

2 Der Markt für Elektrofahrzeuge

Dieses Kapitel beschreibt zunächst die Entwicklung sowie die Varianten von Elektrofahrzeugen, um anschließend Nachfrage und Angebot in Deutschland und China darzustellen. Da beide Entwicklungen im Bereich der Elektromobilität stark von der staatlichen Förderung abhängen, wird diese ebenfalls für beide Länder erläutert. Seit den ersten Hinweisen auf mangelnde Akzeptanz von Elektroautos durch Privatpersonen, werden neue Geschäftsmodelle und Mobilitätslösungen entwickelt, die versuchen, Elektroautos für den Kunden nutzbarer zu machen. Eine Entwicklung ist das Carsharing mit Elektrofahrzeugen. Erste Projekte in diesem Feld werden am Ende des Kapitels dargestellt.

2.1 Geschichte und Entwicklung

Die ersten Versuche der Elektromobilität beruhten auf den Bestrebungen, Motoren effizienter zu gestalten. Der Ökologie-Gedanke stand damals noch nicht im Vordergrund (DCTI 2010, S. 10). So zeigte der englische Physiker und Chemiker Michael Faraday im Jahr 1821, wie ein stromdurchflossener Leiter unter dem Einfluss eines Dauermagneten um die eigene Achse rotiert. Die ersten Elektrofahrzeuge gab es in den 1830er Jahren, wie z.B. das Modell eines Schienenfahrzeuges von Thomas Davenport aus den USA, das mit Gleichstrom betrieben wurde. Die Batterieentwicklung wurde besonders durch John Frederic Daniell und William Grove vorangetrieben, beispielsweise durch das Daniell-Element, einer galvanischen Zelle aus einer Zink- und Kupfer Halbzelle, sowie durch das Grovesches Element als Ursprung der Brennstoffzelle. Die erste Elektrolok in realem Maßstab wurde von zwei 20 PS starken Elektromotoren angetrieben. Der Erfinder war Charles Grafton Page. Die Maximalgeschwindigkeit betrug 31 km/h und die Reichweite war durch das hohe Gewicht der Batterie gering (DCTI 2010, S. 14).

Im Jahr 1878 nutzte Nikola Tesla, der Namensgeber von *Tesla Motors Inc.*, Wechselstrom zur Energieübertragung. Drei Jahre später entwickelte Gustave Trouvé das erste Elektrofahrzeug mit wiederaufladbarer Blei-Batterie, ein Dreirad mit 12 km/h. Ab diesem Zeitpunkt kamen immer mehr Hersteller mit Elektrofahrzeugen auf den

Markt. Auf der Weltausstellung in Paris stellte Ferdinand Porsche das Lohner-Porsche-Elektromobil mit zwei 2,5 PS starken Elektromotoren vor. Durch die Kombination mit einem Daimler-Verbrennungsmotor war somit das erste Hybridfahrzeug entwickelt (DCTI 2010, S. 14ff). Treiber der frühen Elektromobilität waren ihr kulturelles Image als Zukunftstechnologie, eingesetzte Testimonials und das Interesse der entstehenden Großindustrie (Möser 2011, S. 23).

Um 1900 gab es in den USA geringfügig mehr Dampf- und Elektroautomobile als Benzin. Zwei Paradigmen bestimmten den Markt: Fahrzeuge für Spazierfahrten und Fahrzeuge, die durch eine höhere Reichweite und Geschwindigkeit Sportlichkeit und Konkurrenz demonstrierten. Das Elektrofahrzeug wurde als vornehmer vermarktet, wie beispielsweise die *Queen Viktoria* von *Baker Electric*, vermutlich um den höheren Anschaffungspreis und Reifenverbrauch zu rechtfertigen (Möser 2011, S. 26f). Zudem galten Frauen als wesentliche Zielgruppe der Elektromobilität, die als elegant, sauber, sanft und ungefährlich beschrieben wurde.

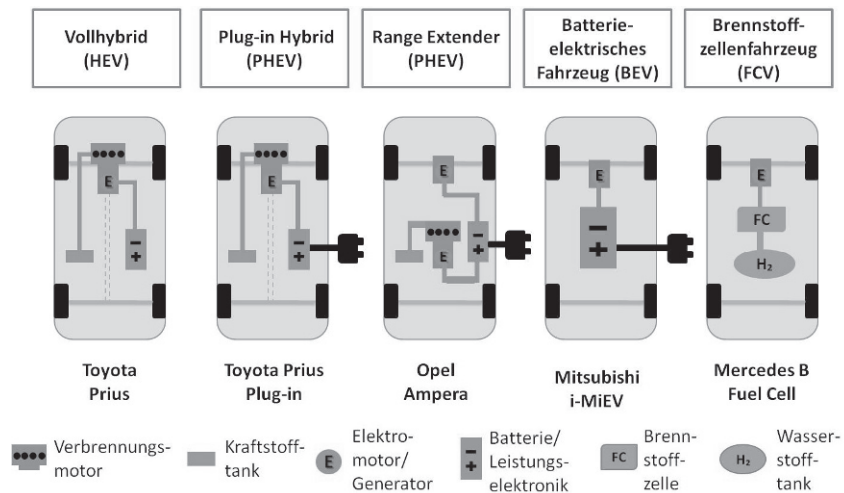
Im Jahr 1912 bauten etwa 20 Hersteller insgesamt fast 34.000 Elektroautos. Der Höhepunkt der Entwicklung war erreicht. Die einsetzende Fließbandproduktion von Verbrennungsfahrzeugen (z.B. von *Ford* im Jahr 1913) führte zu einer nachlassenden Fertigung von Elektrofahrzeugen bis in die 1920er Jahre. Benzin war günstig und die Verbrenner konnten flexibler auf die Anforderungen der Nutzer reagieren, u.a. hinsichtlich Reichweite, Komfort und Leistung. Das Elektrofahrzeug war nicht mehr konkurrenzfähig. Zudem erlitten Elektrofahrzeuge einen Prestigeverlust, da sie angeblich weniger Spaß machten („reduzierte Abenteuerlichkeit“) und eher von Personen gefahren wurden, die keine große Begeisterung für Autos hatten (Möser 2011, S. 24ff; DCTI 2010, S. 16ff).

In Krisenzeiten der Ölknappheit (vor allem in den Jahren 1973 und 1979) begann eine zweite, ebenfalls erfolglose Vermarktung von Elektrofahrzeugen. Von 1992 bis 1996 produzierte *VW 120 CitySTROMer*. Im Anschluss daran brachte *GM* 1.117 Fahrzeuge des Modells *Electric Vehicle* auf den Markt (Biermann und Scholz-Starke 2010, S. 14f; DCTI 2010, S. 16). Allerdings konnten Reichweite und Leistung der Batterien die Nachfrage nicht erfüllen. In den 1990er Jahren wurden durch die Brennstoffzelle neue Hoffnungen auf Erfolg geweckt. Im Jahr 2005 begann schließlich die dritte Welle der Elektromobilität mit einer neuen Generation von Fahrzeugen (DCTI 2010, S. 17).

