

# ELEKTROAUTOS

## die rollenden Stromspeicher

Der Trend zum Elektroauto findet unerwartete Unterstützung bei Stromversorgern. Die nämlich müssen mit einem wachsenden Anteil von Wind- und Sonnenstrom zurechtkommen, der aber nur unregelmäßig ins Netz eingespeist wird. Können Millionen von Elektroautos das schwankende Angebot abpuffern?

### In Kürze

- ▶ Das »Betanken« von **Millionen von Elektroautos** würde, wenn sich elektrische Mobilität überhaupt als praktikabel und vorteilhaft erweist, auch die Stromnetze stark belasten.
- ▶ Gleichzeitig könnten Elektroautos jedoch bei deren Lastmanagement eine wichtige Rolle spielen, indem sie als Zwischenspeicher für Energie dienen. In Zukunft könnte eine **Vehicle-to-Grid**-Infrastruktur die Grundlage für die Anbindung der Autos an die Netze darstellen.
- ▶ Noch aber gehen die Forscher kleinere Schritte. Mittels **»Smart Metering«-Technologie** und variablen Tarifen für Industrie und Haushalte soll die Netzauslastung optimiert werden.

#### Von Reinhard Löser

**O**bwohl kaum ein Exemplar beim Händler steht, spricht alle Welt von Elektrofahrzeugen. Schließlich bieten sie offenkundige Vorteile: Der »lokal emissionsfreie« Antrieb ist immerhin dort abgasfrei, wo sich das Auto tatsächlich bewegt. Die Ökobilanz ist aber selbst dann nicht schlecht, wenn der Kohlendioxidausstoß im Kraftwerk einbezogen wird, das den Strom produziert.

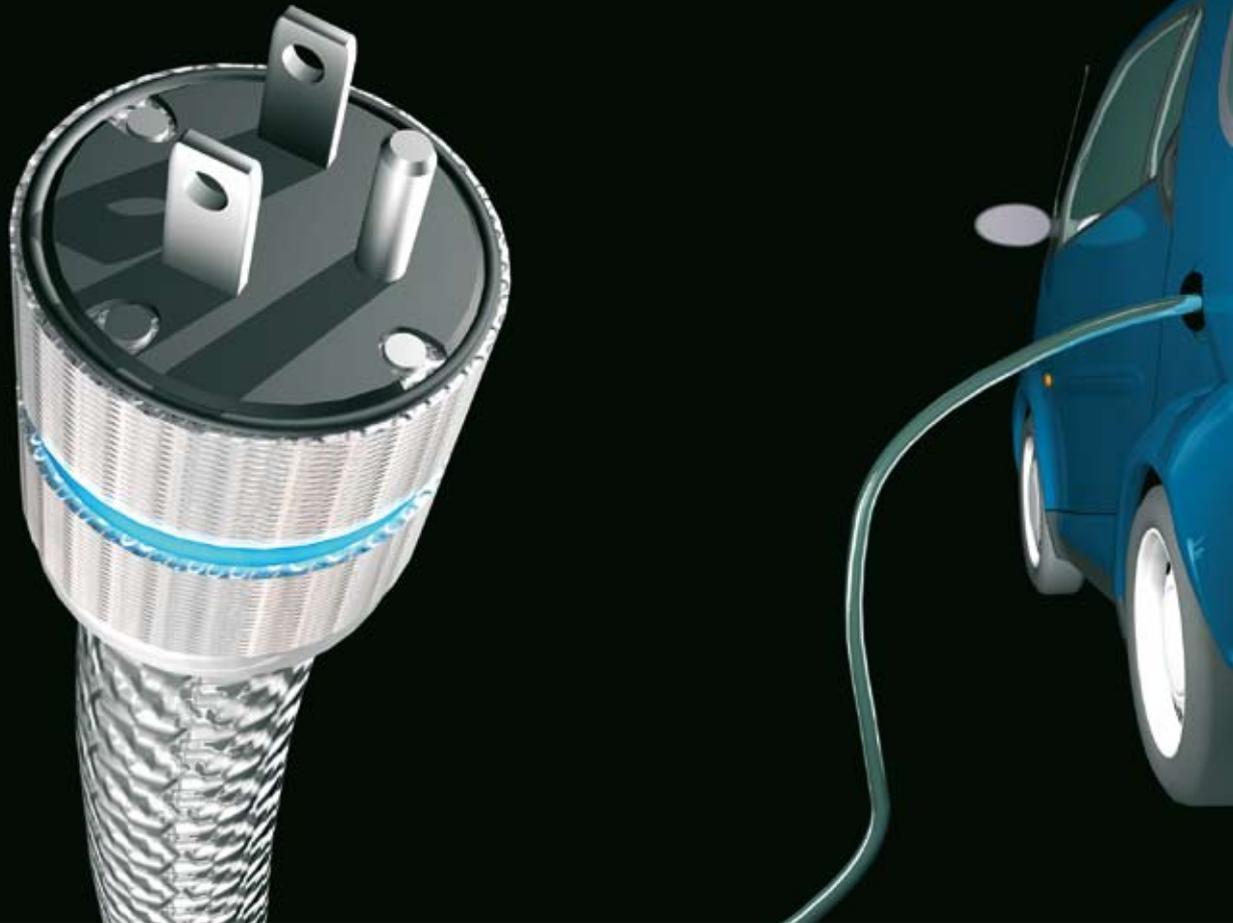
Beim »Smart ed« beispielsweise (siehe »Die Zukunft fährt elektrisch«, SdW 3/2009, S. 88), der 15 Kilowattstunden (kWh) in seinen Bordakku speichert und damit etwa 115 Kilometer weit kommt – also 13 kWh auf 100 Kilometer verbraucht –, beläuft sich der CO<sub>2</sub>-Ausstoß auf 78 Gramm pro Kilometer.

