

# Plug-In Elektrofahrzeuge – Voraussetzungen und Konsequenzen für Verteilungsnetze

Dr. Konstantin Staschus, BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft, Berlin, [konstantin.staschus@bdew.de](mailto:konstantin.staschus@bdew.de)  
Dr. Wolfgang Woyke, E.ON Energie, München, [wolfgang.woyke@eon-energie.com](mailto:wolfgang.woyke@eon-energie.com)

## Kurzfassung

Persönlichkeiten aus Politik, Automobil- und Energiewirtschaft haben in den letzten zwei Jahren die Vorteile der Elektromobilität betont, also des Autofahrens mit Strom aus dem Netz. Unter Elektrofahrzeugen verstehen wir hier alle, die Energie aus dem Netz beziehen, also sowohl Fahrzeuge nur mit Elektromotor als auch Hybridfahrzeuge mit Elektro- und Verbrennungsmotor sowie Netzanschluss. Dieser Aufsatz beschreibt aus Sicht der Stromversorger und auch aus Kundensicht das derzeitige Wissen über die Wirtschaftlichkeit der Elektromobilität. Daraus werden erste Schlussfolgerungen abgeleitet über Chancen, Risiken, Forschungs- und Handlungsbedarf für Betrieb und Planung der Verteilungsnetze. Dies wird in Beziehung gesetzt zum liberalisierten Strommarkt und den „intelligenten Netzen“.

## Abstract

Leaders from politics, the automobile and the electricity industry have emphasized advantages of driving with electricity from the grid over the last two years. By electric vehicles we mean all vehicles that plug into the grid, i.e. both vehicles with only an electric motor and plug-in hybrid cars with both electric motor and combustion engine. This paper describes current knowledge of the economics of driving electrically from the viewpoints of the energy utility and the customer. It also draws some first conclusions on opportunities and risks, further research and needed action, for operations and planning of the distribution networks, within the framework of the liberalised electricity market and “smart grids”.

## 1 Perspektiven der Elektromobilität

Die Vorteile von Elektrofahrzeugen sind bereits in [1-3], [10-12] und vielen Pressemeldungen dargestellt worden:

- Elektromobilität ist effizienter in der Energienutzung.
- Lokale Umweltbelastungen  $\text{NO}_x$ , Feinstaub, Lärm werden wesentlich reduziert oder sogar vollständig vermieden.
- Für den Energieträger Elektrizität kann die gesamte Palette an Primärenergieträgern eingesetzt werden. Der Kunde wird daher nicht mehr mit den Preisschwankungen des Erdölmarkts konfrontiert. Die  $\text{CO}_2$ -Belastung resultiert aus der Erzeugung elektrischer Energie und kann ebenfalls wesentlich reduziert werden; dies gilt noch stärker, wenn für das Laden erneuerbare Energie verwendet wird.
- Hybridfahrzeuge bieten einen besonders sanften und flexiblen Ausstieg aus der Abhängigkeit vom Öl.
- Die Infrastruktur der elektrischen Energieversorgung ist vollständig entwickelt.
- Die Elektromobilität hat das Potenzial, die Integration fluktuierender Einspeisung aus erneuerbaren Energien zu unterstützen, indem der Ladevorgang an Erzeugungsperioden gekoppelt wird.

Für die Wirtschaftlichkeit der Elektrofahrzeuge wird vieles von der Kostenentwicklung der Batterien abhängen. Nach derzeitigen Prognosen [18] könnten bei Massenfertigung € 300 bis 500 pro kWh erreichbar sein. Das würde für reine Elektrofahrzeuge mit 30 bis 40 kWh Batteriegröße € 9.000 – 20.000 Batteriekosten bedeuten, für Hy-

bridfahrzeuge mit Netzanschluss mit 10 bis 15 kWh Batteriegröße € 3.000 – 7.500. Aus rein wirtschaftlicher Sicht ist eine sehr große Spanne zwischen Strompreisen und Treibstoffpreisen erforderlich, um diese Mehrkosten in der Vollkostenbetrachtung zu egalisieren.

Neben einer eventuellen ökologisch motivierten Subventionierung zur Markteinführung sind aber auch weitere Deckungsbeiträge möglich. In geringem Umfang können Einnahmen aus dem Wert vermiedener  $\text{CO}_2$ -Emissionen und City-Mauts entstehen. In größerem Umfang können nach den Abschätzungen in [2], [10] und [19] Vorteile aus dynamischen Tarifen, die die Teilnahme an den Strommärkten, u.a. für Regel- und Ausgleichsenergie, abbilden, zur Wirtschaftlichkeit beitragen. Dies wiederum bedingt eine noch größere Betonung der gesteuerten Ladung und intensiver Kommunikation zwischen dem Batteriemanagementsystem, dem Kunden, dem Stromlieferanten und auch den Netzbetreibern. Diese Aspekte werden vertieft in Abschnitt 2 beleuchtet.