2.2 Varianten von Elektrofahrzeugen

Zum aktuellen Stand der Technik zeichnen sich drei Entwicklungsrichtungen bei elektrischen und teilelektrischen Fahrzeugen ab: Hybridfahrzeuge („hybrid electric vehicle“, HEV, mit verschiedenen Abstufungen und Unterformen wie Plug-in Hybriden und Range Extender Fahrzeugen), reine batterieelektrische Fahrzeuge und Brennstoffzellenfahrzeuge (siehe Abbildung 1).

Abbildung 1: Übersicht Elektrofahrzeuge



Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an Fraunhofer ISB, DCTI 2010, S. 25

Gemeinsam ist allen Varianten der Elektromotor. Im Gegensatz zu Diesel- oder Benzin-Motoren erreichen Elektromotoren Wirkungsgrade bis zu 100%. Der Dieselmotor erreicht nur 35% bis 45%, der Benzinmotor bis zu 37%. Das Grundprinzip des Elektromotors ist der elektromagnetische Wandler. Bewegung entsteht dabei durch Umsetzung der Kraft, die von einem Magnetfeld auf einen stromdurchflossenen Leiter einer Spule ausgeübt wird. Zwei Varianten des Elektromotors sind der Gleichstrommotor und der Drehstrommotor, die mit den entsprechenden Stromarten betrieben werden. Für den Antrieb in einem Fahrzeug können mehrere Elektromotoren gleichzeitig eingesetzt werden (DCTI 2010, S. 18ff).

Neben dem hohen Wirkungsgrad sind weitere Vorteile eines Elektromotors, dass bei Betrieb keine Geräusche oder lokale Emissionen entstehen. Zudem zeigt er ein schnelles Ansprechverhalten und eine starke sowie stufenlose Beschleunigung. Da Elektromotoren weniger bewegliche Teile enthalten, müssen sie seltener gewartet werden als Verbrennungsmotoren. Beim Bremsen kann Energie zurückgewonnen (Rekuperation) und somit die Effizienz gesteigert werden (DCTI 2010, S. 20f).

Elektrofahrzeuge, die von außen geladen werden können („plug-in electric vehicles“, PEV), sind Gegenstand dieser Arbeit. Vor allem geht es dabei um rein batterieelektrische Fahrzeuge („battery electric vehicles“, BEV). Ein Beispiel für diese Variante ist der *Mitsubishi i-MiEV* oder der *Nissan Leaf*. Die maximale Reichweite der aktuell verfügbaren Fahrzeuge beträgt 150-175 km (siehe Kapitel 2.5.1). Im Gegensatz zum Hybridfahrzeug wird der Elektromotor des BEV nur durch eine Batterie gespeist. Es ist kein Verbrennungsmotor und Kraftstofftank mehr im Fahrzeug vorhanden. Zudem fallen in die Kategorie der PEV Plug-in Hybridfahrzeuge („plug-in hybrid electric vehicles“, PHEV) und Elektrofahrzeuge mit Reichweitenverlängerung („range extended electric vehicles“, REEV).

Das Hybridfahrzeug gilt als Vorstufe auf dem Weg zum reinen Elektrofahrzeug (Wallentowitz, Freialdenhoven und Olschewski 2010, S. 54). Hybride lassen sich einerseits nach dem Grad der Hybridisierung und andererseits nach Art der technischen Ausgestaltung unterscheiden. Die schwächste Form ist der Microhybrid, ein Verbrenner mit Start-Stopp-Automatik. Beim Mildhybrid unterstützt der Elektromotor den Verbrennungsmotor beim Beschleunigen. Der Vollhybrid unterscheidet sich von den beiden erstgenannten Varianten dahingehend, dass er eigenständig elektrisch fahren, also zwischen den Antrieben wechseln kann (DCTI 2010, S. 22).

Nach der zugrunde liegenden Technik gibt es serielle, parallele und leistungszweigte Hybride. Der parallele Hybrid zeichnet sich dadurch aus, dass der Verbrennungs- und der Elektromotor mit dem Antriebsstrang verbunden sind. Eine Sonderform hierbei ist der Plug-in Hybrid (PHEV), der elektrische Energie an Steckdosen oder Ladesäulen aufnehmen kann. Einziger Plug-in Hybrid am Markt ist bislang der *Toyota Prius Plug-in*, der über eine elektrische Reichweite von ca. 20 km verfügt. Beim seriellen Hybrid treibt allein der Elektromotor die Achse an. Der Verbrennungsmotor dient lediglich dazu, einen Generator zu betreiben, der die Batterie auflädt. Diese Variante

wird auch als reichweitenverlängertes Elektrofahrzeug bezeichnet (REEV). Beispiele hierfür sind der *Opel Ampera* oder der baugleiche *Chevrolet Volt*, die über eine elektrische Reichweite von 40-80 km verfügen. Allerdings findet in bestimmten Betriebsbereichen beim Opel Ampera eine Leistungsverzweigung statt (Heise.de 2011). Damit fällt das Fahrzeug unter bestimmten Bedingungen in die Kategorie des leistungsverzweigten Hybrids, der eine Mischform aus parallelem und seriell Hybrid darstellt. Der Vorteil des REEV und des PHEV gegenüber dem rein batterieelektrischen Fahrzeug ist, dass das Fahrzeug durch den Verbrennungsmotor angetrieben wird, wenn die Energie der Batterie aufgebraucht ist (DCTI 2010, S. 22; Wallentowitz und Reif 2011, S. 87ff).

Der dritte Typ, das Brennstoffzellenfahrzeug („fuel cell vehicle“, FCV), wird oft als das langfristige Ziel der Elektromobilität gesehen. Diese Fahrzeuge können an Bord Strom unter Einsatz von Wasserstoff gewinnen. Sie unterscheiden sich ausschließlich durch die Energiespeichertechnologie vom batterieelektrischen Fahrzeug. Vorteile dieser Technologie sind längere Reichweiten und kürzere Ladezeiten. Allerdings besteht das Problem der Herstellung und Speicherung von Wasserstoff (DCTI 2010, S. 26). Zudem ist der Aufbau einer Tankinfrastruktur teuer. In Deutschland sind bislang erst wenige Wasserstoff-Tankstellen vorhanden. Mercedes ist bereits mit dem Modell B-Klasse F-Cell als Testflotte im Markt. Der Start der Serienproduktion wurde allerdings von 2014 auf 2017 verschoben (Automobilwoche 2012b).

