

# Milliardengrab Elektromobilität – Teil 1

15.02.2016



Vor ungefähr 25 Jahren setzte die damalige Bundesregierung das erklärte Ziel, Elektroautos flächendeckend auf die Straßen zu bringen, und die Zahl „Eine Million Elektroautos“ geisterte schon damals durch die Medien. Die Begründung, so sich ein Politiker oder Journalist überhaupt noch erinnert, hatte etwas mit den „sehr bald endenden fossilen Rohstoffen“ zu tun. Viel spannender aber ist die Frage, warum die Elektromobilität vor 20 Jahren kläglich scheiterte und auch heute Elektrofahrzeuge entweder nur im Hochpreissegment oder in Nischen zu finden sind, bei nicht relevanten Zulassungszahlen. Von Elektro-LKW's oder Elektro-Schiffen redet übrigens kaum jemand. Dabei spielt es zunächst keine Rolle, ob es sich um Batterie-Fahrzeuge (**Teil 1**) oder Brennstoffzellen-Fahrzeuge (**Teil 2**) handelt. In **Teil 3** werde ich erläutern, was es im Sinne der „Energiewende“ bedeutet, wenn nur 10.000 Elektrofahrzeuge mit Batterie gleichzeitig geladen werden sollen.

Die Idee der Elektromobilität ist zwar mehr als 100 Jahre alt, aber nicht grundsätzlich schlecht. Auch der Autor dieser Zeilen steht Elektrofahrzeugen grundsätzlich offen gegenüber, denn sie sind leise und angenehm zu fahren, zumindest, solange die Batterie über genügend Ladung verfügt. Elektromotoren nutzen mehr als 90% der Energie für die Traktion, während stationäre Zweitakt Dieselmotoren nicht mehr als 60% Effizienz erreichen, im Mischbetrieb erreichen

konventionelle Dieselmotoren auch nur 40% Effizienz, und bei „Vollgas“ noch einmal weniger. Bzgl. Geräusentwicklung und Leistungsverhalten sind Elektromotoren Verbrennungsmotoren durchaus überlegen. So fährt die Deutsche Bahn wohl nicht ohne Grund nur auf nicht elektrifizierten Nebenstrecken (auch in Goslar) mit Dieselmotoren, im Hochgeschwindigkeitsbereich setzt sie nahezu vollständig auf den Elektroantrieb. In Innenstädten ist die lokale Emissionsfreiheit von elektrischen Straßenbahnen sicher ein großer Trumpf im Sinne der Luftreinhaltung. Auf dieser Basis ist es eigentlich logisch, die Elektromobilität im Individualverkehr als Ziel auszugeben. Während Züge und Straßenbahnen an einem Oberleitungsnetz hängen, das nur durch die verhassten Kern- und Kohlekraftwerke überhaupt stabil ist, muss ein Elektrofahrzeug seine Energie mit sich transportieren, denn ein Oberleitungsnetz für den Individualverkehr würde erhebliche technische, insbesondere sicherheitsrelevante Hürden nach sich ziehen. Kontaktlose Energieübertragung ist im Hinblick auf die Kosten eher in das Reich der Phantasie einzuordnen.

Nehmen wir mal als Beispiel einen aktuellen Kleinwagen mit einem Tankinhalt von 40 Litern, und runden wir den Energieinhalt von Benzin oder Dieselmotoren auf 10 kWh/Liter, für die genauen Werte kann an dieser Stelle ruhigen Gewissens auf Wikipedia verwiesen werden. Wer sein Haus mit Erdgas heizt, erhält jedes Jahr eine Abrechnung mit dem verbrauchten Volumen in Kubikmeter. Im Harz beträgt der Energieinhalt von einem Kubikmeter Erdgas rund 9 kWh. Ein Kubikmeter Erdgas, also 1000 Liter, und ein Liter Benzin/Diesel enthalten also ganz ähnliche Mengen an Energie, dies nur zum Vergleich. Tankt man den Kleinwagen also voll, hat man rund 400 kWh Energie an Bord. Nehmen wir einen mittleren Verbrauch von 5 Liter pro 100 km an, könnte der Kleinwagen eine Strecke von 800 km zurücklegen – ohne zu tanken. Von diesen 400 kWh werden bei einem Dieselmotor ca. 160 kWh für die Fortbewegung benötigt, 240 kWh gehen als Abwärme in die Umwelt verloren, die im Winter für die Innenraumbeheizung aber hoch willkommen ist. Bzgl. der Energieeffizienz punktet zunächst also der Elektromotor. Rechnen wir die 160 kWh auf 100 km um, ergibt sich ein Wert von 1,6 kWh. Hätte ein Elektromotor eine Effizienz von 100%, würde ein Elektroauto für 100 km Fahrstrecke 1,6 kWh benötigen. Da es Verluste gibt, ist der Bedarf etwas höher. Die wenigen auf dem Markt verfügbaren Elektroautos liegen um 20 kWh/100 km.

Vor 20 Jahren setzten Politik und Autohersteller auf Nickel-Metallhydrid-Batterien, die zu diesem Zeitpunkt die besten verfügbaren Batterien waren. Vereinzelt wurden Reichweiten von Elektroautos bis zu 250 km angegeben, die allerdings recht schnell nachließen. Nach 100 Lade/Entladevorgängen war manchmal nur noch die Hälfte der Reichweite zu erzielen. In der Batterietechnik spricht man von zyklischer und kalendarischer Alterung, die jede Batterie – früher oder später – dahin raffen wird. Der berühmte Feldversuch auf Rügen ergab, dass Elektrofahrzeuge zumindest auf der Kurzstrecke machbar sind, aber die Batterietechnik eben noch krankte. Nun hätte man erwarten können, dass die Politik besonnen agiert und die

Batterieforschung stärkt, damit neue Batterien entwickelt werden können. Wenn die Batterien dann die nötige Reife haben, hätte man mit der Elektromobilität einen neuen Versuch starten können, denn an der Elektrotechnik selber liegt es ja nicht, die ist weit entwickelt. Es kam aber anders: Die Batterieforschung wurde nach dem Scheitern des letzten Elektroauto-Hypes in Deutschland komplett abgewickelt, kein Politiker wollte davon noch etwas wissen, und es gab für Batterie-Forschung keine Gelder mehr, Batterieforscher übrigens auch nicht mehr. Im Jahre 1996 war das Thema Elektromobilität mausetot.

