

---

# Das Elektrofahrzeug als Regelenergiekraftwerk des Solarzeitalters

Tomi Engel



Leider ist auch heute noch einer der gängigsten Einwände gegen die Umlenkung zu einer hundertprozentigen solaren Energieversorgung der Anspruch "aber nachts scheint halt keine Sonne". Vom Inhalt her das gleiche Argument, nur wissenschaftlicher verpackt, ist die Behauptung, dass durch die Wetterabhängigkeit der solaren Technologien, vor dem Hintergrund der Versorgungssicherheit, so viele Regelenergiekraftwerke bereitgehalten werden müssten, dass diese im Prinzip auch gleich die gesamte Energieversorgung übernehmen könnten.

Das beide Aussprüche sachlich nicht haltbar sind haben nicht nur theoretische Studien widerlegt sondern auch die praktischen Erfahrungen der letzten Jahre gezeigt. Das Zusammenspiel der verschiedenen solaren Technologien (Sonne, Wind, Wasser, Biomasse, Erdwärme) kann die naturbedingten Schwankungen sehr gut ausgleichen. Fernab des Stromnetzes gibt es noch viel länger eine praxiserprobte Strategie, die das "Wetterproblem"-Argument entkräftet: Solarenergie plus Batterie. Gepaart mit geschicktem Energiemanagement sind Energiespeicher schon heute oft die billigste Lösung.

Aber auch für die zukünftige Energieversorgung eines Landes, das bereits über ein bestehendes Stromnetz verfügt, könnte die Batterie eine zentrale Rolle spielen – nur sollte man sie dann vermutlich gleich zwischen vier Räder packen und "Elektrofahrzeug" nennen.

## Das Elektrofahrzeug

Der "PKW" mit Elektromotor und Batterie ist über 40 Jahre älter als das "Benzinauto". Schon 1839 soll es in England ein Elektrofahrzeug gegeben haben. Schlechte und schwere Batterien gepaart mit einem, zur damaligen Zeit faktisch nicht vorhandenen Stromnetz, haben es der auf flüssigen Brennstoffen basierenden Konkurrenz leicht gemacht das Elektrofahrzeug in die Nische des öffentlichen Nahverkehrs (Trolleybus, Straßenbahn, etc.) zu verdrängen. Da man bis zur Erfindung des Laptopcomputers wohl keinen Bedarf an guten Batterien hatte, sind die Elektroautos auch bis heute nicht über den Status von Versuchsobjekten oder Kleinstserien hinausgekommen. Das Argument, man müsste 1000 kg Batterien herumfahren gilt technisch schon lange nicht mehr.

Die Vorbehalte gegen das Elektrofahrzeug aus Kreisen der Solarbefürworter sind auf den ersten Blick nachvollziehbar. In Zeiten, da man versucht den Stromverbrauch zu reduzieren, will man keine zusätzlichen Verbraucher schaffen und analog zum Nachtspeicherofen werden auch heute Elektrofahrzeuge vorwiegend von Konzernen und Ländern (z.B. Frankreich) gefördert, in denen reichlich Überkapazität aus fossilen- und vor allem den nicht regelbaren, atomaren Kraftwerken zu vermarkten ist. Doch sollten diese momentanen Umstände nicht den Blick auf das Potential der Idee "Elektrofahrzeug" trüben.

## Mobilität mit dem Faktor 3

Aus Sicht der Effizienz sind Elektrofahrzeuge nicht zu übertreffen. Rechnet man "ab Steckdose" so haben aktuelle Leichtelektromobile einen Verbrauch von knapp 10 kWh auf 100 km (ca. 1 Liter Benzin). Nimmt man normale, schwere Serienfahrzeuge als Basis, so liegt der typische Verbrauch eines 4-Personen-PKWs bei etwa 20 kWh ("2 Liter"). Diese vorwiegend in Frankreich von Renault, Peugeot oder Citroën angebotenen Fahrzeuge haben in der Ausführung mit Verbrennungsmotor jedoch meist einen Verbrauch von 5 Liter Diesel bzw. 8 Liter Benzin.