2.3 Mangelnde Nachfrage nach Elektrofahrzeugen

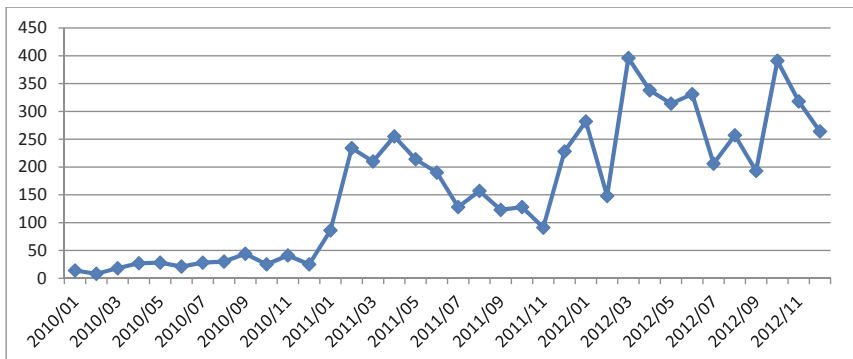
Wie eingangs erwähnt, mangelt es in Deutschland und China, wie in vielen anderen Ländern, an hoher Nachfrage nach Elektrofahrzeugen. 109.700 Elektrofahrzeuge wurden 2012 weltweit zugelassen, davon 48% in den USA, 22% in Europa, 20% in Japan und 10% in China (Frost und Sullivan 2012). In diesem Kapitel werden die Zulassungs- bzw. Verkaufszahlen von Elektrofahrzeugen in Deutschland und China dargestellt. Zudem werden das Verhältnis zwischen gewerblicher und privater Nutzung sowie die Marktanteile der verschiedenen Modelle aufgezeigt.

2.3.1 Nachfrage in Deutschland

Bis zum Jahr 2010 wurden jährlich nur wenige Elektrofahrzeuge zugelassen. Der Großteil davon war nicht von den großen Automobilherstellern gefertigt. Nur vereinzelt wurden Elektroautos der großen Hersteller registriert. So testete *Ford* im Jahr 2000 zwei elektrische Varianten des *Ka* und *Mercedes* zwei Modelle der *A-Klasse*. Auch *Chrysler*, *Citroën*, *Fiat* und *Nissan* hatten Testmodelle im Markt. 2004 produzierte *Mercedes* 48 Testfahrzeuge. 2005 versuchten sich auch *Hyundai*, *Kia*, *Renault*, *Skoda*, *Toyota* und *Volkswagen* an elektrischen Konzepten. Die dritte Welle des Elektro-Hypes begann aber erst Anfang 2011 (siehe Abbildung 2).

Vorreiter war der *Smart Fortwo electric drive*, von dem Ende 2010 150 Exemplare zu Testzwecken zugelassen wurden. Zudem konnte *Tesla* 23 Roadster in den Markt bringen. Insgesamt 309 Elektrofahrzeuge wurden 2010 registriert (siehe Tabelle 1). Im Jahr 2011 wurden insgesamt 2.044 Elektrofahrzeuge zugelassen, was einem Anstieg von rund 560% entspricht. Im Jahr 2012 nahmen die (teil-) elektrischen Neuzulassungen mit 4.606 Fahrzeugen um 125% zu. Allerdings ist der Anteil der Fahrzeuge am Gesamtmarkt weiterhin verschwindend gering. Von insgesamt 3,1 Mio. registrierten Fahrzeugen sind lediglich 0,15% elektrisch oder teilelektrisch betrieben. Reine Elektrofahrzeuge (BEV) kommen nur auf 0,08% des Gesamtmarktes.

Abbildung 2: Neuzulassungen von Elektrofahrzeugen in Deutschland nach Monat



Quelle: eigene Darstellung, Daten: KBA/CAR, Universität Duisburg-Essen

Tabelle 1: Neuzulassungen Elektrofahrzeuge in Deutschland nach Modell

Modell	2009	2010	2011	2012
Renault Twizy^{ab}	0 (0) ^e	0 (0)	0 (0)	2.296 (ohne Dezember)
Toyota Prius Plug-in^c	0 (0)	0 (0)	0 (0)	1.168 (434)
Opel Ampera^d	0 (0)	0 (0)	241 (0)	828 (125)
Smart Fortwo e.d.^b	14 (0)	150 (0)	328 (0)	734 (128)
Citroën C-Zero^b	0 (0)	1 (0)	201 (17)	454 (83)
Nissan Leaf^b	0 (0)	0 (0)	23 (2)	454 (33)
Peugeot iOn^b	0 (0)	1 (0)	208 (0)	263 (14)
Renault Fluence^b	0 (0)	0 (0)	14 (0)	213 (34)
Mitsubishi i-MiEV^b	0 (0)	12 (0)	683 (56)	96 (66)
Mercedes A-Class E- Cell^b	0 (0)	0 (0)	138 (0)	78 (0)
Tesla Roadster^b	0 (0)	23 (3)	59 (19)	67 (53)
VW Golf^b	0 (0)	0 (0)	80 (0)	61 (0)
Chevrolet Volt^d	0 (0)	0 (0)	9 (0)	25 (8)
Mia Mia^b	0 (0)	0 (0)	0 (0)	13 (0)
Mercedes Vito^b	0 (0)	0 (0)	0 (0)	13 (0)
Volvo C30^b	0 (0)	0 (0)	6 (0)	12 (0)
Andere^b	66 (15)	120 (12)	53 (7)	127 (50)
<i>Gesamt BEV ohne REEV, PHEV und Twizy</i>	<i>80 (15)</i>	<i>309 (15)</i>	<i>1.803 (101)</i>	<i>2.610 (469)</i>
<i>Gesamt PEV nach KBA (BEV und REEV)</i>	<i>80 (15)</i>	<i>309 (15)</i>	<i>2.044 (101)</i>	<i>3.438 (594)</i>

Gesamt PEV (BEV, REEV, PHEV)	80 (15)	309 (15)	2.044 (101)	4.606 (1.028)
Gesamt PEV inkl. PHEV und Twizy	80 (15)	309 (15)	2.044 (101)	6.902 (1.028)
Gesamt-Markt	3.807.175	2.916.260	3.173.634	3.082.504

a – Quad-Zulassung, nicht im Gesamt-Markt enthalten

b – Batterieelektrisches Fahrzeug (BEV)

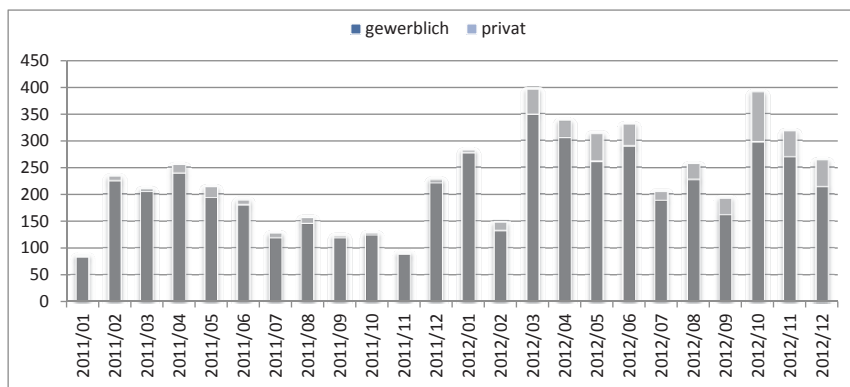
c – Plug-in Hybrid (PHEV), nach KBA nicht in der Summe der Elektrofahrzeuge enthalten

d – Range Extender Elektrofahrzeug (REEV)

e – Private Zulassungen in Klammern

*Quelle: eigene Darstellung, Daten: KBA/CAR, Universität Duisburg-Essen,
Twizy-Zulassungen: Autobild.de 2013*

Abbildung 3: Neuzulassungen von Elektrofahrzeugen in Deutschland, privat/gew.