### 1.1 Einschätzung der Politik

Bundeskanzlerin Merkel sprach am 5. September 2008 bei der Ankündigung des Gemeinschaftsprojekts von Daimler und RWE zur Einführung von Elektro-Smarts in Berlin ab Herbst 2009 von einem „wirklich wegweisenden Projekt“ für die Hauptstadt, die Automobil- und die Elektrowirtschaft. Merkel sagte, sie glaube, das Elektrosystem werde „sich schneller durchsetzen als jetzt vermutet“. Bei der Entwicklung leistungsfähiger Batterien gebe es große Fortschritte. Bei der Vorstellung am 26. Juni 2008 durch VW

und E.ON des „Flottenversuchs Elektromobilität“ für Plug-In-Hybrid Fahrzeuge sagte Bundesumweltminister Gabriel, mit neuen Elektroantrieben "machen wir uns unabhängiger von steigenden Erdöl- und Energiepreisen". [4]

Bis Ende 2008 plant die Bundesregierung einen nationalen Plan für Elektromobilität zu erarbeiten. Der Entwicklungsplan soll auch eine Konzeption zur Netzintegration und Planungen von Feldtests beinhalten sowie relevante anwendungsnahe Begleitforschung definieren. Aus dem Meseberg-Programm für ein Integriertes Energie- und Klimapakete (Ziffer 26 von 29): „Elektrische Fahrzeugantriebe bieten mittel- und langfristig die größten Potenziale zur Reduktion der verkehrsbedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen sowie der Importabhängigkeit von Erdöl.“ [5]

Auch das Europäische Parlament ist „der Ansicht, dass der Einsatz von Wasserstoff- und Elektrofahrzeugen künftig eine wichtige Rolle spielen wird und dass Hybridfahrzeuge ein Zwischenschritt in Richtung Elektro-Mobilität darstellen; fordert die Kommission auf, elektrische Hybridfahrzeuge in den EU-Strategieplan für Energietechnologie aufzunehmen; ersucht die Mitgliedstaaten darum, den Erwerb von Fahrzeugen mit geringen CO<sub>2</sub>-Emissionen durch steuerliche Anreize zu fördern“ [6].

## 1.2 Investitionen der Autohersteller

Dass die Politik nicht einer auf Subventionen abzielenden Übertreibung aufsitze, zeigen vielfältige Forschungs- und Entwicklungsinvestitionen der Autohersteller. VW-Vorstandschef Winterkorn erklärte der Bild-Zeitung im Juni 2008, "die Zukunft gehört dem Elektroauto – mit Strom aus der Steckdose". Renault-Nissan entwickelt Elektroautos für einen Markteintritt ab 2010 in den USA und ab 2011 in Europa, u. a. für Portugal, Dänemark und auch Israel als Teil seiner Vereinbarung mit Better Place. Nach Angaben von Better Place soll es in Israel ab 2020 keine Nicht-Elektroautos mehr geben. General Motors (GM) will bis 2010 sein erstes eigenes Elektroauto Chevrolet Volt zu einem Preis von unter 30.000 Dollar auf den Markt bringen, wie Vorstandschef Rick Wagoner ankündigte. Toyota testet in Japan und Frankreich Plug-in-Prius-Modelle mit doppelter Batterie für ca. 13 km rein elektrische Fahrt. Mitsubishi bringt 2009 in Japan seinen Elektro-Kleinwagen iMiEV in Serienproduktion auf den Markt. Tesla Motors, die seit Frühjahr 2008 in Kalifornien den Sportwagen Roadster in Kleinserie produzieren, hat für 2010 eine Plug-In-Limousine „Modell S“ angekündigt. In Indien (Mahindra & Mahindra, Tata, Reva) und China (BYD) haben für 2008-2011 auch einige relativ große Autohersteller Elektrofahrzeuge angekündigt. Auch die Autozulieferer sehen das Potenzial sehr positiv: Gemäß einer weltweiten Kunden-Umfrage von Continental, deren Ergebnisse im Juni 2008 bekannt gegeben wurden, wären 36 % bereit, ein Auto mit Hybridantrieb zu kaufen, sogar 46 % offen für den Erwerb eines Elektroautos. [4]

Roland Berger erwartet für Europa 2020 einen Marktanteil von Plug-In-Fahrzeugen von 25 % [7]. Hauptgrund ist, dass sie zwar für 2010 6 % Lebenszyklus-Mehrkosten gegenüber Verbrennungsmotor-Fahrzeugen sehen, für 2020 aber 20 % Minderkosten, wegen bis dahin halbiertes Batteriekosten und 6 % pro Jahr steigender Benzinpreise .