Ca. im Jahre 2007 kam das Thema wegen der „Klimakatastrophe“ und der „Endlichkeit der Ressourcen“ wieder hoch, und diesmal glaubte man, mit Lithiumionen-Batterien (aus asiatischer Fertigung, das nur am Rande) die vermeintliche „Wunderbatterie“ gefunden zu haben, die man nur noch schnell in Deutschland etablieren müsse. Ohne Zweifel gehören Lithiumionen-Batterien zu den besten verfügbaren Batterie-Typen. Aber warum haben dann Kleinwagen immer noch nur eine elektrische Reichweite von 150 km?

Warum werden nur bei Fahrzeugen im oberen Luxussegment (Anschaffungskosten um 100.000 EUR) Reichweiten von 500 km angegeben? Dazu genügt ein Blick auf die Energiedichte von Batterien. Im obigen Beispiel wiegt die 40 Liter Tankfüllung keine 40 kg. Im Vergleich zu den ca. 1200 kg eines heutigen Kleinwagens spielt dieses Gewicht keine Rolle. Bei aktuellen Lithiumionen-Batterien liegt die Energiedichte bei ca. 0,1 kWh/kg, auch hier kann guten Gewissens auf Wikipedia verwiesen werden. Zwar arbeitet man an Verbesserungen, und immer mal wieder liest man in regionaler oder überregionaler Presse, dass die Wunderbatterie endlich gefunden wurde. Kaufen kann man die Wunderbatterien aber trotzdem nicht. Nehmen wir also mal an, wir wollen mit dem Kleinwagen 800 km zurücklegen – nur zum Vergleich. Wir brauchen dafür also eine Batterie mit einem Energieinhalt von 160 kWh, die bei der aktuellen Technik leider 1.600 kg wiegen würde. Nun kann man das beliebig runter rechnen, aber auch nur bei 500 km Reichweite würde die Batterie 1.000 kg wiegen, der Kleinwagen also ca. 2 Tonnen. So was könnte man sich sogar noch vorstellen, technisch sicher beherrschbar. Aber wie viel kosten denn Lithiumionen-Batterien? Eine deutsche Autofirma verlangt aktuell für den Austausch der 20 kWh Batterie ihres Kleinstwagens rund 10.000 EUR zzgl. Einbau und Kodierung. Mit anderen Worten, der Preis für eine kWh beträgt aktuell 500 EUR. Die Batterie des oben betrachteten Kleinwagens mit 500 km Reichweite läge demnach preislich bei ca. 50.000 EUR. Selbst wenn sich die Batteriekosten halbieren würden, wären für 500 km Reichweite immer noch gut 25.000 EUR für die Batterie zu zahlen, für den Kleinstwagen also ca. 50.000 EUR. Würde diese Batterie nun über eine unbegrenzte Haltbarkeit verfügen, müsste man nur ausrechnen, wann sich ein solches Elektroauto amortisiert hat. Leider gibt es das bereits oben genannte Problem:

zyklische und kalendarische Alterung. Nach 3 – 8 Jahren, abhängig von vielen Faktoren, ist das Ende der Batterie erreicht, eben früher oder später. So ist es nicht überraschend, dass Elektroautos eher hohe Wertverluste vorhergesagt werden und mancher von einem „Wegwerfartikel“ spricht.

Aus der Bundesregierung gab es nun Vorschläge, jedes Elektroauto mit 5.000 EUR zu fördern, was der Finanzminister zu recht ablehnt, denn ein gutes Produkt benötigt keine Subvention, es wird sich automatisch verkaufen. Ob ca. 5 Milliarden Euro (für das Ziel 1 Million Elektroautos bis 2020 auf deutschen Straßen) in den kommenden 4 Jahren eine wirklich Hürde wären, sei dahingestellt. Ein ganz schlauer neuer Vorschlag sieht vor, jedes konventionelle Auto, das mehr als 201 g pro 100 km des „Klimakillers“ CO<sub>2</sub> freisetzt, mit einer Strafsteuer von 1.000 EUR zu belegen, um so die Prämie für den Kauf eines Elektroautos zu finanzieren. Hat es ein gutes Produkt nötig, gefördert zu werden? Der geneigte Leser möge sich diese Frage selber beantworten und auch die Frage, ob Elektrofahrzeuge heute schon die nötige Reife haben, um als vollwertiger Ersatz für konventionelle Fahrzeuge zu dienen. Eine einschlägig bekannte, zu Verboten neigende, von den Medien meist aber gehätschelte Partei hat nun sogar vorgeschlagen, ab 2036 alle neuen Fahrzeuge mit einem Verbrennungsmotor zu verbieten. Logischerweise müssten dann auch alle Flugzeuge, alle Lokomotiven bzw. Triebzüge und alle Schiffe mit thermischen Maschinen verboten werden, natürlich auch Rasenmäher, Schneefräsen, Landwirtschaftsmaschinen und noch viel mehr, die Auflistung lässt sich beliebig fortführen. Sicher steckt dahinter die naive Vorstellung, dass die Batterietechnologie bis 2036 den Durchbruch erzielt haben wird, sowohl im Hinblick auf die Kosten als auch im Hinblick auf die Energiedichte. Das darf jedoch bezweifelt werden, denn die Grundlagen von Lithiumionen-Batterien wurden in den 1970er Jahren gelegt. 1991 kam die erste, aus heutiger Sicht grottenschlechte, Batterie auf den Markt und seit ein paar Jahren kann man damit Autos, zumindest auf kurzen Strecken, antreiben. Gäbe es heute in der Forschung die Wunderbatterie, wäre sie 2036 vielleicht auf dem Markt, aber nur, wenn alle Anstrengungen auf diese Batterie konzentriert würden. Leider ist die Wunderbatterie in der Original-Literatur noch nicht zu finden. Neue Ansätze sind eher selten, und Lithiumionen-Batterien werden sich nur noch langsam verbessern lassen. Dass die Preise merklich sinken werden, darf wegen der Rohstoffsituation bezweifelt werden.