Quelle: eigene Darstellung, Daten: KBA/CAR, Universität Duisburg-Essen

Ein Großteil der zugelassenen Elektrofahrzeuge wurde von Gewerbetreibenden angemeldet (siehe Abbildung 3). Dementsprechend beläuft sich die tatsächliche Nachfrage nur auf einen kleinen Anteil der Zulassungszahlen: Lediglich 22,3% der Elektro-

fahrzeuge wurden im Jahr 2012 von Privatpersonen zugelassen. Im Jahr 2011 waren es sogar nur 4,9%.

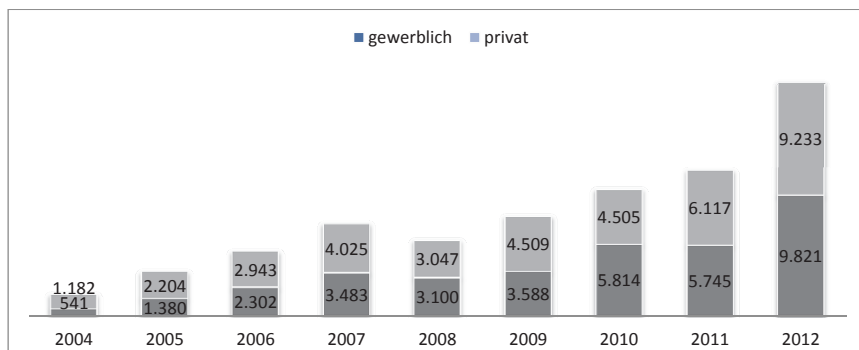
Diese schlechte Entwicklung ist nicht in einem Angebotsdefizit begründet. 14 Modelle von Volumenherstellern waren 2012 verfügbar. Der Absatz des Modells *Mitsubishi i-MiEV* zum Beispiel brach bereits im zweiten Jahr nach seinem Launch ein (-86%). *Opel* konnte die Zulassungen des *Ampera* dagegen um 244% auf 828 Fahrzeuge erhöhen. *Opel* hat damit nach Angaben des KBA im Jahr 2012 den größten Anteil an Elektrofahrzeugen (24%). Fahrzeuge des Modells *Smart electric drive* und *Citroën C-Zero* wurden mehr als doppelt so viele registriert wie im Jahr zuvor. Den höchsten Anteil an privaten Nutzern hat der *Tesla Roadster* (79%). Darauf folgt der *Mitsubishi i-MiEV* (69%). Bei den anderen Serienmodellen ist der private Anteil geringer als 20% (KBA/CAR, Universität Duisburg-Essen).

Entsprechend der Zuordnung durch das Kraftfahrtbundesamt findet sich der *Opel Ampera* und der *Chevrolet Volt*, beide Elektrofahrzeuge mit Reichweitenverlängerung, in der Kategorie der Elektrofahrzeuge, obwohl der *Ampera* in der Typprüfung als Hybridfahrzeug mit 1,4 Litern Verbrauch eingestuft wurde. Dagegen fällt der *Toyota Prius Plug-in* in die Kategorie der Hybridfahrzeuge, da die Achse nicht vom Elektromotor, sondern vom Verbrennungsmotor angetrieben wird. Für die Nutzer ist dieser technische Unterschied jedoch kaum erkennbar. Vom Modell *Prius Plug-in* wurden in Deutschland im Jahr 2012 1.168 Exemplare verkauft, davon 434 Fahrzeuge an Privatkunden, was einem Anteil von immerhin 37% entspricht. Die Zuordnung des *Toyota Prius Plug-in* zu den Elektrofahrzeugen ergibt in Summe 4.606 zugelassene, von außen ladbare Elektrofahrzeuge im Jahr 2012. Vom KBA wurden im Jahr 2012 3.438 Elektrofahrzeuge (ohne PHEV) gelistet.

Der *Renault Twizy* ist das derzeit am besten verkaufte Elektrofahrzeug in Deutschland. Laut KBA konnte der Importeur in Deutschland bis Ende Oktober 2012 insgesamt 2.296 Fahrzeuge absetzen (Autobild.de 2013). Weltweit verkaufte *Renault* im Jahr 2012 9.020 *Twizy*, 9.015 davon in Europa. 11.325 Fahrzeuge des Modells wurden insgesamt produziert (Renault 2013). Der *Twizy* wird bei der Zulassung wie ein Quad als Kraftfahrzeug eingestuft (L7e) und wird deshalb nicht unter den KBA-Zulassungen aufgeführt. Durch diese Besonderheit ist es möglich, das Fahrzeug ohne Türen, ABS und ESP auf den Markt zu bringen.

Der Anteil der Neuzulassungen von Hybridfahrzeugen (HEV) liegt mit 0,6% im Jahr 2012 (19.054 Neufahrzeuge) marginal über dem Anteil der zugelassenen PEV mit 0,1% (4.606 Neufahrzeuge). Allerdings gleichen sich hier private und gewerbliche Zulassungen ungefähr aus (siehe Abbildung 4). EU-weit waren im Jahr 2010 3,2% der gesamten Zulassungen alternative Antriebe (ACEA 2012c, S. 70).

Abbildung 4: Neuzulassungen von Hybridfahrzeugen in Deutschland, privat/gew.



Quelle: eigene Darstellung, Daten: KBA/CAR, Universität Duisburg-Essen

Im Gegensatz zu der schleppenden Entwicklung im Pkw-Markt, konnte der Absatz von elektrischen Zweirädern, sogenannten E-Bikes, in Deutschland von 200.000 Exemplaren im Jahr 2010 auf 310.000 in 2011 erhöht werden. Dies entspricht bereits einem Anteil von 8% am Gesamtmarkt (ZIV 2012). Es wird unterschieden zwischen Pedelecs und E-Bikes. Pedelecs haben eine elektrische Tretkraftunterstützung bis zu einer Geschwindigkeit von 25 km/h. Es besteht keine Anmelde- oder Helmpflicht. Das E-Bike dagegen hat eine Maximalgeschwindigkeit von 45 km/h und muss angemeldet und versichert werden. Es besteht eine Helmpflicht. Ein Beispiel hierfür ist das E-Bike *Elmoto*.

