



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK

Bundesamt für Energie BFE

INTEGRATION VON PLUG-IN-HYBRID CARS ZUR FÖRDERUNG INTELLIGENTER VER- TEILNETZSTRUKTUREN

(VORSTUDIE)

SCHLUSSBERICHT 2007

Ausgearbeitet durch:

Robert Horbaty, ENCO Energie-Consulting AG, robert.horbaty@enco-ag.ch,

Reto Rigassi, ENCO Energie-Consulting AG, reto.rigassi@enco-ag.ch,

Wattwerkstrasse 1, CH-4416 Bubendorf, www.enco-ag.ch

Impressum

Datum: 9.11.2007

Im Auftrag des Bundesamt für Energie, Forschungsprogramm Netze

Mühlestrasse 4, CH-3063 Ittigen

Postadresse: CH-3003 Bern

www.bfe.admin.ch

Bezugsort der Publikation: www.energieforschung.ch

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen ist ausschliesslich der Autor dieses Berichts verantwortlich.

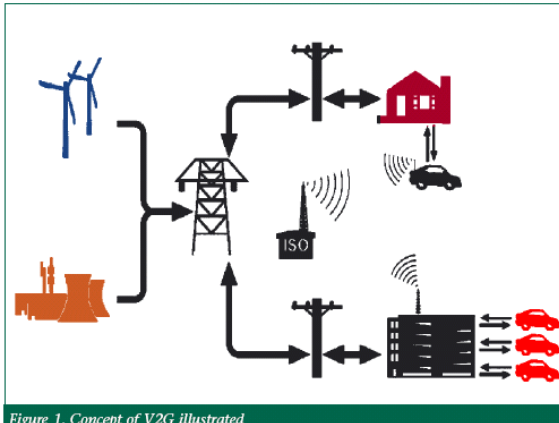
Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung	1
2	Résumé.....	3
3	Abstract.....	5
4	Ausgangslage	7
4.1	Individueller motorisierter Verkehr	7
4.2	Elektrizitätsversorgung mit erneuerbaren Energien.....	7
5	Ziel der Arbeit.....	8
5.1	Auftrag.....	8
5.2	Befragte Experten	8
6	Rahmenbedingungen.....	9
6.1	Netzregulierung	9
6.1.1	<i>Funktionsweise der Regelzone Schweiz</i>	<i>9</i>
6.1.2	<i>Funktionsweise der Bilanzgruppen.....</i>	<i>11</i>
6.1.3	<i>Regelenergie und die Schweiz</i>	<i>12</i>
6.2	Smart Grid	12
6.3	Kommunikationssysteme	13
6.3.1	<i>Tonfrequenz-Rundsteuerung.....</i>	<i>13</i>
6.3.2	<i>Funk-Rundsteuerung</i>	<i>13</i>
6.3.3	<i>GSM-Modul.....</i>	<i>13</i>
6.3.4	<i>Powerline Communication (PLC) "Internet aus der Steckdose"</i>	<i>14</i>
6.3.5	<i>ZigBee</i>	<i>14</i>
6.3.6	<i>digitalSTROM®.....</i>	<i>14</i>
6.3.7	<i>Bluetooth, W-LAN.....</i>	<i>15</i>
6.4	Individuelle autoMobilität in der Schweiz	15
7	Das Konzept „Plug-in-Hybrid“ oder Vehicle to Grid (V2G)	16
7.1	Übersicht	16
7.2	Fahrzeuge und Fahrzeugtechnologie der Plug-In-Hybrids	16
7.2.1	<i>Neuste Fahrzeuge, Studien und Konzepte.....</i>	<i>17</i>
7.3	Energiespeicherung, Batterien.....	18
7.3.1	<i>Tabellarische Marktübersicht.....</i>	<i>18</i>
7.3.2	<i>Leistungen der neusten Batterien.....</i>	<i>19</i>
7.3.3	<i>Batteriekapazität.....</i>	<i>20</i>
7.3.4	<i>Batterietechnologien.....</i>	<i>20</i>
7.4	Abschätzung Typischer Verbrauchswerte Plug-In-hybrid.....	22
7.4.1	<i>Typischer Lade- / Entladezyklus.....</i>	<i>22</i>
8	Potenzieller Nutzen.....	24
8.1	Energieverbrauch und CO2-Emissionen	24
8.2	Energiewirtschaftlich.....	25
8.2.1	<i>Leistungsvorhaltung in der EU.....</i>	<i>25</i>
8.2.2	<i>Regelenergie mit „Plug-In-Hybrids“ in der Schweiz.....</i>	<i>25</i>
8.2.3	<i>Energiefahrplan von Bilanzgruppen.....</i>	<i>26</i>
8.2.4	<i>Spitzenlastmanagement</i>	<i>27</i>
8.2.5	<i>CO2-Handel.....</i>	<i>27</i>
8.2.6	<i>Indirekte Vorteile.....</i>	<i>27</i>
8.3	Autofahrende	28
8.4	Neue Geschäftsmöglichkeiten und Kooperationen für EVU und Autoindustrie.....	28

9	Herausforderungen und Hemmnisse.....	29
9.1	Kapazität Regelenergie	29
9.2	Belastung Stromnetz.....	29
9.3	Infrastruktur für V2G-Konzept	30
9.4	Kompensation des zusätzlichen Stromverbrauchs	31
9.5	Marktakzeptanz.....	31
10	Erste Machbarkeitsabschätzungen.....	32
10.1	Generelle Analyse	32
10.2	SWOT-Analyse	32
11	Weiteres Vorgehen	33
11.1	Ziel	33
11.2	Vorgehen.....	33
11.2.1	Gründen eines Arbeitskreises V2G	33
11.2.2	Workshop mit wichtigen Akteuren	33
11.2.3	Internationales Seminar 2008.....	33
12	Anhang: Offene Fragen, Mögliche Forschungsinhalte	34
12.1	Generell.....	34
12.2	Netzregulierung.....	34
12.3	Fahrzeuge.....	34
12.4	Kommunikation	34
13	Anhang: Glossar	35
14	Anhang Rechentabellen	37
14.1	Vergleich Energieverbrauch und Emissionen	37
14.2	Berechnung der zusätzlichen Regelenergie	37
14.3	Wirtschaftlichkeit.....	37
15	Anhang: Referenzen	38
15.1	Literaturverzeichnis	38
15.1.1	Beispiele und Konzepte	38
15.1.2	Fahrzeugtechnologie	38
15.1.3	Forschung.....	38
15.1.4	Kommunikation	38
15.1.5	Batterien und Ladesysteme	38
15.1.6	Netzregulierung	38
15.1.7	Smart Grid	39
15.1.8	Wirtschaftlichkeit.....	39
15.2	Links	39
15.2.1	Allgemeines	39
15.2.2	Konzept.....	39
15.2.3	Netz-Speicherung.....	40
15.2.4	Fahrzeuge.....	40
15.2.5	Batterien	41
15.2.6	Kommunikationssysteme.....	41
15.3	Batteriehersteller.....	42
15.4	Darstellung des Zusammenwirkens der unterschiedlichen Regelungen des Stromnetzes	1

1 Zusammenfassung

Eine zukünftige Elektrizitätsversorgung könnte substantiell auch auf dezentral organisierten, erneuerbaren Energiequellen basieren. Da die Energielieferungen dieser Anlagen zum Teil schwierig plan- oder vorhersehbar sind, wird sich der **Bedarf an Regelernergie im Netz erhöhen**. Die vorliegende Studie legt dar, inwieweit Plug-In-Hybridfahrzeuge in der Lage sein könnten, die zur Regulierung des Stromnetzes notwendige Leistung bereit zu stellen.



Figur 1: Darstellung des in den USA als V2G („Electric Vehicle to Grid“) bezeichneten Konzeptes (ISO ist der Independent System Operator)¹

Kernelemente dieses auch als „**Vehicle to grid**“ oder „**V2G**“ bezeichneten Konzeptes sind

- Hybrid-Fahrzeuge, welche mit einer **grösseren Batterie** bzw. höheren Kapazitäten ausgestattet sind, damit sie auch im Elektrobetrieb das heisst emissionsfrei, grössere Strecken bewältigen können (mehr als 40 km gegenüber heute 2.5 km). Gleichzeitig verfügen sie über ein **reversibles Ladegerät** und können dadurch einerseits Energie aus dem Netz für die Fortbewegung beziehen und andererseits diese bei Bedarf als Regelernergie auch **wieder ins Netz abgeben**.
- **Infrastrukturen**, wie z.B. leistungsstarke Aussensteckdosen bzw. Ladestationen, um die Fahrzeuge sowohl zu Hause als auch am Arbeitsort ans Netz anschliessen zu können.
- Kommunikationseinrichtungen, um eine **sekundenschnelle Kommunikation** zwischen Energieversorger und Fahrzeugelektronik/Batterie zu ermöglichen und um die entsprechenden Leistungen auch gegenseitig zu beziehen bzw. verrechnen zu können.

Damit wird das Stromversorgungsnetz weiter in Richtung „**intelligente Netze**“ (Smart Grids) ausgebaut. Ähnlich der Suchmaschine „Google“, welche auf eigene Grossrechner verzichtet und weltweit dezentrale Serverfarmen mit mehr als 100.000 Rechnern betreibt, könnte eine Vielzahl von Fahrzeug(-batterien) zur Netzregulierung und Versorgungssicherheit beitragen.

