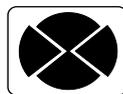


Whitepaper Elektromobilität:  
**Optionen für Deutschlands Automobilindustrie**



Juni 2010



**TECHNOMAR GmbH**  
Marktforschung und  
Unternehmensberatung  
Widenmayerstr. 46a  
80538 München  
Telefon: 0 89 / 419 418-0  
Telefax: 0 89 / 419 418-88  
E-mail: [info@technomar.de](mailto:info@technomar.de)

---

## Inhalt

<b>1</b>	<b>Vorbemerkung</b> .....	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Das Ende deutscher Kernkompetenz</b> .....	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>Die Stunde der Versorgungsunternehmen</b> .....	<b>5</b>
<b>4</b>	<b>Eine Ära völlig neuer Autos</b> .....	<b>6</b>
<b>5</b>	<b>Große Bedrohung für die Tankstelle</b> .....	<b>7</b>
<b>6</b>	<b>Das Lithium-Ionen-Szenario</b> .....	<b>9</b>
<b>7</b>	<b>Hoffnungsträger Erdgas und Biomethan</b> .....	<b>11</b>
<b>8</b>	<b>Hoffnungsträger Wasserstoff und Brennstoffzelle</b> .....	<b>13</b>
<b>9</b>	<b>Hoffnungsträger neue Stromspeichertechnologien</b> .....	<b>14</b>
<b>10</b>	<b>Das Kernkompetenz-Szenario</b> .....	<b>16</b>
<b>11</b>	<b>Die nötigen Maßnahmen</b> .....	<b>18</b>
<b>12</b>	<b>Referenzen Technomar</b> .....	<b>19</b>

## 1 Vorbemerkung

Die Automobilbranche ist Deutschlands stärkster Wirtschaftsfaktor. Sie erwirtschaftete in 2008 mit 331 Mrd. Euro knapp ein Fünftel des deutschen Bruttosozialproduktes. Sie bietet 723.000 Arbeitsplätze und beschäftigt indirekt bis zu 5 Mio. Menschen. Ein großer Teil der direkten Arbeitsplätze ist mit 285.000 Menschen in der Zulieferindustrie ansässig. Allein ca. 1.500 kleinere und mittelständische Unternehmen stehen in starker Abhängigkeit von den deutschen Autobauern und deren größten Zulieferern.

Dramatische Preisschwankungen bei Mineralölprodukten, die Peak-Oil-Diskussion und der befürchtete Klimakollaps bedrohen den Markt für herkömmliche Kfz. Zudem lässt sich der steigende Bedarf der Individualmobilität in den rasant wachsenden Megacities aufgrund der gewaltigen Smogbelastung nicht länger durch Verbrennungsmotoren befriedigen. Doch entgegen der Zielvorgaben der Bundesregierung hinkt Deutschland bei den alternativen Antriebstechnologien der internationalen Konkurrenz um mindestens zwei Jahre hinterher.

Insbesondere Schwellenländer wie China und Indien besetzen diesen zukünftigen Markt für Automobile. Allein in China sind mittlerweile 70 bis 80 Mio. Elektrofahrzeuge – hauptsächlich noch Zweiräder – unterwegs. Bereits 2012 sollen in der Volksrepublik jährlich eine Million E-Autos vom Band rollen.

Im Autoland Deutschland hingegen wird bisher nur an Ankündigungen, Konzeptstudien und Kleinstserien gearbeitet. Lediglich einzelne Mittelständler zeigen derzeit ernsthafte Aktivitäten zum Bau eigener E-Autos. Doch auch diese sind auf Batterien aus Fernost angewiesen. Denn insbesondere bei der Schlüsseltechnologie der Elektromobilität, der Lithium-Ionen-Batterie, liegen deutsche Unternehmen weit hinten.

Und auch bei den Alternativen zur Elektromobilität sieht es nicht gut aus. Fahrzeuge mit Biogas- und Erdgasantrieb sind zwar verfügbar, doch zeigen weder deutsche Autobauer noch Tankstellenketten ernsthaftes Engagement, diese Technologie rechtzeitig am Markt zu etablieren. Und auch der emissionsfrei verbrennende Treibstoff Wasserstoff – egal ob in der Brennstoffzelle oder im Verbrennungsmotor eingesetzt – scheint gegenüber der E-Mobilität weiter an Bedeutung zu verlieren.

Mittlerweile sind sich nahezu alle Experten einig, dass es innerhalb der nächsten 10 bis 15 Jahre zum Durchbruch der Elektromobilität kommt. Neben der geringen Reichweite von Elektroautos wurde immer wieder der extrem hohe Preis der Stromer, der angeblich noch bis Ende des Jahrzehnts weit oben bleiben soll, gegen einen rascheren Durchbruch für diese Technologie angeführt. Seit dem 26. Mai 2010 ist aber klar, dass dieses Argument nicht mehr gilt. Nissan geht in den USA mit einem unerwartet günstigen Startpreis von 32.780 Dollar für den LEAF an den Start. Aufgrund der amerikanischen Förderbedingungen ist der Fünfsitzer mit seinen 160 Kilometer Reichweite bereits für 25.280 Dollar zu haben, in Kalifornien kostet er dank zusätzlicher Subventionierung sogar nur 20.280 Dollar. Und es waren sicherlich nicht Absatzprobleme, die Nissan zu dieser Preispolitik bewegt haben, denn für die ersten 50.000 LEAF, die 2010 vom Band rollen, waren vor dieser Preisankündigung ohnehin schon über 100.000 Interessenten registriert.

Wenn es uns nicht gelingt, mit der internationalen Konkurrenz gleichzuziehen, werden in Zukunft immer mehr Traditionsmarken verschwinden oder in indische oder chinesische Hand übergehen, wie dies heute schon mit Jaguar und Volvo geschehen ist. Besonders dramatisch ist diese Entwicklung für die Hauptarbeitgeber der deutschen Automobilindustrie, die kleinen und mittelständischen Unternehmen, die stark von den großen Autobauern abhängig sind und von denen viele auf Komponenten der Antriebstechnik spezialisiert sind. Genau diese Komponenten aber werden in Zukunft durch Batterietechnologie aus Fernost ersetzt. Somit droht hierzulande ein massiver Verlust an Wertschöpfung und Arbeitsplätzen.

Es genügt also nicht, wie bisher – trotz Kanzlergipfel und markiger Ankündigungen – halbherzig dem Trend Elektromobilität hinterherzulaufen.

⇒ **Es ist ein durchgängiger Maßnahmenkatalog für nachhaltige Individualmobilität in Deutschland notwendig!**

## 2 Das Ende deutscher Kernkompetenz

Wo heute beim Antriebsstrang noch über 50 Prozent der Wertschöpfung direkt beim Autobauer liegen und die restlichen 49 Prozent von hauptsächlich deutschen Zulieferern wie Bosch für die Elektronik, ZF für Getriebe oder Mahle für Kolben erbracht wird, werden beim Elektroantrieb nach aktuellem Stand voraussichtlich 100 Prozent bei Zulieferern vorwiegend aus Fernost liegen. Was deutsche Autobauer die letzten 100 Jahre ausgezeichnet hat: überlegene Verbrennungsmotoren und hochpräzise Getriebetechnik, wird für Elektroautos in Zukunft nicht mehr benötigt (siehe *Abbildung 1*).