Rein aus Sicht des Energieverbrauches kann somit, je nach Fahrzeugtyp, ein Effizienzvorteil vom Faktor 2 bis 4 angesetzt werden. Dies gilt kurioserweise auch im Vergleich zu den auf breiter Ebene propagierten Wasserstofffahrzeugen, welche beim Einsatz einer Brennstoffzelle auch primär Elektrofahrzeuge sind. Durch die Umwandlung von Strom zu Wasserstoff und wieder zurück zu Strom vernichten aber die Bereitstellungskette derzeit etwa 60 bis 75% der elektrischen Energie! Das Wasserstofffahrzeug ist somit fast verschwenderischer beim Einsatz der Energie als ein normales Fahrzeug mit Verbrennungsmotor! Dies gilt zumindest dann, wenn der Wasserstoff aus solarem Strom und nicht aus "atomarem Kühlwasser" oder durch "CO<sub>2</sub>-Wäsche" aus Erdgas hergestellt wird, da die letzteren beiden Ansätze die Verluste der Elektrolyse "geschickt" umgehen.

Darüber hinaus würden Elektrofahrzeuge noch einige andere Probleme der gegenwärtigen Automobilität lösen: deutlich weniger Lärm, kein Feinstaub und keine Abgase, es wird kein Motorenöl benötigt, die Konstruktionen sind einfacher und sollten damit auch viel langlebiger sein. Da diese Fahrzeuge als Bestandteil des Solarzeitalters betrachtet werden, greift, ähnlich der Diskussion um die Wärmepumpe, das übliche Argument gegen den Einsatz von Strom nicht. Solarstromfahrzeuge verlagern weder die Abgase zum Kraftwerk, noch erfolgt eine Aufhebung des Effizienzvorteils durch die Verluste im Kraftwerk. Im optimalen Fall befindet sich die Solarstromanlage direkt auf dem Parkplatz wo das Fahrzeug steht.

Alle diese Argumente sind seit Jahrzehnten bekannt und doch greift eine reine Betrachtung der beachtlichen Effizienzsteigerung viel zu kurz. Denn so wie das EEG die großen Stromversorger zu "Notstromversorgern" verwandelt hat und so wie eine reine Umorientierung aus vielen Notstromaggregaten ein virtuelles Kraftwerk mit Kraft-Wärme-Kopplung schaffen kann, so einfach könnte auch aus dem größten Energieverbraucher (dem PKW) ein zentraler Baustein im Netzwerk der solaren Stromversorgung werden.

Warum sollte ein Elektrofahrzeug denn nur Strom aus dem Netz entnehmen aber nicht Strom in das Netz einspeisen dürfen?

### **Das mobile Regelenergiekraftwerk**

Will man Elektrofahrzeuge verkaufen, so muss man vorrangig die Erwartungen der Käufer erfüllen und deren Mobilitätsbedürfnisse beachten. Um als Zweit- oder gar Erstwagen überhaupt in Betracht zu kommen, sollte das Fahrzeug vier Personen plus etwas Gepäck mit rund 120 km/h Höchstgeschwindigkeit über 250 km an einem Stück befördern können. Nur so fühlt der Käufer sich nicht als

Hindernis auf der Autobahn, kann die gewohnten Transportaufgaben meistern (Kinder zur Schule, etc.) und muss bei den typischen Fahrstrecken im Nah- und Pendelverkehr nie überlegen, ob er tatsächlich noch am Ziel ankommt, wenn er mal kurz einen ungeplanten Abstecher unternimmt. Mit andauernd fast leerem Tank fühlt sich niemand so richtig wohl.

Eine Reichweite von etwa 250 km enthält jedoch einen beträchtlichen "Angstzuschlag", den man als Fahrzeughersteller aus Marketinggründen aber ernst nehmen muss. Die wenigsten Pendler werden an einem typischen Tag diese Entfernung tatsächlich zurücklegen und man kann annehmen, dass an den meisten Tagen etwa die Hälfte der Kapazität des Fahrzeuges auch für andere Zwecke verwendet werden könnte: z.B. als Puffer für das Stromnetz. Setzt man nun für einen eher "ineffizienten" Elektro-PKW einen Verbrauch von ca. 20 kWh pro 100 km an, so folgt eine notwendige Gesamtspeicherkapazität der Akkus von 50 kWh und damit eine enthaltene "Angstreserve" von 25 kWh je PKW. Auch wenn kein Autobesitzer diese zusätzliche Speicherkapazität seines Fahrzeuges auf sporadischen Langstreckenfahrten vermissen will, so ist er sicherlich gerne bereit an einem normalen Arbeitstag jemand anderem, zum Beispiel einem Stromversorger, kurzzeitig diesen Teil seiner Batterie zu "vermieten" oder die darin enthaltene Energie bei Bedarf zu verkaufen.