Bereits heute stehen vielfältige Technologien zur „**Kommunikation**“ mit Hybridfahrzeugen zur Verfügung. Im Zusammenhang mit der für die Markttöffnung notwendigen Datenerfassung bei Stromkunden entstehen in Form von „**Smart Meters**“ neue Systeme, welche zusätzlich auch zur Steuerung der Leistung und der Energie von Fahrzeugbatterien eingesetzt werden können.

Fahrzeuge sind in absehbarer Zeit auf dem Markt verfügbar. **Neuste Studien der Automobilhersteller** machen deutlich, dass die Branche konzeptionell mit Fahrzeugen experimentiert, welche die Anforderungen bezüglich Gewicht, Sicherheit und Kosten für das hier beschriebene Szenario erfüllen können. Das **Fahrverhalten** der Schweizer Automobilisten mit nur wenigen Fahrten über 40 km korreliert sehr gut mit den Möglichkeiten von Plug-In-Hybridfahrzeugen. Im Gegensatz zu reinen Elektroautos besteht zudem immer die Möglichkeit, mit demselben Fahrzeug auch viel **grössere Distanzen** zurück zu legen – man ist immer noch auto-mobil!

¹ Grafik aus J. Tomic, W. Kempton, J. Power Sources (2007), doi:10.1016/j.jpowsour.2007.03.010

In den vergangenen Jahren wurden bei Batterien bezüglich **Leistungs- und Energiedichte** enorme Fortschritte erzielt. Der 80 kg schwere Lithium Akkumulator von Airenergy speichert mehr als 10 kWh, genügend Energie für 40 km elektrischen Betrieb eines Plug-In-Hybrid Fahrzeugs. Da Benzin mit 11.87 kWh rund **60 mal mehr Energie pro kg** speichert, als die beste Batterie mit 0.2 kWh/kg, bietet das Plug-In-Hybrid-Konzept einen optimalen Kompromiss zwischen reinem Elektroantrieb und dem konventionellen Benzin oder Dieselfahrzeug.

Die zur Zeit konzeptionell vorgesehenen **Produktdefinitionen** für Regelenergie und -leistung im Elektrizitätsmarkt Schweiz verunmöglichen es einzelnen Hybrid Fahrzeugen, direkt am Regelenergiemarkt teilzunehmen. Im Gegensatz dazu könnten die einzelnen **Bilanzgruppen** jedoch Interesse haben, die Ausgleichsenergie zur **Kompensation der Abweichungen** vom vor angekündigten Energiefahrplan auch mit Energie aus Batterien zu decken oder alternativ die abrufbare Leistung als **Paket** dem Übertragungsnetzbetreiber, welcher die Verantwortung für die Regulierung der Regelzone Schweiz hat, für die **Leistungsvorhaltung** anzubieten.

Die Verknüpfung der **effizienten Mobilität mit der Netzregulierung** könnte für die Interessengruppen aussichtsreiche Verbesserungen der ökonomischen und ökologischen Leistungen erbringen:

- Politik und Gesellschaft: **Verminderung des Verbrauchs fossiler Treibstoffe** und entsprechender CO₂- und anderer Schadstoffemissionen.
- Energieversorger: **Verringerung der Investitionen** und des Aufwandes (-> Grossanlagen), um den grösseren Bedarf an Regelenergie bereitzustellen. Gleichzeitig ermöglicht das Konzept **verstärkten Absatz von Elektrizität in Schwachlastzeiten** sowie die Nutzung und den Ausbau von eigenen Telekommunikationsstrukturen.
- Autofahrende: Fahrzeuge, die gerade in städtischen Agglomerationen emissionsfrei betrieben werden können und damit von zukünftigen **Einschränkungen** für konventionelle Fahrzeuge nicht betroffen sein werden.
- Auto-Hersteller: Qualitätssteigerung der Produkte und verbessertes Image. **Leasingangebote** für Plug-In-Fahrzeuge und deren Komponenten in Zusammenarbeit mit den Energieversorgern erschliessen neue Kunden.

Sowohl im Bereich der Ausgleichsenergie als auch in der Leistungsvorhaltung können mit Plug-In-Hybrid Fahrzeugen **energiewirtschaftlich interessante Dienstleistungen** erbracht werden. Bis hin zur Erzeugung von CO₂-Zertifikaten. Bei den aktuellen Rahmenbedingungen sind die Mehrkosten für ein Plug-In-Hybrid Fahrzeug über Netzregeldienstleistungen **bereits nach wenigen Jahren amortisiert**. Dies macht deren Einsatz auch für die Energieversorger interessant. Leasingangebote für Plug-In-Fahrzeuge und deren Komponenten erschliessen **neue Kunden und neue Geschäftsfelder**. **Nachteilig** wirkt sich aus, dass nach wie vor das ganze Stromversorgungssystem darauf ausgerichtet ist, dass die Elektrizität vom Hochspannungsnetz über das Mittel- bis ins Niederspannungsnetz zu den Kunden fliesst. Dass Kunden generell zu Produzenten werden und somit **auch Energie zurückliefern** ist für die Branche technisch wie auch politisch noch Neuland. Zudem nimmt der **Regulierungsbedarf** bei sehr dezentralen Systemen zu und benötigt flächendeckend eingesetzte **intelligente Steuerungs- und Kommunikationssysteme**.

Die vorliegende Studie zeigt auf der technischen Ebene bereits **ermutigende Resultate** bezüglich einer Machbarkeit des Konzepts. Ökonomisch könnten neue, **kompetente und finanzstarke Koalitionen** zwischen Mobilität und Energieversorgung entstehen. Erfahrungen bezüglich Erfolgsfaktoren solcher Kooperationen zeigen, dass die Risiken eines Misserfolgs erheblich sind. Weitere Abklärungen sollten sich frühzeitig auf die ökonomische und **marktwirtschaftliche Klärung der Machbarkeit** konzentrieren - unter Berücksichtigung der relevanten technischen offenen Fragen. Energieversorger, Autofahrer und Automobilhersteller sind im Markt die kritischen Akteure. Sie alle werden das Konzept nur verfolgen, wenn sich entsprechende Chancen auf Verbesserung der Lebensqualität (Autofahrende) und der Geschäftsmöglichkeiten (Automobilhersteller und Energieversorger) ergeben.

2 Résumé

Une grande partie de l'approvisionnement en électricité de l'avenir pourrait être basée sur les sources d'énergie renouvelables, organisées de manière décentralisée. Comme l'alimentation en énergie de ces installations est en partie difficile à planifier ou à prévoir, le **besoin en énergie de réglage dans le réseau va augmenter**. La présente étude expose dans quelle mesure les véhicules hybrides rechargeables pourraient être à même de fournir les performances nécessaires à la régulation du réseau électrique.

Les éléments clé de ce concept, aussi désigné comme « **Vehicle to grid** » ou « **V2G** », sont les suivants :

- Véhicules hybrides équipés **d'une batterie plus grande** ou de capacités plus élevées, donc capables de couvrir de plus longues distances (plus de 40 km contre 2,5 km aujourd'hui) même lorsqu'ils fonctionnent à l'électricité, c'est-à-dire sans émissions.
- Ces véhicules disposent également d'un chargeur de batteries réversible qui leur permet de tirer de l'électricité du réseau pour leurs déplacements, d'une part, et d'autre part **de la restituer au réseau** en cas de besoin en énergie de réglage.
- **Infrastructures**, par exemple prises extérieures performantes ou bornes de recharge électriques, permettant de brancher les véhicules au réseau aussi bien à la maison qu'au lieu de travail.
- Dispositifs de communication permettant **une communication à la fraction de seconde** entre le fournisseur d'énergie et l'électronique / la batterie du véhicule, et permettant de retirer ou de restituer l'électricité du/au réseau et de la comptabiliser.

Le réseau d'alimentation en électricité continue ainsi à se développer dans le sens des « **réseaux intelligents** » (Smart Grids). A l'instar du moteur de recherche « Google », qui renonce à ses propres gros ordinateurs pour exploiter des fermes de serveurs décentralisées dans le monde entier avec plus de 100'000 ordinateurs, une multitude de véhicules (batteries) pourrait contribuer à la régulation du réseau et à la sécurité de l'approvisionnement.

Il existe déjà aujourd'hui de multiples technologies servant à établir la « **communication** » avec les véhicules hybrides. La saisie des données chez les acheteurs d'électricité, nécessaire à l'ouverture du marché, a fait apparaître de nouveaux systèmes sous la forme de « **smart meters** »; ces systèmes sont aussi utilisables pour contrôler la performance et le niveau d'énergie des batteries des véhicules.

Les dernières études effectuées par les fabricants d'automobiles montrent clairement que la branche est à la recherche d'un nouveau concept de véhicule capable de remplir les exigences relatives au poids, à la sécurité et aux coûts pour le scénario décrit ici. La majorité des trajets des automobilistes suisses ne dépasse pas 40 km, comportement qui s'accorde très bien avec les possibilités des véhicules hybrides rechargeables. Contrairement aux véhicules purement électriques, on garde la possibilité de parcourir des distances beaucoup **plus longues** avec le même véhicule – et on reste auto-mobile !

La **performance** et la **densité énergétique** des batteries ont connu d'énormes progrès ces dernières années. L'accumulateur lithium d'Airenergy, d'un poids de 80 kg, est capable d'accumuler plus de 10 kWh, ce qui suffit à un véhicule hybride rechargeable pour parcourir 40 km en mode électrique. Comme la benzine accumule environ **60 fois plus d'énergie par kg** (soit 11.87 kWh/kg) que la batterie la plus performante (0.2 kWh/kg), le concept hybride rechargeable offre un compromis optimal entre le véhicule fonctionnant purement à l'électricité et le véhicule conventionnel à essence ou diesel.