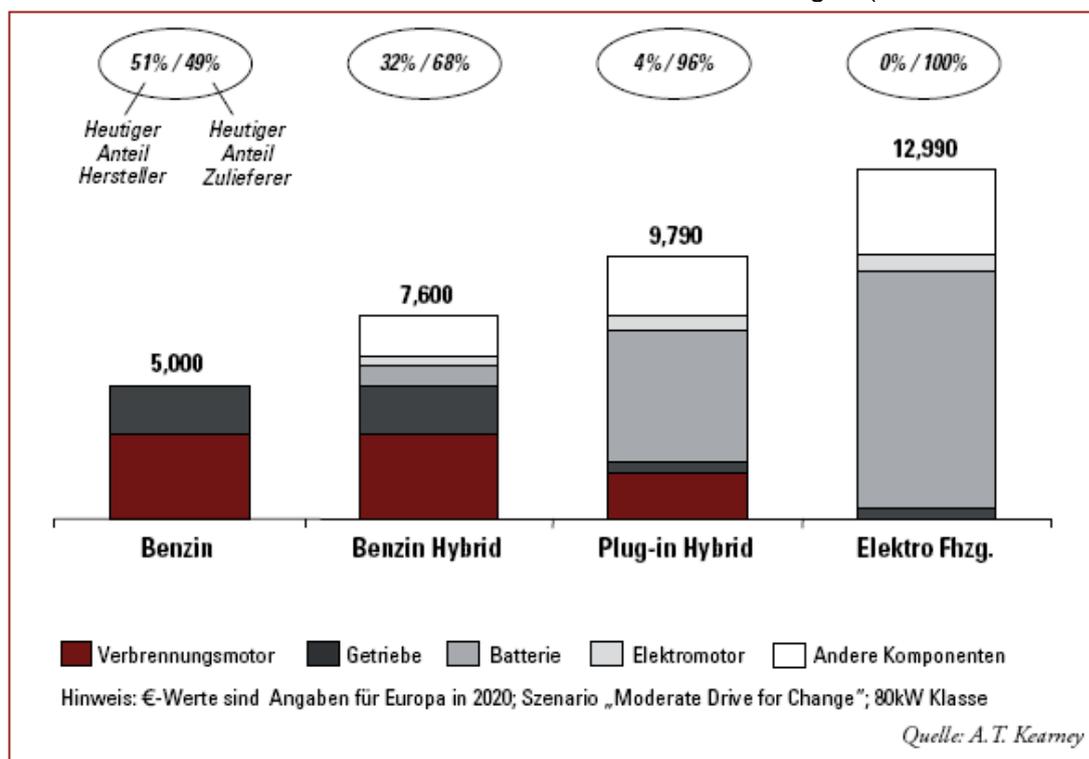


Abbildung 1: Wertschöpfung im Antriebsstrang (Quelle: A.T. Kearney)

Doch genau auf der alten Technologie basieren die wichtigsten Assets der deutschen Autobauer: Fabriken, Patente, Zulieferindustrie und nicht zuletzt das Know-how der Mitarbeiter. Diese Tatsache zeigt, warum die etablierten Autobauer der Elektromobilität zögerlich wenn nicht gar ablehnend gegenüberstehen. Ein rascher Schwenk auf das Elektroauto ist schlicht nicht möglich. Vielmehr gilt es, die langsam schwächer werdende Cash Cow so lange wie möglich am Leben zu halten.

Ganz anders die neuen Automobilfirmen aus Fernost: unbelastet vom etablierten Bestandsgeschäft können Firmen wie BYD oder TATA im neuen Markt der E-Autos eine dominierende Position aufbauen. Dabei müssen sie sich nicht mit hoch reglementierten und zum Teil auch noch schrumpfenden Märkten in den Industrienationen auseinandersetzen, sondern sie können mit einfachen Basisprodukten den gigantisch wachsenden Mobilitätsbedarf ihrer eigenen Schwellenländer decken. Dabei können sie umfassend Erfahrungen sammeln sowie gleichzeitig Assets aufbauen. Denn eines hat Chinas Autobranche aus dem Brilliance-Desaster gelernt: erst wenn sie sich den schwierigen Märkten der Industrienationen gewachsen fühlen, werden sie auch hier mit ausgereiften und wettbewerbsfähigen Produkten einsteigen.

Und BYD scheint sich nach seiner Kooperation mit Daimler in China im Gegenzug nun auch für den europäischen Markt gewappnet zu fühlen. Wie am 7. Juni 2010 angekündigt, plant der Chinesische Batterie- und Fahrzeughersteller voraussichtlich noch in diesem Jahr in Deutschland sein Europahauptquartier zu eröffnen. Ab 2011 sollen dann Hybrid- und Elektrofahrzeuge wie der E6 hierzulande vertrieben werden. Also noch deutlich vor dem Aufkommen von Serienelektrofahrzeugen aus deutscher Produktion – doch zu einem völlig anderen Preis-Leistungs-Verhältnis. Marktanteile, die die deutsche Industrie hier verliert, werden sich im Automobilmarkt der Zukunft so leicht nicht mehr zurückgewinnen lassen. Beispiele aus anderen Branchen zeigen, dass das keine unbegründete Panikmache, sondern knallharte Realität ist. Wer hätte vor wenigen Jahren gedacht, dass alteingesessene deutsche Traditionsprodukte wie Mobiltelefone von Siemens, Unterhaltungselektronik von Telefunken und Dual oder Computer von Nixdorf und Peakock völlig vom Markt verschwinden und durch Erzeugnisse aus Fernost ersetzt würden? Und der neueste Vorstoß von Nissan zeigt: die Schonfrist ist zu Ende.

### **3 Die Stunde der Versorgungsunternehmen**

Mit dem Elektroauto werden sich nicht nur die Marktanteile zugunsten neuer Automobilhersteller verschieben, sondern es werden sich völlig neue Player den Markt neu untereinander aufteilen. Dies sind Versorgungsunternehmen wie große Stromversorger und kommunale Anbieter, aber auch Telekommunikationsanbieter, die nicht nur Ladestationen, sondern völlig neue Mobilitätspakete anbieten wollen.

Dies wird durch die Tatsache begründet, dass die Energiekosten pro Kilometer vorsichtig gerechnet mit 2,4 Cent im Durchschnitt nur mehr bei 30 Prozent denen eines vergleichbaren Fahrzeugs mit Verbrennungsantrieb liegen. Auf der anderen Seite ist die Batterie eine neue, teure Komponente. Gegner der Elektromobilität gingen bislang davon

aus, dass diese zusätzlichen Investitionskosten Konsumenten noch lange vom Kauf eines Elektrofahrzeugs abhalten könnten, wobei wohl Nissans Vorstoß mit Niedrigpreisen dieses Argument entkräftet. Unabhängig davon haben Studien u.a. auch von Technomar<sup>i</sup> gezeigt, dass knapp 50 Prozent, der an Elektroautos interessierten Verbraucher Vertragsmodellen gegenüber aufgeschlossen sind, bei denen der Kaufpreis eines E-Autos über eine Leasingrate oder ähnlich wie bei einem Mobiltelefon über monatliche Gebühren gegenfinanziert wird.

Nahezu alle großen Stromversorger arbeiten derzeit an solchen Angeboten. Beispielsweise hat EWE mit einer eigenen Konzeptstudie, dem Elektroauto E3, deutlich gemacht, dass sie nicht warten wollen, bis die deutsche Automobilbranche ihnen Fahrzeuge liefert. RWE ist sogar noch einen Schritt weiter gegangen und bietet mit seinem Autostrom, in Kombination mit einem umgerüsteten Fiat 500 bereits heute ein kommerzielles, wenn auch noch zu teures E-Mobilitätsmodell an.

In Zukunft werden Kombiangebote an Bedeutung gewinnen, bei denen ein Versorger alle Energie- und Mobilitätsaspekte in einem Paket anbietet. Diese Kombiangebote werden sich anfangs nicht nur an Endverbraucher, sondern vor allem an Fuhrparkbetreiber richten. Aufgrund der langjährigen und umfassenden Kundenbindung sind Quersubventionierungen möglich, die die anfangs noch sehr hohen Kosten für das Batterieleasing deutlich reduzieren helfen. Damit sind Versorger in der Lage, Elektromobilität zu einem konkurrenzlos günstigen Preis anzubieten, der so nicht durch Autobauer oder Leasingfirmen erreicht werden kann.



Abbildung 2: Das erste Elektroauto eines Energieversorgers (Quelle: EWE)

## 4 Eine Ära völlig neuer Autos

Heute kann noch niemand mit Bestimmtheit vorhersagen, wie die Elektrofahrzeuge im Jahr 2020 wirklich aussehen werden. Doch in einem sind sich die Branchenexperten einig: sie werden völlig anders aufgebaut sein als heutige Autos.

Einen Vorgeschmack hiervon bietet die kalifornische Firma Trexa, die ein selbsttragendes E-Autochassis konzipiert hat, bei dem das Fahrwerk, Batterie und Antrieb als

eigenständige Einheit dienen. Die Fahrgastzelle und Karosserie sind davon völlig unabhängig und selbst die Lenkung und Bremsen werden ohne mechanische Verbindung rein elektrisch übertragen.