Dieser Wert beruht auf dem mit rund 600 Gramm pro kWh behafteten deutschen Strommix und ist, verglichen mit dem europäischen Grenzwert von 120 Gramm pro Kilometer (siehe Kasten »Autos müssen abspecken« auf S. 100), der ab 2015 gilt, ein bedeutender Fortschritt.

Je größer der Anteil von Elektroautos auf den Straßen, desto stärker ließe sich der Kohlendioxidanteil des Verkehrssektors absenken, der heute 18,6 Prozent beträgt. So richtig umweltfreundlich wird der Antrieb allerdings erst, wenn ausschließlich »grüne« Energie getankt wird, die aus regenerierbaren Quellen wie Sonne, Wind und Wasser kommt. Dann könnte der Verkehr völlig unabhängig von fossilen Kraftstoffen werden. Deren Fördermaximum nämlich haben wir bereits erreicht oder gar schon überschritten,

#### SERIE: AUTOS DER ZUKUNFT

Teil I:	Wie Nano das Auto verändert	SdW 02/2009
Teil II:	Die Zukunft fährt elektrisch	SdW 03/2009
<b>Teil III:</b>	<b>Elektroautos – die rollenden Stromspeicher</b>	<b>SdW 04/2009</b>
Teil IV:	Intelligente Sicherheitssysteme	SdW 05/2009



SPEKTRUM DER WISSENSCHAFT / SIGANIM

während die Nachfrage nach den restlichen Vorräten immer weiter wächst. Zeit also, sich ernsthaft mit der elektrischen Mobilität zu beschäftigen.

In jüngster Zeit katapultierten Fortschritte in der Batterietechnik insbesondere bei Lithiumionen-Systemen (siehe ebenfalls SdW 3/2009) die Elektrofahrzeuge in eine höhere Liga. Statt praxisferne Konzeptvehikel mit nur geringer Reichweite zu präsentieren, führen die Konzerne nun Flottenversuche mit Hunderten von Autos durch. Doch woher soll, wenn sich die Technik durchsetzt, der benötigte Strom kommen?

Solange nur Experimentalfahrzeuge an die Steckdosen rollen, fallen der neue Bedarf und die Infrastruktur in Form einiger hundert Spezialtankstellen nicht ins Gewicht. Anders sieht es aus, wenn die Elektromobile eines Tages auf den Massenmarkt kommen und als Großverbraucher auftreten. »Autoleute behandeln ein E-Auto immer noch wie ein Bügeleisen«, schüttelt Tomi Engel von der Deutschen Gesellschaft für Sonnenenergie (DGS) den Kopf. Sie stellten sich vor, man könne es nach Lust und Laune an die Steckdose hängen. Doch dann stießen die Netze schnell an ihre Grenzen. »Ein Auto ist ein ganzes Haus auf vier Rädern mit einem Strombedarf von

zwei Megawattstunden im Jahr«, wenn man eine durchschnittliche Fahrleistung von rund 12 000 Kilometern jährlich zu Grunde legt.

Alle in Deutschland zugelassenen Pkw verbrauchen in Form von Benzin und Diesel eine Energiemenge, die fast der gesamten Bruttostromerzeugung von etwa 600 Terawattstunden (TWh, 1 Terawattstunde = 1 Milliarde Kilowattstunden) entspricht. Es ist utopisch, diese Flotte über Nacht auf Strombetrieb umrüsten zu wollen. Belässt man es aber vorerst bei der einen Million Elektroautos, die von der Bundesregierung für 2020 angestrebt werden, sind nur rund drei TWh an elektrischer Energie aufzubringen.

### Was hindert uns noch?

Dies klingt noch immer nach viel, macht aber lediglich ein halbes Prozent des derzeitigen deutschen Strombedarfs aus. Selbst der elektrifizierte öffentliche Nah- und Fernverkehr, so Engel, zieht jährlich 15 TWh Strom problemlos aus dem Netz – knapp drei Prozent des Bruttostromverbrauchs. Und allein der Stand-by-Verbrauch von elektrischen Geräten in privaten Haushalten wird auf 20 TWh pro Jahr geschätzt.

Warum also werden E-Fahrzeuge nicht einfach schnell eingeführt? Unter anderem ha-

**Anschluss gesucht: Falls das Elektroauto eines Tages auf den Massenmarkt kommt, werden auch Veränderungen unserer Energieinfrastruktur nötig. Das kleine Bild unten zeigt den Mitsubishi i-Miev. Der Viersitzer kommt 2010 auf den europäischen Markt, soll sich in sieben Stunden an der Haussteckdose aufladen lassen und kommt mit voller Batterie 160 Kilometer weit.**

Hören Sie dazu auch unseren Podcast **Spektrum Talk** unter [www.spektrum.de/talk](http://www.spektrum.de/talk)



MITSUBISHI MOTORS

pert es bei der allgegenwärtigen Bereitstellung von Strom, insbesondere wenn er emissionsfrei erzeugt sein soll, ebenso wie bei der Netzintegration. Und schließlich müssen Autonutzer erst einmal davon überzeugt werden, dass die Infrastruktur steht und die Kosten kalkulierbar sind.

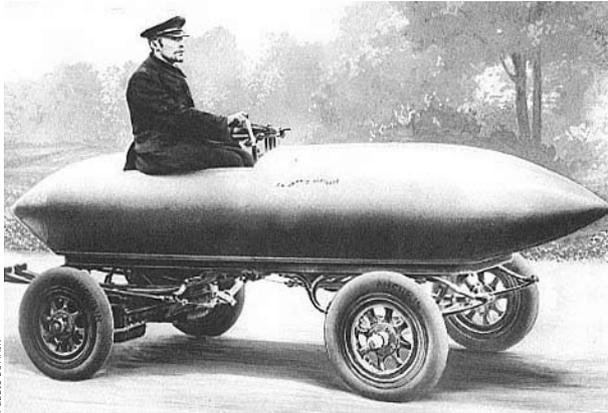
Doch vielleicht lassen sich ihre Interessen ja mit denen der Stromanbieter vereinbaren?