Wird nun wenigstens die Batterieforschung massiv gefördert, wie auch eine Lokalzeitung vor einiger Zeit gefordert hat? Wo denn? Die Universitäten sind bundesweit kaputt gespart, das Sparen will und will einfach nicht aufhören, und für die wenigen Bundesmittel müssen in langwierigen Verfahren Anträge geschrieben werden, die Rückweisungsquoten zwischen 75 und 95 % haben. Und dann kann es passieren, dass das Geld fehlt und neue Ideen gar nicht erst begonnen werden. Würde eine Bundesregierung an die Klimakatastrophe und die Elektromobilität glauben, würde sie jedes Jahr alleine für die Batterieforschung mehrere Milliarden Euro in die Hand nehmen müssen,

und zwar planbar, ohne ermüdende Beantragungszeiträume. Die Länder müssten die Universitäten stärken und sie nicht kaputt sparen und in Schulen umwandeln. Dass dem Finanzminister ca. 1 Milliarde EUR pro Jahr für die Förderung der Elektromobilität schon zu viel sind, könnte man auch so interpretieren, dass er selber nicht an die Elektromobilität glaubt, zumal das Geld in der Batterieforschung sicher besser angelegt wäre als in einem überteuerten und wenig praxistauglichen Industrieprodukt. Aber vielleicht erleben wir bald noch eine „Elektroauto-Umlage“, die auf sicher phantasievolle Art einkassiert wird.

(fe)

## Milliardengrab Elektromobilität – Teil 2

02.03.2016



Im ersten Teil dieser kurzen Abhandlung erläuterte der Autor, dass es vor ca. 25 Jahren schon einmal einen Elektroauto-Hype gegeben hat. Einige der Gründe für das Scheitern waren die geringen Reichweiten der damaligen Fahrzeuge, bedingt durch die geringe Energiedichte von Batterien, die sich bis heute nicht wesentlich verbessert hat. In einem Kommentar auf diesen Beitrag wurden Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor pauschal als „Stinker“ bezeichnet, das übliche Argument der „Zukunft der Kinder“ wurde bemüht, außerdem würde sich in der Batterieforschung noch sehr viel tun, und bald wären Batterien mit 0,3 kWh/kg auf dem Markt. [DIE WELT online](#) argumentierte am 29.02.2016 in einem Beitrag ganz ähnlich und mutmaßte, dass das Überleben der deutschen Automobilindustrie von Elektroautos abhängen würde. Dass die deutsche Automobilindustrie generell überleben wird, sei in Frage gestellt, denn die immer schärferen „CO<sub>2</sub>-Vorgaben aus Brüssel“ waren letztlich die Ursache für den „NO<sub>x</sub>-Skandal“, ein hausgemachtes Problem, vor dem Techniker schon vor 5 Jahren warnten. Aber auch die „Oberen“ des nun

geprügelten Autoherstellers hören sich selten die Bedenken von Technikern an, man hängt lieber sein Fähnchen in den politischen Wind – zahlen müssen die Zeche nun die Malocher, die ihre Familien ernähren müssen. Immer wieder wird eine kalifornische Firma als „Pionier“ der Elektromobilität zitiert, die Deutschen hätten den Trend verschlafen – so steht es beinahe täglich in irgendeiner Zeitung, und Unterstützung aus der Politik für die Automobilindustrie wie zu Zeiten des „Kanzlers aller Autos“ darf man von der grünen Allparteienpolitik heutzutage nicht mehr erwarten. Es scheint ein Sport geworden zu sein, seitens Politik und Medien auf die deutsche Automobilindustrie einzudreschen, aber auch auf die „Dreckschleudern“, die (noch) für ein stabiles Stromnetz sorgen. Der Autor des WELT-Artikels behauptete auch, dass Elektroautos den Hybriden schon heute überlegen wären. Nun gut, hierzu kann man geteilter Meinung sein, aber die kalifornische Vorzeigefirma hat bis heute wohl noch nicht viel Geld verdient, und es rentiert sich, zu recherchieren, woher das Kapital in dieser Firma kommt. Der Autor dieser Zeilen ist der Elektromobilität nicht abgeneigt, möchte aber trotzdem bzgl. einiger Unzulänglichkeiten den Finger weiterhin in die Wunde legen.

In der Batterietechnik sind in der Tat weitere Verbesserungen zu erwarten. Die Obergrenze in der Energiedichte von Lithium-Ionen-Batterien dürfte ca. bei den von einem Kommentator angemahnten 0,3 kWh/kg liegen. Des Weiteren wird in der Forschung an Festkörperelektrolyten gearbeitet, die das Alterungsproblem, welches bei aktuellen Lithium-Ionen-Batterien je nach Belastung zu Lebensdauern zwischen nur 3 und 8 Jahren führen wird und ein gewisses Brandrisiko beinhaltet, merklich reduzieren dürfte. Es gibt noch zahlreiche verfahrenstechnische Probleme, bis diese Batterien auf dem Markt sind. Tatsächlich ist es dann denkbar, dass das amerikanische Vorzeige-Elektroauto unter den kalifornischen Klimabedingungen eine Reichweite von 1.000 km erzielen könnte. Ein Fahrzeug der sog. „Golf-Klasse“ könnte eine Reichweite von 300 km erreichen, auch 500 km sind vorstellbar. Ob es so kommt und ob die Batteriepreise langfristig und dauerhaft sinken, werden wir in den kommenden Jahren wissen, und wie viel dann – ohne Subventionen – für diese Autos zu zahlen ist, wird sich ebenfalls zeigen. In ca. 6 – 8 Jahren werden wir auch wissen, wie stark die Batterien altern und wie hoch der Wiederverkaufswert von Elektroautos liegen wird. In der Forschung beschäftigt man sich ferner mit Lithium-Schwefel und Metall-Luft-Batterien, darunter mit Natrium/Luft-, Zink/Luft-, Aluminium/Luft- und Silizium/Luft-Batterien. Diese Systeme werden gewöhnlich als „Post-Lithium“-Batterien zusammengefasst. Am weitesten vorangeschritten sind Zink/Luft- und Lithium/Schwefel-Batterien, mit denkbaren Energiedichten zwischen 0,3 und 1 kWh/kg. Die Dauerhaltbarkeit ist noch nicht gegeben, und beide Typen altern noch viel zu schnell. Die sog. „Red-Ox-Flussbatterien“ (engl. Redoxflow) betrachtet der Autor dieser Zeilen als Nischenanwendung. Die Chemie der Vanadium-Verbindungen setzt gewisse Grenzen, und neue Systeme sind erst in den Kinderschuhen. Erwähnt seien auch noch Natrium-Ionen- und Aluminium-Ionen-Batterien, die ebenfalls noch grundlegend untersucht werden müssen und Energiedichten im Bereich von 1 kWh/kg erreichen könnten. Der Autor bittet um Verständnis, dass er hier keine wissenschaftliche Abhandlung verfassen kann, stellt jedoch ggf. weiterführende Literatur zur Verfügung. Ein weiterer Grund für das Ende des Elektroauto-Hypes vor gut 20