L'**énergie de réglage** fournie par les véhicules hybrides rechargeables seuls **est trop insignifiante** pour la société nationale pour l'exploitation du réseau de transport, responsable de la régulation de toute la zone de réglage.

D'un autre côté, les différents **groupes de bilan** pourraient s'intéresser à aussi utiliser l'énergie des batteries pour **compenser les écarts** de l'horaire énergétique annoncé ; par ailleurs, la puissance disponible des différentes batteries de véhicules pourrait être cumulée et proposée en **paquet** à la société nationale pour l'exploitation du réseau de transport pour la **puissance de réserve**.

Une mobilité efficace associée à la régulation du courant améliorera les performances économiques et écologiques de manière marquante pour les groupes d'intérêt suivants :

- Politique et société : **réduction de la consommation en carburants fossiles** et des émissions correspondantes en CO₂ et autres polluants.
- Fournisseurs d'énergie : **réduction des investissements** et des dépenses (→ grandes installations) pour assurer le besoin accru en énergie de réglage. Ce concept permet en même temps de **renforcer la vente d'électricité en période de faible charge** et d'utiliser et de développer ses propres structures de télécommunication.
- Automobilistes: véhicules capables de fonctionner sans émissions directement dans les agglomérations urbaines, et qui ne seront donc pas concernés par les futures **limitations** s'appliquant aux véhicules conventionnels.
- Fabricants d'automobiles : amélioration de la qualité des produits et meilleure image. **Les offres de leasing** pour les véhicules rechargeables et leurs composants, en collaboration avec les fournisseurs d'énergie, convainquent de nouveaux clients.

Les véhicules hybrides rechargeables permettent d'apporter des **prestations de service intéressantes sur le plan de l'économie énergétique**, autant dans le domaine de l'énergie de compensation que pour la puissance de réserve - jusqu'à la production de certificats CO₂. Dans les conditions cadres actuelles, les surcoûts engendrés par l'achat de véhicules hybrides rechargeables **sont amortis déjà après peu d'années** grâce à l'électricité qu'ils fournissent pour la régulation du réseau ; cela rend aussi leur utilisation intéressante pour les fournisseurs d'énergie. Les offres de leasing pour les véhicules rechargeables et leurs composants convainquent **de nouveaux clients et de nouveaux domaines commerciaux**.

Par rapport au système d'alimentation en électricité, il est **défavorable** que la circulation du courant vers les clients se fasse toujours selon le schéma « réseau haute tension » - « réseau moyenne tension » - « réseau basse tension ». Le fait que les clients deviennent producteurs d'une manière générale et qu'ils **livrent donc aussi de l'énergie en retour** est encore une nouveauté technique et politique pour la branche. En plus, le **besoin de réglage** des systèmes très décentralisés augmente et nécessite des **systèmes de contrôle et de communication intelligents**, utilisés globalement.

Sur le plan technique, la présente étude montre déjà des **résultats encourageants** par rapport à la faisabilité du concept. Sur le plan économique, de nouvelles **coalitions compétentes et financièrement fortes** pourraient apparaître entre la mobilité et l'approvisionnement en énergie. Des expériences sur les facteurs de succès de telles coopérations montrent que les risques d'échec sont considérables et il faudrait effectuer assez tôt de nouvelles investigations pour en **déterminer la faisabilité au niveau de l'économie et de l'économie de marché** – en tenant compte des questions techniques importantes encore ouvertes. Fournisseurs d'énergie, automobilistes et fabricants d'automobiles sont les acteurs critiques de ce marché et ils ne poursuivront ce concept que s'ils y voient des chances d'amélioration de la qualité de vie.

3 Abstract

A future energy supply may be organized in a decentralized manner with a large amount of renewable energy sources. Due to the fact, that the energy supply of this facilities is partly difficult to plan and foresee, **the demand for regulating energy in the grid would rise**. This study explains to what extent plug-in-hybrid cars could be in the position to provide the needed services to regulate the power supply.

Core elements of the concept known as „**Vehicle to grid**“ or „**V2G**“ are:

- Hybrid-cars, which are equipped with a **larger battery** or higher capacities, so they can cover longer distances with electric, and therefore emission free, energy (more then 40 km compared to today's standards of 2.5 km).
- At the same time they dispose of a **reversible battery** charger and are thus able to draw energy from the grid for locomotion and on the other hand to feed it on demand **back to the electric grid** as regulating energy.
- **Infrastructure**, e.g. high-performance exterior sockets respectively charging stations, in order to be able to charge the vehicles at home as well at work.
- Communication facilities, as to be able to **communicate in a matter of seconds** between the energy supplier and the vehicle as well as to obtain and to account the according services.

Therewith, the power supply network could develop in a „**Smart Grids**“ direction. Similarly to the „Google“ search engine, which waives an own mainframe computer and globally manages decentralized server farms with more then 100.000 computers, a large number of vehicle batteries could contribute to grid regulation and to the security of supply.

Today there are already various technologies available to „**communicate**“ with hybrid vehicles. In connection with the opening of the electricity market, new systems have emerged in the form of „**Smart Meters**“, sophisticated data acquisition instruments for the individual client. These can additionally be used to regulate the load and energy flow of the vehicles' batteries.

Recent studies of automobile manufacturers make it clear that the industry conceptually experiments with vehicles, that meet the requirements regarding weight, safety and costs for the here described scenario. The **road behaviour** of Swiss motorists, which shows a sparse amount of longer then 40 km trips, correlates well with the possibilities of the plug-in-hybrid cars. In contrast to pure electro mobiles, there is always the possibility to cover longer distances with the same vehicle; one is still auto-mobile!

In the past years enormous progresses were achieved regarding efficiency and energy dense batteries. The 80 kg heavy lithium airenergy accumulator accumulates more then 10 kWh; this is enough energy for a 40 km trip on electricity only by a plug-in-hybrid car. Due to the fact that petrol accumulates **60 times more energy pro kg** than the best battery (11.87kWh/kg compared to 0.2 kWh/kg), the plug-in-hybrid concept offers an optimal compromise between the pure electrical vehicles and the conventional gasoline or diesel cars.

The **regulating energy**, offered by individual plug-in-hybrid vehicles, is **too insignificant** for the national Transmission System Operator; this entity has the responsibility to regulate the whole regulating zone of Switzerland. In contrast to this fact, the individual **balance groups** could have interest in covering the deviations off the effective energy flow from their previously established energy schedule with energy from hybrid-car batteries. Additionally, they could **bundle** the available power and energy of the individual vehicle batteries in order to make **substantial** offers for grid-support services to the national Transmission System Operator.

Thanks to the combination of the **efficient mobility with grid regulation services**, a striking improvement for various stakeholders on economical and ecological performance will take place:

- Politics and Society: **Decrease of fossil fuel consumption** and the corresponding CO₂- and other harmful emissions.
- Energy Suppliers: **Reduction of investments** and efforts for grid regulating services. At the same time the concept allows **increased electricity sales during weak load hours** as well as the usage and expansion of their own telecommunication structures.
- Motorists: Vehicles that can be used emission free in urban agglomerations and may not be touched by future **restrictions** for conventional cars.
- Car Manufacturers: Increase in quality of their products and improvement of their image. **Leasing offers** in cooperating with energy suppliers for plug-in-cars and their components may create new customers.

From the energy industry's point of view, plug-in-hybrid cars could open interesting services for grid regulation; and go as far as creating CO₂ certificates. Under the current framework, the additional costs of a plug-in-hybrid car are **paid off in a few years** by selling corresponding services. This makes their employment also interesting for energy suppliers. Leasing offers for plug-in-cars and their components reach **new clients and new business fields**.

Disadvantageous aspects includes, that the whole power supply system today functions by making electricity flow from high tension grid over the middle - to the low tension grid and to the end consumers. The idea, that clients becomes also producers and are feeding energy back to the grid, is technically and politically still very new and requires further research activities. Additionally, **regulating requirements** rise with highly decentralized systems, which also need extensively applied, **intelligent control and communication systems**.

The study at hand shows on a technical level already existing, **encouraging results** regarding the feasibility of the concept. Economically, new **components and financial coalitions** could emerge between mobility and energy supply. Experiences from such cooperation's show that failure risks are significant. Further concerns should concentrate on the early economical and **market efficiency of the feasibility**; taking into consideration the relevant still open technical questions. Energy suppliers, motorists, car manufacturers are in the market the critical players. They will only follow the concept if relevant chances for improving life quality (motorists) and business possibilities (car manufacturers and energy suppliers) emerge.

4 Ausgangslage

4.1 INDIVIDUELLER MOTORISierter VERKEHR

Das individuelle Mobilitätsbedürfnis wird heute zu einem wesentlichen Teil mit Automobilen gedeckt, die mit Benzin, Diesel oder Gas betrieben, für einen Grossteil der CO₂-Emissionen verantwortlich sind. Der Wirkungsgrad liegt dabei bei unter 20%. Ein jederzeit nach individuellen Bedürfnissen ausgestattetes Fahrzeug zur Verfügung zu haben und eine optimale Versorgungsstruktur mit Treibstoffen machen den Erfolg dieser Mobilitätsform aus. Schwindende Energieressourcen, klimatische Veränderungen und deren unabsehbare Folgen erfordern eine massive Energieeffizienzsteigerung auch im Mobilitätsbereich.