Nimmt man nur 4 Millionen PKWs, etwa 10% der heute in Deutschland zugelassenen Personalfahrzeuge, so würde dies bereits einer potentiellen Regelenergiekapazität von 100 GWh bedeuten. Dies entspricht etwa der Leistung von 10 Atomkraftwerken mit 1 GW Leistung über eine Dauer von 10 Stunden. Neben der gewaltigen Energiemenge, die bei Bedarf dem solaren Verbundnetz kurzfristig zur Verfügung gestellt werden könnte, haben diese rollenden Regelenergie-

kraftwerke noch weitere interessante Vorteile:

- Die mobilen Kraftwerke stehen immer am richtigen Ort und speisen deshalb auch direkt in das richtige Niederspannungsnetz. Denn Energieverbrauch ist da, wo Menschen sind und wo Menschen sind, sind auch ihre Fahrzeuge. Wenn also ein Pendler vom Wohnort zum Arbeitsplatz fährt, nimmt er sein Regelenergiekraftwerk gleich mit. Schaltet er nun zum Beispiel im Büro das Licht und den Computer an (ein Verbrauch von ca. 500 Watt), so könnte alleine sein Fahrzeug diese Energie für mehr als 50 Stunden bereitstellen und würde damit ohne Probleme die Zeit bis zum Sonnenaufgang oder dem Hochfahren des hausinternen BHKWs überbrücken.

- In einer solaren Stromlandschaft gibt es nur selten eine zeitlich exakte Übereinstimmung von Energieangebot und Nachfrage. Das Angebot wird vom Wetter bestimmt. Die Nachfrage vom Verhalten der Menschen. Beide Seiten können rechnerisch sehr wohl zur Deckung gebracht werden, doch in der Praxis wird man aus Gründen der Effizienz auf die Pufferwirkung von (rollenden) Batterien nicht verzichten wollen und können. Eine 5 kW Solaranlage kann an einem Tag sicherlich die Energie für die Zubereitung des Mittagessens sammeln, doch wird sie nicht in der Lage sein ab Punkt 18:00 Uhr für genau 30 Minuten eine Leistung von 10 kW für Backofen und Herd bereitzustellen. Das E-Auto oder der E-Roller in der Garage könnte das und zwar mit der Stromernte aus der Mittagszeit.

- Bedingt durch die Kilometerpauschalen kann man heute gerade dann "viel Geld verdienen", wenn man mit einem sparsamen PKW möglichst viele Kilometer fährt. Bei einem rückspeisetauglichen Elektrofahrzeug könnte es hingegen sogar finanziell interessant werden, das Auto mal etwas öfter oder länger stehen zu

lassen, denn nur wenn es am Stromnetz hängt kann man mit der Energie handeln. Da PKWs typischerweise mehr als 23 Stunden pro Tag geparkt sind und selten mehr als 10% aller PKW gleichzeitig auf den Strassen sind, sind folglich auch die Chancen sehr hoch, dass zu jedem Zeitpunkt sehr viele mobile Batterien tatsächlich dem Netz zur Verfügung stehen würden.

- Sollte ein Stromnetz einmal zusammenbrechen – ein Zustand der auch in Europa in naher Zukunft sicherlich immer öfter anzutreffen sein wird –, so wäre das Auto in der eigenen Garage ein willkommenes Notstromaggregat. Damit könnte beispielsweise auch im tiefsten Winter den Betrieb der Heizungsanlage sichergestellt werden und es wäre folglich ein zentraler Baustein in der persönlichen Energieautonomie.

- "Batteriekraftwerke" können extrem schnell aktiviert werden um fehlende Energie zu liefern oder überschüssige Energie aufzunehmen. Die Überproduktion in sehr sonnenreichen oder sehr windigen Stunden findet kurzfristig einen "Verbraucher" und kann so problemlos in den Abend oder in die nächsten Tage gerettet werden. Eine Aufheiz- oder Hochlaufphase, wie sie bei anderen Kraftwerksarten notwendig ist, entfällt und folglich ist die Regelenergie eines Fuhrparks aus Elektrofahrzeugen auch von sehr hoher Qualität.

Bereits heute werden sehr viele PKWs nicht mehr gekauft sondern nur noch geleast. Da man bei einem Elektrofahrzeug mit der Batterie faktisch auch einen Teil der Spritkosten der nächsten 10 Jahre bereits im Voraus zahlt, werden die Anschaffungskosten merklich über denen eines vergleichbaren normalen Fahrzeuges liegen. Doch wenn es dem Autohersteller möglich ist mit dem Strompuffer seiner Leasingfahrzeugflotte Geld zu verdienen, so würde

dies eventuell weitere positive Seiteneffekte haben:

- Elektrofahrzeuge sind einfach und robust. Folglich geht auch tendenziell im Alter nur wenig kaputt, weshalb der Verkauf von neuen Batterien eine der Haupteinnahmequellen der Autohersteller wäre. Ein Hersteller der hingegen rollende Energiespeicher verleast, hat eine höhere Motivation langlebige und billige Batterien einzusetzen.

