia: Übersicht Antriebskonzepte.  
URL: <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Schema-Antriebe.jpg> [21.03.2014]

Wirtschaftslexikon (2013): Marktpenetration.

URL: <http://www.wirtschaftslexikon24.com/d/marktpenetration/marktpenetration.htm> [17.04.2014]

Springer Gabler Verlag: Megastadt.

URL: <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/9179/megastadt-v8.html> [17.03.2014]

WWF Deutschland: Klimawandel jetzt umdenken.

URL: <http://www.wwf.de/themen-projekte/klima-energie/klimawandel/globale-erwaermung/> [12.02.2014].

Zeitonline (2012): Das Risiko Akku-Lebensdauer.

URL: <http://www.zeit.de/auto/2012-01/elektroauto-batterie-kapazitaet> [17.03.2014]

Zeitonline: Firmenflotten haben viel Elektro-Potential.

URL: <http://www.zeit.de/auto/2011-09/elektroautos-unternehmen-fuhrpark> [17.03.2014]

ZVEI - Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V. (2012): Elektromobilität – Ein historischer Blick in die Zukunft.

URL: <http://www.zvei.org/Themen/Elektromobilitaet/Seiten/Elektromobilitaet-Ein-historischer-Blick-in-die-Zukunft.aspx> [03.03.2014].

## **10 Selbstständigkeitserklärung**

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit ohne fremde Hilfe selbständig und nur unter Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel angefertigt habe. Alle Teile, die wörtlich oder sinngemäß einer Veröffentlichung entstammen, sind als solche kenntlich gemacht. Die Arbeit wurde noch nicht veröffentlicht oder einer anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.