Jahren war die Ankündigung einer Autofirma ca. um 1995, in 3 Jahren Brennstoffzellenfahrzeuge auf den Markt zu bringen – die 1998 aber nicht auf dem Markt waren.

## Brennstoffzellen

Eine Brennstoffzelle ist ein elektrochemischer Reaktor, der die Energie bei der Verbrennung von Wasserstoff und Sauerstoff auf elektrochemischem Wege nutzt und in eine elektrische Spannung umwandelt. Aus thermodynamischen Gründen beträgt die maximale theoretische Spannung einer Brennstoffzelle bei 25 °C nur 1,23 Volt. Durch sogenannte elektrochemische Überspannungen sinkt die Spannung einer Brennstoffzelle im Betrieb auf 0,7 – 0,9 Volt, und im besten Fall resultieren bei einer Polymer-Brennstoffzelle (PEM) „Wirkungsgrade“ von 60 – 70%. Die Höher- und Hochtemperaturbrennstoffzellen seien an dieser Stelle nur erwähnt, für den mobilen Betrieb sind sie eher nicht geeignet. Um ein Auto mit einer Brennstoffzelle antreiben zu können, sind Spannungen um 400 Volt erforderlich, was bedeutet, dass ca. 500 solcher Einzelzellen in Reihe geschaltet werden müssen. Der Ausfall einer einzigen Zelle würde den Ausfall der gesamten Brennstoffzelle zur Folge haben, was eine fertigungstechnische und elektrotechnische Herausforderung darstellt. Der Autor erinnert sich noch gut, als vor 20 Jahren in den Medien Politiker gezeigt wurden, die das Kondensat aus dem Auspuff von Brennstoffzellen-Fahrzeugen, idealerweise nur Wasser, tranken und den Durchbruch verkündeten. In der Tat ist es so, dass bei der Verbrennung von Wasserstoff nur Wasser entstehen sollte. Leider entstehen bei der elektrochemischen Reduktion von Sauerstoff an den Edelmetallkatalysatoren von PEM's in kleinen Mengen auch unangenehme Verbindungen wie Wasserstoffperoxid und Wasserstoffhyperoxid, die hohes Oxidationspotential haben und die Polymermembranen mit der Zeit angreifen. Somit altert die Membran, sie wird spröde und brüchig. Dazu kommen elektroosmotische Effekte, die die Membran mechanisch belasten, sowie thermische Spannungen durch Aufheizen und Abkühlen.

Im Betrieb kann eine Brennstoffzelle mehr als 60 °C erreichen, dazu kommt sie mit Temperaturen unterhalb des Gefrierpunktes von Wasser und mit Lastwechseln nicht gut zurecht, weshalb sie stets mit einer Batterie bzw. – genauer – einem Akkumulator kombiniert werden muss. Bisher gibt es nur Edelmetalle als Katalysatoren (Platin und Platin-Ruthenium), und dem geneigten Leser sei empfohlen, selber zu recherchieren, wieviel Platin in einer 50 kW leistenden Brennstoffzelle enthalten ist. Diese Menge ist dann in Relation zur Jahresfördermenge an Platin zu setzen. In der Forschung wird an alternativen Katalysatoren gearbeitet, auch an besseren Membranen, der Durchbruch wurde leider noch nicht erzielt, auch wenn eine Internetrecherche in den deutschen Medien diesen Eindruck erweckt. Dazu sei erwähnt, dass die Bundesregierung bisher entweder die Brennstoffzelle massiv förderte, Batterien oder keines der Systeme. Aktuell ist wieder ein Umschwenken in die Richtung Brennstoffzelle zu verspüren, die Brennstoffzellenforschung wurde im Zuge des Batterie-Hypes jedoch nur stiefmütterlich behandelt. Eine Erklärung der politischen Hintergründe ist nicht ganz einfach und soll an dieser Stelle nicht erfolgen. In Langzeitversuchen verschiedener Autohersteller wurden Lebensdauern von ca. 35.000 km erreicht, danach

musste die Brennstoffzelle ausgetauscht werden. Ob die Autohersteller mittlerweile seriös nachprüfbar Verbesserungen erzielt haben, kann der Autor nicht mit Sicherheit einschätzen.