Ein solches Konzept erlaubt es Firmen, deren Kernkompetenz nicht der Fahrzeugbau ist, dennoch Elektroautos mit eigenem Design und Branding zu bauen. Auch hier können sie Erfolgskonzepte aus der Telekommunikationsbranche übernehmen, in der große Mobilfunkbetreiber unter eigener Marke Handys vertreiben. Was EWE noch mit großem Aufwand und der Hilfe von Karmann vorgemacht hat, nämlich ein eigenes Elektroauto zu bauen, wäre damit nahezu jedem Versorger möglich.

Diese Entwicklung würde nicht nur Versorgern den Einstieg in das Geschäft mit eigenen Elektroautos ermöglichen sondern Unternehmen aus den unterschiedlichsten Branchen. Apple könnte nach seinem furiosen Erfolg im Handy- und PC-Segment mit einem iCar auf den Markt stürmen. Google könnte seine Kompetenz im Bereich Routenplanung in einem eigenen Electric Vehicle zum Einsatz bringen und Red Bull könnte nicht nur in der Formel 1 sondern auch im Bereich Elektromobilität an den Start gehen.

Neben dem Angriff auf die technologische Kompetenz der großen Autobauer stellt dies auch einen Angriff auf den bedeutendsten Wert der Branche dar, die Automarke. Die Markenhöheit würde im Falle der Versorgungsunternehmen von der Automobilindustrie zum Mobilitätsanbieter übergehen. Autobauer würden zu reinen Zulieferunternehmen degradiert. Darüber hinaus werden sich die Automobilkonzerne nicht nur gegenüber No-Name-Herstellern aus Fernost, sondern gegen Megabrands wie Google, Apple oder Red Bull verteidigen müssen.



Abbildung 3: Konzept eines selbsttragenden E-Autochassis (Quelle: Trexa)

## 5 Große Bedrohung für die Tankstelle

Noch hegen Mineralölkonzerne die Hoffnung, durch Schnellladestationen oder gar Batterietauschsysteme den Umsatzeinbruch bei Benzin und Diesel zu kompensieren. Nun

sind Tankstellen, an denen heute schon aufgrund explosiver Benzindämpfe die Nutzung von Mobiltelefonen verboten ist, nicht der optimale Ort für den offenen Umgang mit Hochvoltssystemen. Doch dies ist das kleinste Problem und lässt sich mit entsprechenden Sicherheitsvorkehrungen technisch durchaus lösen.

Problematischer sind hingegen die Ergebnisse repräsentativer Studien, wie z.B. von Technomar<sup>1</sup>, die zeigen, dass ca. 80 Prozent der Deutschen ein Elektroauto selbst zuhause aufladen möchten. Zu ähnlichen Ergebnissen kommen auch die großen Feldversuche, wie z.B. in Berlin, bei denen 50 Mini E im Alltag unterwegs sind und bei denen die öffentlichen Ladestationen kaum genutzt werden.

Von daher werden Ladesäulen mit Schnellladetechnologie – denn nur die machen an Tankstellen Sinn – ausschließlich bei längeren Fahrten und da meist direkt an den Hauptverkehrsstrecken benötigt. Und selbst hier werden die Tankstellenketten im harten Wettbewerb zu Versorgungsunternehmen stehen.

Bleibt noch die Hoffnung auf Batteriewechselstationen, wie sie Betterplace einführen möchte. Doch vieles spricht dagegen. Die wesentlichen Gründe gegen Batterietauschsysteme sind deren hohen Kosten von ca. 700.000 € pro Anlage sowie die Weigerung der Automobilindustrie, sich auf einen einheitlichen Batteriestandard zu verständigen. Im Gegensatz zu Starterbatterien sind Lithium-Ionen-Akkus für Elektroautos sicherheitsrelevante und hochkomplexe Systeme, die neben den Starkstromverbindungen zum Motor und zur Ladeinheit zudem mit dem Bordcomputer und in der Regel mit einem Kühl- und Heizkreislauf vernetzt sind. Bei jedem E-Auto folgen die Batterien der Fahrzeugergonomie und besitzen unterschiedliche Einbaupositionen und Formen. Solange sich hier keine Standards durchsetzen, müsste eine Tankstelle für jedes Elektroauto eigene Batterien auf Lager haben und individuelle Batterietauschprozeduren beherrschen, was wirtschaftlich unsinnig ist.

Sollten sich batteriebetriebene Elektrofahrzeuge langfristig gegen Antriebe mit Verbrennungsmotoren durchsetzen, bedeutet das mit großer Wahrscheinlichkeit das Ende herkömmlicher Tankstellen.



*Abbildung 4: Batteriewechselstation von Better Place (Quelle: Better Place)*

## 6 Das Lithium-Ionen-Szenario

Betrachtet man die derzeitige Entwicklung von Elektrofahrzeugen und deren Schlüsselkomponenten, so wird deutlich, dass deutsche Unternehmen mindestens zwei Jahre hinter der internationalen Konkurrenz herhinken. Es ist davon auszugehen, dass sich französisch-japanische Kooperationen, US-amerikanische, indische und chinesische Hersteller den frühen Massenmarkt für Elektroautos untereinander aufteilen werden.

Im Gegensatz zum klassischen Automobilbau sind in der modernen Elektromobilität die Innovationszyklen kürzer und der Preisverfall drastischer als beim traditionellen Automobilbau, wie Nissan nun eindrucksvoll belegt hat. Studien wie auch von Technomar<sup>i</sup> zeigen zudem, dass potentielle Elektroautokäufer nur eine geringe Markenbindung besitzen und über 20 Prozent heute schon bereit wären, ein E-Auto aus Indien oder China zu kaufen.

Im folgenden Lithium-Ionen-Szenario wurde die Annahme getroffen, dass der Lithium-Ionen-Technologie ab 2020 der Durchbruch im Automobilmarkt gelingt. Die deutsche Automobilindustrie, die derzeit knapp 67 Prozent am deutschen Kfz-Bestand hält, konzentriert sich in diesem Szenario hauptsächlich auf Fahrzeuge mit Benzin- und Dieselantrieb. Aufgrund fehlender Förderanreize zum Kauf von Elektroautos bleibt der Deutsche Markt anfangs für E-Mobilitätsanbieter unattraktiv und die heimischen Autobauer schaffen es dadurch, jährlich den ausländischen Herstellern einen Prozentpunkt Marktanteile abzurufen. Bei den Hybrid- und Elektroautos folgen sie der internationalen Konkurrenz mit ca. zwei Jahren Rückstand, wobei sich bis 2020 der Markt für Hybridantriebe stärker entwickelt als der von E-Autos. Andere alternative Antriebstechnologien, wie Erdgas/Biogas und Wasserstoff, werden wie bisher nur mit begrenzten Mitteln weiterverfolgt, ohne dabei nennenswerte Volumina anzustreben. Bis 2020 ist es mit dieser Strategie möglich, den Anteil deutscher Kfz sogar geringfügig zu steigern.

Ab 2020 bricht das Geschäft mit herkömmlichen Kfz in diesem Modell jedoch immer stärker ein und der deutsche Rückstand bei den alternativen Antriebstechnologien führt dazu, dass die Verluste im konventionellen Geschäft nicht mehr kompensiert werden können. Das Kapital und Know-how für eine Aufholjagd fehlt und es gelingt nicht, mit den Wachstumsraten der ausländischen Anbieter mithalten (siehe *Abbildung 5*).