## 2 Netzintegration: Voraussetzungen, Konsequenzen, Forschungsbedarf

In diesem Abschnitt werden erste Studien zu Konsequenzen für die Stromversorgung zusammen gefasst sowie einige im Rahmen des BDEW und seiner o. g. Initiative getroffene Grundannahmen über die Massenmarkteinführung der Elektromobilität sowie sich daraus ergebende Konsequenzen beschrieben.

### 2.1 Studien deutscher Energieversorger

Eine Reihe von Stromversorgern verfolgen bereits Projekte zur Elektromobilität, i.d.R. Studien und Forschungsaufträgen an Universitäts- und andere Institute. [3] im Auftrag von E.ON Energie befasste sich mit Ladetechniken, Ladelastgängen und Auswirkungen auf die Verteilungsnetze. Ein wichtiges Resultat dieser Studie war, dass schon moderate Durchdringungsraten von Plug-in-Fahrzeugen (mit 18 % der Fahrzeuge und 22 % der Jahresfahrleistung) etwa 10 % höhere Spitzenlasten am Nachmittag und Abend verursachen könnten, falls der Berufsverkehr mit anschließendem Laden zu einer hohen Rate an Gleichzeitigkeit führt. [20] kommt anhand von Verteilungsnetz-Fallstudien zu ähnlichen Ergebnissen.

Dies bedeutet, dass spätestens wenige Jahre nach einer erfolgreichen Markteinführung versucht werden sollte, den Ladevorgang gezielt zu entflechten. Ähnlich wie bei Nachtspeicherheizungen wird damit ein für den Kunden gar nicht nötiges Laden zu Spitzenlastzeiten und damit unnötiger Netz- und Erzeugungs-Ausbaubedarf vermieden. Weitere Teilergebnisse dieser Studien zeigen Parallelitäten zur Einspeisung kleiner dezentraler Anlagen auf. So spielt die Qualität der AC/DC Wandler eine große Rolle für die Netzzurückwirkungen. Grundsätzlich wird es Investitionsbedarf im Verteilungsnetz für die Integration der Fahrzeuge geben, ggf. (und hoffentlich in begrenztem Umfang) zur Behebung von Leistungsbeschränkungen, und auch zur Anpassung der Schutztechnik.

Standardisierungsbedarf besteht bzgl. der Verbindung zwischen Fahrzeug und Netz beim Laden, also der Stecker- und Stromtankstellen-Normung; sowie bzgl. Sicherheitsaspekten und Handhabung. Auch die Laststeuerung/Rückspeisung mit Schnittstelle zum Batteriemangement und die Abrechnung mobiler Kunden wurden als künftige dringende Arbeitsgebiete identifiziert.

Neben diesen ersten Forschungsergebnissen und den oben erwähnten Pilotprojekten einzelner Stromversorger ist auch der BDEW seit etwa einem Jahr aktiv. Das bedeutet

nicht nur die übliche Gremienarbeit, sondern auch die Bildung einer Initiative von Unternehmen (Fahrzeughersteller, Zulieferer, Batteriehersteller, Stromversorger, Systemanbieter) mit dem Ziel gemeinsamer Studien und Vorbereitungsarbeiten für eine erfolgreiche Markteinführung von Hybrid- und Elektrofahrzeugen, insbes. mit Blick auf eine erfolgreiche Schnittstelle mit der Stromversorgung. Drei gemeinsam getragene Studien sollen u. a. folgende Fragen bis Ende 2009 beantworten:

- Unter welchen Randbedingungen ist die Elektromobilität mit Blick auf die Umwelt ein Gewinn?
- Welchen Kundenanforderungen müssen massenmarktfähige Autos mit Stecker genügen?
- Welche Auswirkungen hat die Elektromobilität auf die Stromversorgung und die verschiedenen Strom-Teilmärkte, inkl. Regel- und Ausgleichsenergie?
- Welche Voraussetzungen (Technikbausteine für Kommunikation und Steuerung zwischen Übertragungsnetzen, Verteilungsnetzen, Kunden und Fahrzeugbatterien, für Zähler- und Abrechnungstechnik, und auch für den Netzanschluss, also Stecker und Stromtankstelle) sind notwendig und ggf. noch nicht hinreichend standardisiert für verschiedene Ladeszenarien der Batterien?