Hybrid- und Elektrofahrzeuge benötigen wesentlich weniger Energie. Elektrofahrzeuge fahren vor Ort emissionsfrei aber sie haben sich bis heute aufgrund ihrer meist beschränkten Reichweite, den mangelnden Lademöglichkeiten und der langen Ladezeit nur einen kleinen Nischenmarkt erobert. Wie die Erfolgsgeschichte des Toyota Prius zeigt, führt die intelligente Verknüpfung eines elektrischen mit einem fossil betriebenen Fahrzeugantrieb (Hybrid) zu einer deutlich höheren Akzeptanz am Markt. Der Anteil Elektrizität an der Antriebsenergie ist heute noch relativ klein, so dass beispielsweise der Toyota Prius nur ca. 2.5 km weit rein elektrisch das heisst emissionsfrei fährt und dies mit einer Geschwindigkeit von weniger als 45 km/h. Es wird in der Automobilindustrie daran gearbeitet, die Batterieleistung zu vergrössern, damit den elektrischen Betrieb zu verlängern und so die Umweltleistung (gerade in Agglomerationen) zu verbessern.

4.2 ELEKTRIZITÄTSVERSORGUNG MIT ERNEUERBAREN ENERGIEN

Die Elektrizitätsversorgung beruht auf einer Vielzahl von unterschiedlich grossen Produktionsanlagen, welche über Netze miteinander verbunden sind. Mit einem hoch entwickelten Regelungssystem wird sichergestellt, dass die Leistung und die Energielieferung jederzeit der Nachfrage entspricht. Eine Elektrizitätsversorgung, welche einen hohen Anteil an erneuerbaren Energiequellen mit unregelmässig anfallender und schwierig vorhersehbarer Energieproduktion aufweist, hat einen höheren Bedarf an Regelenergie. Der Bau von entsprechenden Regelkraftwerken, wie z.B. Pumpspeicherwerken, ist aber aufwendig und politisch oft umstritten.

Um eine optimale Netzauslastung zu gewährleisten können Energieversorger bereits heute über Signale auf dem Stromnetz bei Konsumenten Geräte wie z.B. Elektroboiler zu- oder abschalten. Über moderne Kommunikationsmittel können die Stromnetze zu eigentlichen intelligenten Verteilnetzstrukturen ausgebaut werden, mit einer Vielzahl von Möglichkeiten zur Steuerung von Verbrauchern und dezentralen Produzenten.



Figur 2: Hybridfahrzeug Toyota Prius an einer Stromtankstelle des Elektromobil Clubs der Schweiz, heute noch ohne „Plug-In“-Optionen.

5 Ziel der Arbeit

5.1 AUFTRAG

Mit der vorliegenden Studie soll abgeklärt werden inwiefern die beiden Systeme Plug-In-Hybrid und Regelenergie in der Energieversorgung zusammengeführt werden können:

Die Firma ENCO Energie-Consulting AG wurde vom Bundesamt für Energie beauftragt, im Rahmen einer Vorstudie² folgende Aktivitäten durchzuführen:

- Detaillierter Beschrieb des Konzeptes „Plug-In-Hybrid“ und Regelenergie
 - Desk Research
 - Befragung von Schweizer Experten
 - Darstellung bisheriger und geplanter Forschungsaktivitäten
- Überlegungen zum Potential und zur Sinnhaftigkeit
 - Darstellung des energiewirtschaftlichen Nutzens sowie der energetischen Bilanz des Ansatzes
 - Darstellung der für die Netze relevanten Implikationen
- Insbesondere werden auch die unterschiedlichen Szenarien verglichen:
 - Konventionell
 - Einsatz von Hybrid-Fahrzeugen
 - Einsatz von Plug-In-Hybridfahrzeuge
- Beurteilung der technischen Realisierbarkeit, Validierung dieses Ansatzes durch Experten
- Definition von konkreten Forschungsinhalten zur weiteren Umsetzung des Konzeptes

5.2 BEFRAGTE EXPERTEN

Im Rahmen der vorliegenden Studie wurden folgende Gespräche geführt:

- Anton Bucher, Verein Schweizerische Elektrizitätswerke VSE, Public Affairs
- Philippe Cauderay, Toyota Schweiz, Product Managment und Salesplanning
- Thilo Krause, Bereichsleiter Energieforschungsprogramm „Netze“ beim BFE
- Jürg Nipkow, ARENA, Fachmann für Effizienz bei Elektrogeräten
- Jean-Michel Notz, Verein Schweizerische Elektrizitätswerke VSE, Bereich Netzwirtschaft
- Martin Pulver, Bereichsleiter Energieforschungsprogramm „Verkehr, Batterien, Supercaps“ beim BFE
- Ralph Schnyder, Dreifels, Entwickler des Twike
- Pierre Strub, Berater für nachhaltige Entwicklung und Mobilität, Organisator von Rallye 21
- Thomas Tarnowski, Swissgrid, Netztechnik, Betrieb
- Helfried Max Ursin, Kraftwerke Oberhasli AG, Assistent Geschäftsleitung
- Susanne Wegmann, Geschäftsleiterin E'mobile

Ihnen allen an dieser Stelle bestens gedankt!

² Integration von Plug-In-Hybrid Cars zur Förderung intelligenter Verteilnetzstrukturen (Vorstudie), Auftrag an ENCO AG, Bubendorf, Nr. 152'789.

6 Rahmenbedingungen

6.1 NETZREGULIERUNG

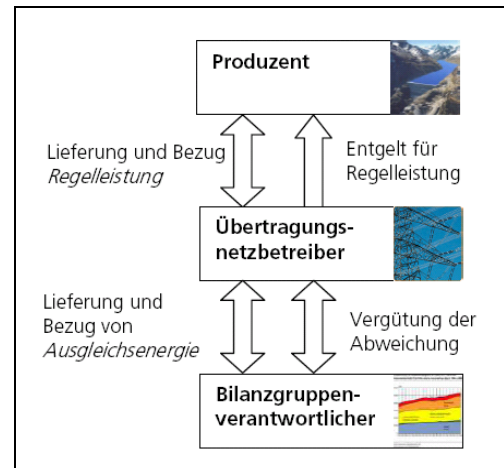
Zum heutigen Zeitpunkt besteht in der Schweiz noch kein eigentlicher Regelenenergiemarkt. Systemdienstleistungen werden vertraglich geregelt und abgerechnet. Die folgenden Ausführungen stellen die Netzregulierung dar, wie sie aufgrund der Marktöffnung – vorgegeben durch das neue Stromversorgungsgesetz StromVG - konzeptionell angedacht, bzw. bereits in Umsetzung ist. Generell muss unterschieden werden in:

Übertragungsnetzbetreiber, Regelzone Schweiz

Stellt die technische Netzstabilität sicher, trägt die Verantwortung für das Gleichgewicht von Ein- und Auspeisungen im Stromnetz auf der Basis der Fahrpläne der Bilanzgruppen und der effektiven Netzbelastung; Beschafft die Regelleistung - und -energie bei Produzenten und Bilanzgruppen.

Bilanzgruppen

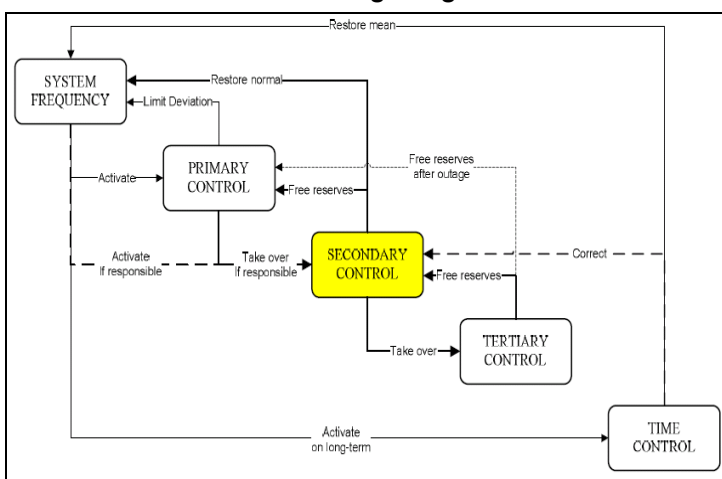
In einer Bilanzgruppe werden verschiedene Marktteilnehmer wie Erzeuger, Lieferanten und Kunden zu einer virtuellen Gruppe zusammengefasst, innerhalb derer ein Ausgleich zwischen Aufbringung und Abgabe von elektrischer Energie stattfindet. Sie bezieht oder liefert Ausgleichsenergie an den Übertragungsnetzbetreiber



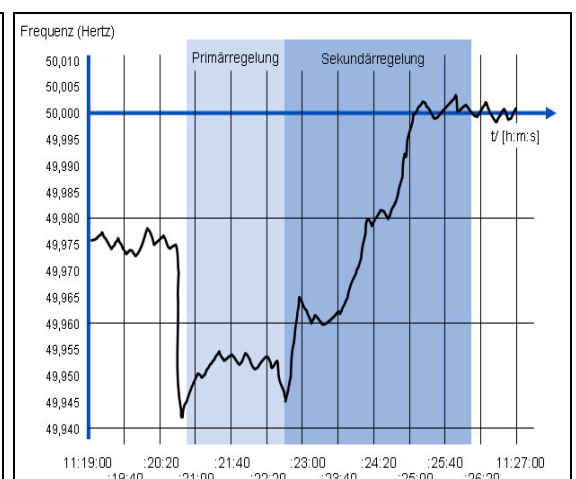
Figur 3: Übersicht über das Zusammenwirken im zukünftigen Regelenenergiemarkt [27]

6.1.1 Funktionsweise der Regelzone Schweiz

Unvorhergesehene Schwankungen zwischen der Einspeisung und Entnahme des Stroms im Netz werden ausgeglichen, indem die Lieferanten mit der so genannten **Regelenenergie** kurzfristig Kraftwerksleistung erhöhen oder senken. Diese Reserven halten auch die **Netzfrequenz** innerhalb eines bestimmten Bandes konstant, was von den angeschlossenen Verbrauchern und Generatoren abhängig ist. Es wird zwischen den Regelenenergiearten **Primärregelleistung**, **Sekundärregelleistung** und Minutenreserve oder **Tertiärregelung** unterschieden.