- Eine Abrechnung der Leasinggebühren könnte auch variabel erfolgen, wobei Zeiten an denen das Auto am Netz zur Verfügung steht für den Autonutzer billiger wären, als Zeiten an denen er das Fahrzeug tatsächlich fährt. Im Prinzip könnte ein ganz neuer Zweig der Autovermietung entstehen, denn das "Fahren" ist bald vielleicht nur noch ein Nebenaspekt des Autoverleihs. Das hauptsächliche Interesse besteht dann darin, dass der Besitzer sein Fahrzeug an den Ort des Energieverbrauches mitnimmt.

- Der Absatz der Elektrofahrzeuge wäre auch bei anfänglich geringen Stückzahlen und somit höheren Verkaufspreisen gesichert, da für den Kunden überschaubare monatliche Kosten entstünden und die Verwaltung und Verrechnung der Regelenergiemengen nicht mit unendlich vielen Marktteilnehmern vorgenommen werden müsste.

Vor allem in der Anfangsphase der Einführung könnten diese Aspekte einige der entscheidenden Hürden beseitigen.

### **Vehicle to Grid**

Amory Lovins hat schon vor vielen Jahren im Zusammenhang mit der "Faktor 4"-Diskussion die Vision propagiert, dass sich auf den Parkplätzen der Zukunft die Hybridfahrzeuge tummeln werden und jedes davon die meiste Zeit des Tages mit der Produktion von Strom verbringen wird und nicht mit dem eigentlichen

Fahren. Sein "Hypercar" wurde jedoch mit Wasserstoff angetrieben und war eigentlich nur zum Erzeugen von Strom gedacht und nicht zum Puffern schwankender Erzeugungsleistungen aus Wind, Wasser und Sonne.

Bereits Anfang 1982 hatte die Audi AG in Deutschland eine "Vehicle to Grid"-Idee zum Patent angemeldet. Damals sicherlich noch im Angesicht der Ölkrise von 1979 und dem einhergehenden Solarstromboom. Eine reale Umsetzung in ein Produkt hat es jedoch nie gegeben, auch wenn das Konzept schon sehr dem oben beschriebenen Regelenergiekraftwerk auf vier Rädern entsprach.

Einzig in den USA wird das "Vehicle to Grid"-Konzept (V2G) derzeit konkret studiert und aktiv vorangetrieben. Seit 1997 ist man an der University of Delaware bemüht alle Aspekte einer solchen Verknüpfung von Mobilität mit Stromnetzintegration wissenschaftlich zu dokumentieren. Während man in der Anfangsphase die Vorteile bei der Netzstabilisierung in Spitzenlastzeiten sieht (bestehende, fossile Kraftwerksstruktur), so bietet sich langfristig die Pufferung der schwankenden Energieproduktion eines solaren Kraftwerkparks an. Die kalifornische Firma AC Propulsion hat auch schon einen passenden Prototypen des netzeinspeisenden Elektrofahrzeuges vorgestellt und plant in der nächsten Zeit eine Flotte von etwa 1000 Autos für einen Feldversuch entsprechend umzurüsten.

Man sieht, dass die Idee weder neu noch fernab jeglicher Realität ist. Dennoch ist "Vehicle to Grid" nahezu unbekannt und wird bisher in Europa auf keiner Ebene – weder in der Politik, noch in der Wissenschaft, noch in der Industrie – ernsthaft untersucht, gefordert oder gar gefördert. Die Fokussierung auf die Mobilität mit Wasserstoff hat scheinbar alle Beteiligten so in Anspruch genommen, dass man den "plumpen" Akku nicht weiter beachtet. Und das obwohl

(oder gerade weil?) die Wasserstofffahrzeuge eine lange Liste von Problemen bereiten und sich weiterhin fern einer realen Markteinführung befinden. Der einzige reale Vorteil, abgesehen von der breiten Unterstützung durch nahezu alle Interessengruppen, den man überhaupt für die Wasserstoff-Elektrofahrzeuge zu Felde führen kann, ist der Wunsch nach einer schnellen Betankung bei sehr langen Fahrtstrecken.