## 2.2 Aktivitäten im Ausland

Regierungen verschiedener Länder haben die Absicht geäußert, Elektromobilität gezielt einzuführen. Das Projekt der Firma Better Place baut in Israel, Dänemark und Portugal bis zum Markteinstieg 2011 ein Netz von Stromtankstellen und auch, in deutlich geringerer Zahl, von Batteriewechselstationen auf. Es ist nicht auszuschließen, dass sich dadurch ein gewisser Standard für die Verbindung von Fahrzeug und Netz heraus bildet.

IEC und Cenelec pflegen die Norm „Stecker, Steckdose, Fahrzeugsteckvorrichtungen und Fahrzeugstecker - Ladung von Elektrofahrzeugen - Teil 1: Leitungsgebundenes Laden von Elektrofahrzeugen bis 250 A Wechselstrom und 400 A Gleichstrom (IEC 62196-1:2003)“.

In den USA gibt es seit ca. 5 Jahren vermehrt Studien und Feldversuche, auch zur Netzintegration von Plug-in-Fahrzeugen (neben [11] z.B. [13]). Darüber hinaus gibt es verschiedene wirtschaftliche und Lobbying-Allianzen, aber auch intensive Arbeiten an der Standardisierung der informationstechnischen Prozessbeschreibungen für das Stromtanken zu Hause, auf öffentlichen oder Geschäftsparkplätzen. Das Electric Power Research Institute, das Forschungen von Stromversorgern bündelt, hat seit einigen Jahren ein Programm „Electric Transportation“ [14]. Für die nächsten Jahre sollen u. a. Kommunikationsprotokolle und informationstechnische Prozessbeschreibungen für PHEV-Ladevorgänge entwickelt werden. Hierbei wird u. a. unterschieden zwischen dem Laden zu Hause, an öf-

fentlichen Stromtankstellen, außerhalb des eigenen Verteilungsnetzbetreibers, sowie Kommunikationen mit Hersteller oder Versorger bzgl. Stromliefervertrag, Fahrzeug- und Batteriediagnostik, Rechnungsinformationen und Regel-/Ausgleichsenergie.

Außerdem wirkt EPRI mit am „Infrastructure Working Council“ (IWC), einem Forum für Energieversorger, Automobilindustrie und Zulieferer mit dem Ziel, dass die elektrische Infrastruktur für Plug-in-Fahrzeuge sicher, einfach und für alle Teilnehmer kompatibel ist (sowohl bzgl. Netzanschluss als auch bzgl. Kommunikation). Das IWC arbeitet u. a. an einer Aktualisierung der aus den Praxistests des vergangenen Jahrzehnts stammenden Normung der Stecker zum Laden von Elektrofahrzeugen (Norm der Society of Automotive Engineers SAE J2293 – künftig J2836, sowie Article 625, „Electric Vehicle Charging System“, des National Electrical Code NEC). Für die NEC-Aktualisierung sollen bis November 2008 alle Formulierungsvorschläge eingehen, 2009 erfolgt die übliche öffentliche Normen-Kommentierung, Verabschiedung ist für Mitte 2010, Veröffentlichung für 2011 vorgesehen. Aktualisierungsziele sind u. a. die Berücksichtigung von Plug-in-Hybridfahrzeugen und von Energieflüssen in beide Richtungen.

Kohärent mit dem für 2010 von GM angekündigten Markteintritt des Chevrolet Volt und den beschriebenen schon weit fortgeschrittenen Normungsarbeiten wurden schon 2007 Startup-Firmen gegründet, die Stromtankstellen und Kommunikations- und Steuerungssoftware und Hardware für Plug-in-Fahrzeuge anbieten [16].

## 2.3 Ladeleistung im Verteilungsnetz

Es ist heute noch unklar, wie hoch die typische Ladeleistung für Elektrofahrzeuge sein wird. Dies ist von vielen Faktoren abhängig. Bei der in Deutschland üblichen Installationstechnik im Wohnbereich bieten sich die beiden Varianten 230 V Wechselstrom einphasig (mit 16 A Sicherung) oder auch Drehstrom 400 V an. Die Ladeleistung liegt dann in einem Spektrum zwischen 2 kW und 30 kW.

Dies sind im Verhältnis zu anderen im Niederspannungsnetz angeschlossenen Verbrauchern größere, aber nicht außergewöhnlich große Einzellasten. Dennoch besteht grundsätzlich ein Gleichzeitigkeitsproblem, ähnlich wie bei anderen großen Verbrauchern (Nachtspeicherheizungen, Wärmepumpen, Elektroherd) oder Einspeisern (PV-Anlagen [9]).