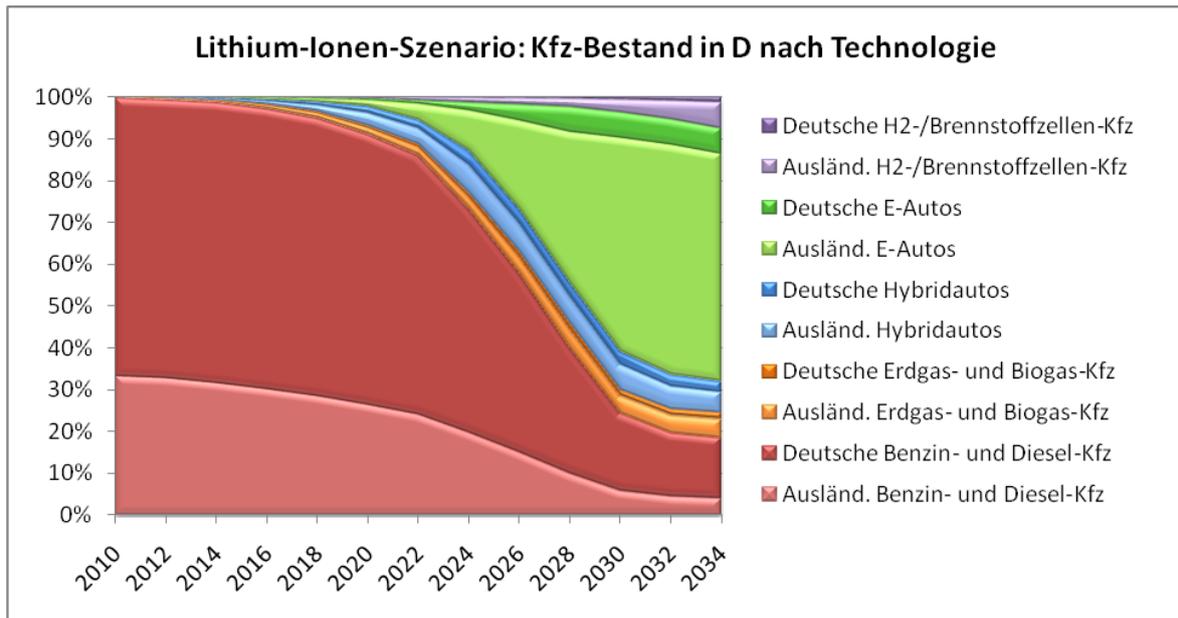


Abbildung 5: Lithium-Ionen-Szenario Entwicklung Kfz-Bestand in Deutschland nach Antriebstechnologie (Quelle: Technomar)

Wenn ab 2030 die Dominanz der Lithium-Ionen-Batterien durch Brennstoffzellen oder andere Speichertechnologien langsam abgelöst wird, hat die deutsche Automobilbranche über die Hälfte seines bisherigen Marktvolumens eingebüßt und es fehlt nun auch hier das Kapital Marktanteile zurückzugewinnen (siehe *Abbildung 6*).

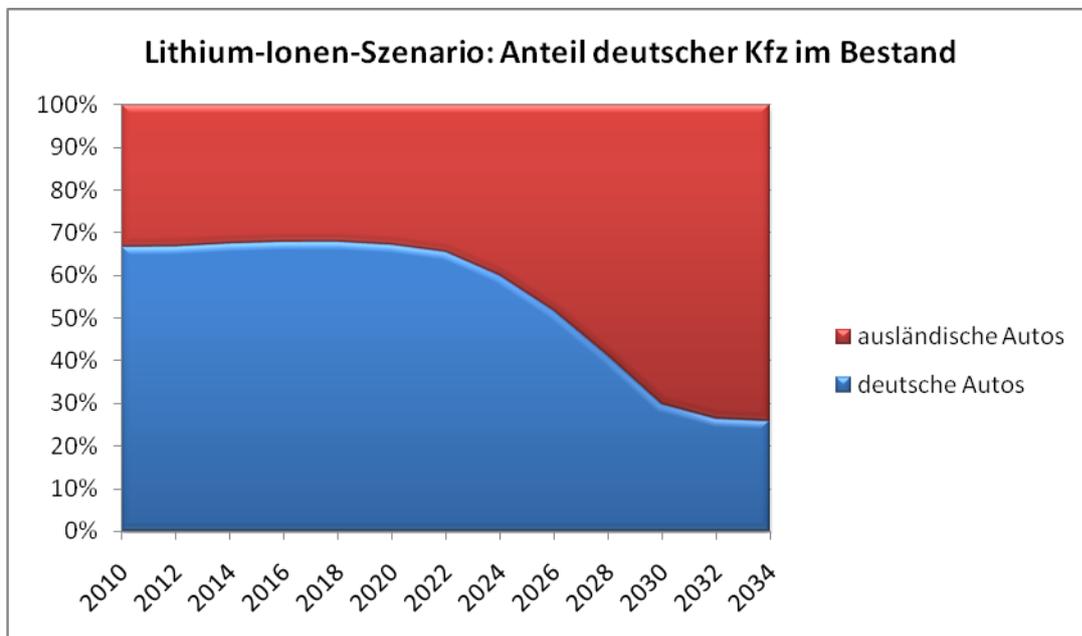


Abbildung 6: Lithium-Ionen-Szenario Entwicklung Kfz-Bestand in Deutschland nach nationaler Zuordnung (Quelle: Technomar)

Um in diesem Lithium-Ionen-Szenario die Marktanteile deutscher Autobauer auf Dauer halten oder sogar ausbauen zu können, genügt es nicht, dem Markt wie bisher zu folgen. Die deutschen Unternehmen müssen kurzfristig mit der internationalen Konkurrenz gleichziehen und sich insbesondere bei der Lithium-Ionen-Technologie weit vorne in der Wertschöpfungskette positionieren.

Dieses Vorgehen wird jedoch negative Auswirkungen auf die Verkaufszahlen herkömmlicher Kfz haben. Einige Hersteller wie z.B. BMW und Audi beabsichtigen dieses Dilemma zu lösen, indem sie Elektrofahrzeuge unter einer völlig neuen Marke auf den Markt bringen wollen um somit das Bestandsgeschäft nicht zu gefährden.

Darüber hinaus bezweifeln Experten, dass es überhaupt noch möglich ist, sich in der Wertschöpfungskette weit vorne zu positionieren, denn Elektrochemie, wie sie für die Lithium-Ionen-Technologie benötigt wird, ist schon lange keine Kernkompetenz der deutschen Industrie mehr.

Letztendlich müssten wesentliche Assets, wie Fabriken und Mitarbeiter-Know-how, bereits in den nächsten 5 Jahren entsprechend umgebaut bzw. komplett neu aufgebaut werden, um spätestens 2020 tatsächlich zu den führenden Unternehmen der sich wandelnden Kfz-Industrie zu zählen. Bis dahin muss die Batterietechnologie extern eingekauft werden, wobei die Batteriekosten bei heutigen Elektroautos 30 Prozent der gesamten Fahrzeugkosten ausmachen. Selbst wenn es deutschen Autobauern gelingt, rechtzeitig konkurrenzfähige Elektroautos auf den Markt zu bringen, wird ein Großteil des Ertrags an die Batteriehersteller aus Fernost fließen, die wie der führende chinesische Hersteller BYD gleichzeitig auch Konkurrenten als Anbieter von Elektroautos sein können.

Besonders kritisch ist in diesem Szenario die Entwicklung des Batteriepreises. Liegen die Kosten pro Kilowattstunde heute noch zwischen 700 und 1000 Euro könnten sie bis 2020 auf 200 bis 300 Euro fallen. Manche Experten gehen sogar von einem noch stärkeren Preisverfall ähnlich wie bei der Consumerelektronik aus. Zwar reduziert ein niedriger Batteriepreis den externen Anteil an den Gesamtfahrzeugkosten, doch beschleunigt er auch die Ablösung von Verbrennungsmotoren durch Elektroantriebe.

Alles in allem stellt das Lithium-Ionen-Szenario die deutsche Automobilindustrie vor die nahezu unlösbare Aufgabe, ihr Bestandsgeschäft zu schützen und sich gleichzeitig grundlegend zu wandeln. Kommt ein Massenmarkt für E-Autos deutlich später als 2020, schwächer oder gar nicht, wird das Abenteuer Elektromobilität zum Milliardengrab. Fallen die Anstrengungen jedoch nur halbherzig aus, so kann das das schleichende Ende Deutschlands als Autonation bedeuten.

## **7 Hoffnungsträger Erdgas und Biomethan**

In der Begeisterung für das Elektroauto ist eine vielversprechende und heute bereits serienreife Technologie weitgehend in Vergessenheit geraten: der Erdgas- bzw. Biogasantrieb. Im Gegensatz zu Flüssiggas bzw. Autogas ist Erdgas bei der Verbrennung noch umweltfreundlicher. Im Vergleich zu Benzin- und Dieselfahrzeugen werden

zahlreiche Schadstoffe deutlich reduziert: der CO<sub>2</sub>-Ausstoss liegt um bis zu 25 Prozent niedriger, Stickoxide werden um bis zu 70 Prozent reduziert und Feinstaub wird um bis zu 99 Prozent vermieden.

Aufgrund der Steuerbegünstigung bis 2018 ergibt sich in Deutschland eine Preisersparnis um über 60 Cent im Vergleich zu einem Liter bleifreiem Benzin.