»Im Netz wollen wir zwar einen steigenden Anteil von Strom aus erneuerbaren Energien«, sagt Matthias Kurth, Präsident der Bundesnetzagentur. Die Bundesbehörde ist unter anderem für den Wettbewerb unter den Stromversorgern zuständig. »Doch deren Volatilität, hauptsächlich die der Windkraft, führt zu zusätzlichem Bedarf an Reservekapazitäten.« Das verursacht erhebliche Kosten sowohl im

## DAS AUTO WIRD ELEKTRISCH

**Am Anfang war das Elektrofahrzeug (»Electric Vehicle«, EV),** und zwar lange vor seinen von Verbrennungsmotoren angetriebenen Geschwistern. Erinnert sei an das erste Batteriefahrzeug mit wiederaufladbarer Batterie von Robert Anderson im schottischen Aberdeen aus dem Jahr 1839, die Oberleitungsbusse, die Siemens & Halske 1881 in Berlin auf die Straßen schickten, oder an den Lohner Porsche von 1900, der als erstes Hybridfahrzeug der Welt gelten kann. In der Folgezeit machten billige und überall verfügbare Kraftstoffe den Elektrofahrzeugen allerdings den Garaus.

Doch es erwies sich als praktisch, den Verbrennungsmotor nicht mit Muskelkraft und Handkurbel anzuwerfen, sondern dies einem elektrischen Starter zu überlassen. Auch Lichtmaschine, »Winker« und weitere Bedienelemente verhalfen dem Strom



Bei Achères nahe Paris fuhr Camille Jenatzys Elektromobil im April 1899 über 100 Kilometer pro Stunde schnell.



Erstes Serien-Hybridfahrzeug mit Verbrennungsmotor und elektrischen Radnabenmotoren: der Lohner Porsche von 1900

zum Wiedereinzug ins Auto. Heute sind sich die Ingenieure einig, dass »Elektromobilität« nicht erst beim Elektroantrieb beginnt, sondern bei Starterbatterie, Lichtmaschinen-generator und Nebenaggregaten.

Und sie finden überall Optimierungspotenzial: Immer noch sind im Auto Keilriemen zu finden, die etwa die Wasser- und Benzinpumpe oder die Lichtmaschine antreiben. Befreit man diese mit Hilfe von elektrischen Systemen aus der mechanischen Dauerkopplung, laufen sie nur noch bei Bedarf – das spart Kraftstoff. Auch der Leerlauf, der eigentlich nur das wiederholte Starten vermeiden soll, wird heute allmählich durch eine elektrische Start-Stopp-Funktion (»Micro Hybrid«) ersetzt.

**Selbst das Brennstoffzellenauto (»Fuel Cell Vehicle«, FCV)** kann als Elektrofahrzeug gelten, weil Achsen und Räder elektrisch angetrieben werden. Dabei liefert die Brennstoffzelle kontinuierlich Strom und erhält bei Bedarf Unterstützung von der Batterie, die ebenfalls überschüssige Energie sammelt.

Bei den inzwischen klassischen Hybriden (»Hybrid Vehicle«, HV) arbeitet ein gängiger Verbrennungsmotor als Hauptantrieb. Ein sekundärer Elektromotor unterstützt ihn, sorgt auch für die Start-Stopp-Automatik, liefert gegebenenfalls einen »Boost« (also ein zusätzliches Drehmoment bei niedrigen Drehzahlen wie beim Anfahren und Beschleunigen) und wandelt Brems- und Roll-Energie durch Rekuperation wieder in elektrischen Strom um, der die Batterie auflädt. Eine Verlängerung der Reichweite von Elektrofahrzeugen erreicht man schließlich mit einem »Range Extender«, einem gleichmäßig bei optimalem Wirkungsgrad arbeitenden Verbrennungsmotor. Dieser lädt ausschließlich die Batterien und verbraucht nur wenig Kraftstoff.



Die Berliner »BZ am Mittag« ließ 1920 Botendienste noch per Elektrowägelchen erledigen.

Bereich der Netze als auch des Kraftwerkbaus, die schon heute in einer Größenordnung von jährlich sechs bis sieben Milliarden Euro liegen. Und das, obwohl erst 22 Prozent der installierten Kraftwerksleistung von knapp 130 Gigawatt (GW, Milliarden Watt) aus erneuerbaren Energien stammen. (Dabei ist Wasserkraft, weil sie sich kontrolliert einspeisen lässt, nicht berücksichtigt.) Dieser Anteil könnte laut Bundesnetzagentur bis 2020 jedoch auf 37 Prozent steigen.

Energieerzeuger und -verteiler interessieren sich darum für jegliche Technologie, mittels derer sich die Transportwege von Strom und der Bedarf an Reservekapazitäten verringern lässt. Die E-Mobile kommen ihnen gerade recht. Wann immer eine Autobatterie betankt wird, tritt sie zwar als zusätzlicher Verbraucher im Netz auf. Weil Fahrzeuge in der Regel aber »Stehzeuge« sind, nämlich während 97 Prozent ihrer Lebensdauer nicht genutzt werden, könnte man sie, entsprechende Infrastruktur vorausgesetzt, auch ganz anders einsetzen. Entweder die Versorger rufen die in ihren Batterien gespeicherte Energie bei Engpässen kurzfristig ab, oder sie dienen ihnen bei Überschüssen als Stromspeicher, der die Netze entlastet.