2.3.2 Nachfrage in China

Seit 1994 unterstützt die chinesische Regierung offiziell den Aufbau einer nationalen Automobilindustrie. Zudem wurde der individuelle Pkw-Besitz gefördert (State Coun-

cil 1994, Wang 2011, S. 103). Diese erste „Automotive Industry Policy“ wurde zehn Jahre später durch die „New Automotive Industry Development Policy“ ersetzt, um die chinesische Automobilindustrie wettbewerbsfähig zu machen: „Making the auto industry a pillar industry in the national economy by the year 2010“ (NDRC 2004). Im Jahr 2009 wurde diese Policy erneut überarbeitet, mit dem Ziel, alternative Antriebe zu fördern (s. Kapitel 2.4.2).

Seit 2009 ist China der weltgrößte Automobilmarkt mit knapp 13 Mio. verkauften Pkw (Schott et al. 2012). Von 2000 bis 2012 wuchs der Markt jährlich um durchschnittlich 29% und angesichts der 1,3 Mrd. Einwohner Chinas ist weiteres Wachstum zu erwarten. Im Jahr 2013 sollen erstmals mehr als 20 Mio. Pkw verkauft werden. Im Jahr 2011 kamen die Pkw-Neuzulassungen in China auf einen Anteil von 18,7% am Weltmarkt (65,416 Mio. Pkw). Damit lag China nur knapp unter dem Anteil der gesamten EU (20%). Japan und Indien sind mit 5,4% und 3,9% Anteil kaum mit China vergleichbar. Das Wachstum liegt in China vor allem im gewerblichen Bereich. Hier beträgt der Anteil der Neuzulassungen sogar 48,2% des Weltmarktes. In der EU wurden 2011 lediglich 14,9% der gewerblichen Neuzulassungen weltweit angemeldet.

Im Gegensatz zu Europa, und im speziellen Deutschland, ist China ein Wachstumsmarkt. Während der EU-Pkw-Markt mit einer Fahrzeugdichte von 477 Autos pro 1.000 Einwohner im Jahr 2010 weitgehend gesättigt ist, bleibt in China mit lediglich 32 Autos pro 1.000 Einwohner die Chance auf weiteres Wachstum. Auch Japan und die USA sind gesättigte Märkte (Pkw-Dichte USA: 424/1.000 EW, Japan: 456/1.000 EW). Indien dagegen kommt erst auf 10 Autos pro 1.000 Einwohner (ACEA 2012c, S. 74/82). Ein Grund dafür ist, dass die Infrastruktur in Indien ein größeres Hindernis ist als in China (Wang 2011, S. 110).

Der Anteil an Neuwagenverkäufen weltweit wird für China im Jahr 2020 auf 9%, für die USA nur auf 4% geschätzt (Dumaine 2010). Bis zum Jahr 2030 soll es in China mehr autobahntaugliche Fahrzeuge geben als in den USA im Jahr 2007. Erwartet werden 486-622 Mio. Fahrzeuge auf den Autobahnen, 28 Mio. auf dem Land und 44 Mio. Motorräder (Argonne National Laboratory 2007, S. 3). Das Wachstum wird vor allem durch die große Anzahl von Mittel- und Geringverdienern ausgelöst, die sich in den nächsten Jahren erstmals ein Auto leisten können (ebd., S. 17). Weitere Einflüsse auf die Automobilnachfrage sind günstigere Anschaffungspreise von Pkw sowie eine

zunehmende Verstädterung (ebd., S. 24). Rund die Hälfte des Pkw-Marktes im Jahr 2030 wird aus Kleinwagen bestehen und dieses Segment wird weiter wachsen (Argonne National Laboratory 2007, S. 25; Orr 2012, S. 4). Die jährlichen Ausgaben der Haushalte für Transport werden sich von 2010 bis 2020 fast verdreifachen (Atsmon und Magni 2011, S. 4). Allerdings ist der gesamte Automobilmarkt im Jahr 2011 mit 2,5% weniger stark gewachsen als in 2010 (32%) (Orr 2012, S. 4).

Seit 2009 hat jeder Automobilhersteller in China die Pflicht, NEV („new energy electric vehicles“) anzubieten (Schott et al. 2012, S. 14). Die Bezeichnung NEV umfasst reine Elektrofahrzeuge (BEV) sowie reichweitenverlängerte Versionen (PHEV und REEV). Nach einer Studie von *McKinsey & Company* (2012) wurden seit 2009 7.834 Elektroautos in China verkauft. Insgesamt waren es rund 48 Mio. Pkw. Elektrofahrzeuge machen also auch in China nur einen geringen Anteil von 0,02% aus. In den USA liegt der Anteil bei immerhin 0,09% und in Japan bei 0,16% (Tian 2012). Die geringen Verkaufszahlen von Elektrofahrzeugen in China lassen vermuten, dass das Nahziel, bis 2015 eine halbe Million Elektroautos auf die Straße zu bringen (siehe Kapitel 2.4.2), verfehlt wird.

Die genauen Verkaufszahlen von Elektrofahrzeugen in China variieren allerdings je nach Quelle. Nach Angaben der *China Association of Automobile Manufacturers* (CAAM) wurden im Jahr 2011 schon allein 8.159 Elektrofahrzeuge verkauft und 8.368 Fahrzeuge produziert. 5.579 davon waren rein elektrisch, 2.713 waren Hybridfahrzeuge (Chengxian 2012a). Im Zeitraum von Januar bis August 2012 kamen 6.019 Verkäufe dazu (Chengxian 2012b). Insgesamt wurden im Jahr 2012 11.375 Elektroautos in China abgesetzt (auto.de 2013). Der Anteil von Elektrofahrzeugen am Gesamtmarkt China verändert sich durch diese etwas höheren Zahlen aber kaum. *BYD* verkaufte im Jahr 2011 401 Fahrzeuge des Elektromodells *e6* und 613 Fahrzeuge des Plug-in Hybriden *F3DM* (ChinaAutoWeb 2012). Die Plug-in Hybridfahrzeuge *BYD F3DM* (600 Stück) und die Hybridfahrzeuge *SAIC Roewe 750* (500 Stück) machen knapp die Hälfte (43%) aller Verkäufe im Jahr 2011 aus (siehe Tabelle 2).

Die großen Automobilhersteller sind über Joint Ventures in den chinesischen Markt gekommen, da ausländische Firmen eigenständig keinen Verkauf betreiben dürfen. Die chinesische Regierung fördert nur die einheimische Marken (Orr 2012, S. 4). Chinesische Marken dominieren den Markt für günstige Autos, vor allem im unterentwi-

ckelten Inland (Pratt und McCallum 2009, S. 2). Im Jahr 2012 hatten deutsche Hersteller einen Anteil von über 20% am chinesischen Markt, was gut 2,6 Mio. Pkw entspricht. Die Anzahl der verkauften Fahrzeuge lag damit um 400.000 Exemplare unter den verkauften Neuwagen in Deutschland (VDA 2012). Im Jahr 2012 konnte Audi über 400.000 Fahrzeuge in China verkaufen, BMW über 300.000. Ab 2013 plant Daimler, den *Smart electric drive* in China in fünfstelliger Zahl zu verkaufen.