Bei einem konventionellen Fahrzeug mit Verbrennungsmotor, von manchen „Stinker“ genannt, sind wir es gewöhnt, zur Tankstelle zu fahren, wenn der Tank leer ist. Von der Anfahrt bis zur Abfahrt dauert „Volltanken“ ca. 10 Minuten. Was dies seitens der Elektrotechnik im Falle von 50 Millionen Batteriefahrzeugen für das „Energiewende-Stromnetz“ bedeuten wird, wird in Teil 3 andiskutiert. Hier betrachten wir Brennstoffzellenfahrzeuge. Die Brennstoffzelle arbeitet mit Wasserstoff und Luft-Sauerstoff. Wasserstoff ist das leichteste Gas und muss entweder unter hohem Druck oder in chemischen Verbindungen gespeichert werden. Heute hat man Speicher zur Verfügung, die Wasserstoff bei Drucken bis zu 700 bar sicher speichern. Durch akribische Materialforschung hat man Werkstoffe gefunden, die die Diffusion von Wasserstoff und die Versprödung der Materialien so stark reduzieren, dass er – zumindest stationär – recht sicher gespeichert werden kann. Auf die nicht unerheblichen Speicherverluste und die thermischen Effekte wird an dieser Stelle nicht eingegangen, diese Aspekte sind Teil der Grundvorlesung „Physikalische Chemie“. Ob ein Brennstoffzellenfahrzeug mit einem unter 700 bar Überdruck stehenden Wasserstofftank zulassungsfähig wäre, kann der Autor nicht beurteilen. Schon vor 20 Jahren begann man mit der Erforschung chemischer Speicher für Wasserstoff, die Autobild brachte dazu vor einigen Jahren einen Artikel unter dem Stichwort „Carbazole“, man kann den Artikel „googlen“. Dabei wird in einer Chemiefabrik ein Carbazol (eine chemische Verbindung) mit Wasserstoff beladen, chemisch spricht man von Reduktion. Die Substanz hat die Konsistenz von Dieselmotorkraftstoff, kann also leicht gepumpt werden. Im Auto wird die Substanz über einen Katalysator geleitet, wo sie ihren Wasserstoff abgibt, und danach in einen Auffangtank gepumpt. Der Wasserstoff wird in der Brennstoffzelle in elektrische Energie umgewandelt, das oxidierte Carbazol wird beim nächsten Tankvorgang abgepumpt und später in der Fabrik wieder beladen. Seit dem Artikel in der Autobild wurden weitere Verbindungen gefunden, die sich für die Speicherung von Wasserstoff eignen. Nun, wo ist der Pferdefuß, denn die Idee des „flüssigen Wasserstoffs“ mit einer Energiedichte um 1 kWh/kg erscheint auf den ersten Blick „genial“. Das Problem der Alterung der Brennstoffzelle wurde bereits erläutert. Wie jeder chemische und elektrochemische Prozess treten im Gesamtsystem Alterungen auf. Zum einen altert im Fahrzeug der Katalysator für die Freisetzung von Wasserstoff, zum anderen altern die Verbindungen, die den Wasserstoff speichern. Zumindest in der Fabrik müssen die zersetzten Verbindungen von den noch aktiven getrennt werden, die zersetzten müssen ersetzt werden. Beides erfordert Energie. Bis heute gibt es daher keine belastbare Prognose, wie teuer Carbazole und ihre Nachfolger in der Gesamtkette sein werden und wie lange die Katalysatoren fehlerfrei arbeiten. Berücksichtigt man dazu die Alterung der Brennstoffzelle, sollte man nicht unbedingt erwarten, basierend auf der heutigen Technologie zu günstigen Preisen ein dauerhaftes Fahrzeug zu erwerben.

Der Autor ist auf die angekündigten Brennstoffzellenfahrzeuge und deren Dauerhaltbarkeit sehr neugierig und wiederholt, dass er kein grundsätzliches Problem mit Elektroautos hat, seien dies Batteriefahrzeuge oder



Brennstoffzellenfahrzeuge. Aus der langjährigen Erfahrung zweifelt er jedoch an, dass die heutige Technologie schon massentauglich ist. Jeder muss für sich selber die individuelle Entscheidung fällen, ein Elektroauto zu kaufen oder nicht. Leider ist damit zu rechnen, dass mittelfristig – nur in Deutschland – Verbrennungsmotoren verboten werden, denn sowohl die Altparteien als auch die Medien scheinen dem kollektiven Klimaschutz-Wahn verfallen zu sein, Sachdiskussionen sind nicht mehr erwünscht. Die Pläne der grünen Lobbyverbände und der Umweltministerin kündigen nichts Gutes für die Zukunft an. Der geneigte Leser möge sich im Internet selber über die aktuellen “Klimaschutz-Ziele” informieren und sich sein eigenes Bild machen, was auf unser Land künftig zukommen wird. Die Abqualifizierung der bestehenden Technologie als „Stinker“ erscheint zwar nachvollziehbar aber einseitig, dazu beeinflusst durch eine mittlerweile völlig einseitige Darstellung in den Medien. Vielleicht sollten sich die deutschen Politiker und Medien an den USA orientieren, die das eine tun, das andere aber nicht lassen. Die US-Amerikaner entwickeln Elektrofahrzeuge, haben bisher aber keinerlei Ambitionen, „Stinker“ verbieten zu lassen. Im Gegenteil, die deutschen Autofirmen stellen ihre leistungsstarken Fahrzeuge mit V8- und V12 oder W12 Motoren meist zuerst in den USA vor, auch in China sind solche Fahrzeuge höchst angesehen, während man in Deutschland mittlerweile mit erhobenem grünen Finger auf die Fahrer solcher Fahrzeuge zeigt. Selbst unter den aktuell in den USA regierenden Demokraten kam noch niemand ernsthaft auf die Idee, in den kommenden 20 Jahren Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor zu verbieten. Das ist wohl eher ein typisch deutsches Problem, angestoßen von einer zu Verboten neigenden einschlägigen Öko-Partei und ausgeschlachtet von den mittlerweile einseitig berichtenden Medien.