Eine Zusatzlast von drei Elektromobilen mit hoher Leistung der Aufladung kann dann bereits einen Wert von 90 kW erreichen. Dieser Wert kann in den täglichen Lastspitzen eines Niederspannungssegments in vielen Gebieten Deutschlands zu einem Ansprechen der Schutzorgane führen. Um dem vorzubeugen, wären großflächig Leistung erhöhende Maßnahmen notwendig. Abgesehen von

der Frage, wer die dafür notwendigen Kosten zu tragen hätte, stellt sich die Frage, ob nicht durch Interaktion der Ladesteuerung des Fahrzeugs mit dem Schutzsystem kostengünstigere Lösungen entwickelt werden können. Hierbei bieten sich die Optionen zur Reduktion der Ladeleistung oder zur Verschiebung der Ladung auf lastarme Zeiten an, die für den Kunden durchaus akzeptabel sein können.

Die Gleichzeitigkeit der Ladevorgänge muss also bewusst gesteuert werden, um nicht schon bei moderater Marktdurchdringung Investitionsbedarf in Verteilnetzen zu provozieren. Zu ähnlichen Ergebnissen kommt auch [20] anhand erster Fallstudien.

## 2.4 Anschlussbedingungen

### 2.4.1 Grundlagen

Die technischen Anschlussbedingungen der Verteilungsbetreiber für Lasten (bzw. Hausanschlüsse) am Niederspannungsnetz, und noch wichtiger der Bedingungen für den Anschluss von Erzeugungsanlagen am NS-Netz werden im Verband ausgearbeitet, bisher im Verband der Netzbetreiber (VDN) und künftig im Forum Netztechnik/Netzbetrieb des VDE (FNN). Wichtig in diesem Zusammenhang sind auch die VDN- und FNN-Arbeiten an Pflichtenheften für elektronische Haushaltszähler und an Multi-Utility Communications, wo Elektromobilität einen Arbeitsteil darstellen soll. Wegen der potenziellen Rückspeisung durch die Elektrofahrzeuge in das Netz sind die Anschlussbedingungen für Erzeugungsanlagen wichtig, das bedeutet u. a. für einphasige Anschlüsse eine Grenze von 4,6 kVA [8]. Auch für die eventuelle Neueinrichtung von Drehstrom-Steckdosen in der Garage für schnelleres Laden oder verbesserte Angebote für Regel- und Ausgleichsleistung sind natürlich ebenfalls diese Technischen Anschlussbedingungen relevant.

### 2.4.2 Anpassungsbedarf

Eine Reihe wichtiger Aspekte der technischen Anschlussbedingungen und der Bedingungen für den Anschluss von Erzeugungsanlagen am NS-Netz sind mit Blick auf die Elektromobilität zu überprüfen und anzupassen. Dies kann z. B. die Zählung, notwendige Schalter, Spannungsanhebung, Spannungsänderung bei Zuschaltungen, und Blindleistungskompensation sowie insbesondere Kurzschlussleistung und Schutzfunktionen betreffen. Hierbei sind Risiken zu vermeiden, aber auch Chancen zu nutzen, die die Batterien und ggf. ihre Umrichter bieten. Aus den Studien der BDEW-Initiative werden erste Hinweise auf diesen Anpassungsbedarf erwartet.

## 2.5 Innovative Produkte im Strommarkt

### 2.5.1 Potenziale

Für Plug-in-Fahrzeuge könnten innovative Produkte im Strommarkt entwickelt werden, die die folgenden fünf Stromhandelsmärkte spiegeln:

- Energiemarkt 1: Stromhandelsmarkt inkl. Spothandel
- Energiemarkt 2: Minutenreservemarkt
- Energiemarkt 3: Primärregelmarkt
- Energiemarkt 4: Sekundärregelmarkt
- Energiemarkt 5: Erneuerbare Energien als Folgeregelung zur konstanten Einspeisevergütung des EEG.

Hierbei kann kohärent mit dem etablierten Strommarktmodell angenommen werden, dass der Kunde für sein Plug-in-Fahrzeug einen Stromlieferanten gewählt hat, der viele Fahrzeug-Stromkunden in Bilanzkreisen bündelt. Um dem Lieferanten eine sinnvolle Ladesteuerung im Sinne des Kunden, aber mit Berücksichtigung der Bedürfnisse des Netzes und der o. g. Teilmärkte zu ermöglichen, werden Dateneingaben des Kunden über seine gewünschte Marktteilnahme in Verbindung mit seiner Nutzungsplanung nötig sein, z. B.:

- Zeitfenster, in dem Fahrzeugbatterie dem Markt zur Verfügung steht, bzw. Zeit, wenn Fahrzeugbatterie z.B. für Fahrt zur Arbeit vollgeladen sein soll
- Art der Regelennergie-, Ausgleichsleistungs- oder Börseilnahme, evtl. entsprechende Höchst- oder Mindestgebote

Eine Kommunikationseinrichtung übermittelt diese Daten sowie zusätzliche Batteriedaten an den Dienstleister und auch Steuersignale vom Dienstleister. Je nach Teilmarkt gehen die Steuersignale über Ein/Ausschaltungssignale hinaus; z.B. schnelles Hochfahren der Batterieladestrom oder der Netzeinspeisung der Batterie.