Tabelle 2: Verkäufe Elektrofahrzeuge in China im Jahr 2011 nach Marke

Hersteller	Anteil BEV Verkäufe (Modell)	Anteil NEV Verkäufe
Chery	25% (QQ3)	46%
JAC	23% (J3)	19%
BYD	8% (e6)	16%
SAIC	-	8%
Zotye¹	5% (M300, 5008)	5%
Haima	4% (Freema)	3%
BAW	2% (Q60FB)	2%
Foton	2% (Midi)	1%
ChangAn	0% (Benni)	0%
ZKL²	0% (Lifan 620)	0%
Andere	31%	-
Produktion gesamt	5.565	8.368 (2.713 HEV)
Verkäufe gesamt	5.579	8.159 (2.580 HEV)

Quelle: Chengxian 2012a, 2012b

¹ Zotye International Automobile Trading Co., Ltd.

² Shanghai Zhongke Lifan Electric Vehicle Co., Ltd.

Während die Absatzzahlen von Elektro-Pkw in China wie in Deutschland gering sind, hat sich der Markt für elektrische Zweiräder zum erfolgreichsten der Welt entwickelt. Der Bestand wird auf 33-45 Mio. geschätzt. Die Ursache für das enorme Wachstum der Absatzzahlen für E-Bikes seit den 90er Jahren liegt vor allem in den Aktivitäten der Regierung: Um die Luftverschmutzung zu reduzieren, wurden in vielen chinesischen Städten benzinbetriebene Zweiräder verboten (Weinert et al. 2008, S. 2544). Das Verbot begann in 30 mittleren und großen Städten Ende der 90er und wurde bis 2006 auf 148 Städte erweitert. Hinzu kam der Einfluss steigender Einkommen, der den Wechsel vom Fahrrad oder öffentlichem Nahverkehr zum Elektrorad begünstigte, sowie die Unterstützung vieler Lokalregierungen und ein schwaches Angebot an öffentlichen Verkehrsmitteln (Weinert et al. 2008, S. 2544 und S. 2549). Vor allem bei kürzeren Strecken ist die Fortbewegung mittels Elektrozweirad schneller als z.B. mit dem Bus (Cherry 2007). Durch den steigenden Bedarf an alternativen Antrieben wie dem Elektromotor hat sich die Batterietechnik verbessert und größere Reichweiten bei geringeren Kosten ermöglicht³. Dies kann auch die Entwicklung von Batterien für größere Elektrofahrzeuge beschleunigen (Weinert et al. 2008, S. 2544).

2.4 Wirkungslosigkeit der staatlichen Förderung

Elektroautos verkaufen sich nur schleppend, obwohl viele Staaten die Entwicklung und Verbreitung von Elektromobilität fördern. Nach Schätzungen werden im Jahr 2020 weltweit etwa 20-30 Mrd. EUR Subventionen und Fördermittel in die Verbreitung von Elektrofahrzeugen investiert, 85% davon in direkte und indirekte Kaufprämien (Klink et al. 2011, S. 3). Tabelle 82 im Anhang zeigt eine Übersicht der Kaufanreize in Europa, den USA und Kanada, sowie China und Japan. Die Steuersubventionen der USA für Hybrid- und Elektrofahrzeuge summierten sich während des dritten Quartals 2007 auf 785 Mio. USD. Rund die Hälfte davon wurde allein für den *Toyota Prius* verwendet. Der Kauf eines *Toyota Prius* wurde in den USA bis zum Jahr 2006 mit

³

Ein einfaches E-Bike mit Bleibatterie ist in China bereits ab umgerechnet rund 200 EUR erhältlich, ein E-Bike mit Lithium-Ionen-Batterie ab rund 300 EUR. Die Reichweite beträgt ca. 40 km und die Maximalgeschwindigkeit liegt bei etwa 30 km/h. Diese Zweiräder unterliegen nicht der Zulassungs- und Versicherungspflicht und können ohne Führerschein gefahren werden.

2.000 USD (1.537 EUR⁴) und seit 2006 mit 3.400 USD (2.613 EUR) gefördert (Sallee 2011, S. 191). Insgesamt fördert die USA Elektrofahrzeuge mit rund 150 Mrd. USD (115 Mrd. EUR); Japan investiert 200 Mio. USD (154 Mio. EUR) in die Batterieforschung (BMW, BMVBS, BMU, BMBF und BMELV 2009).

Ziel der staatlichen Förderung von Elektrofahrzeugen ist es, die neue Technologie mit radikal innovativem Charakter marktfähig zu machen. Da hoch innovative Technologien wie Lithium-Ionen-Batterien durch lange Entwicklungszeiten bei unsicheren Absatzprognosen gekennzeichnet sind, soll die Förderung das Risiko für Unternehmen reduzieren. Ein erfolgreiches Beispiel von Eingriffen der Regierung ist Indien. Auf Druck von Bürgerbewegungen war die indische Regierung Ende der 90er Jahre gezwungen, den öffentlichen Verkehr auf alternative Antriebe umzurüsten, um die Luftqualität in den Großstädten zu verbessern. Über 200.000 Busse, Taxen und Rickshas fahren in den Großstädten Indiens mittlerweile mit Erdgas (Yeh 2007, S. 5867).

In Anlehnung an Yeh (2007) gibt es fünf Klassen von Politikinstrumenten, die die Nutzung von Transporttechnologien beeinflussen sollen:

1. Ergebnisbasierte Regulierungen, wie z.B. Umweltzonen
2. Technik- oder Treibstoffbasierte Regulierungen
3. Anreizbasierte Instrumente für Konsumenten: Steuervorteile, Rabatte oder Kaufanreize (siehe Tabelle 81 im Anhang)
4. Anreizbasierte Instrumente für Zulieferer
5. Marktbildungsmaßnahmen: Direktinvestitionen in Infrastruktur oder Förderung von Forschung und Entwicklung, z.B. beim Aufbau von Lithium-Ionen-Batteriefertigungen oder für die Fertigungen von Elektrofahrzeugen (Dudenhöffer 2010).