(fe)

## Milliardengrab Elektromobilität – Teil 3

18.03.2016



Im letzten Teil dieser kurzen Abhandlung soll es um eine Betrachtung der Ladeinfrastruktur für die Elektromobilität gehen. Die aktuelle Politik versucht mit aller Gewalt, das Ziel, bis 2020 eine Million Elektrofahrzeuge auf die Straßen zu bringen, durchzusetzen. Aufgrund der in [Teil 2](#) skizzierten Unzulänglichkeiten bei Fahrzeugen mit Brennstoffzellen, die zudem noch nicht käuflich erworben werden können, kann dies nur bedeuten, dass eine Million Batterie- bzw. Akku-Fahrzeuge auf die Straßen rollen sollen. Abgesehen vom amerikanischen Vorzeigeelektrofahrzeug, das in seiner Preisklasse keinen Kaufanreiz in Höhe von 5.000 EUR benötigt, kann es sich nur um Kompaktklasse-Elektrofahrzeuge der jetzigen Generation handeln, die mit einer Batteriekapazität von ca. 20 kWh Reichweiten von maximal ca. 150 km erzielen dürften, im Winter deutlich weniger. Schnellladeverfahren sind für diese Fahrzeuge faktisch nicht vorhanden, so dass der Einfluss auf die Stabilität des Stromnetzes zunächst auch bei einer Million dieser Fahrzeuge zu vernachlässigen ist. An einer üblichen Haushaltssteckdose mit rund 3,5 kW Leistung sind ca. 6 – 7 Stunden für eine vollständige Ladung einzuplanen, an einem Drehstromanschluss mit gerundet 19 kW, manchmal „wallbox“ genannt, wäre eine 20 kWh Batterie in etwas mehr als einer Stunde aufgeladen, für eine 100 kWh Batterie sind gut 6 Stunden einzuplanen. Solche Laderaten sind für aktuelle Lithiumionenakkus kein grundsätzliches Problem. Auf die Verluste in der Ladeelektronik wird hier nicht eingegangen. Wer nun davon träumt, sein Elektrofahrzeug mit einer eigenen Photovoltaikanlage zu laden, möge beachten, dass es im Winter faktisch keinen solaren Ertrag gibt. Ein Laden während der Nacht erfordert zumindest eine Batterie mit der Kapazität der im Fahrzeug, denn nachts scheint bekanntlich die Sonne nicht. Selbst bei einem zukünftigen Preis von nur 100 EUR/kWh für Batteriespeicher würde eine 100 kWh speichernde Batterie im Eigenheim 10.000 EUR kosten. Aktuell sind eher 50.000 EUR für eine solche Batterie zu zahlen.

Als der „NO<sub>x</sub>-Skandal“ ans Tageslicht kam, überschlugen sich die Zeitungen damit, die Batterieforschung müsse nun stärker gefördert werden, womit der Autor im übrigen nicht das geringste Problem hat. Ziel müsse sein, Schnellladeverfahren zu entwickeln, damit ein Elektroauto genauso schnell geladen werden kann, wie ein „Stinker“, überdies würden die Akkus das Energiewende-Stromnetz stabilisieren – so liest man es in vielen Zeitungen. Auch in der lokalen „Qualitätszeitung“ gab es solche Kommentare, gegenläufige Meinungen werden mittlerweile entweder ignoriert oder sogar durch öffentliches Anprangern bekämpft, je nach ideologischer Sicht. Es wird auch suggeriert, dass Batterien, die in 5 Minuten geladen werden können, bereits auf dem Markt sind. Dazu sei erwähnt, dass man auch eine Lithiumionenbatterie in 5 Minuten laden kann – wenn die Kapazität der Batterie nur hinreichend klein ist. Bisher gibt es jedoch noch keine Batterie-Chemie, die ohne Schaden an den Batteriematerialien eine Schnellladung in bspw. 6 Minuten ermöglichen würde. Solche Materialien werden grundlegend erforscht – wann und ob sie auf den Markt kommen, kann nicht seriös beurteilt werden.

In [Teil 1](#) wurde erläutert, dass ein Elektrofahrzeug, das eine Reichweite von 500 km haben soll, eine ca. 100 kWh fassende Batterie benötigt. Von den konventionellen Fahrzeugen sind wir es gewöhnt, dass ein Tankvorgang zwischen An- und Abfahrt an die Tankstelle ca. 10 Minuten benötigt. Nun rechnen wir einfach mal aus, welche rechnerische Leistung anfällt, wenn innerhalb von 6 Minuten (= 0,1 h) 50 Liter Kraftstoff in

einen Tank gefüllt werden. Vereinfacht gehen wir davon aus, dass ein Liter Kraftstoff einen Energieinhalt von 10 kWh hat, wir würden in unser Fahrzeug in 6 Minuten also 500 kWh Energie füllen. In der Physik ist die Leistung der Quotient aus Arbeit bzw. Energie und Zeit:  $P = dW/dt$ . Die Leistung hat die Einheit Watt. Dividiert man die 500 kWh (Energie) durch die 0,1 h (Zeit), erhält man eine Leistung von  $5.000 \text{ kW} = 5 \text{ MW}$ . Diese Leistung wird beim Tanken zwar nicht abgerufen, würde aber ein Schiffsmotor in 6 Minuten diese 500 kWh verbrauchen, würde er eine Gesamtleistung (mechanische Energie und Wärme) von 5000 kW erzeugen, oder 6800 PS. Daher ist diese Betrachtungsweise durchaus legitim. Wollen wir nun das skizzierte Elektroauto mit seiner 100 kWh fassenden Batterie in 6 Minuten (= 0,1 h) aufladen, ergibt sich analog eine Ladeleistung von 1.000 kW ( $100 \text{ kWh} / 0,1 \text{ h} = 1.000 \text{ kW} = 1 \text{ MW}$ ). Wie oben erwähnt, hat eine typische Haushaltssteckdose eine Leistung von ca. 3,5 kW, ein einzelner Drehstromanschluss (3 \* 400 Volt, mit 16 Ampere abgesichert) liefert rechnerisch 19,2 kW. Im Haushalt hat ein typischer Wasserkocher eine Leistung von 1 – 2 kW, ein elektrisches Kochfeld bis zu 10 kW.