Doch erst mit Biomethan wird die Umweltbilanz wirklich attraktiv. Biomethan entsteht beim Verrotten von organischem Material (z.B. Gülle oder Bioabfall) und ist, wenn es ungenutzt entweicht, ein um Faktor 20 aggressiveres Treibhausgas als CO<sub>2</sub>. Gereinigtes Biomethan kann ins Erdgasnetz eingespeist und in einem Erdgasauto genutzt werden. So ist es möglich, die CO<sub>2</sub>-Emissionen auf das Niveau von E-Autos zu reduzieren, die mit 100 Prozent Windstrom betrieben werden (siehe *Abbildung 7*).

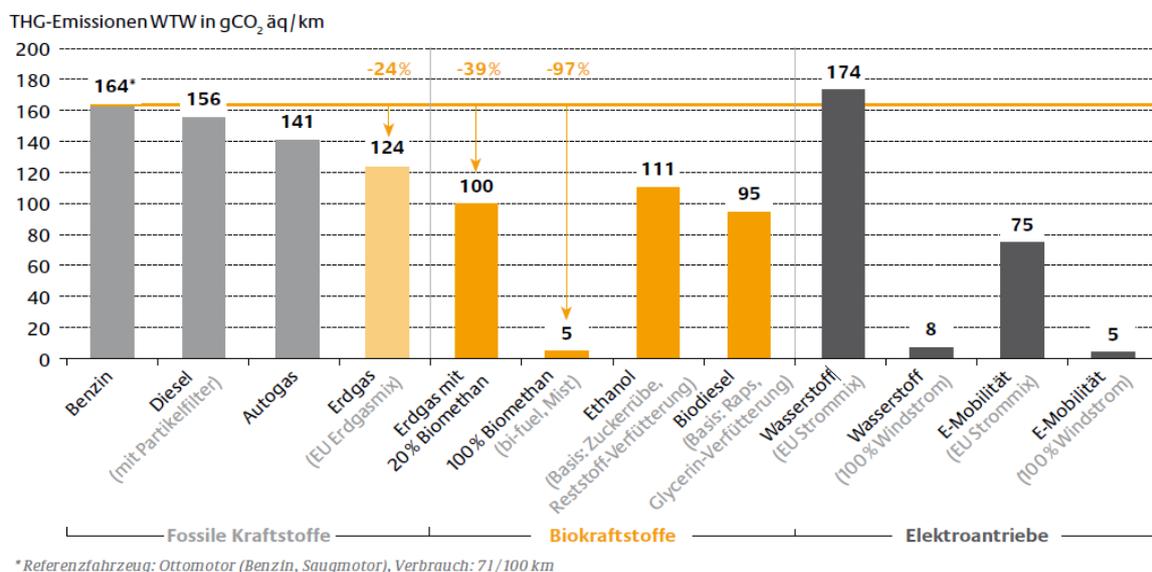


Abbildung 7: Treibhausgasemissionen unterschiedlicher Kraftstoffe (Quelle: Deutsche Energie Agentur)

Aus deutscher Sicht liegt der große Vorteil dieser Technologie gegenüber der Elektromobilität darin, dass hier nur leicht modifizierte Verbrennungsmotoren, sowie die bestehende Tankstelleninfrastruktur weiter benötigt werden. Darüber hinaus erreichen Erdgasautos mittlerweile Reichweiten von bis zu 500 km und mehr pro Tankfüllung, was sie zu einer idealen Langstreckenergänzung zum E-Auto macht.

Doch noch gibt es Hürden zu überwinden, um insbesondere dem emissionsarmen Antrieb mit Biomethan zum Durchbruch zu verhelfen:

- ⇒ Da Biogas meist dezentral z.B. in Bauernhöfen anfällt, heutige Gasreinigungsverfahren jedoch nur im Großmaßstab wirtschaftlich sind, wird nur wenig Biomethan ins Gasnetz eingespeist.
- ⇒ Von den deutschlandweit 14.500 Tankstellen bieten derzeit nur ca. 900 Erdgas an.
- ⇒ Die deutsche Automobilindustrie hat lediglich 9 Pkw-Modelle im Portfolio, die serienmäßig mit Erdgasantrieb ausgerüstet sind. Im Klein- und

Kleinstwagensegment gibt es gar keine Serienfahrzeuge aus heimischer Produktion.

- ⇒ Die Anschaffungskosten für ein Erdgasauto liegen je nach Autotyp ca. 1000 bis 2000 Euro höher als bei einem konventionell angetriebenen Serienfahrzeug.
- ⇒ Medien und Verbraucher haben einen geringen Kenntnisstand zu Erdgasantrieben. Diese werden oft mit Autogas verwechselt und es besteht im Vergleich zur Elektromobilität kaum Interesse an diesem Thema.

## 8 Hoffnungsträger Wasserstoff und Brennstoffzelle

Wasserstoff ist ein extrem flüchtiges Gas, das bei Verbrennung oder in einer Brennstoffzelle emissionsfrei zu Wasser verbrennt. Auf die Masse bezogen besitzt es eine sehr hohe Energiedichte von 33,3 kWh/kg (vgl. Erdgas: 13,9 kWh/kg, Benzin: 12,7 kWh/kg, Lithium-Ionen-Batterie: 0,18 kWh/kg).

Theoretisch lässt sich Wasserstoff durch Elektrolyse aus Wasser gewinnen, was jedoch wegen des geringen Wirkungsgrades von 57 Prozent nur selten zum Einsatz kommt. Industriell hergestellter Wasserstoff wird heute meist aus Erdgas gewonnen. Vor kurzem haben Wissenschaftler des MIT jedoch einen Katalysator entwickelt, der angeblich die Effizienz der Elektrolyse von Wasser auf nahezu 100 Prozent steigern soll.

Zudem sind die Speicherung und der Transport von Wasserstoff derzeit noch extrem schwierig, da das Gas dafür entweder auf Minus 253°C heruntergekühlt oder unter hohem Druck auf 700 Bar komprimiert werden muss. Eine vielversprechende Alternative sind neue Feststoffspeichermedien wie ZIF (Zeolitic Imidazolate Framework), MOF (Metal Organic Framework) oder COF (Covalent Organic Framework). In ihren nanoporösen Strukturen kann der Wasserstoff bei verhältnismäßig geringem Überdruck eingebunden und durch Erwärmung gezielt freigesetzt werden (siehe *Abbildung 8*). Der in der Grafik als „Potential“ bezeichnete aufgesetzte Balken kennzeichnet die theoretisch erreichbare Speichergrenze bis 2020. Diese Speichergrenzen konnten bereits in internationalen Forschungslabors nachgewiesen werden.

Das Besondere an diesen synthetisierten Speichermaterialien ist, dass bei ihnen der Energieaufwand zur Speicherung des Wasserstoffs wesentlich geringer ist als bei den Verfahren zur Komprimierung oder Verflüssigung. Mit herkömmlichen Erzeugungs- und Speicherungstechnologien kommen lediglich 25 Prozent der eingesetzten Energie als Antriebsenergie am Rad an, bei Feststoffspeichern sind es heute bereits 50 Prozent. Experten gehen davon aus, dass in Zukunft Werte von bis zu 70 Prozent erreicht werden können. Ein weiterer positiver Nebeneffekt an diesen neuen Materialien ist, dass sie sich auch zur Speicherung von anderen Gasen wie Methan – also Erdgas und Biogas – eignen.