⁴

Kurs EUR/US-Dollar (EUR-USD) vom 08.03.2013: 1,30 USD

2.4.1 Staatliche Förderung in Deutschland

Auch in Deutschland wird versucht, das Risiko des Marktversagens durch politische Eingriffe zu verhindern. Um den Automobilstandort Deutschland mit rund 730.000 Beschäftigten bei Autoherstellern und Zulieferunternehmen auch für die Zukunft zu stärken, hat die Bundesregierung beschlossen, Deutschland zum „Leitmarkt für Elektromobilität“ zu entwickeln. Am 25. November 2008 stellten die vier Bundesministerien für Umwelt, Verkehr, Wirtschaft und Forschung in einer gemeinsamen Presseerklärung ihr Ziel vor. In einer „Nationalen Strategiekonferenz Elektromobilität“ wurde entschieden: „Elektrofahrzeugen gehört die Zukunft. Sie werden vor allem im Stadtverkehr bald zum Alltag gehören. Bis zum Jahre 2020 sollen bereits eine Million am Stromnetz aufladbare Elektrofahrzeuge und so genannte Plug-in Hybridfahrzeuge auf deutschen Straßen fahren“ (Bundesministerium für Bildung und Forschung, BMBF 2008). Bis 2030 sind sogar sechs Mio. elektrische und teilelektrische Fahrzeuge vorgesehen. Zur Umsetzung der Ziele wurde im August 2009 der „Nationale Entwicklungsplan Elektromobilität der Bundesregierung“ vorgestellt (Bundesregierung 2009). Mehr als 1,5 Mrd. EUR sollten bis 2014 für die Entwicklung von Batterie, Fahrzeugtechnik und Netzintegration bereitgestellt werden, vorwiegend über Demonstrations- und Infrastrukturprojekte sowie die Schaffung von Rahmenbedingungen (Schott et al. 2012, S. 19).

Erstes Hauptprojekt war die Förderung von acht Modellregionen, die unter Federführung des Verkehrsministeriums mit einem Budget von 130 Mio. EUR im Rahmen des Konjunkturpakets II unterstützt wurden (Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, BMVBS 2011b). Hinzu kamen kleinere Projekte, die Hochschulen auf dem Feld der Elektrochemie unterstützten. Im Zentrum standen somit acht Modellregionen, in denen rund 220 Projekte gefördert wurden. Damit entfiel auf das Durchschnittsprojekt eine Fördersumme von knapp 600.000 EUR. Experten kritisierten allerdings, dass es mit den zahlreichen kleinteiligen Projekten schwer sei, eine Schlüsselbranche am Standort Deutschland aufzubauen. Daher wurde im Mai 2011 in einem weiteren „Regierungsprogramm Elektromobilität“ ein spezifischeres Maßnahmenbündel beschlossen. Insgesamt sechs Schwerpunkte von der Forschungsförderung für Batteriezellen bis zum Recycling von Rohstoffen wurden in diesem Regierungsprogramm aufgezählt (Bundesregierung 2011). Einer der Schwerpunkte fokus-

siert „regionale Schaufenster“, die aufgebaut werden sollen, um die Elektromobilität sichtbar zu machen und den Marktaufbau vorzubereiten. Statt Kaufprämien für den Erwerb von Elektroautos soll die Elektromobilität nun durch einen Demonstrationseffekt populär gemacht werden. Für die Schaufensterwettbewerbe hat die Bundesregierung über einen Zeitraum von drei Jahren ein Budgetvolumen von 180 Mio. EUR geplant (ebd.).

Kaufanreize wird es in Deutschland nach der neuesten Diskussion im Oktober 2012 auch in Zukunft nicht geben (Otto 2012b). Laut Verkehrsminister Peter Ramsauer hätten Kaufprämien in den Ländern, wo man sie eingeführt hat, keinen Erfolg gehabt (siehe Kapitel 5.2.6.2). Allerdings sind Elektrofahrzeuge zehn Jahre von der Kfz-Steuer befreit, da die Kfz-Steuer CO₂-abhängig ist. Dies gilt für BEV, die bis zum 31. Dezember 2015 erstmals zugelassen werden. Nach 2015 werden BEV für fünf Jahre von der Steuer befreit. Die Regelung gilt nicht nur für Pkw, sondern auch für Nutz- und Leichtfahrzeuge sowie für Brennstoffzellenfahrzeuge (Automobilwoche 2012a).

Von Seiten der EU wird durch CO₂-Grenzwerte versucht, den Flottenverbrauch der Hersteller zu senken und Druck zur Entwicklung alternativer Antriebe aufzubauen. Laut dem "Entwurf von Verordnungen zur Novellierung der Verordnungen 520/2011 und 443/2009 zu CO₂-Emissionen aus Lieferwagen und Pkws" soll bis 2015 ein durchschnittlicher CO₂-Ausstoß von 130 g/km für Neufahrzeuge gelten. Bis 2020 soll der CO₂-Grenzwert auf 95 g/km gesenkt werden. Der Bau von Elektroautos kann emissionsmindernd angerechnet werden. Experten vermuten, dass Elektrofahrzeuge zwingend notwendig sind, um die Grenzwerte einhalten zu können (DCTI 2010, S. 10).

Zudem könnten legislative Handlungen, wie z.B. hinsichtlich emissionsarmer Zonen und CO₂-freier Innenstädte die Elektromobilität vorantreiben. Umweltzonen sind in Europa mittlerweile weit verbreitet. Nach dem „Weißbuch Verkehr“ der europäischen Kommission (2011) sollen die Innenstädte in Europa bis 2050 vollkommen von CO₂ befreit werden. Bis 2030 sollen die CO₂-Emissionen um 50% gesenkt werden. Vorreiter hierfür sind die Städte London oder Florenz. Eine Studie des CAR (2011a) kam allerdings zu dem Ergebnis, dass CO₂-freie Innenstädte für die aktuelle Kaufentscheidung noch keine Rolle spielen. Erst ab 2020 wird die Relevanz durch den Druck der EU zunehmen. Eine solche Regulierung hat also vorerst keinen Einfluss auf die Akzeptanz von Elektrofahrzeugen.

2.4.2 Staatliche Förderung in China

Seit 2003 ist China der zweitgrößte Ölkonsument der Welt. Um die Abhängigkeit vom Öllexport zu reduzieren, fing der Staat früh an, alternativ betriebene Fahrzeuge durch F&E-Programme, Direktinvestitionen, Anreizsysteme und Planziele zu fördern (Yeh 2007, S. 5867).

Bereits im Jahr 2001 startete die Volksrepublik Projekte, um Elektromobilität zu fördern. Das Konzept sah drei vertikale (三纵) und drei horizontale (三横) Kategorien vor: Auf vertikaler Ebene wurden rein elektrische, Hybrid- und Brennstoffzellenfahrzeuge einbezogen; auf horizontaler Ebene ging es um Multi-Energie-Leistungssysteme, Motor und Batterie. Drei Jahre später betonte die Regierung in der „Automobile Industry Development Policy“ die Entwicklung in Richtung Energieeinsparung, Umweltschutz und Nachhaltigkeit des Automobilsektors. In 2005 wurden erstmals Ziele hinsichtlich des Anteils von Elektrofahrzeugen kommuniziert („863 Program“). So sollten bis 2010 5-10% und bis 2030 über 50% aller Fahrzeuge elektrisch fahren. Als Test-Städte wurden Beijing, Wuhan, Tianjin, Zhuzhou, Weihai und Hangzhou bestimmt. Um die Verbreitung von Elektrofahrzeugen zu fördern, legte das Finanzministerium 2006 Steuervorteile für umweltfreundliche Fahrzeuge fest. Zudem sollte die Entwicklung von Fahrzeugen mit alternativen Antrieben („new energy vehicle“, NEV) mit 20 Mrd. CNY (2,44 Mrd. EUR⁵) gefördert werden (National Development and Reform Commission, NDCR 2007).