## Die Probleme der Steckdose

Das Tanken mit Strom hat seine eigenen Regeln. Zum einen werden durch die Absicherung und die Art der Anschlußkabel Grenzen gesetzt. Ein im Privatbereich derzeit üblicher Starkstromanschluss mit 400 V und 16 Ampere Absicherung erlaubt die Übertragung einer Leistung von 10 kW. Also kann man pro Stunde maximal 10 kWh "tanken". Je nach Fahrzeug entspricht das einer Fahrleistung von 50 bis 100 km. Für den gesamten Tag bedeutet dies, dass über solche Steckdosen maximal 240 kWh Strom gehandelt werden können, was bei einem Strompreis von 20 Cent/kWh einem "Handelsvolumen" von ca. 50 Euro entspricht. Dies mag für einen Stromhändler, der die Leistung eines ganzen Parkhauses verwaltet und über sehr viele Steckdosen verfügt durchaus interessant sein, aber im Vergleich zu einer normalen Tankstellenzapfsäule ist der Umsatz an einer einzigen Steckdose nur ein unbedeutende Summe.

Im Zusammenhang mit Elektrofahrzeugen ist das gesamte Konzept heutiger Tankstellen eigentlich schlichtweg unbrauchbar. Sowohl das Mobilitätsverhalten als auch das Tankverhalten folgen automatisch anderen Regeln. Ein V2G-PKW wird nicht betankt während man auf dem Weg ist, sondern man macht dies direkt an jedem beliebigen Zielort. Man tankt nicht wenn der Tank leer wird, sondern immer wenn das Auto steht.

Ein durchaus paradoxer Grund für die schlechte Verbreitung von Elektrofahrzeugen ist - neben den derzeit hohen Preisen und dem mageren Angebot - gerade ihre hohe Effizienz. Obwohl man im Prinzip an jeder Steckdose das eigene Fahrzeug auf-tanken könnte und obwohl in jedem Gebäude in ganz Deutschland zahllose passende Steckdosen installiert sind, wird man sich momentan sehr schwer tun überhaupt eine passende "Tankanlage" zu finden. Dies hat vorwiegend zwei Gründe:

- Der private Verkauf von Strom ist nicht praktikabel.

Die meisten Menschen wissen nicht was sie für diese Dienstleistung verlangen sollen und sind auf das "Wiegen" der Ware nicht eingerichtet. Auch befinden sich entsprechende Steckdosen meist nicht an den richtigen Orten und stehen nicht zu den Zeiten zur Verfügung, zu denen man sie gerne nutzen würde.

- Die gezielte Installation öffentlicher Stromtankstellen ist nicht rentabel.

Folgendes Beispiel zeigt exemplarisch das Problem. Eine gewerbliche Stromtankstelle in entsprechender Ausführung ist teuer (derzeit meist um die 500 Euro). Für einen Pendler wäre es praktisch, am 20 km entfernten Bahnhof eine Stromtankstelle vorzufinden. Dort würde er dann den betreffenden Parkplatz für 8 Stunden belegen und sein Fahrzeug mit etwa 3 kWh Strom für 60 Cent volltanken. Betriebswirtschaftlich macht es so für die Bahn aber gar keinen Sinn diese Tankstelle zu errichten, da auch bei 25% Aufschlag auf den Strompreis sich die "Steckdose" erst nach etwa 9 Jahren refinanziert hat ... und das erstmal ohne jeglichen Gewinn!

Vergleicht man die bisherigen Versuche zur Vermarktung von Elektrofahrzeugen, so stellt man fest, dass es eigentlich keine attraktiven Geschäftsmodelle gibt; weder für die Herstellung der Fahrzeuge, noch für den Betrieb der "Tankstellen". Anders

als beim Handy oder dem Tintenstrahldrucker kann man als Hersteller von Elektromobilen, gerade wegen der hohen Effizienz und Fehlerunfalligkeit, nicht auf hohe Folgeeinnahmen hoffen. Deshalb sind hohe Verkaufspreise unausweichlich. Stromtankstellen ihrerseits sind nur mit hohen Risiken behaftet aber nie mit einem hohen Gewinn. Was dieser höchst effizienten Form der Mobilität bisher fehlt ist offensichtlich nichts weiter, als ein schlüssiges Geschäftsmodell. Der Handel mit Regelenergie zur Einhaltung der Netzfrequenz und für die Bereitstellung von Strom in Spitzenlastzeiten wäre ein solches Geschäftsmodell.