Figur 4: Schematische Darstellung des Zusammenwirkens der Netzregulierung, Quelle [21]



Figur 5: Darstellung der Regelung des Stromnetzes, Quelle RWE³

³ <http://www.rwetransportnetzstrom.com/generator.aspx/netzwelt/regelung-netze/primarregelung,-sekundaerregelung,-minutenreserve/language=de/id=270746/primarregelung,-sekundaerregelung,-minutenreserve.html>

Die Regelenergiearten unterscheiden sich hinsichtlich ihrer **Aktivierungs- und Änderungsgeschwindigkeit**. Primärregelung stabilisiert die Netzfrequenz innert Sekunden mittels Anpassung der Leistung der Turbinen über einen automatischen Controller. Sekundärregelung ersetzt oder unterstützt die Primärregelung nach einigen Minuten bei zu grossen unerwarteten Schwankungen der Frequenz oder der Leistung innerhalb einer definierten Regelzone. Tertiärregelung wird manuell zugeschaltet, wenn die Primär- und Sekundärregelung nicht ausreichend sind, bzw. damit die für die Primär- und Sekundärregelung benötigten Kapazitäten wieder frei werden. Siehe auch Darstellung im **Kapitel 15.4**.

Netzregulierung	<i>Beginn Bereitstellung</i>	<i>Volle Verfügbarkeit</i>	<i>Maximale Dauer</i>	<i>Resultat</i>	<i>Massnahmen</i>
Primär	sofort	≤ 30 sec.	≤ 15 min.	Stabilisierung der Frequenz	Automatische Lastregulierung an definierten Primärregelungsgeneratoren (Automatisches Zu- oder Abschalten von Lasten) ⁴
Sekundär	≤ 30 sec.	≤ 15 min.	So lange wie nötig	Erhöhung oder Reduktion der Frequenz auf Nennwert von 50 Hz	Automatisches hoch- oder runterfahren von kurzfristig verfügbaren Kraftwerkskapazitäten (oder Lasten) ⁴ innerhalb einer Regelzone
Tertiär	Anpassung der Frequenz, falls Primär- und Sekundärregelung ungenügend Freigabe der Kapazitäten zur Primär- und Sekundärregelung			Stabilisierung der Frequenz auf Nennwert Kompensation des Wegfalls des grössten Kraftwerksblockes in der Regelzone	Manuelles Zu- oder Abschalten von Kraftwerkskapazitäten

Tabelle 1: Übersicht über unterschiedliche Netzregulierungen [23]

Die Organisation europäischer Übertragungsnetzbetreiber UCTE schreibt jährlich jeder Regelzone vor, wie viel Primärregelleistung vorzuhalten ist. Im Jahr 2008 sind dies für die Regelzone Schweiz 70 MW.

Für die Bereitstellung von Sekundär- oder Tertiärregelung besteht keine Auflage, dafür ist der Übertragungsnetzbetreiber selbst verantwortlich. Er schreibt die benötigte Reserveleistung und -energie aus und beschafft diese zu Wettbewerbsbedingungen, das heisst zu kostenorientierten, marktbestimmten Preisen. Das Ausschreibungsverfahren öffnet allen Anbietern diesen Markt, wenn sie den technischen Mindestanforderungen zur Bereitstellung von Regelleistung genügen. Bei der Primärregelleistung wird jedoch lediglich die vorgehaltene Leistung ausgeschrieben, ohne Abgeltung für die Energie. [27].

In der Schweiz ist angedacht, dass

- die Primär- und Sekundärregulierungsdienstleistungen für jeweils eine Dauer von 2 Monaten ausgeschrieben werden.
- die Leistungsvorhaltung im Bereich Primärregelung in Paketen von mindestens 3 MW ausgeschrieben werden.
- die Anbieter von Regelleistung die kontinuierliche Bereitstellung über Messwerte belegen müssen.

Nachfolgend eine Übersicht über die Situation in Deutschland mit offenen (Regel-)Energiamärkten:

⁴ In der Schweiz werden Lasten nicht zur Primär- und Sekundärregelung beigezogen

Netzregulierung	Art des Marktes	Art der Entschädigung	Preis	Preise ⁵
Primär (nur Leistung)	Ausschreibungs- verfahren alle 6 Monate	Verfügbarkeit (€/MW/6 Monate)	Preis wie angeboten („pay-as bid“) für den Zeitraum 01.06.2007 - 30.11.2007	Mittlerer Leistungspreis: 63 € / kW für 6 Monate
Sekundär (Energie und Leistung)	Ausschreibungs- verfahren alle 6 Monate	Für <u>Erhöhung</u> : - Verfügbarkeit (€/MW) - Nutzung (+ €/MWh) Für <u>Verminderung</u> : - Verfügbarkeit (€/MW) - Nutzung (- €/MWh)	Preis wie angeboten („pay-as bid“) für den Zeitraum 01.06.2007 - 30.11.2007	Mittlerer Leistungspreis: 51 € / kW für 6 Monate Mittlerer Energiepreis: 8.5 € Cents / kWh
Tertiär (Energie und Leistung) (Minutenreserve)	Ausschreibungs- verfahren täglich	Für <u>Erhöhung</u> : - Verfügbarkeit (€/MW) - Nutzung (+ €/MWh) Für <u>Verminderung</u> : - Verfügbarkeit (€/MW) - Nutzung (- €/MWh)	Preis wie angeboten („pay-as bid“) Mittelwerte im Nov. 2006	Für <u>Erhöhung</u> : - 9 € Cents / kW - 90 € Cents / kWh

Tabelle 2: Charakteristik des Regelenenergiemarktes in Deutschland Quelle [24]

6.1.2 Funktionsweise der Bilanzgruppen

Die einzelnen Bilanzgruppen (Lieferanten oder Endverbraucher) sind nicht für die technische Frequenzhaltung verantwortlich, sondern tragen das kommerzielle Risiko, wenn sie Abweichungen zum Fahrplan verursachen. Sie erstellen auf der Basis von Informationen ihrer Produzenten bzw. ihrer Kunden einen „Energiefahrplan“, welcher den Bezug, bzw. die Abgabe von Energie 24 Stunden im Voraus definiert. Diese Informationen werden an den Übertragungsnetzbetreiber weitergeleitet. Abweichungen müssen mittels Bezug oder Abgabe von Ausgleichsenergie gedeckt werden – entweder von anderen Bilanzgruppen oder vom Übertragungsnetzbetreiber. Solche Abweichungen vom Energiefahrplan sind möglich aufgrund,

- Veränderten Aussentemperaturen, Sonneneinstrahlung, etc.
 - zusätzliche oder weniger Last bei Elektroheizungen, Wärmepumpen, Aircondition, etc.
 - zusätzliche oder weniger Energieproduktion aus WKK-Anlagen
- Abweichungen von den Lastgangprognosen bei den Kunden
- Unvorhergesehene Niederschläge
 - zusätzliche Energie aus Wasserkraft
- Sonneneinstrahlung, Windgeschwindigkeiten
 - Erzeugung aus Sonnen- und Windenergie

Die Ausgleichsenergie zur Kompensation der Abweichungen von dem vor angekündigten Energiefahrplan werden meist auf der Basis der Spotmarktpreise an der EEX entschädigt. Die Ausgleichsenergie ist somit relativ teuer. Dadurch haben die Bilanzgruppen ein hohes Interesse, dass

- deren Endverbraucher ihren Bedarf möglichst genau prognostizieren,
- die Produzenten die verkaufte Energie tatsächlich auch liefern und
- der Energiefahrplan mit Systemdienstleistungen **innerhalb der Bilanzgruppe** sicher gestellt wird.

Um möglichst genaue Lastgangprognosen erstellen zu können werden bei der ersten Stufe der Marktöffnung alle Kunden mit einem Verbrauch > 100'000 kWh mit Lastgangmessungen ausgerüstet. Inwieweit entsprechende Datenerfassung in fünf Jahren für alle Kunden notwendig sein wird, oder ob mit typischen Lastgangprofilen gearbeitet werden kann, ist noch offen.

⁵<http://www.rwetransportnetstrom.com/generator.aspx/netznutzung/regelenergie/marktplatz/language=de/id=75498/marktplatz-page.html>

Dieses „Smart Metering“ ermöglicht vielfältige Möglichkeiten zur Lastgangsteuerung und zum effizienten Einsatz von Elektrogeräten bei den Kunden und wird zu einem Technologieschub im Bereich der Kommunikation und Datenerfassung über das Stromnetz führen – was auch im Kontext von **V2G** neuen Ansätzen interessant ist.