### Sekundengenau abfangen

Voraussetzung für die effektive Einbindung von E-Fahrzeugen ins Netz ist allerdings, dass nicht jeder seine Batterien nach Belieben lädt. Stattdessen müssen die Bedürfnisse von Autnutzern, Netzbetreibern und Energiedienstleistern gleichermaßen berücksichtigt werden. Ein intelligentes Management könnte dies leisten, zumal EVs meist nachts geladen werden dürften, wenn im Netz ohnehin Energieüberangebot herrscht.

Für dieses Konzept hat sich der Begriff »Vehicle to Grid« (V2G) etabliert. Bereits eine Million Elektroautos könnten rund drei Gigawatt so genannte positive beziehungsweise negative Regelleistung bereitstellen. Kommt eine weitere Million hinzu, wäre schon die Leistung der Pumpspeicherkraftwerke erreicht, wie sie zur Feinjustierung der Auslastung in die heutigen Netze integriert sind. So könnten sich die Schwankungen, die Zeiten starken Windes oder schwacher Last hervorrufen, sekundengenau abfangen lassen, ebenso wie Extremsituationen, wenn beispielsweise morgens die Industriemaschinen ihren Betrieb aufnehmen, während gleichzeitig Flaute herrscht.

Eine grundlegend neue Infrastruktur der Energieverteilung ist für V2G indessen nicht notwendig. Stromkabel finden sich »im Zehn-Meter-Abstand« und »Steckdosen sind allgegenwärtig«, sagt auch E.ON-Chef Wulf Ber-

## DIE RENAISSANCE DER ELEKTROFAHRZEUGE

**Eine erste, nur kurz währende Renaissance** der Elektromobilität begann vor rund 15 Jahren, zunächst in den USA, um dann auf Europa überzugreifen. Auslöser war allerdings politischer Zwang. Einige US-Bundesstaaten unter Führung von Kalifornien wollten der Umweltverschmutzung mit CO<sub>2</sub>-freien Fahrzeugen (»Zero Emission Vehicles«, ZEV) zu Leibe rücken. 1998 sollten zwei Prozent, 2003 schon zehn Prozent der in den einzelnen Bundesstaaten zugelassenen Neufahrzeuge eines Herstellers in die Kategorie ZEV fallen – unter Androhung empfindlicher Strafen bei Nichterreichung dieser Ziele.

Fieberhaft stürzte sich die Branche daraufhin in die Entwicklung von Elektroautos, elektrischen Antrieben und Batterien. Es entstanden das »EV1« von General Motors, das anfangs mit Blei-, später mit Nickel-Cadmium-Batterien ausgerüstet wurde und in über tausend Exemplaren auf die Straße kam, der Ford THINK (der inzwischen an eine norwegische Firma verkauft wurde und recht erfolgreich ist), der Toyota »RAV 4 EV« und viele andere.

**Anfangs sorgte die US-Regierung sogar für finanzielle Anreize.** Doch die Fahrer mochten die zu schweren Autos nicht und manch einer, der einen Achtzylinder mit vier Litern Hubraum gewohnt war, vermisste das »Röhren« des Motors. Zudem steckte die Batterietechnik noch in den Kinderschuhen und selbst lange Ladezeiten erlaubten nur bescheidene Reichweiten. So kam, was kommen musste: Im Einvernehmen zwischen Autolobby und Politik wurden die Gesetze aufgeweicht und die Elektropioniere auf den Schrottplatz geschleppt. Denn selbst wenn man Brennstoffzellenfahrzeuge und Benziner mit sehr geringem Verbrauch in die Rechnung einbezog, blieben die Ziele unerreichbar. Für

Zum konsequenten Bau kleinerer und leichter Fahrzeuge haben selbst die kalifornischen Misserfolge nicht geführt. Der »Chevrolet Volt« von GM (Bild) soll 2010 auf den Markt kommen, eine Variante davon, der »Opel Ampera«, geht bald darauf in Europa an den Start.



GENERAL MOTORS

den Todesstoß sorgte schließlich die Regierung in Washington, als sie bundesstaatliche Sonderregelungen beim Umweltschutz verbot.

Der Versuch mit Tausenden von Fahrzeugen hinterließ dennoch Positives: Die Erfahrungen mit der Speichertechnik sowie die erfolgreichen PR-Aktionen bei Einführung des »EV1« mit Stars wie Tom Hanks oder Mel Gibson griff Toyota bei Entwicklung und Markteinführung des Hybridmodells »Prius« wieder auf. Der rasche Durchbruch des Prius – bereits Mitte 2008 überschritt das Modell die Schwelle von einer Million Exemplaren – war nicht zuletzt auch ein PR-Erfolg.

Derzeit sind weltweit rund 800 Millionen Pkw unterwegs, Nutzfahrzeuge nicht eingerechnet. In Deutschland beispielsweise kommen auf 100 Einwohner 70 Pkw. Der Wirkungsgrad der im Verkehr eingesetzten flüssigen Energie beträgt aber weiterhin nur bescheidene 10 bis 15 Prozent. Auch darum ist Elektromobilität wieder brandaktuell. Sie könnte den Klimaschutz befördern und antizipiert zugleich die bevorstehende Erdölverknappung sowie die damit einhergehende Verteuerung und gibt eine Antwort auf das Mobilitätsbedürfnis eines stets wachsenden Anteils der Weltbevölkerung.



Künftige Stromtankstellen dürften eher unspektakulär wirken und vor allem auf Parkplätzen errichtet werden. Das Bild oben zeigt ein Modell der kalifornischen Firma »Better Place«. Eine Einrichtung wie im Bild rechts, die heutigen Tankstellen ähnelt, würde hingegen voraussetzen, dass sich Batterien im Minutentempo laden lassen.