## Der Stromspeicher

Schon seit Anbeginn der Geschichte des Elektrofahrzeuges war der Stromspeicher der entscheidende Aspekt und das größte Problem. Gerade beim Handeln mit Regelenergie kommt ihm eine noch zentralere Rolle zu.

- Wenn ein Auto verkäuflich sein soll, so muss es 250 km weit fahren und folglich etwa 50 kWh in Form Batterien bereitstellen. Diese müssen von ihrem Gewicht und Volumen in das Fahrzeugkonzept integrierbar sein.

- Wenn Strom handelbar sein soll, so muss die Batterie unbeschadet viele Lade- und Entladezyklen überstehen können, damit an dem Fahrzeug nicht alle paar Monate die Batterien ausgetauscht werden müssen. Legt man drei komplette Ladezyklen pro Tage zugrunde, so wären pro Jahr 1000 Zyklen auszuhalten.

Obige Kriterien konnte 1997 die Mercedes A-Klasse mit einer Natrium-Nickel-Chlorid-Batterie fast schon erfüllen. Dieser Typ von Akku basiert vorwiegend auf Kochsalz, wird heute als ZEBRA-Batterie von einer Schweizer Firma weiterentwickelt und wurde sowohl in Versuchsfahrzeugen als auch kürzlich in einer Kleinserie von normalen PKWs erfolgreich eingesetzt. Unter realen

Bedingungen konnten so bereits mehr als 3000 Ladezyklen nachgewiesen werden, was im V2G-Zusammenhang einer Lebensdauer der Batterie von ca. 3 Jahren entsprechen würde. Danach müsste ausgetauscht und recyclet werden.

Gerade der Ansporn durch höhere Lebensdauer und billigere Technologie eine Gewinnmaximierung beim Handel mit Regelenergie zu erzielen, würde der Entwicklung noch weiteren Auftrieb verleihen. Derzeit wird vorwiegend an Lithium-Batterien geforscht, um deren Gewicht weiter zu reduzieren, die Ladezyklenzahlen zu erhöhen, die Ladezeiten zu verkürzen und die Brandgefahr abzuschaffen. Neben den bekannten Herstellern wie Varta oder Saft sind es oft unbekanntere Firmen wie die deutschen Fortu PowerCell GmbH, die amerikanische Valence Technology Inc., A123 Systems Inc. oder die am MIT beheimatete sLimCell Entwicklung. Vor allem in China wird sehr viel geforscht und eine der ambitioniertesten Neuentwicklung könnte aus der Kooperation der chinesischen Firma Advanced Battery und dem amerikanischen Altair Nanotechnologies Unternehmen hervorgehen. Durch den Einsatz von Elektroden aus "Nanomaterial" mit extrem großen Oberflächen glaubt

man mehr als 20.000 Lade- und Entladevorgänge überstehen zu können. Damit würde selbst im V2G-Einsatz die Batterie vermutlich die Lebensdauer des PKWs übertreffen.

In der Realität sind Firmen wie AC Propulsion derzeit jedoch gezwungen auf handverlötete Batterieeinheiten, bestehend aus Akkus der Computerbranche, zurückzugreifen, wenn sie leistungsfähige Demonstrationsfahrzeuge (wie etwa den Volvo 3CC; 3 Personen, 300 km Reichweite, 135 km/h Höchstgeschwindigkeit) ausrüsten. Hochleistungs-Akkus für den Einsatz in Automobilen haben heute auf dem Markt noch Seltenheitswert.

Gerade bei Lithium-Technologien könnten über die Massenproduktion auch die Preise der Rohstoffe und damit der Batterien deutlich gedrückt würde. Ähnliche Skaleneffekte wie bei der Einführung der Photovoltaik sind mehr als naheliegend und somit auch deutlich geringere Regelenergiepreise machbar. Nach Berechnungen der amerikanischen V2G-Fachleute gibt es aber bereits heute Dienstleistungen am Strommarkt, die ein V2G-Fuhrpark im Vergleich zu klassischen Kraftwerken zu ökonomisch

misch konkurrenzfähigen Kosten erbringen kann.

Es bleibt festzuhalten, dass mit heutiger Technologie das V2G-Konzept vollständig umsetzbar ist. AC Propulsion hat ein Versuchsfahrzeug gebaut und in der Garage des Toyota Dream House Projektes ist ein steckdosentauglicher Prius zu bewundern, der das Anwesen im Notfall für 36 Stunden mit Strom versorgen kann.