Der Dienstleister erhält, wiederum kohärent mit wettbewerblichen Marktmodellen, Informationen über die Beschränkungen des Übertragungsnetzes sowie Angebote, die aus Strombörsenpreisen und Intra-Day-Handel resultieren. Ggf. kann auch der Übertragungsnetzbetreiber positive und negative Regelleistung und Ausgleichsenergie abrufen.

### 2.5.2 Forschungsbedarf

Die notwendigen technischen Rahmenbedingungen für derartige Dienstleistungen und die damit verbundenen innovativen Stromprodukte sind noch zu entwickeln, u. a. Nachweisbarkeit, notwendige Verfügbarkeitsanforderungen und Präqualifizierung. Dies kann aufbauen u. a. auf Regelennergie-Poolungskonzepten und auf für die Bilanzkreisverantwortlichen unterstellten Wahrscheinlichkeitsrechnungen für Verfügbarkeit der Regelleistung, die der von Großkraftwerksbetreibern äquivalent ist. Aus der Teilnahme an den verschiedenen Teil-Märkten, die teilweise sehr schnelle und häufige Kommunikation erfordern, sowie aus der Notwendigkeit der Vermeidung von Verteilungsnetz-Überlastungen ergeben sich folgende zusätzlichen Forschungsaufgaben:

- Bewertung verschiedener Informations- und Kommunikations-Technologien bzgl. Sicherheit, Verfügbarkeit

- Spezifizierung von Anforderungen für Systeme für Laststeuerung, DSM und Abrechnung mit den neuen Anforderungen der Elektromobilität
- Bewertung der Abrechnungsproblematik: Mögliche mobile Zähler im Fahrzeug und fest installierte Zähler im Haus oder Büro liegen beide zwischen Netz und Batterie; Dies erfordert Konzepte der Verrechnung zur Vermeidung von Doppelabrechnung
- Analyse und Bewertung vorhandener Technologien und Protokolle wie EDIFACT, XML, PLC vs. Mobilfunk und andere Lösungen; Konzepte für gemeinsame Nutzung von Kommunikationskanälen durch Energiedienstleister, Netzdienstleister und Fahrzeugdienstleister
- Entwicklung und Standardisierung von Konzepten für Ladestationen im privaten, im gewerblichen und im öffentlichen Raum
- Beschreibung der Systemanforderungen, um Schutzsignale vom Verteilungsnetzbetreiber an Dienstleister bei drohender Überlastung des Netzes zu ermöglichen, ggf. Überlastschutz oder Quersignale zwischen Fahrzeug und anderen stromverbrauchenden Geräten im selben Haushalt (Waschmaschine, Klimaanlage)

### 3 Ausblick: Neue Komponenten für die Netzführung

Diese Punkte zeigen, wie eng verwoben die Thematik der Plug-in-Fahrzeuge mit den Visionen intelligenter Netze (Smart Grids) ist [15]. Elektromobilität im Massenmarkt erfordert evtl. neue Komponenten und Systemfunktionen, die auch bei intelligenten Netzen diskutiert werden. Andererseits sind für intelligente Netze und elektronische Haushaltszähler recht hohe Investitionen nötig. Diese Fixkosten müssen sich über Stromkosteneinsparungen durch Nutzung während Niedrig- statt Hochpreiszeiten amortisieren. Je größer und je zeitlich flexibler der Verbrauch eines Geräts, desto leichter fällt diese Amortisierung. In diesem Sinn brauchen intelligente Netze auch die Elektromobilität (und weitere große neue elektrische Verbraucher, die gleichzeitig die Energieeffizienz verbessern, wie z. B. Wärmepumpen) [17]. Nicht zuletzt geht es hier darum, Lasten zu steuern, um fluktuierende Einspeisung zu unterstützen und den Bedarf an teurer Speicherleistung im System zu reduzieren. Das Laden von Batterien scheint hierfür hervorragend geeignet zu sein.