## AUTOS MÜSSEN ABSPACKEN

**Der Automarkt steht vor seinem vielleicht größten Umbruch.** Der Höhepunkt der Erdölförderung ist erreicht oder überschritten und die Politik erhöht den Druck. Neufahrzeugflotten müssen die Ende 2008 von der Europäischen Union verabschiedeten Reduktionsziele bis 2015 erfüllen, sonst drohen Strafzahlungen. Noch 1998 hatten die Konzerne Gesetzesauflagen mit dem Versprechen abwehren können, den CO<sub>2</sub>-Ausstoß bis Ende 2008 freiwillig auf durchschnittlich 140 Gramm pro Kilometer (g/km) zu reduzieren. Doch das Ziel wurde um 20 g/km und damit überdeutlich verfehlt. 2006 veröffentlichte die EU einen ernüchternden Zwischenstand: Ford: 157 g/km, Opel: 161 g/km, Volkswagen: 172 g/km, BMW: 187 g/km, Audi: 188 g/km, Mercedes Benz: 192 g/km. Nur der Smart konnte mit 119 g/km glänzen.

Nun gilt als gesetzliche Grenze ab 2015 ein Wert von 120 g/km. Im Jahr 2012 müssen ihn zunächst nur 65 Prozent der Neuwagen erfüllen, dann steigt der Wert stufenweise und liegt drei Jahre später bei 100 Prozent. Für große Fahrzeuge gelten dabei weniger strenge Grenzwerte als für Kleinwagen.

Den Konzernen wird das Erreichen der Limits dadurch erleichtert, dass ihnen dazu zwei Wege offenstehen. Mittels motortechnischer Maßnahmen müssen sie den Ausstoß ihrer Fahrzeuge auf lediglich 130 g/km reduzieren. Eine Senkung um weitere zehn Gramm sollen sie durch andere Verbesserungen etwa am Rollwiderstand der Reifen, am Gewicht oder durch den Einsatz von Biokraftstoffen erreichen.

Bis 2020 aber soll der Emissionsgrenzwert in der EU auf durchschnittlich 95 Gramm pro Kilometer abgesenkt werden. Mit Verbrennungsmotoren ist das nicht zu schaffen. Und weil bis 2020 auch eine Million Elektroautos auf deutschen Straßen fahren sollen, betteln deutsche gemeinsam mit anderen europäischen Herstellern die EU derzeit um mindestens 40 Milliarden Euro Entwicklungshilfe an.

notat. Er versucht einerseits, der Autobranche den Strom schmackhaft zu machen, und stellt gleichzeitig dem Energiekunden sinkende Entgelte in Aussicht, die dank der optimierten Auslastung möglich würden. Ganz selbstlos ist er dabei allerdings nicht, könnte er doch den teuren Kapazitäts- und Netzausbau elegant auf viele Schultern verteilen.

Längst stehen die Konzerne daher in den Startlöchern: Daimler kooperiert mit RWE, BMW mit Vattenfall und Volkswagen mit E.ON. Siemens erprobt in Erlangen und Neuperlach seine e-Konzepte auf eigene Faust. Im Nachbarland wiederum arbeiten etwa PSA Peugeot Citroën und der französische Energieversorger EDF bei V2G zusammen.

Besonders spannend ist das Konzept der Firma Better Place aus Palo Alto. Bis 2012 will sie ein flächendeckendes und massenmarkttaugliches Netz für Elektroautos entwickeln. Zum einen setzen die Kalifornier auf Netzanschlüsse für das schnelle Laden von reinen Elektroautos und von Plug-in-Hybriden wie dem Plug-in Toyota Prius, dem Chevrolet Volt von General Motors oder dem künftigen Opel Ampera, der auf dem Volt aufbaut. (In Plug-in-Hybriden arbeitet eine Kombination aus Benzin- und Elektromotor, zusätzlich sind die Batterien am Netz aufladbar.) Bei Bedarf tauscht das Unternehmen die Batterien sogar komplett aus, was an speziellen Stationen binnen weniger Minuten möglich ist. Better Place betreibt aber auch kleine Wasserstoffherzeuger für Brennstoffzellenautos, »Elektrolyseure«, wie sie etwa der Honda FCX benötigt.

Doch das Unternehmen geht noch einen Schritt weiter. Gegründet vom ehemaligen SAP-Vorstand Shai Agassi plant es, eines Tages nur noch die Dienstleistung »Elektromobilität« zu verkaufen. Wie ein Mobilfunkbetreiber will es mit den Kunden Verträge über Fahrleistungen abschließen – pauschal oder nach gefahrenen Kilometern – und dafür Autos und Infrastruktur bereitstellen. Dafür rüstet sich die Firma durch Geschäftsanbahnungen mit den Regierungen von über 25 Ländern, darunter Dänemark, Israel und Australien, und mit fast allen großen Autofirmen, darunter als Erste Renault und Nissan.

In Europa steht zwar bereits heute eine nennenswerte Zahl von Stromtankstellen, doch sind sie meist nur traurige Überbleibsel der ersten Renaissance der Elektromobilität vor über einem Jahrzehnt (siehe Kasten S. 99). Entsprechend viel bleibt zu tun. Großprojekte wie in London, Berlin oder Rom machen nun den Anfang. Strom gibt es zwar überall, muss aber erst »tankbar« gemacht werden. Ladestationen müssen bei Wind und Wetter funktio-

nieren (in Skandinavien klappt das inzwischen auch bei minus 35 Grad Celsius), Stecker müssen zu jedem Fabrikat und Stromanbieter passen und auch die Frage, ob die Kabel zur Steckdose oder zum Auto gehören, ist noch nicht geklärt.

Selbst das scheinbar einfache Problem der Kabellänge, wobei Bequemlichkeit gegenüber Sicherheit vor Stromschlägen abgewogen werden muss, harrt noch einer Lösung, ebenso die Frage, wo am Auto es angeschlossen werden soll. Wahrscheinlich wird die Autosteckdose nach dem Vorbild des VW Citystromer oder des Audi Duo hinter dem vorderen Nummernschild verborgen sein. Damit lässt sich die häufigste Form des Parkens nutzen, nämlich senkrecht etwa zur Parkhauswand oder zum Bordstein.