Im Jahr 2009 bestätigte die Regierung die „Automotive Industry Development Policy“ von 2004 und ergänzte folgende Ziele:

- Förderung der Entwicklung von energiesparenden und umweltfreundlichen Kleinwagen
- Entwicklung von Emissionsrichtlinien durch die Automobilindustrie und den nationalen Energiesektor
- Vorantreiben der aktiven Forschung und Industrialisierung des Elektroautos sowie der Batterie mit dem Schwerpunkt auf der Hybrid- und Diesel-Technologie durch den Staat und die Automobilhersteller

⁵

Kurs EUR/Renminbi Yuan (EUR-CNY) vom 16.10.2012: 8,20 CNY

- Unterstützung von Forschung an technologischen Innovationen, einer Richtlinie zum Umweltschutz und der Herstellung und Nutzung von Hybridfahrzeugen durch den Staat

Die Förderung der Elektromobilität wurde 2009 im „Plan on Shaping and Revitalizing the Auto Industry“ wesentlich angestoßen. Die Industrialisierung von Elektrofahrzeugen und deren Kern-Bestandteilen wollte die Regierung mit 10 Mrd. CYN (1,22 Mrd. EUR) fördern. Das Finanzministerium („Ministry of Finance“, MOF) sowie das Ministerium für Wissenschaft und Technologie („Ministry of Science und Technology“, MOST) legten am 23. Januar 2009 13 Pilot-Städte⁶ fest, in denen die Nutzung von NEV demonstriert werden sollte, unter anderem im öffentlichen Personennahverkehr sowie im öffentlichen Dienst. Das Ziel war es, 500.000 alternativ betriebene Fahrzeuge (AFV: PEV, HEV und PHEV) bis 2012 auf die Straße zu bringen. 5% der Verkäufe sollten AFV sein (MOF und MOST 2009). Im Februar desselben Jahres führten die beiden Ministerien das Programm „10 Cities 1.000 Vehicles“ ein. Ziel des Programms war es, dass der öffentliche Dienst innerhalb von drei Jahren in zehn chinesischen Städten insgesamt 1.000 NEV einsetzt (MOST und MOF 2009). Dazu gab es eine Empfehlungsliste, die 192 Modelle von AFV enthielt, die für die Demonstration geeignet schienen. Diese umfasste u. a. 113 Busse, 41 Pkw und 34 Nutzfahrzeuge. Die Fahrzeuge waren überwiegend von chinesischen Herstellern. Nur vier Joint Ventures waren beteiligt: *Zhengzhou Nissan*, *Shanghai Sunwin (Volvo)*, *Shanghai GM*, *Guangzhou Toyota* (MIIT 2009-2010, Zheng et al. 2012, S. 19). Private Fahrzeuge wurden in diesem Programm nicht gefördert. Im Mai 2009 entschied die Regierung, die technologische Entwicklung von Elektrofahrzeugen mit 20 Mrd. CNY zu fördern. Des Weiteren wurde das Demonstrationsprogramm auf 25 Städte aufgestockt.

Zwei Jahre später verankerte die Regierung die Elektromobilität zudem im zwölften Fünf-Jahresplan („Twelfth FYP 2012“). Der Schwerpunkt lag hier auf der Entwicklung von Hybridfahrzeugen, rein elektrischen Transportmöglichkeiten und neuen Mobilitätsmodellen. Zudem sollen bis 2015 die Demonstrationsprojekte auf 30 Städte er-

⁶ Pilot-Städte des „Interim Measures on financial subsidies for Energy-saving and new energy vehicle demonstration and extension Plan“: Beijing, Shanghai, Chongqing, Changchun, Dalian, Hangzhou, Jinan, Wuhan, Shenzhen, Hefei, Changsha, Kunming und Nanchang.

weitert und in fünf Städten neue Geschäftsmodelle getestet werden (NDRC 2011). Ziel war es zunächst, bis 2015 eine Mio. BEV und PHEV zu verkaufen. Das Ziel wurde allerdings auf 500.000 Fahrzeuge reduziert. Bis 2020 sind 5 Mio. EV auf den Straßen geplant (Tian 2012). Dazu kommen 15 Mio. HEV. Allein im Jahr 2013 sollen 5.000 Elektrofahrzeuge, 3.000 Taxen und 2.000 Privatfahrzeuge) verkauft werden (auto.de 2013). Die Produktionskapazität soll von 0,5 Mio. im Jahr 2011 auf eine Mio. bis 2020 erhöht werden. Dazu sollen bis 2020 100 Mrd. CYN (12,2 Mrd. EUR) in den Sektor investiert werden (Schott et al. 2012, S. 19).

Eine weitere Richtlinie zur detaillierteren Planung wurde am 28. Juni 2012 verabschiedet. Dieser „Energy-Saving und New Energy Automotive Industry Development Plan“ enthält die folgenden Ziele (State Council 2012):

- Technische Verbesserung der Herstellung von NEV und Batterien
- Erhöhung der notwendigen Infrastruktur für Herstellung und Nutzung NEV (Ladeinfrastruktur)
- Wissenschaftliche Planung der Industriestruktur und Aufbau einer Produktionskette für die Elektroauto-Industrie
- Beschleunigung der Popularisierung und Pilotdemonstrationen von Elektroautos, Verabschiedung einer Richtlinie zur Unterstützung des privaten Kaufs von Elektroautos

Die Leapfrogging-Strategie Chinas, die vorsieht, direkt BEV zu verkaufen, ohne den Umweg über HEV oder PHEV zu gehen, wird durch bestimmte Institutionen auf drei Ebenen voran getrieben (Schott et al. 2012, S. 19):

1. Ebene: Steering Group for Science, Technology and Education und SASAC (State-owned Assets Supervision and Administration Commission)
2. Ebene: NDRC (National Development and Reform Commission)
3. Ebene: MOST (Ministry of Science and Technology), geführt vom Auto- und BEV-Experten Prof. Wan Gang und MIIT (Ministry of Industry and Information Technology)

Akzeptanz von Elektroautos in Deutschland und China

Eine Untersuchung von Nutzungsintentionen im

Anfangsstadium der Innovationsdiffusion

Dudenhöffer, K.

2015, XXVII, 398 S. 40 Abb., Softcover

ISBN: 978-3-658-09117-0