### 4 Literatur

- [1] Staschus, K., Mehr Strom – mehr Freiheit, netzpraxis Jg. 46 (2007), Heft 1-2, S. 10-15
- [2] Staschus, K., Wirtschaftlichkeit von Hybridfahrzeugen am Stromnetz, ew Jg. 106 (2007), Heft 23, S. 22-29
- [3] Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V., Elektrostraßenfahrzeuge – Elektrizitätswirtschaftliche Einbindung von Elektrostraßenfahrzeugen, Dez. 2007
- [4] Pressemeldungen Autocar vom 18. August 2008 (Tesla), Cars and transportation vom 14. Februar 2008 (China), dpa vom 22. Mai (GM), 16. Juni (VW), 26. Juni (VW), 27. Juni 2008 (Continental), Economist vom 4. September 2008 (Renault-Nissan), FAZ vom 23. Mai 2008 (GM), Financial Express vom 19. August 2008 (Indien), Focus Online vom 1. August 2008 (BMW), New York Times vom 14. Januar 2008 (Toyota), Stern vom 26. Oktober 2007 (Mitsubishi), Telegraph vom 8. Mai 2008 (Renault-Nissan), Welt vom 6. September 2008 (Daimler)
- [5] Bundesregierung, Eckpunkte für ein integriertes Energie- und Klimaprogramm, August 2007, aus Kapitel 26: „Denn einerseits kann durch die Nutzung elektrischer Energie die Anzahl der einsetzbaren Primärenergien deutlich erweitert werden, wobei so auch der Zugriff auf das gesamte Spektrum der erneuerbaren Energien möglich wird. Andererseits ermöglicht der hohe Wirkungsgrad des Elektroantriebs auch die effiziente Nutzung der eingesetzten Energie... Daneben weisen Fahrzeuge mit elektrischem Antrieb vor Ort keine CO<sub>2</sub>- und Schadstoffemissionen (insbesondere Feinstaub und NO<sub>x</sub>) auf und verursachen geringere Lärm-Belastungen. Mit einer intelligenten Integration der zusätzlichen Stromnachfrage und der Speicherkapazität der Traktionsbatterien in das zukünftige Energiesystem kann zudem ein wichtiger Beitrag zur Verbesserung des Netzmanagements geleistet werden. Dies würde vor allem die Regelung der Netzstabilität bei einem wachsenden Anteil an fluktuierendem Strom aus erneuerbaren Energien vereinfachen und gleichzeitig Effizienzreserven nutzbar machen.“
- [6] Entschließung des Europäischen Parlaments vom 25. September 2007 zu dem Fahrplan für erneuerbare Energiequellen in Europa (2007/2090(INI))
- [7] Roland Berger Strategy Consultants, Powertrain 2020 – The future drives electric, Juni 2008
- [8] VDEW, Eigenerzeugungsanlagen am Niederspannungsnetz, 2001, mit VDN-Ergänzungen, Sept. 2005 (wird derzeit im VDE-FNN überarbeitet)
- [9] Witzmann, R., G. Kerber, Aufnahmefähigkeit der Verteilnetze für Strom aus Photovoltaik, ew Jg. 106 (2007), Heft 4, S. 50-54
- [10] Wietschel, M., Zur Wirtschaftlichkeit von Elektrofahrzeugen, Fraunhofer Institut System und Innovationsforschung, EWI-Workshop „Plug-in Hybrid Electric Vehicles“, Köln, 18. Juli 2008: Nach einer Grob-Kalkulation beträgt das CO<sub>2</sub>-Einsparpotenzial in Deutschland von PHEV ggü. Diesel-PKW schon heute über 30 %, von Elektrofahrzeugen etwa 40 %. Lärm, Stickoxide und andere Nicht-CO<sub>2</sub>-Umweltauswirkungen können auch in der Größenordnung von 1 ct/km Vorteil für die Elektromobilität ausmachen. PHEV-Mehrkosten für Batterie und komplexeren Antriebsstrang könnten bei ca. 5 ct/km liegen,

Zusatznutzen aus Teilnahme an Strommärkten, z.B. für Regel- und Ausgleichsenergie bei ca. 2 ct/km, und Netto-Energiekosteneinsparungen bei ca. 3-4 ct/km. Dies bestätigt die Abschätzungen aus [2], wonach eine Wirtschaftlichkeit für den Fahrzeughalter bei heutigen Öl- und Batteriepreisen bestenfalls mit Teilnahme an Regelenergie-, Ausgleichsenergie- und Strommärkten möglich scheint. Ca. 10 Mio. PKW könnten an den Märkten für Primär- und Sekundärregelleistung sowie Minutenreserve teilnehmen und damit unterschiedliche Deckungsbeiträge bis zu den erwähnten 2 ct/km erzielen (entspricht bei 15.000 km/a den auch in [2] erwähnten 300 €/a).