Die Bilanzgruppe kann bei einem geschickten Management ihrer Produktion und ihres Verbrauchs selbst Ausgleichenergie an andere Bilanzgruppen liefern.

6.1.3 Regelenergie und die Schweiz

Heute wird unter anderem mit folgenden Massnahmen die Regelkapazität im Netz erhöht:

- Optimierung und Neubau von Pumpspeicherkraftwerken
- Regeln von dezentralen Anlagen, wie Wind etc. bis zum Abstellen
- Einsatz von Nachtspeicherheizungen und Boilern
- Einsatz von Rundsteuerungen

Speicherkraftwerke gehören zusammen mit den Pumpspeicherkraftwerken und den Gasturbinen ohne Wärmekoppelung zu den schnell regulierbaren Kraftwerken. Die Schweiz weist im europäischen Vergleich einen grossen Anteil von schnell regulierbaren Kraftwerken auf, die sich hervorragend für die Deckung von Spitzenlast und die Bereitstellung von Regel- / Ausgleichsenergie eignen. [25]

Die Studie erwartet bis ins Jahr 2040 einen Anstieg der installierten Windenergieleistung in Europa von, 10 GW im Jahr 2000, auf 65 GW (Minimalszenario) bzw. 115 GW (Maximalszenario). Das ergibt einen signifikanten Anstieg der durch die Übertragungsnetzbetreiber vorzuhaltenden Regelleistung. Durch den Ausbau der Windenergie steigt der Bedarf an Sekundär- und Tertiärregelleistung im Zeitverlauf kontinuierlich von 20 GW im Jahr 2000 auf 28 GW (Minimalszenario) bis 50 GW (Maximalszenario) im Jahr 2040. Im Zusammenhang mit der in der Studie verfolgten Fragestellung wurde festgehalten, dass die Analyse des Einsatzes von Schweizer Speicher- und Pumpspeicherkraftwerken gezeigt hat, dass deren Energie gut regulierbar ist und daher nicht nur über den Markt für Fahrplanenergie, sondern auch auf den **entstehenden Märkten für Regelenergie** vertrieben werden könnte.

Fazit:

Die von einzelnen Plug-in-Hybrid Fahrzeugen angebotenen Systemdienstleistungen im Bereich der Regelenergie sind für den Übertragungsnetzbetreiber aufgrund der kleinen Mengen nicht interessant. Im Gegensatz dazu könnte der Bilanzgruppenverantwortliche jedoch Interesse haben, die Ausgleichsenergie zur Kompensation der Abweichungen vom vor angekündigten Energiefahrplan auch mit Energie aus Batterien zu decken und darüber hinaus die abrufbare Leistung aus den einzelnen Fahrzeugbatterien zu bündeln und als Paket dem Übertragungsnetzbetreiber für die Leistungsvorhaltung anzubieten.

6.2 SMART GRID

Im Kapitel 5 „Energy“ des 7. EU-Forschungsprogramms werden „Smart Energy Networks“ oder „Interactiv Distribution Energy Networks“ folgendermassen definiert:

- Transformation des bestehenden Stromnetzes in ein elastisches und interaktives (Versorger/Kunde) „Dienstleistungs-Versorgungsnetz“.
- Integration eines hohen Anteils an erneuerbaren Energien und dezentraler Energieversorgung (WKK, Mikroturbinen, Brennstoffzellen).
- Ressourcen- und kosteneffizientes Zusammenwirken von Energieproduktion und Kundennachfrage
- Einsatz von IT für effizientes Energiemanagement bis auf Haushaltsebene

Im Kontext der Netzregulierung stehen durch „Smart Grid“ weitere Möglichkeiten offen:

- „Smart Metering“
 - Online-Erfassung der Energieflüsse bei Kunden (Bezug- und Abgabe) zur detaillierten Lastüberwachung und –Verrechnung.
- Neuste IT-Technologie
 - Anlagen und Geräte sind mit Mikroprozessoren ausgerüstet
 - (Fast) jeder Betrieb und jede Familie hat Internet-Anschluss
 - Automatisierte „real time“ Verbrauchserfassung
- Intelligentes Management zur Lastverlagerung
 - Regelbare Lasten, z.B. Kühlen, WW Boiler, Waschmaschine, Tiefkühler, Aircondition, etc.
 - Verbraucher als Energiespeicher
 - Akku im Computer,
 - Batterie im Auto
- Unterschiedliche Stromtarife
 - Je nach Beitrag zur Netzregulierung

6.3 KOMMUNIKATIONSSYSTEME

Die Entwicklung der Stromversorgung in Richtung „Smart-Grid“ benötigt anspruchsvolle Kommunikationssysteme. System zur Ansteuerung einzelner Stromverbraucher sind auch im Zusammenhang mit V2G sehr interessant:

- Sollen die Batterien von Elektro- oder Plug-In-Hybrid-Fahrzeugen zur Regelenergie des Stromnetzes verwendet werden, so ist die unmittelbare Kommunikation des EVU mit dem Bordcomputer der Fahrzeuge ein wichtiges Element.
- Wichtiger Hinweis ist, dass viele EVU bereits heute auch im Telekommunikationsmarkt aktiv sind und Datenleitungen zu ihren Kunden besitzen.

6.3.1 Tonfrequenz-Rundsteuerung

Die Tonfrequenz-Rundsteuerung ist eine ausgereifte und kostengünstige Technik zur Tarif- und Laststeuerung, wie z.B. Einschaltung von Elektroboilern. Sie decken einen breiten Einsatzbereich ab: von der einfachen Relais-Fernschaltung bis zum individuell parametrierbaren Empfänger für aktive Marketingstrategien in liberalisierten Märkten

6.3.2 Funk-Rundsteuerung

Die Funk-Rundsteuerung ist eine interessante Alternative zur bewährten Tonfrequenz-Steuerung. Der Investitionsbedarf ist vergleichsweise gering, die Betriebskosten sind niedrig. Der Betrieb ist zudem unabhängig vom Versorgungsnetz möglich – gerade in liberalisierten Märkten ein entscheidender Vorteil. Die Funk-Rundsteuerung benutzt eine Langwellenfrequenz und sendet die Signale simultan an alle Empfänger. Die Anwender erzeugen die Kommandos individuell und übertragen diese auf den ERP-Zentralrechner (Enterprise Resource Planning). Langwellensender versorgen die Empfänger im Umkreis von ca. 500 km zuverlässig mit Steuersignalen.

6.3.3 GSM-Modul

Jedes der diskutierten Fahrzeuge besitzt einen Mikrocontroller, welcher GSM Signale empfangen kann, z.B. SMS. Diese Technologie wird bei „Mobility“ breit eingesetzt, die Zentrale und das Fahrzeug „kommunizieren“ miteinander über ein Handy, z.B. Freigabe des Fahrzeuges, Verlängerung der Reservierung, gefahrene Kilometer, etc.

Der Netzregulator (und natürlich auch der Besitzer des Fahrzeuges) hätte im Falle von V2G jederzeit die Möglichkeit, über den aktuellen Ladezustand der Batterie und somit über die Regelmöglichkeiten Informationen zu beziehen und auch Schaltvorgänge auszulösen, entweder automatisch oder manuell.



Figur 6: Bordcomputer der Mobility-Fahrzeuge auf der Basis des GSM Netzes für Handys.

6.3.4 Powerline Communication (PLC) "Internet aus der Steckdose"

Bei der Powerline Communication nutzt man das herkömmliche 50 Hz-Stromversorgungsnetz mittels der Übertragung zusätzlicher hoch frequenter Signale für eine Datenkommunikation, z.B. für den Internetzugang. Auf diese Weise kann das ohnehin vorhandene Leitungsnetz kostengünstig für solche Zwecke mitbenutzt werden, ohne neue Datenleitungen verlegen zu müssen. Bei der Powerline Communication muss man unterscheiden, ob diese für eine rein hausinterne Datenkommunikation verwendet wird (Inhome-PLC), oder zur Anbindung an ein externes Datennetz.

Bei der Powerline-Technologie zur Anbindung an externe Datennetze gibt es je nach Hersteller verschiedene Verfahren, die jedoch alle nach demselben Grundprinzip arbeiten:

In einer Trafostation oder einem Gebietsverteiler des Stromversorgers sitzt eine Geräteeinheit, welche die von einem "normalen" Kommunikationsnetz (wie etwa einer Glasfaserleitung) kommenden Datensignale auf einen Hochfrequenzträger moduliert und diesen der Stromversorgungsleitung hinzufügt. Beim Teilnehmer wiederum sitzt z.B. beim Zählerkasten ein Gegenstück, welches von der Stromversorgungsleitung diesen Hochfrequenzträger herausfiltert, weiterverarbeitet und die Datensignale in eine hauseigene Datenleitung einspeist. Als maximale Entfernung zwischen diesen beiden Geräten kann man etwa 500 Meter annehmen.

Bei der Inhome-Nutzung von PLC werden die entsprechenden Geräte wie ein Modem statt an die Telefonleitung an die Steckdose angeschlossen, um z.B. einen Internetzugang oder die Signale einer Alarmanlage im ganzen Haus zu verteilen. Es können Entfernungen bis zu 100 Metern überbrückt werden, wobei viele Steckdosen oder Verzweigungen die Reichweite verkürzen.