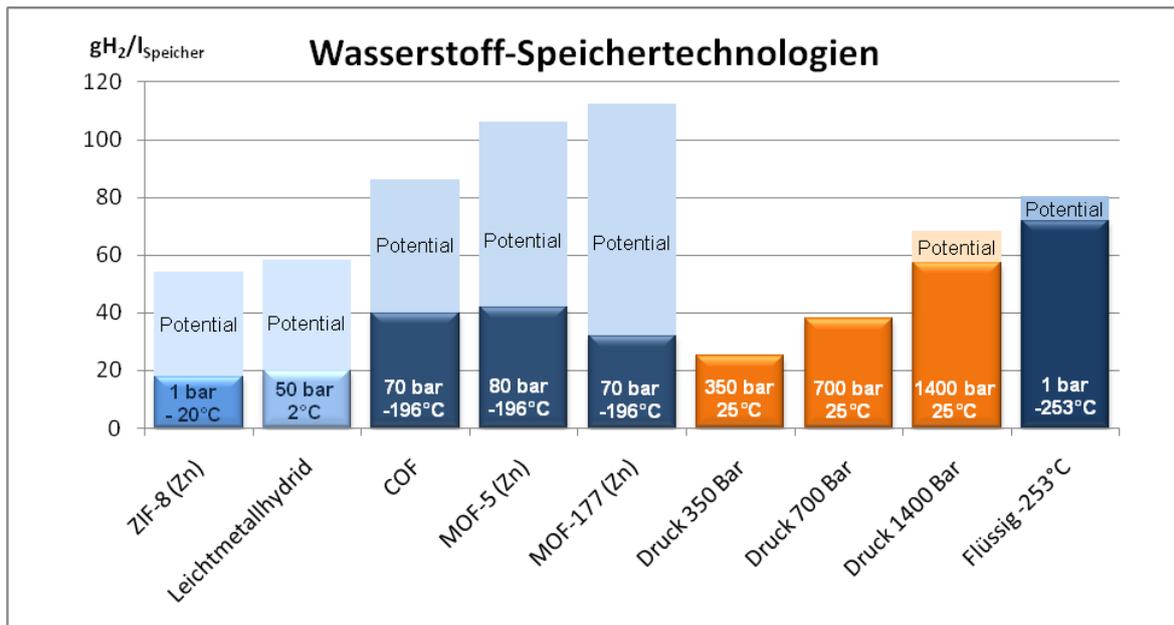


Abbildung 8: Feststoff-Wasserstoffspeicher im Vergleich zu herkömmlichen Speichertechnologien (Quelle: CTM Fahrzeugbau GmbH)

Fahrzeuge mit Wasserstoffantrieb können entweder Verbrennungsmotoren nutzen oder die Energie direkt über eine Brennstoffzelle in Strom umwandeln. Die neuesten MOF-177 Speicher können über 11 Prozent ihres Gewichts an Wasserstoff speichern. Somit sind Reichweiten von bis zu 1000 km denkbar. Bei der Verbrennung von Wasserstoff kommen dabei wieder die Kernkompetenzen der deutschen Automobilindustrie zum Tragen. Und auch ein Tankstellennetz wird weiterhin benötigt.

Auch wenn es derzeit in Deutschland nur 29 Wasserstofftankstellen und so gut wie keine wasserstofftauglichen Serienfahrzeuge gibt, besitzt diese Technologie in Verbindung mit Brennstoffzellen jedoch das Potential, langfristig die Lithium-Ionen-Batterie als Energieträger für Elektrofahrzeuge abzulösen.

## 9 Hoffnungsträger neue Stromspeichertechnologien

Die meisten Experten sind sich einig: Deutschland hat das Rennen um die Lithium-Ionen-Batterie bereits verloren. Doch die Lithium-Ionen-Technologie ist nicht der Weisheit letzter Schluss. In vielen Studien zur Marktentwicklung wird die Weiterentwicklung der Batterietechnologie nur unzureichend berücksichtigt. Bestenfalls werden lineare Modelle hinsichtlich der Verbesserung der Energiedichte angenommen, doch sind heute bereits zahlreiche andere Batterietechnologien bekannt (siehe Abbildung 9).

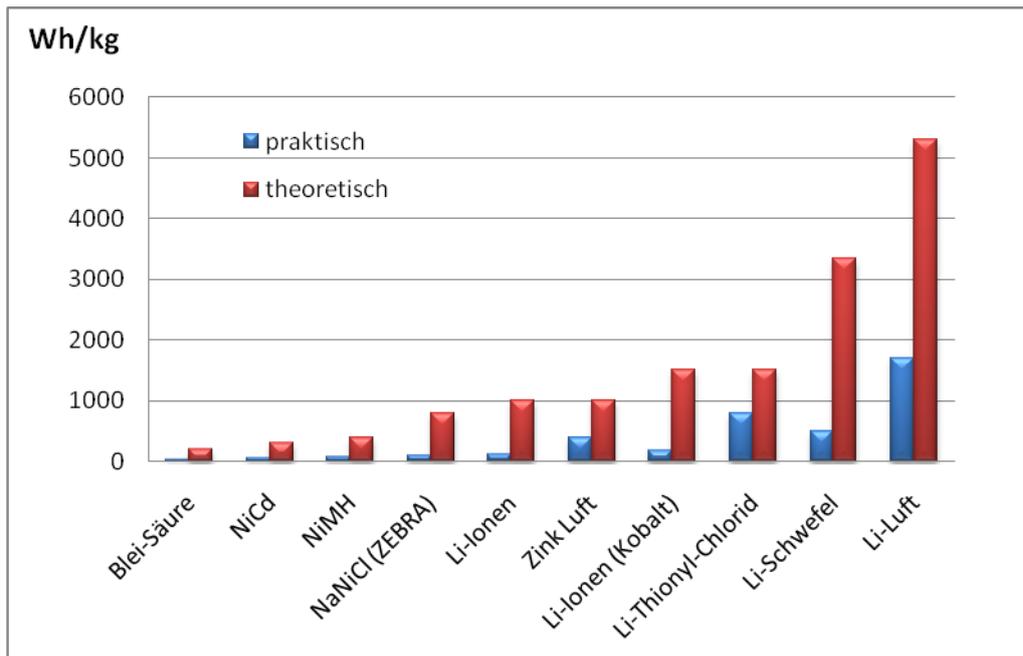


Abbildung 9: Energiedichte bekannter Batterietechnologien (Quelle: Technomar)

Zwischen heute bei Lithium-Ionen-Batterien möglichen 180 Wh/kg und den theoretischen 5.300 Wh/kg von Lithium-Luft-Batterien liegt immerhin ein Faktor von 30. Experten gehen jedoch davon aus, dass zwischen dem Funktionsnachweis einer neuen Batterietechnologie und ihrer Serienreife im Fahrzeugbau 10 bis 15 Jahre vergehen.

Laut IBM, die an der Kommerzialisierung der Lithium-Luft-Technologie arbeiten, soll bereits in 5 Jahren eine marktreife und lizensierbare Batterie vorliegen.

Typische Speicherkapazitäten heutiger E-Fahrzeuge liegen zwischen 53 kWh für E-Sportwagen (Tesla Roadster), 24 kWh für autobahnfähige E-Autos (Nissan LEAF) und 16 kWh für Plug-in-Hybride (Chevrolet Volt). Würde man einen Tesla Roadster mit einer idealen Lithium-Luft-Batterie versorgen, würde sein heute 450 kg schwerer Batterieblock nur noch 10 kg wiegen!

Doch bis es so weit ist, sind noch zahlreiche Hürden zu überwinden. Zunächst muss die Lithium-Luft-Technologie Kfz-tauglich gemacht werden. Die Zellen reagieren extrem aggressiv auf Feuchtigkeit, und schnell laden lassen sie sich momentan noch nicht. Auch die Ladezyklen und das Verhalten bei Hitze oder Kälte sind noch weitgehend unerforscht.

Doch gerade weil bei den Speichertechnologien, die nach der Lithium-Ionen-Batterie kommen, noch viel geforscht werden muss, besteht hier für deutsche Unternehmen die realistische Chance, rechtzeitig eine marktführende Position zu erringen.

## 10 Das Kernkompetenz-Szenario

Im folgenden Kernkompetenz-Szenario wurde die Annahme getroffen, dass die heimischen Hersteller hauptsächlich solche Fahrzeuge anbieten, die neben niedrigen CO<sub>2</sub>-Emissionen auf den Kernkompetenzen des deutschen Autobaus basieren.

So wird in diesem Szenario bis 2020 die Anzahl von Erdgasfahrzeugen mehr als doppelt so hoch sein als der von der Bundesregierung angestrebte Wert von 1,4 Mio. Kfz. Da diese Technologie weitgehend auf heutigen Verbrennungsmotoren aufbaut, ist dieses Ziel sowohl vom Know-how, als auch von der Produktionstechnik durchaus zu erreichen.

Ähnlich große Erfolge werden beim Einsatz von Hybridfahrzeugen erzielt, die durch ihre große Reichweite bis 2020 den reinen E-Autos deutlich überlegen sind. Durch die verhältnismäßig kleine Batterie liegt ein Großteil der Wertschöpfung weiterhin in deutscher Hand. E-Autos mit Lithium-Ionen-Technologie werden sich aufgrund der alternativen Angebote nicht ganz so dominant entwickeln wie im Lithium-Ionen-Szenario.