Deutschland hat aktuell einen Stromverbrauch von abgerundet 600 TWh pro Jahr, was sowohl Industrie und Gewerbe als auch die Privathaushalte beinhaltet. Davon fallen – gerundet – ca. 150 TWh auf die Privathaushalte. Um diese 600 TWh zu erzeugen, ist rund um die Uhr eine durchschnittliche elektrische Leistung von ca. 70 GW notwendig. Ein Block eines großen Kohle- oder Kernkraftwerks liefert ca. 1 GW, Gaskraftwerke sind etwas kleiner ausgelegt. Sollte Deutschland an dem Ziel der Voll-Elektrifizierung in der Mobilität festhalten, ist im Endziel der Energiewende mit einem Fahrzeugbestand von 50 Millionen zu rechnen. Je nach Quelle werden hierfür 150 – 200 TWh an zusätzlicher elektrischer Energie notwendig sein. In der Konsequenz wird eine zusätzliche Kraftwerkskapazität von ca. 20 GW erforderlich sein, die rund um die Uhr die Energie für die Elektromobilität liefert. An dieser Stelle wird nicht darauf eingegangen, wie viele zusätzliche Windkraftanlagen rein rechnerisch erforderlich wären.

Welche Herausforderungen ergeben sich nun, wenn ein Fahrzeugbestand von 50 Millionen Fahrzeugen im Stromnetz elektrisch aufgeladen werden soll. Laut [www.statista.com](http://www.statista.com) gibt es zur Zeit in Deutschland rund 14.500 Tankstellen. Aktuell ist es so, dass zu Spitzenzeiten die Zapfsäulen alle ausgelastet sind, d.h. es kann vorkommen, dass in ganz Deutschland gut 40.000 Fahrzeuge zur gleichen Zeit betankt werden. Betrachten wir nun im folgenden, welche elektrische Leistung erforderlich ist, wenn eine variierende Zahl von Elektrofahrzeugen so, wie wir es gewohnt sind, in ca. 6 Minuten geladen werden soll.

1 Fahrzeug: 1 MW

1.000 Fahrzeuge: 1 GW

10.000 Fahrzeuge: 10 GW

40.000 Fahrzeuge: 40 GW

Um 40.000 Elektrofahrzeuge gleichzeitig zu laden, ist für 6 Minuten eine elektrische Leistung von 40 großen Kraftwerken erforderlich. Es gibt allerdings keine Kraftwerke, die in so kurzer Zeit von 0 auf Maximalleistung hochgefahren werden können, und die rund um die Uhr erforderlichen 20 GW werden nicht

gleichzeitig abgerufen. Es wird Tage geben, bspw. Sonn- und Feiertage, an denen die Fahrzeuge kaum geladen werden, der Strom also gespeichert werden müsste, im schlimmsten Fall  $20 \text{ GW} * 24 \text{ h} = 480 \text{ GWh}$ . Eine schnell zwischen 0 und 40 GW variierende Leistung wäre lediglich mit schnell an- und abschaltbaren Batterien denkbar. Auch hier kann man eine Abschätzung vornehmen. Aktuelle Lithiumionenbatterien erreichen eine Entladeleistung von gut 4 kW/kg. Um nun 40 GW Leistung zur Verfügung zu stellen, benötigt man 10 Millionen kg (= 10.000 Tonnen) Lithiumionenakkus, die bei 0,1 kWh/kg eine Speicherkapazität von 1 GWh zur Verfügung stellen können. Um nun eine „rush hour“ abdecken zu können, dürfte der Speicherbedarf in einem ansonsten stabilen Stromnetz 10 – 100 GWh betragen, wobei es sich hier nur um eine Schätzung handeln kann.

Bei anvisierten 100 EUR/kWh für Lithiumionenakkus resultiert daraus ein Investitionsbedarf von 1 – 10 Milliarden Euro, nur für solche Batterien, zzgl. weiterer Ladeinfrastruktur. In einem durch thermische Kraftwerke stabilisierten Stromnetz ist eine Vollelektrifizierung seitens der Ladeinfrastruktur technisch also durchaus vorstellbar, ohne dass sich der Autofahrer zu sehr umgewöhnen muss. Was das Laden einer Batterie mit 1.000 kW in der Praxis bedeutet, soll an dieser Stelle nicht diskutiert werden. Angesichts mehr als 20 Milliarden EUR pro Jahr für die EEG-Umlage erscheinen die künftigen skizzierten Investitions-Kosten alleine für die Speicherbatterien eher gering. Praktischerweise würden die Elektrofahrzeuge sowieso eher nachts an der heimischen Steckdose geladen, so dass sich die Zahl der künftigen Elektro-Tankstellen im Vergleich zu den heutigen Tankstellen reduzieren und sich eher auf Autobahnen konzentrieren würde, um dem Autofahrer auch lange Strecken zu ermöglichen. Das sich ergebende Lastprofil wäre schnell bekannt, ein Kraftwerksfuhrpark könnte recht zuverlässig darauf eingestellt werden. Das bedeutet, dass die Elektromobilität in einem durch thermische Kraftwerke stabilisierten Stromnetz ungeachtet der bestehenden Probleme bei Batterien und Brennstoffzellen seitens der Ladeinfrastruktur durchaus vorstellbar ist. Um später den Bedarf an zusätzlichem Strom decken zu können, wären aus heutiger Sicht ca. weitere 20 Grosskraftwerke erforderlich. Nun haben wir allerdings ein Problem, denn wir leben im „Energiewende-Deutschland“ der „Klima-Kanzlerin“.