Die Batterien ließen sich zwar auch per Induktionsschleife aufladen, wie dies der öffentliche Personennahverkehr vor Kreuzungen und Ampeln bereits teilweise praktiziert. Dabei fällt der Wirkungsgrad der Energieübertragung allerdings auf 95 Prozent ab, vor allem die induktive Rückspeisung ins Netz ist zu teuer und umständlich.

### Wie ein zweiter Backofen

Bislang finden Autofahrer, die mit einer Tankfüllung rund 600 Kilometer weit kommen, entlang dieser Strecke durchschnittlich 40 Tankstellen. Denselben Komfort erwarten sie auch von einer künftigen elektrischen Infrastruktur, wie sie zunächst in den Ballungsräumen entstehen dürfte. Weil das Aufladen von Batterien indessen mehr als nur ein paar Minuten Zeit kostet, kommen als Tankstellen vor allem Garagen, Parkhäuser und Parkplätze in Frage. Vielleicht werden auch ganze Straßenabschnitte für EVs reserviert werden. Der europaweit tätige Parkhausbetreiber Apcoa Parking arbeitet schon heute an einem Netz von Ladestationen und denkt sogar über einen Batteriewechselservice nach.

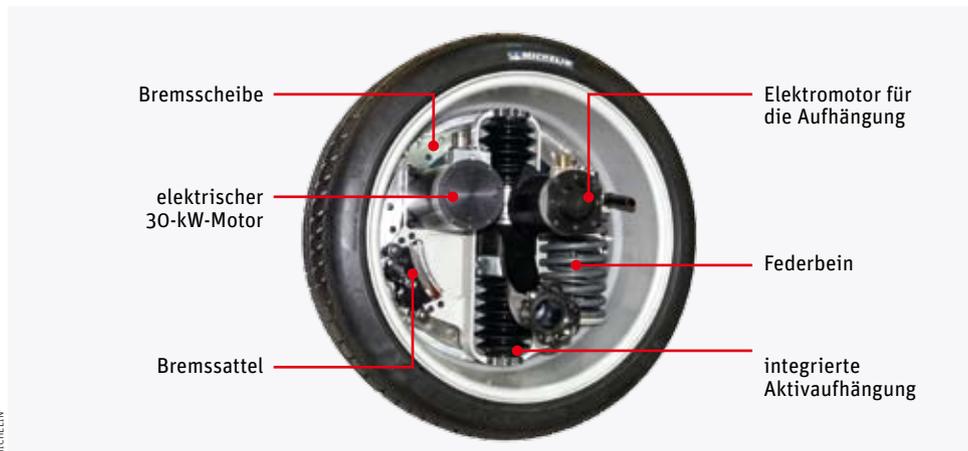
## EXPERIMENT IM CHINESISCHEN MASSSTAB

**Was europäische Autofirmen und Stromversorger** nur allmählich erproben, ist im Reich der Mitte schon gängige Praxis. Denn die überbordenden chinesischen Großstädte ersticken in Smog und Autoabgasen. Neben dem Ausbau des öffentlichen Nahverkehrs, insbesondere von S- und U-Bahnen, liegt der Einsatz von E-Fahrzeugen dort auch im Individualverkehr nahe. Während Elektrofahrzeuge zunächst rigoros verboten wurden – das Energieangebot galt als zu knapp –, sind in den vergangenen fünf Jahren rund 60 Millionen Elektroroller auf die Straßen gelangt. Mittlerweile werden im traditionellen Land des Radfahrens fast nur noch Zweikrafträder mit Elektroantrieb gefertigt.

Sein Knowhow demonstrierte China auch während der Olympiade in Peking. 50 elektrische Busse für Sportler und Funktionäre, so berichtet Hurbaatur Solonggod, Manager des chinesischen Batterieherstellers Guon Mengguli Corporation (MGL), legten während des Sportfests über 100 000 Kilometer ohne den kleinsten Zwischenfall zurück. In einer Batteriestation wurden die von MGL entwickelten Lithiumionen-Akkus vollautomatisch binnen weniger Minuten ausgetauscht und die leeren Exemplare mit Nachtstrom wieder aufgeladen. Per Satellit ließ sich sogar der Ladezustand jeder einzelnen Batterie überwachen. In der Regel schafften es die Busse, die für den »Ernstfall« einen benzinbetriebenen Range Extender an Bord hatten, mit einer Batterieladung 180 Kilometer weit, erreichten aber auch bis zu 300 Kilometer.

Meist aber wird man sein EV in der heimischen Garage tanken. Dabei gelangen pro Stunde rund 3,5 kWh in die Batterien, wenn ein dreiphasiger Hausanschluss bei 220 Volt und 16 Ampère genutzt wird – das entspricht dem Bedarf eines zweiten Backofens. Wer 100 Kilometer weit fahren will, wofür ein Elektroauto bis zu 20 kWh benötigt, muss die Batterien also mindestens fünf Stunden lang an die Steckdose hängen. Doch vier Fünftel aller Fahrten sind kürzer als 40 Kilometer, so dass die Hälfte der Zeit in der Regel ausreicht.

Kommen allerdings Gäste zu Besuch, die ebenfalls an die Steckdose wollen oder müssen, kann sich die abgerufene Leistung allerdings schnell auf 30 Kilowatt belaufen – mehr, als das ganze Einfamilienhaus sonst be-



Ein »aktives Rad« mit elektrischem Radnabenmotor entwickelt der französische Reifenhersteller Michelin unter anderem gemeinsam mit der chinesischen MGL Corporation (siehe auch Kasten oben). Dank der »Active Wheel«-Technik, durch die sich das Auto regelrecht in die Kurve legen würde, ließe sich auf Kupplung, Getriebe und Antriebswelle verzichten – und damit auf Gewicht, verschleißanfällige Teile und Wirkungsgradverluste.