Ab 2024 werden Nachfolgetechnologien wie z.B. Lithium-Luft-Batterien an Bedeutung gewinnen und deutsche Anbieter haben eine Chance, hier eine führende Rolle zu übernehmen. Anders als im Lithium-Ionen-Szenario können deutsche Fahrzeugbauer ab 2030 genauso viele E-Autos absetzen wie die ausländische Konkurrenz.

Trotzdem darf die deutsche Automobilindustrie bis dahin das Segment der Elektroautos mit Lithium-Ionen-Batterie nicht aufgeben. Denn die hierbei gewonnene Praxiserfahrung von Leichtbau über Batteriemangement bis hin zur Großserienfertigung ist nötig, um im Zeitalter nach der Lithium-Ionen-Batterie auch tatsächlich eine führende Marktposition zu erringen. Doch aufgrund der schwachen Position der deutschen Industrie in der Wertschöpfungskette für Lithium-Ionen-Batterien sind in diesem Segment bestenfalls geringe Margen zu erwarten.

Bis 2030 hat sich parallel die Wasserstoff-Technologie so weit entwickelt, dass sie einen ähnlich hohen Marktanteil wie die reine Elektromobilität erreicht. Auch hier könnte die deutsche Industrie rechtzeitig Kernkompetenzen aufbauen und eine dominierende Marktposition besetzen.

Durch die unterschiedlichen Alternativen zu Benzin und Diesel wird in diesem Szenario der Rückgang des klassischen Kfz-Bestandes früher beginnen als im Lithium-Ionen-Szenario. Die Konsumenten sind nicht gezwungen, zwischen klassischem Antrieb und E-Auto zu entscheiden, sondern sie können frühzeitig auf alternative Verbrennungsmotoren umsteigen und dabei ähnlich CO<sub>2</sub>-arm fahren wie mit den effizientesten E-Autos.

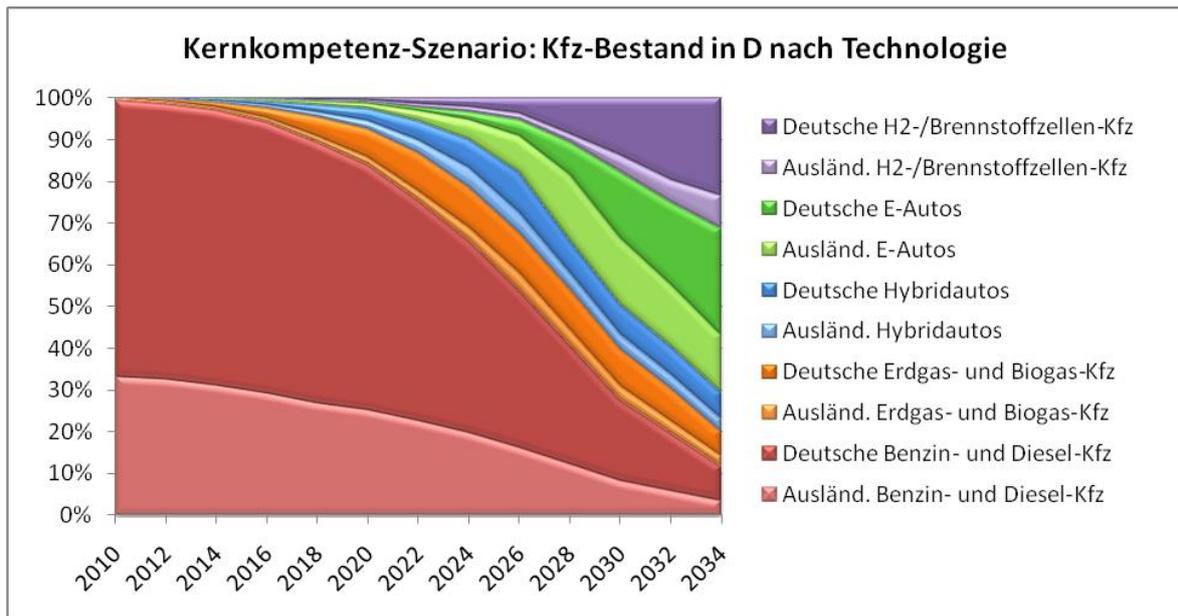


Abbildung 10: Kernkompetenz-Szenario Entwicklung Kfz-Bestand in Deutschland nach Antriebstechnologie (Quelle: Technomar)

Dadurch, dass die deutsche Autobranche in diesem Szenario nahe an ihren Kernkompetenzen bleibt und parallel dazu in Zukunftstechnologien für die Zeit nach der Lithium-Ionen-Batterie investiert, kann sie bis auf kleinere Schwankungen ihren Marktanteil in Deutschland behaupten (siehe *Abbildung 11*).

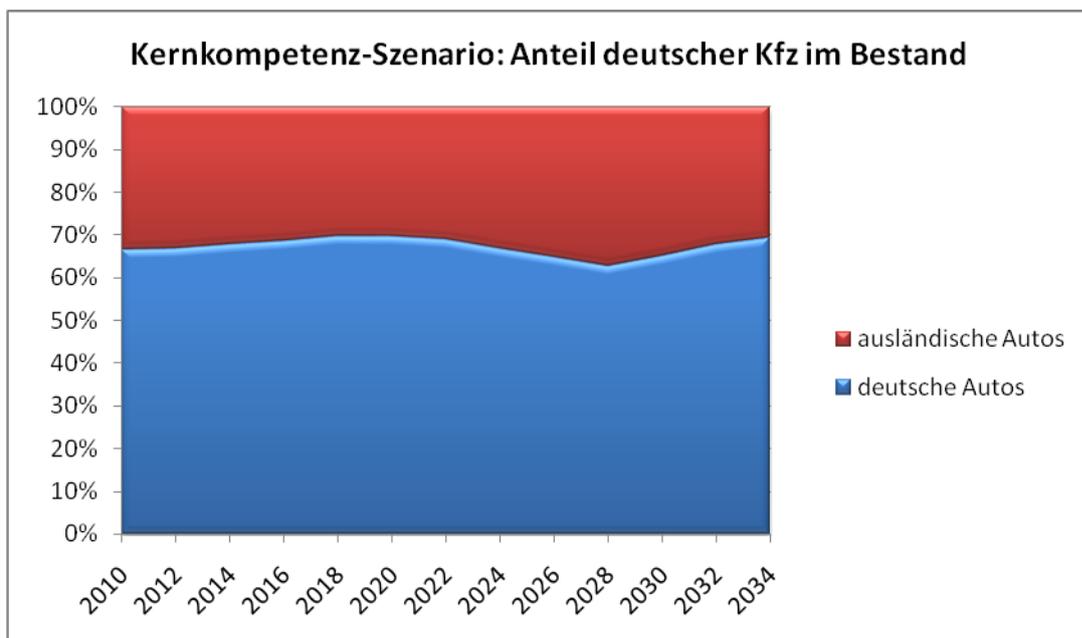


Abbildung 11: Kernkompetenz-Szenario Entwicklung Kfz-Bestand in Deutschland nach nationaler Zuordnung (Quelle: Technomar)

Auch wenn dieses Szenario sich vorerst nur auf Deutschland bezieht, kann es auf fast alle Industrienationen mit etablierter Automobilindustrie und flächendeckender Tankstelleninfrastruktur übertragen werden. So zum Beispiel auf die USA, Japan und große Teile der EU.

Damit dieses Kernkompetenzszenario Realität werden kann, müssen alle beteiligten Akteure am gleichen Strang ziehen. Die Forschung muss die technologischen Hürden für den wirtschaftlichen Einsatz von Biogas, Wasserstoff und leistungsfähigeren Batterietechnologien überwinden. Die Automobilindustrie muss zeitnah attraktive Serienfahrzeuge anbieten. Die Versorgungsunternehmen und Tankstellenketten müssen die benötigte Infrastruktur rechtzeitig und flächendeckend aufbauen. Solange aber der Gesetzgeber nicht entsprechend klare Rahmenbedingungen schafft, wie dies zum Beispiel in Kalifornien der Fall ist, wird keine der genannten Branchen das Risiko auf sich nehmen, mit gigantischen Investitionen in Vorleistung zu gehen.