Das erklärte Ziel der sog. „Energiewende“ ist, nicht nur die Kernkraftwerke bis 2022 alle abzuschalten, sondern, ginge es nach den zum Teil radikalen Umweltverbänden oder einer zur Verboten neigenden einschlägigen Partei, zügig auch die Kohlekraftwerke. Mancher dieser Protagonisten fordert bis zum Jahr 2030 einen vollständigen Ausstieg aus der Stromerzeugung mit „fossilen“ Energieträgern. Umweltaktivisten attackieren unter Beifall der Medienlandschaft wie seinerzeit die Kernkraftwerke nun die Kohlekraftwerke bzw. die Braunkohleabbaustätten. Als Argumente kommen – natürlich – die durch CO<sub>2</sub>-verursachte „Klimakatastrophe“ sowie die „unbeherrschbaren“ Risiken der Kernenergie, als Synonym dafür steht nun „Fukushima“. Das CO<sub>2</sub>-Märchen wird zwar irgendwann als solches auffliegen, aber das kann noch eine Weile dauern. Im Endziel dieser Träumereien soll sich Deutschland in der „heilen grünen Welt“ alleine mit Solar- und Windstrom versorgen. Den Protagonisten ist zwar durchaus bewusst, dass Sonne und Wind kein

stabiles Stromnetz ermöglichen werden, aber das sollen künftig Batteriespeicher richten. Zu diesem Thema wurde schon an anderer Stelle viel diskutiert und gestritten. Aufgrund der im Winter nahezu zusammenbrechenden solaren Leistung und der un stetigen Windkraft, die auch schon einmal für Wochen ausfallen kann, wird nicht nur eine völlige „Verspargelung“ Deutschlands das Ergebnis sein, es wird auch ein Speicherbedarf zwischen 20 und 100 TWh nötig sein, um ein stabiles Netz zu erreichen, bei Strompreisen jenseits der 1 EUR/kWh. Da das Potential für Pumpspeicherkraftwerke in Deutschland erschöpft ist, können solche Energiemengen nur mit chemischen oder elektrochemischen Methoden gespeichert werden. Der Speicherbedarf bleibt auch dann bestehen, wenn die Energieversorgung dezentralisiert wird, wie einige Protagonisten es anstreben. Betrachtet man nun noch die Zusatzenergie für die Elektromobilität, ergibt sich als Fazit, dass nicht nur die „Energiewende“ sondern auch die Elektromobilität in „Energiewende-Deutschland“ nicht möglich sind. Beides wird an den Kosten scheitern, oder Deutschland endet als de-industrialisierte grüne Fahrradrepublik ohne internationale Bedeutung.

Wie könnte nun ein Ausweg aussehen, denn der Autor steht der Elektromobilität nicht grundsätzlich ablehnend gegenüber.

Szenario 1:

Deutschland beendet die Energiewende („besser ein Ende in Schrecken als ein Schrecken ohne Ende“) und installiert wegen der „Klimakatastrophe“ Kernkraftwerke der neuesten Generation. Damit ließen sich zwei Fliegen mit einer Klappe schlagen: Der „Klimaschutz“ wäre erfüllt, und mit ausreichend preiswerter elektrischer Energie könnten sowohl die Gebäudebeheizung auf Wärmepumpen umgestellt als auch die Elektromobilität umgesetzt werden. Die Chance für eine politische Umsetzung in Energiewende-Deutschland ist als verschwindend gering einzuschätzen.

Szenario 2:

Deutschland verabschiedet sich von seinen „Klimazielen“, setzt im Sinne des „Atomausstiegs“ also verstärkt auf modernste Kohlekraftwerke. Auch damit könnte die Elektromobilität realisiert werden, da die Stromkosten nach Auslaufen aller EEG-Vergütungen nach und nach sinken würden. Wie in Szenario 1 würde preiswerte Energie der Wirtschaft einen Schub verleihen, die Preise für Batterien dürften sinken.

Szenario 3:

Die Energiewende wird ohne Rücksicht auf jegliche Konsequenzen weiterhin durchgezogen, die Kern- und Kohlekraftwerke werden abgeschaltet, Deutschland wird vollständig „verspargelt“ und „verspeichert“. In

diesem Szenario wäre noch eine Teilelektrifizierung mit Hybridfahrzeugen denkbar – wenn man sich ein Fahrzeug dann überhaupt noch leisten kann.

Aktuell sieht es nicht danach aus, dass die Szenarien 1 und 2 eine Chance auf Umsetzung haben, die Politik hält stur an Szenario 3 fest, Gegenargumente werden zensiert, verschwiegen oder offen bekämpft. Deutschland sitzt daher tief in der selbstgewählten grünen Falle und wird nach Einschätzung des Autors diese aus eigener Kraft auch nicht mehr verlassen können. Im günstigsten Fall setzt sich nach und nach die Erkenntnis durch, dass die Energiewende ohne Speicher technisch nicht möglich ist bzw. mit Speichern – nicht wirtschaftlich ist. Da es sowohl auf dem Sektor der Batterien als auch dem der Brennstoffzellen noch erhebliche Probleme mit der Dauerhaltbarkeit gibt, bleibt der Autor bei der Empfehlung, die er schon 1995 an die Politik richtete: **Auf Hybridfahrzeuge setzen**. Würde man sich darauf konzentrieren, könnte man mit der Zeit sowohl die Batterien als auch die Verbrennungsmotoren weiter verbessern. Würde zum Betrieb der Verbrennungsmotoren Erdgas verwendet, das in einem darauf abgestimmten Motor sehr sauber verbrennt, wäre auch dem Argument der „Stinker“ der Wind aus den Segeln genommen. Wer ein solches Fahrzeug als „Stinker“ bezeichnet, möge auch seine Gasheizung außer Betrieb nehmen und durch eine elektrische Wärmepumpe ersetzen. Mit einer anvisierten elektrischen Reichweite von 100 km könnten statistisch 90% der Fahrten elektrisch abgedeckt werden. Aus Sicht des Autors wären die geplanten 5.000 EUR Kaufprämie daher in Hybridfahrzeugen besser angelegt, denn das ist ungefähr der Aufpreis, der für einen Hybriden fällig ist. Wenn die Batterie nach einigen Jahren mal auszutauschen ist, dürften sich die Kosten bei Voranschreiten der Batterietechnologie im Rahmen halten. Vielleicht wird irgendwann der Durchbruch in der Batterietechnik erreicht und Elektrofahrzeuge werden alltagstauglich, und vielleicht besinnt sich die Politik auch wieder auf die Vernunft bzgl. der Stromversorgung. Bis dahin könnte man dem US-amerikanischen Beispiel folgen: **Das eine tun, das andere aber nicht lassen**

Autor: Prof. Dr. Frank Endres