6.3.5 ZigBee

ZigBee ist ein offener Funknetz-Standard, welcher es ermöglicht Haushaltsgeräte, Sensoren, uvm. auf Kurzstrecken (10 - 100 m) zu verbinden. Es ist ebenfalls der Einsatz batterieloser, wartungsfreier Funkschalter und Funksensoren in schwer zugänglichen Bereichen vorgesehen, wo der regelmässige Austausch von Batterien nur mit grossem Aufwand möglich wäre.

6.3.6 digitalSTROM®

Dies ist der neue Standard für elektrische Intelligenz, welcher grundsätzlich auch auf dem „Powerline“-Prinzip basiert: Strom und Information über die existierende Stromleitung. digitalSTROM.org ist eine Non-Profit-Organisation, die am 7.7.2007 an der Eidgenössisch Technischen Hochschule (ETH) Zürich gegründet wurde.

Ziel der digitalSTROM® Allianz ist es, jeden Haushalt mit intelligenten elektrischen Geräten auszustatten. Was bis heute unter der Bezeichnung 'smart home' ein Luxusprodukt ist, soll künftig in jedem Haushalt möglich sein. Im Zweckbau will die digitalSTROM® Allianz die Vernetzung von Geräten im Gebäudebestand vorantreiben und so Komfort und Funktion auch in Altbauten verbessern.

digitalSTROM.org wird mit der Markteinführung der digitalSTROM® Technologie jedermann offen stehen, seien es Produkthersteller, Planer, Installateure, Betreiber, Anwender oder Interessenorganisationen.

6.3.7 Bluetooth, W-LAN

Eingeführte Kommunikationsplattformen zur Übermittlung von Daten im Bereich von 1 – 50 m.

Fazit:

Bereits heute stehen vielfältige Technologien zur „Kommunikation“ mit Hybridfahrzeuge zur Verfügung. Im Zusammenhang mit der für die Markttöffnung notwendigen Datenerfassung bei Stromkunden entstehen in Form von „Smart Meters“ neue Systeme, welche zusätzlich auch zur Steuerung der Leistung und der Energie von Fahrzeugbatterien eingesetzt werden können.

6.4 INDIVIDUELLE AUTOMOBILITÄT IN DER SCHWEIZ

Nachfolgend werden die Eckwerte der individuellen Mobilität in der Schweiz aufgeführt:

- Im Jahre 2006 waren 3.9 Mio. Personenwagen immatrikuliert.
- Im Jahre 2006 wurden 270'000 neue Automobile immatrikuliert.
- Heute verkehren erst einige Tausend Hybrid- oder Elektrofahrzeuge auf den Schweizer Strassen.
- Eine Online Befragung der Zeitschrift „20 Minuten“ vom 02.11.2007 zeigt überraschenderweise, dass 28%, der Befragten beim nächsten Fahrzeugkauf auf Hybrid-Antrieb setzen wollen.
- Die Automobilhersteller sind nach eigenen Angaben aber sehr zurückhaltend mit dem Angebot von Fahrzeugen mit einem Stromstecker, der Kunde habe Mühe mit der Tatsache, dass das Auto eben nicht mehr „auto-mobil“ sei.
- Im Jahre 2005 wurden pro Automobil 12'580 km zurückgelegt. Die mittlere Distanz / Fahrt betrug dabei 26 km. 30% der Autofahrten sind nicht länger als 3 km, 45% nicht länger als 5 km. Die mittlere Geschwindigkeit für Automobile betrug 39 km/h [33]
- Der mittlere Energieverbrauch im Jahre 2005 betrug 8,07 l/100 km.[34] Im Jahresmittel also 1'015 Liter Benzin oder Diesel / Auto.
- CO₂-Emission 2005 für Personenwagen, Lieferwagen und Motorräder total 11.38 Mio. t, das heisst pro Personenwagen ca. 2.5 t und Jahr = ca. 200 g/km [35]

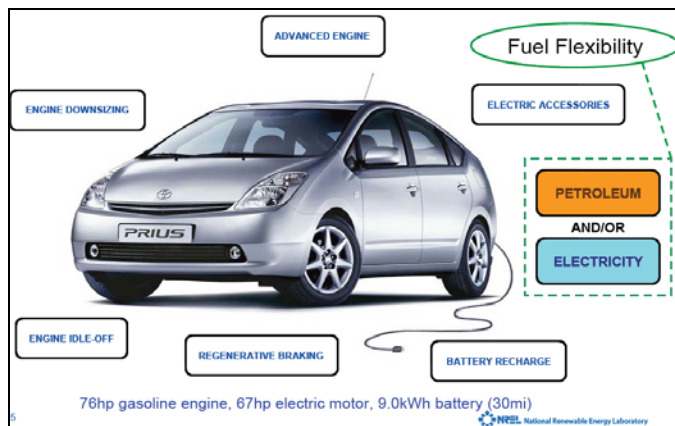
Fazit:

Das Fahrverhalten der Schweizer Automobilisten korreliert bezüglich Fahrdistanzen sehr gut mit den Möglichkeiten von Plug-In-Hybridfahrzeugen. Im Gegensatz zu reinen Elektromobilen besteht immer die Möglichkeit, mit demselben Fahrzeug auch viel grössere Distanzen zurück zu legen – man ist immer noch unabhängig.

7 Das Konzept „Plug-in-Hybrid“ oder Vehicle to Grid (V2G)

7.1 ÜBERSICHT

Im Kontext von „intelligenten Stromnetzen“ (oder „Smart Grids“ mit „Smart Metering“) könnte Regelleistung nicht nur durch Grosskraftwerke sondern auch durch eine **Vielzahl kleiner Speicher** sichergestellt werden, beispielsweise aus Batterien von am Stromnetz aufladbaren Benzin-/Elektroautos (Plug-in-Hybrids). Die **Batterien dieser Hybridfahrzeuge** könnten zusätzlich mit (überschüssigem) Strom aus erneuerbaren Energien geladen werden. Dadurch würde Benzin mit erneuerbaren Energien substituiert, welche anderweitig nicht oder nur schwer genutzt werden können. (z.B. starkes Windaufkommen in Schwachlastzeit).



Figur 7: Modelle, wie dieser in den USA erhältliche Toyota Prius, welcher von der Fa. EDrive system für ca. \$ 10'000.- „elektrifiziert“ wird, haben bereits eine stark erhöhte Batteriekapazität von 9 kWh und können an der Steckdose aufgeladen werden.

Mark Duvall vom Energieforschungsinstitut EPRI in Palo Alto meint dazu:

„Ein Internet fähiges Fahrzeug und ein vernetztes (bidirektionales) Ladegerät sind eine notwendige Voraussetzung“... „Wenn man weiss, wo sich wie viele Fahrzeuge gerade aufhalten, ist Vehicle to Grid (oder V2G) eine sehr elegante Lösung, um Reservekapazitäten direkt dort zuzuschalten, wo sie gerade benötigt werden.“ Telematik und GPS in immer mehr Fahrzeugen erlauben es theoretisch, einzelne Fahrzeuge mit wenigen Millisekunden Verzögerung anzusprechen. Eine Software im Auto und im Ladegerät sorgt dann dafür, dass Strom nur bis zu einem vorher festgelegten Grenzwert entnommen wird, sodass genügend Energie für die Fahrt nach Hause oder zum Arbeitsort bleibt. [5]

Fahrzeuge für die individuelle Mobilität **sind die meiste Zeit stationär**, sofern die entsprechende Ausrüstung vorhanden ist, könnten diese Elektrofahrzeuge (oder „Plug-in-Hybrids“) zur Speicherung / Regelung von unregelmässig anfallender Elektrizität im Stromnetz dienen.

Gesteuert über einen Kommunikationskanal kann die Leistungselektronik des Fahrzeuges **mit sofortiger Wirkung** auf Signale des Netzbetreibers reagieren und Leistung und Energie wie gefordert entweder liefern oder aufnehmen. Das Energiesystem von Elektrofahrzeugen oder „Plug-In-Hybrids“ ist dazu konstruiert, während dem Betrieb des Fahrzeuges auf **plötzliche, starke Schwankungen der Nachfrage zu reagieren**. Somit bieten Elektromobile interessante Möglichkeiten für die Bereitstellung von Systemdienstleistungen für Regelleistung.

7.2 FAHRZEUGE UND FAHRZEUGTECHNOLOGIE DER PLUG-IN-HYBRIDS

Wesentliche Merkmale eines „Plug-In-Hybrids“:

- Zwei Antriebssysteme (elektrisch und fossil) arbeiten entweder **parallel** auf dieselbe Antriebsachse wie z.B. beim Toyota Prius oder wie beim Renault Kangoo électrique RE dient der Benzinmotor nur zum Laden der Batterie, der Antrieb ist rein elektrisch, ein sogenannter **serieller** Hybridantrieb.

- Generell beinhalten Hybrid-Fahrzeuge zusätzlich optimierte Fahrzeugtechnologie wie Rekuperation der Bremsenergie, Motorabstellen bei Stopps, etc.
- Das Fahrzeug ist immer fahrtauglich, im Falle von fehlenden Lademöglichkeiten für die Batterie kann es mit fossilen Treibstoffen betrieben werden.
- Im Gegensatz zum reinen Hybridfahrzeug besitzt ein „Plug-In-Hybrid“ eine grosse Batteriekapazität, (10 – 15 kWh) welche typischerweise erlaubt, 40% einer Fahrstrecke rein elektrisch zurück zu legen.
- Dadurch resultieren ein sehr tiefer Energieverbrauch und geringe Schadstoffemissionen
- Innerstädtisch kann rein elektrisch gefahren werden
- Zusammen mit der eingebauten Batterie beinhalten alle „Plug-In-Hybrids“ die für die Netzstromerzeugung und Energiespeicherung notwendigen Hauptkomponenten wie Ladegerät und Leistungselektronik.
- Für die Bereitstellung von Regelenergie ist jedoch ein zusätzliches Ladegerät, welches reversibel betrieben werden kann, notwendig.