ZUKUNFT ODER SACKGASSE?

**Sie tanken an einem »smart grid«** und verbessern dadurch die Effizienz unserer Energieversorgung. Sie verschonen die Umwelt mit Kohlendioxid und Dreck und lärmern nicht einmal. Das klingt gut, doch Elektroautos – erst recht ökologisch korrekte Elektromobilität – sind Zukunftsmusik, trotz aller gegenwärtigen Euphorie. Würden wir heute mehr Strom benötigen, käme er wohl aus einem Kohlekraftwerk. Kaufen wir einfach das nächstbeste Elektrofahrzeug, müsste die Familie zusammenrücken und schaffte auf einen Rutsch kaum mehr als 200 Kilometer. Obendrein müsste das Auto zum Batterientausch wohl nach einigen Jahren in die Werkstatt – zu Kosten, zu denen man sich einen kompletten heutigen Kleinwagen leisten kann.

Was Elektroautos wirklich taugen, wird erst die Zukunft zeigen. Viele Studien laufen erst an, immerhin tüfteln kleine Teams weltweit an Pilotprojekten. Doch sie alle arbeiten mit vorläufigen Daten. Die wichtigsten Fragen können auch sie noch nicht beantworten. Kommt der Ausbau der erneuerbaren Energien schnell genug voran? Lässt sich der Energieinhalt von Batterien ausreichend vergrößern, ihre Zyklenfestigkeit und Zuverlässigkeit steigern? Wie können wir sie entsorgen oder recyceln? Müssen wir über leichtere Autos nachdenken oder das Mieten von Mobilität an Stelle des Kaufs von Autos? Wie »smart«



wäre ein intelligentes Netz, das nach eigenem Ermessen unsere Batterien leeren darf? Wäre der Tank immer dann voll, wenn wir dies brauchten? Und sind überhaupt vernünftige Wirkungsgrade erzielbar?

Dranbleiben müssen wir dennoch. Was sonst haben wir dem Klimawandel entgegensetzen, der Verknappung von Öl, der Verschmutzung der Umwelt durch Abgase? In Indien und China brächte selbst ein Drei-Liter-Auto keine akzeptable Umwelt- und Rohstoffbilanz zu Stande. Natürlich ist der Eindruck berechtigt, dass der vermeintliche Boom der Elektroautos vor allem ein Marketingphänomen ist. Stromversorger würden nur allzu gerne ins Tankstellengeschäft einsteigen, während Autokonzerne in ihrer Furcht vor existenzbedrohenden Absatzkrisen sich wenigstens als zukunftsicher ausweisen wollen (und damit gegebenenfalls als Bezugsberechtigte für Staatsmilliarden).

Doch was ihnen nutzt, muss dem Rest der Welt nicht schaden. Wenn sie die Technik voranbringen, bietet das Elektroauto große Chancen. Allerdings nicht von heute auf übermorgen. Der Praxistest auf breiter Front steht den Autos erst noch bevor. Und die zahlreichen Marktprognosen wirkten viel weniger beeindruckend, wenn nicht die schon erfolgreichen Hybridvarianten die Zahlen in die Höhe trieben. *Thilo Körkel*

SIND ELEKTROAUTOS »STROMFRESSER«?

»Konkrete Prognosen sind Schall und Rauch«, sagt Tomi Engel von der Deutschen Gesellschaft für Sonnenenergie über die Zukunft der Elektromobilität. Denn Daten über tatsächliche Nutzungsarten, Fahrzeug- und Motortypen sowie künftige technische Neuerungen – bei den Autos selbst ebenso wie bei ihrer Integration in die Stromnetze – liegen noch kaum vor. »Doch bereits die Größenordnung des grob geschätzten Stromverbrauchs zeigt, dass dieser kaum ins Gewicht fällt.«

Engel kalkuliert den Energiebedarf für eine Million Elektroautos vom Hybridfahrzeug bis zum reinen E-Mobil – auf 1,5 bis 3 Terawattstunden (TWh). Diesen könnten fast allein jene Fotovoltaikanlagen decken, die im Jahr 2008 in Deutschland neu installiert wurden und jetzt jährlich rund 1,5 TWh in die Netze speisen. Die Tabellen zeigen weitere Vergleichszahlen sowie den Kohlendioxidausstoß unterschiedlicher Fahrzeugflotten.

	1 Million Elektroautos	(öffentlicher) Nah- und Fernverkehr	Beleuchtung in Haushalten	Stand-by-Betrieb von Elektrogeräten (geschätzt)	elektrische Widerstandsheizungen (in jeder 25. Wohnung)	Netto-stromverbrauch Deutschland
jährlicher Stromverbrauch in Deutschland (2007)	1,5 bis 3 TWh (Prognose)	16 TWh	11 TWh	20 TWh	35 TWh	541 TWh

	Elektroauto (Verbrauch: 10 bis 20 kWh/100 Kilometer)	VW-Flotte	Mercedes-Benz-Flotte	Fiat-Flotte (EU-Bester)	Deutschland (2007) / davon Straßenverkehr (2006)
CO <sub>2</sub> -Ausstoß in Gramm/Kilometer (Neuzulassungen 2007)	60 bis 120 (bei heutigem Strommix)	167	184	137	857 / 146

## STEUERN PER TARIF

**Intelligente Stromzähler (»Smart Meter«)**

speichern Verbrauchs- und Lastdaten und besitzen Kommunikationsschnittstellen, über die sowohl der Kunde als auch – per Fernabfrage – das Energieunternehmen das Nutzungsverhalten einsehen können. Raffiniertere Exemplare sind über zusätzliche Datenverbindungen an einzelne Verbraucher gekoppelt und können so Kühlgeräte, Wäschetrockner oder Backofen, aber auch Geräte im Stand-by-Betrieb minutengenau überwachen. So fallen Stromfresser auf und ihre Aktivität lässt sich – unter Umständen vollautomatisch – in verbrauchsarme Stunden verlegen. Die Messgeräte machen auch neue Mehrwertdienste auf der Basis kundenspezifischer Tarife möglich und erlauben überdies die Integration



»Smart Meter« – unscheinbare Geräte mit großem Anwendungspotenzial

dezentraler Stromerzeuger ins Netzmanagement.