- [11] Electric Power Research Institute (EPRI) mit Natural Resources Defence Council (NRDC), „Environmental Assessment of Plug-In Hybrid Electric Vehicles“, Juli 2007: Für alle 9 untersuchten Szenarien der CO<sub>2</sub>-Intensität der US-amerikanischen Stromerzeugung und der Plug-in Hybridfahrzeugs-Marktanteile ergeben sich signifikante CO<sub>2</sub>-Einsparungen, bedingt großteils durch wesentliche Effizienzvorteile nicht nur beim Vergleich Batterie-bis-Rad zu Tank-bis-Rad, sondern auch beim Vergleich Primärenergie-zu-Kraftwerk-zu-Batterie-zu-Rad ggü. Ölförderung-zu-Tank-zu-Rad.
- [12] Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie, Plug-in Hybrids – Abschätzung des Potentials zur Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen im PKW-Verkehr bei verstärkter Nutzung von elektrischen Antrieben, 2007: Bei Nutzung von erneuerbarem Strom könnten 67 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub> eingespart werden; bei Nutzung des heutigen Strommixes 29 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub>. Der Kraftstoffbedarf im PKW-Sektor könnte auf 20 Mio. t Erdöl halbiert werden.
- [13] Kempton, W., V. Udo, K. Huber, K. Komara, S. Letendre, S. Baker, D. Brunner, N. Pearre, A Test of Vehicle-to-Grid (V2G) for Energy Storage and Frequency Regulation in the PJM System, Results from an Industry-University Research Partnership, August 2008, [www.magicconsortium.org](http://www.magicconsortium.org)
- [14] Electric Power Research Institute, 2009 Portfolio, Program 18 Electric Transportation, Palo Alto, 2008
- [15] Obwohl es noch viele verschiedene Definitionen für intelligente Netze gibt, ist mit diesem Begriff bezogen auf Verteilungsnetze u. a. ein starker Anstieg der Echtzeitinformationen beim Verteilungsnetzbetreiber über sein Netz gemeint, und damit einher gehend ein starker Anstieg seiner Steuerungsmöglichkeiten. Bezogen auf eine starke Zunahme des Informationsflusses zwischen Übertragungs- und Verteilungsnetzbetreibern ist ein Ziel ein Ersetzen des traditionellen Nachfahrens der Last durch eine technische Integration von Verbrauchern in die Gewährleistung der Netzstabilität (dena: Ankündigung Tagung Von Smart Grids zu Smart Systems, Nov. 2007). Siehe auch VDE, Smart distribution, 2008.
- [16] Coulomb Technologies, Plug-In Vehicles: Taking Charge of an Enabling Infrastructure, Campbell, CA, Juli 2008, sowie The ChargePoint™ Network: Changing the Way We Get Places, Juli 2008; V2Green Press Kit, Seattle, 2008
- [17] In einem 3-4-Personenhaushalt gibt es bisher nur wenige einzelne Geräte, deren Verbrauch evtl. ohne Komforteinbußen zeitlich steuerbar sein könnte, und die Energiemengen verbrauchen, die eine solche Steuerung angesichts ihrer Fixkosten lohnend erscheinen lassen. Waschmaschinen z. B. mit ca. 170 kWh/a scheinen aus beiden Gesichtspunkten wenig, Kühlschränke und Gefriergeräte mit früher 440 bzw. 600 kWh/a besser geeignet (Zahlen des Bayrischen Staatsministeriums für Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr und Technologie zu Elektrogeräten und Beleuchtung). Allerdings sind moderne Geräte deutlich energiesparender. Dagegen verliert selbst ein gut gedämmtes Einfamilienhaus ca. 9000 kWh/a an Wärme, so dass z. B. eine Heizung mit Stromwärmepumpen ca. 3000 kWh/a verbraucht. Ein Plug-in-Hybridfahrzeug verbraucht bei typischen 14.000 km/a Fahrleistung und 60 % elektrischem Fahren bei 0,16 kWh/km etwa 1300 kWh/a. Diese Verbraucher weisen also das 2- bis 4-fache Potenzial für Kosteneinsparungen aus zeitlich gesteuertem Verbrauch auf, und auch deutlich größeres Potenzial bzgl. zeitlicher Verschiebung des Verbrauchs ohne Komforteinbuße.
- [18] Sauer, D. U., Stand der Batterieforschung, EWI-Workshop “Plug-in Hybrid Electric Vehicles”, Köln, 18. Juli 2008
- [19] Schwill, J. P., Borggreffe, F., Scenarios for Plug-in Hybrids until 2030, EWI-Workshop “Plug-in Hybrid Electric Vehicles”, Köln, 18. Juli 2008
- [20] Smolka, T., Vehicles to Grid (V2G), EWI-Workshop “Plug-in Hybrid Electric Vehicles”, Köln, 18. Juli 2008