### Fläche macht Mobil

Auch wenn durch den "Vehicle to Grid"-Ansatz für das Stromnetz die positiven Auswirkungen überwiegen, so bleibt dennoch die wohl größte Sorge der steigende Bedarf an Strom. Es gibt jedoch gute Argumente, warum dies sachlich eher unbegründet ist.

Die Produktion, Entwicklung und Vermarktung von V2G-Elektrofahrzeugen wird anfangs eher stockend anlaufen, da die potentiellen Käufer anfangs rar und die erhältlichen Fahrzeuge zu exotisch, zu neu und für die meisten auch zu teuer in der Anschaffung sein werden. Ein überraschender Ansturm wird nicht kommen. Geht es um die Reduktion des Stromverbrauches, so sollten die im Zuge der Ölverknappung schlagartig steigenden Heizölpreisen eher Besorgnis erregen. Denn der Kauf einer Stromheizung im örtlichen Baumarkt und deren Inbetriebnahme ist auf breiter Front binnen weniger Wochen möglich und das Heizen mit Strom kann je nach Ölpreis sehr schnell ökonomisch konkurrenzfähig werden.

Wer dennoch den zusätzlichen Strombedarf scheut, der sollte bedenken, dass die meisten solaren Technologien vorrangig für die Herstellung von Strom geeignet sind. Wasserkraft-, Windkraft- und Solarstromanlagen erzeugen nur elektrische Energie und auch bei der Biomassenutzung ist es naheliegend, mit Kraft-Wärme-Kopplung zumindest einen Teil der Energie in Form von

	Pflanzenöle	Biomasse	(Solar) Wasserstoff	Solarstrom
<b>Treibstofftrag</b> in kWh / ha * a	<b>15.000</b> 10.000 bis 20.000	<b>30.000</b> 15.000 bis 35.000	<b>200.000</b> 200.000 bis 500.000	<b>200.000</b> 200.000 bis 500.000
<b>PKW-Verbrauch</b> in kWh / 100 km	<b>45</b> 30 bis 90	<b>45</b> 30 bis 90	<b>60</b> 30 bis 90	<b>20</b> 10 bis 30
<b>Versorgbare PKW</b> bei 25.000 km / a	<b>1,3</b> 0,4 bis 2,6	<b>2,6</b> 0,6 bis 4,6	<b>13,3</b> 9 bis 65	<b>40</b> 26 bis 200
<b>Anmerkung</b>	höhere Erträge von bis zu 50.000 kWh pro Hektar sind nur in den Tropen realisierbar	Bei Biogas wird eine direkte Nutzung als Gas angenommen. Bei der Verflüssigung von Biomasse (SunDiesel) wird angenommen, dass sie sich großtechnisch realisieren läßt.	Nur Solarstrom als Quelle beachtet. Vergasung von Biomasse würden deutlich geringere Mengen liefern. 66% Verlust aus der Kette "Strom-Wasserstoff-Strom" wurden direkt dem PKW-Verbrauch zugeordnet	Stromerzeugungspotential wird hier eher am Minimum angenommen um ein Maximum an Naturschutzfläche zu erreichen. In der Stadt sind ähnliche Flächenerträge denkbar.

Tab 1.: Die grobe Abschätzung der Mobilität pro Fläche (ein Hektar) zeigt, dass Strom eine ertragsreiche "Feldfrucht" ist.

Strom ausliefert. Wer dennoch nicht glaubt, dass diese Technologien das Potential hätten, um den Strombedarf der Elektrofahrzeuge zu decken, der sollte noch einen Schritt weiter aus-holen. Was versorgt in Zukunft unsere Autos mit Energie? Die Fläche.

Durch die nahende Ölverknappung wird immer mehr Treibstoff auf der Fläche gewonnen: Biodiesel, Rapsöl, Bioethanol, SunDiesel. Wer also bereit ist exklusiv zum Zweck der Mobilität Flächen zu opfern, der sollte auch in der letzten Konsequenz die Frage stellen, welchen Treibstoff eine solare Wirtschaft langfristig am besten auf der Fläche produzieren kann. Mit Verwunderung wird man schnell feststellen, dass ein Hektar grob 40mal mehr Mobilität sichern kann (siehe Tab.1), wenn man als Feldfrucht "Strom" anbaut. Die meist reflexartige, kategorische Ablehnung dieses Denkansatzes ist sachlich genauso unbegründet wie die generelle Ablehnung der Mobilität mit Strom an sich. Die autonome Versorgung des eigenen PKW über die eigene Solarstromanlage vom eigenen Hausdach ist nur mit einem Elektrofahrzeug denkbar und nicht mit der Ernte aus dem eigenen Schrebergarten. Man muss auch eingestehen, dass z.B. eines der durchaus stichhaltigen Argumente für die ungeliebten Freiflächensolarstromanlagen die nachweislich besseren Bedingungen für den Schutz von Tier- und Pflanzenarten sind, sofern man sie mit entstehenden "Energieäckern" vergleicht. Rein aus Sicht der Skalierbarkeit ist die mit Abstand schnellste und die am wenigsten kapitalintensive Form der Treibstoffgewinnung jedoch ohne jeden Zweifel die Biomasse. Hier können mehrere Millionen Hektar innerhalb von wenigen Jahren komplett umgewidmet werden und zumindest in der Anfangsphase liegt hier der Flaschenhals nicht im Anbau der Pflanzen, sondern bei der Errichtung der notwendigen Anlagen zur Weiterverarbeitung.