Ziel der Technik ist, die Gesamtnachfrage und Netzauslastung über die Strompreise zu steuern. So lassen sich Investitionen für den Spitzenlastausbau oder die Kompensation hoher Stromvolatilität vermeiden oder zeitlich verschieben. In vielen Ländern wie in Italien oder Schweden sind »Smart Meter« bereits Pflicht. In Deutschland hingegen müssen sie erst ab

2010 eingebaut werden und dann auch nur in Neubauten oder im Rahmen umfassender Haussanierungen. Unterdessen fördern die Ministerien für Wirtschaft und für Forschung bereits vorbereitende Projekte wie »Smart Metering«, »DEMAX« und »Intellekon«.

nötigt. Parkhäuser müssten sich gar auf einige hundert bis einige zehn Millionen kW einrichten. Und wenn eines Tages Millionen von Fahrzeugen nachts am Netz hängen, reicht der Strom dann noch aus, bleibt das Stromnetz stabil?

Doch Angebot und Nachfrage lassen sich wahrscheinlich über den Preis regeln. Intelligente, vernetzte Stromzähler könnten für eine ausgewogene Netzauslastung sorgen. Solche »Smart Meter« (siehe dazu den Kasten oben) würden Anreize setzen, Batterien genau dann aufzuladen, wenn der Strom besonders günstig ist. So ließen sich insbesondere die Überschüsse aus der Windkraft verwerten. Und wenn die Batterien im Gegenzug wieder Energie einspeisen, erhielten die Autohalter eine Vergütung ähnlich jener, die auch den Erzeugern von Wind- und Solarstrom gezahlt wird.

**Gerade einmal zwei Euro Umsatz – in drei Stunden**

Erfahrung mit der »Smart Meter«-Technik besitzt beispielsweise E.ON. Als zweitgrößter Anbieter betreibt der Konzern in verschiedenen europäischen Ländern schon fast zwei Millionen dieser zunächst für Industrie und Haushalt entwickelten Geräte. Nun setzt er sie im Feldversuch mit 20 Plug-in-Hybriden vom Typ VW Golf »TwinDrive« ein, damit sie in Zeiten hohen Stromangebots gezielt das Ladegerät zuschalten.

Der Energieversorger EnBW hat sich unterdessen vorgenommen, auf Basis eines intelligenten Zählers ein universelles Lade- und Abrechnungssystem zu entwickeln. Es soll ein bestimmtes Elektroauto automatisch erkennen – unabhängig davon, an welcher Tank-

stelle es steht –, die geflossene Strommenge dem jeweiligen Stromlieferanten zuordnen und online abrechnen.

Damit alles so »einfach, komfortabel und sicher wie beim Handy« wird, wie RWE-Vorstandsvorsitzender Jürgen Großmann fordert, ist aber noch ein ganzes Stück Weg zurückzulegen. Auch neue Geschäftsmodelle müssen entwickelt werden, denn heute kostet der Bezahlvorgang an einer Stromtankstelle mehr als die dabei gelieferte Energie. Außerdem steht den hohen Investitionsvorleistungen ein Umsatz von gerade einmal ein oder zwei Euro entgegen – bei einer Ladezeit von drei Stunden.

Eine Frage bleibt ohnehin noch offen: Wie teuer oder billig kommt uns das elektrische Rollen zu stehen? Auf eine Antwort mag sich heute noch keiner festlegen und selbst Thomic Ruschmeyer, Vorsitzender des Bundesverbands Solare Mobilität (bsm), bremst die aufkeimende Elektro euphorie: »Elektrisches Fahren wird wohl nicht billiger als heute das Fahren mit Öl.« Denn wir werden nicht einfach nur die Autos wechseln. Ressourcenverknappung, wachsendes Umweltbewusstsein und wachsende Bedürfnisse in den sich entwickelnden Ländern dieser Erde werden unser gesamtes Mobilitätsverhalten verändern. Vielleicht nehmen Elektrofahrzeuge dabei künftig einen zentralen Platz ein. Nicht zufällig trägt »Better Place« einen hoffnungsträchtigen Namen. ◀

*Wird es mit künftigen Autos kaum noch zu Unfällen kommen? Im nächsten Teil unserer Serie, der in der Maiausgabe erscheint, berichten wir über **Sicherheit in Fahrzeugen**.*



**Reinhard Löser** ist promovierter Physiker, habilitierter Volkswirt sowie intimer Kenner der Automobilindustrie. Als freier Autor lebt er in Ebenhausen bei München.

**Franken, M.:** Aufruf zur Elektro-Evolution. In: neue energie 8, S. 47–52, August 2008.

**Janzig, B.:** Strom nach Bedarf. In: neue energie 8, S. 60–62, August 2008.

**Jensen, D.:** Wettrennen der Konzepte. In: neue energie 8, S. 54–59, August 2008.

**Tollefson, J.:** Charging up the Future. In: Nature 456, S. 436–440, 27. November 2008.

Auto der Zukunft. Sonderausgabe 1/2009 von Technology Review, Heise, 2009.

Weblinks zu diesem Thema finden Sie unter [www.spektrum.de/artikel/983274](http://www.spektrum.de/artikel/983274).