## 11 Die nötigen Maßnahmen

Es wäre falsch, zu glauben, dass durch entsprechende Maßnahmen die Entwicklung der Elektromobilität insgesamt gebremst oder gar verhindert werden könnte, denn die weltweiten Aktivitäten haben bereits den Point-of-no-Return überschritten. Insbesondere die massive Komplexitätsreduktion von Elektroantrieben gegenüber Verbrennungsmotoren wird zu deutlichen Kostenvorteilen führen. Der Wegfall von Anlasser, Luftfilter, Einspritzung, Ventilen, Kolben, Getriebe, Ölkreislauf, Katalysatoren, Feinstaubfiltern und vielem mehr wird die höheren Kosten von Batterien auf lange Sicht mehr als nur kompensieren.

Es stellt sich also nur die Frage, mit welchen Strategien es der deutschen Automobilbranche gelingen kann, unbeschadet und gestärkt in das neue Zeitalter der Mobilität zu wechseln. Vorliegendes White Paper zeigt ein mögliches Szenario auf, in dem dies der Fall ist. Doch nur mit einem konzertierten Vorgehen seitens Bund und Industrie kann es Realität werden.

Für die Ermittlung und Umsetzung geeigneter Maßnahmen schlägt Technomar folgendes Vorgehen vor:

### **Analyse**

Zunächst müssen zeitnah die treibenden Faktoren seitens der Verbraucher und aller anderen Marktteilnehmer für die Alternativtechnologien Erdgas-/Biogasantrieb, Hybridantriebe und Wasserstoffantrieb sowie deren Positionierung gegenüber der Elektromobilität noch genauer untersucht werden. Parallel dazu gilt es, einen Überblick über den aktuellen Stand der Forschung und Technik zu erheben und den jeweiligen Aufwand bis zur Marktreife abzuschätzen. Die einzelnen Lösungen sind dann auf ihre Machbarkeit und Wirtschaftlichkeit hin zu untersuchen. Das vorliegende White Paper ist ein verdichtetes Beispiel für eine derartige Analyse.

## **Strategie**

Die bisherigen Ansätze der Bundesregierung betrachten die alternativen Antriebstechnologien isoliert und berücksichtigen kaum die Belange des Mittelstands, bei dem die meisten Arbeitsplätze durch den Technologiewandel gefährdet sind. Technomar empfiehlt daher, basierend auf den Ergebnissen der Analyse, eine technologieübergreifende und praktisch realisierbare Strategie zu entwickeln, die vorgibt, wann und mit welchen Kampagnen welche Technologie gepusht werden kann, welche Maßnahmen nötig sind, die betroffenen Branchen zu einem gemeinsamen Handeln zu bewegen – und vor allen Dingen: ob und wie dieses deutsche Modell auch auf die EU und andere internationale Märkte übertragen werden kann. Das Vorgehen der chinesischen Regierung bei der Einführung der Elektromobilität ist ein Musterbeispiel für eine solche Strategie. Durch strikte Gesetzesvorgaben wurde die Abkehr von Verbrennungsantrieben eingeläutet. Großangelegte Förderprogramme für Forschung und Entwicklung sichern die rasche Verfügbarkeit der benötigten Elektrofahrzeuge. Bisher wurden umgerechnet 650 Millionen Euro dafür investiert, in Zukunft möchte China 30 Milliarden Euro für die Entwicklung grüner Technologien ausgeben. Gleichzeitig wird auf der Konsumentenseite die Nachfrage durch eine für chinesische Verbraucher gewaltige Prämie von umgerechnet 6700 Euro geschaffen, der Kauf öffentlicher Elektrobusse wird mit jeweils 55.000 Euro unterstützt.

## **Umsetzung**

Die Entwicklung in China und Kalifornien zeigt: erst durch klare und harte gesetzliche Vorgaben können Industrie und Verbraucher dazu bewegt werden, auf umweltschonende Alternativen umzusteigen. Von daher muss als erster Schritt der Strategieumsetzung ein in sich stimmiger und auf lange Frist verlässlicher gesetzlicher Rahmen geschaffen werden. Auch sind Fördergelder für die industrielle Forschung außerordentlich wichtig, doch sollten sie möglichst an solche Unternehmen vergeben werden, die nachweislich einen zeitnahen Umstieg auf alternative Antriebskonzepte anstreben. Wenig Wirkung zeigt die Subventionierung von Herstellern, deren erklärtes Ziel es ist, möglichst langfristig ihre Umsätze mit klassischen Benzin- und Dieselfahrzeugen zu bestreiten. Weiterhin ist eine intensive Information der Konsumenten über Hintergründe und Technologien der deutschen Mobilitätsstrategie unverzichtbar. Letztendlich bestimmt jedoch der individuelle Geldbeutel die Kaufentscheidung pro oder kontra Nachhaltigkeit. Somit werden auch hierzulande finanzielle Kaufanreize unumgänglich sein. Besonders wichtig ist es, bei der Umsetzung Kontrollinstrumente zu installieren, die die Wirksamkeit der laufenden Projekte überwachen und es ermöglichen, bei Abweichungen rasch gegenzusteuern.

## **12 Referenzen Technomar**

Technomar deckt als Institut für Marktforschung und Unternehmensberatung die gesamte Wertschöpfungskette der Elektromobilität ab und betreut seit über 30 Jahren Kunden aus den Bereichen: Automobil- und Zulieferindustrie, Energieversorgung, alternative Energien, Anlagenbau, Logistik, Elektrotechnik, Telekommunikation, Chemie- und Verfahrenstechnik, Bauindustrie sowie Behörden und Verbände. Sowohl in der Analyse,

der Strategieentwicklung als auch in der Umsetzung komplexer Innovationsprojekte hat Technomar zahlreiche Referenzen aufzuweisen:

### **Referenzprojekte** (Auswahl)

- Studie: „Elektroautos – Was TÜV SÜD Kunden von der E-Mobilität halten“, im Auftrag des TÜV SÜD, 3.2009
- Studie: „Kurz- und mittelfristige Erschließung des Marktes für Elektroautomobile, Deutschland – EU“, in Kooperation mit TÜV SÜD und Energie & Management, 11.2009
- Sonderauswertung: „Frauen und E-Mobilität“, für das Magazin Brigitte, 11.2009
- Studie: „Wie gut sind Handel und Werkstätten auf E-Mobilität vorbereitet?“, im Auftrag des TÜV SÜD, 3.2010
- Sonderauswertung: „Potenziale für Elektromobilität in Kombination mit Photovoltaik“, für den Bundesverband eMobilität, 4.2010
- Technomar war Lead Partner für die Machbarkeitsstudie des europäischen Satelliten Navigations-Systems GALILEO.
- Für einen in der Automobilbranche führenden Roboterhersteller hat Technomar die Zukunftsstrategie für das Jahr 2020 evaluiert.
- Für einen internationalen Anbieter von Heiztechnikprodukten wurde durch Technomar die Strategieevolution für deren Geschäftsmodell 2020 durchgeführt.
- Technomar unterstützt die membranotec GmbH & Co KG, einen Hersteller von Nanomembranen, auf dem Weg zur Marktreife für ein neuartiges, hocheffizientes Aufreinigungsverfahren von Biomethan.
- Für die SenerTec GmbH, einem Spin-off von Fichtel und Sachs, hat Technomar das Geschäftsfeld Kraft-Wärme-Energiesysteme neu erschlossen und hierfür das Interimsmanagement übernommen. SenerTec ist mittlerweile Marktführer auf diesem Gebiet.
- Im Auftrag der Europäischen Kommission hat Technomar über 200 von der EU geförderte Forschungsprojekte auf ihren Umsetzungserfolg hin untersucht und Empfehlungen für zukünftige Förderprogramme erarbeitet.

### **Kunden von Technomar** (Auswahl):

AlzChem, ARCELOR, BASF, Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit, Bosch Buderus, Bundesverkehrsministerium, Bundeswirtschaftsministerium, Continental, Daimler, Dematic, DENSO, E.ON, Europäische Kommission, Evonik, Fanuc, Festo, Fraunhofer, HILTI, IBM, KNAPP, KNAUF, KUKA, Motorola, Renault, RWE, Sany, SenerTec, Siemens, STAWAG, Stiftung Warentest, STILL, TÜV SÜD, TÜV Rheinland, Vaillant, Vattenfall, Viessmann, Volkswagen

---

<sup>i</sup> Technomar 2009: Kurz- und mittelfristige Erschließung des Marktes für Elektroautomobile Deutschland - EU