Das dieses Thema emotional sehr vorbelastet und damit heikel ist, ist bekannt. Doch es sollte zumindest gestattet sein zu hinterfragen, warum man langfristig gewillt ist 20 bis 200-mal mehr kostbare Ackerfläche für eine Dienstleistung (Private Mobilität) abzustellen, als eigentlich notwendig. Denn bekanntlich ist Mobilität nicht die einzige Herausforderung der Zukunft, die fruchtbaren Boden braucht (Nahrungsmittel, Rohstoffe, Naturschutz, usw.).

### Handlungsbedarf

Es ist logisch nicht nachvollziehbar, warum die elektrische Mobilität nicht gleichberechtigt mit anderen Ansätzen vorangetrieben wird. Nachfolgend nur ein kurzer Ausschnitt aus der Liste von bisher ungestellten Fragen:

- Management dezentraler, mobiler Energiespeicher unter besonderer Beachtung der Fragen des Lastmanagements, der Netzfrequenzregulierung und der Kostenabrechnung.
- Simulation des realistischen Regelenergiepotentials anhand von typischen Verkehrsbewegungen in Europa.
- Beurteilung des durch V2G-Fahrzeuge tatsächlich verursachten zusätzlichen Stromverbrauches bzw. des notwendigen Zubaus von Kraftwerksleistung.
- Abschätzung des möglichen Speicherpotentials unter Beachtung der Nutzungsprofile deutscher PKWs.
- Wachstumsszenarien für einen V2G-Markt im Kontext der Umgestaltung des deutschen Stromversorgungssektors.
- Elektromobile im Zusammenspiel mit wärmegeführten KWK-Anlagen.
- Rechtliche Beurteilung der Möglichkeiten zur Umsetzung einer gezielten Förderung von Solarmobilen (Koppelung von "Autokauf" und "Solaranlagenkauf")
- V2G und mögliche Konflikte mit dem Datenschutz (Erstellung von Bewegungsprofilen).

- Beurteilung der energetischen Kosten der Batterieherstellungsverfahren und deren Recycling-Prozesse.
- Gestaltung von Stromtankstellen unter Berücksichtigung der Probleme des Vandalismus.
- Chancen und Wege einer europaweiten Standardisierung von Anschlüssen zur Stromspeisung.

Es fällt auf, dass es vorwiegend um Fragen der Struktur und nicht der eigentlichen Fahrzeugtechnik geht.

### Zusammenfassung

Die Integration von Elektrofahrzeugen mit der Fähigkeiten zur Netzurückspeisung von gespeichertem Strom bietet aus der Sicht einer dezentralen, solaren Energiewirtschaft nur Vorteile. Das die gleichen V2G-Fahrzeuge auch in der bestehenden fossil-atomaren Energiewirtschaft einen sinnvollen Nutzen haben könnten sollte man nicht als Nachteil sondern viel mehr als Vorteil werten. Denn die Unterstützung aus beiden Lagern macht die Umsetzung des V2G-Konzeptes sicherlich viel einfacher.

Für eine solare Energieautonomie ist die Einführung von Energiespeichern nahezu unumgänglich. Entsprechende Anreize über eine Erweiterung des EEG sollten ernsthaft diskutiert und Fahrzeuge nach dem "Vehicle-to-Grid"-Prinzip sollten in diesem Zusammenhang nicht vergessen werden.

*Tomi Engel, [tomi@objectfarm.org](mailto:tomi@objectfarm.org)*

*Tel. 09165-995257*

*Mitglied der EUROSOLAR-Sektion Deutschland, Mitglied der Deutschen Gesellschaft für Sonnenenergie - Arbeitsschwerpunkt "Solare Mobilität"*

*November 2005*