7.2.1 Neuste Fahrzeuge, Studien und Konzepte

Fahrzeugtyp	Reichweite gesamt / elektrisch	Fossiler Antrieb	Elektrischer Antrieb	Batterie Kapazität	Markteinführung
Renault Kangoo électrique	200 km/100 km	Zweizylinder-Benzinmotor mit 16 kW Leistung, seriell	25 kW	Nickel.-Cadmium SAFT: 12 kWh,	Aktuell nicht mehr käuflich
Up-grade Toyota Prius durch EDrive	ca. 900 km/48 km, falls $v < 54$ km/h	1,5-Liter Benzinmotor mit 56 kW parallel	44 kW	Lithium-ion Battery system 9 kWh	Erhältlich in den USA
Toyota Prius Plug-in-Hybrid	ca. 900 km/13 km	1,5-Liter Benzinmotor mit 56 kW	44 kW	Nickel-Metall-Hydrid, tot 2.6 kWh	Strassentests laufen in Japan.
GM Opel Flextreame	715 km/55 km	parallel 1.3-Liter Turbodiesel, seriell , Tank mit 27 Liter Inhalt	123 kW	Lithium-Ionen Nanophosphat 16 kWh	Seriöse Studie Erwartete Emissionen: 40 g CO ₂ /km
Toyota 1 / X Plug-in-Hybrid	= 3.8 l / 100 km Platz für 4 Personen, Gesamtgewicht 420 kg, 0.5 Liter Benzinmotor, Konzept vorgestellt an Motor Show 3. Oktober 07				

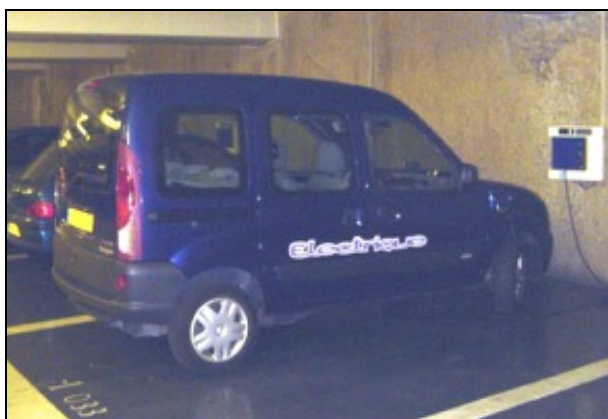
Tabelle 3: Kenndaten von Plug-in-Hybrid-Fahrzeugen



Figur 8: Studie des GM Opel Flextreame



Figur 9: Studie des Toyota 1 / X Plug-in-Hybrid



Figur 10: Der Renault Kangoo électrique, aktuell nicht mehr auf dem Markt



Figur 11: Am 25. Juli 2007 hat Toyota die „Plug-In“-Version ihres Prius vorgestellt

Ein weiteres interessantes Produkte in der Erprobungsphase ist Cleannova, eine Hybridfahrzeug auf der Plattform des Renault Kangoo, hergestellt durch die Groupe Dassault in Frankreich

Fazit:

Fahrzeuge sind in absehbarer Zeit auf dem Markt verfügbar. Neuste Studien der Automobilhersteller machen deutlich, dass die Branche konzeptionell mit Fahrzeugen experimentiert, welche die Anforderungen bezüglich Gewicht, Sicherheit und Kosten für das hier beschriebene Szenario erfüllen können. Die erhöhte Unabhängigkeit aufgrund des nach wie vor vorhandenen Benzinantriebes geben dem Plug-in-Hybrid Fahrzeug den Vorzug gegenüber dem Elektromobil. Das Zurücklegen von grösseren Distanzen ist ohne Nachladen möglich und kleinere Batterien mit tieferem Gewicht sorgen ebenfalls für effizientere Fahrzeuge und bieten einen höheren Komfort. Da Benzin rund 60 mal mehr Energie pro kg speichert als die beste Batterie, bietet das Plug-In-Hybrid-Konzept einen optimalen Kompromiss zwischen reinem Elektroantrieb und dem konventionellen Benzin oder Dieselfahrzeug.

7.3 ENERGIESPEICHERUNG, BATTERIEN

Nebst dem Fahrzeugantrieb ist die Fahrzeugbatterie das kritischste Element im hier vorgestellten Konzept.

7.3.1 Tabellarische Marktübersicht

Hier eine tabellarische Übersicht über aktuell erhältliche neuste Batterietypen und -konzepte, welche in Fahrzeugen eingesetzt werden. (ohne Anspruch auf Vollständigkeit)

Hersteller	Typ	Aufbau	Gewicht	Batterie Kapazität	Energie / Gewicht
Toyota, Japan Für Toyota Prius	Nickel-Metallhydrid-Akkumulator	228 in Serie geschaltete 1.2 V Zellen mit je 6.5 Ah	53.3 kg	1750 Wh (jedoch begrenzt auf 40% Entladung)	32.8 Wh / kg
MES DEA S.A. Stabio Schweiz	ZEBRA Batterien, Salz und Nickel für die Elektrode und keramische	278 V mit 64 Ah Batterie hat Betriebstemperatur von 300° C	195 kg	17'800 Wh	91 Wh / kg
Valencia Technology, USA, Up-grade Toyota Prius durch EDrive	Elektrolyten Lithium-Ionen-Akkumulator	???	68 kg	9'000 Wh	132 Wh/kg
Airenergy, Aachen, Deutschland Für CityEl	Lithium Akkumulator	14 in Serie geschaltete 3.8 V Zellen mit je 200 Ah	80 kg	10'640 Wh	133 Wh / kg

Tabelle 4: Übersicht über Batterien neuester Bauart

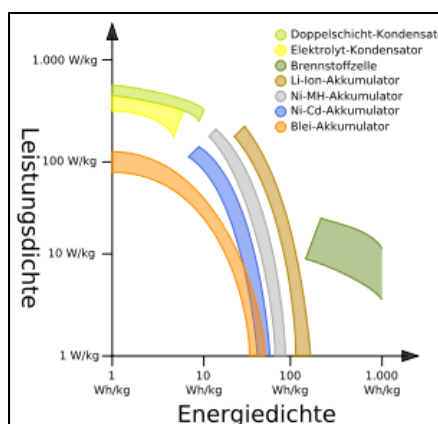
7.3.2 Leistungen der neusten Batterien

Für portable Elektronikgeräte sind Lithium-Ionen-Batterien heute das Mass aller Dinge. Nun setzen sie - dank dem Trend zu Hybrid- und Elektromobilen - auch zur Eroberung des Automarkts an. Mit verbesserten Materialien könnte ein langfristiger Erfolg möglich werden.

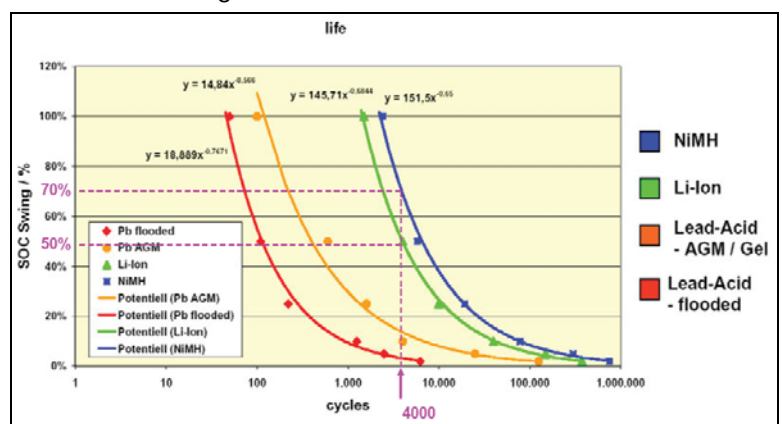
Generell versucht man, in der Batterie eine möglichst hohe gespeicherte Energie pro Volumen und pro Masse zu erreichen. Die meisten Experten halten hier eine Verdoppelung in der nächsten Dekade für machbar.⁶

In den Jahren 1997 bis 2004 halbierte sich sowohl der Preis als auch das Gewicht von Metall-Hybrid Batterien. Es wird davon ausgegangen, dass die Kosten von Metall-Hybrid-Batterien oder Lithium-innen-Batterien - mit einer "elektrischen" Reichweite von 32 km und einer Lebensdauer von 15 Jahren (oder 240'000 km) - bereits in naher Zukunft von heute \$10'000 auf \$3'000 sinken werden.[13]

Untenstehende Grafik 17 zeigt die Energiedichte (Wh/kg) von Batterien unterschiedlicher Bauart im Bezug zur Leistungsdichte (W/kg). In Grafik 18 ist dargestellt, welche Entwicklungsziele die Batterieindustrie mit den neuen Litium-Ionen Batterien verfolgt.



Figur 12: Leistungs- und Energiedichte unterschiedlicher Stromspeichersysteme (Quelle Wikipedia)



Figur 13: Lebensdauer, bzw. maximale Lade-/Entladezyklen unterschiedlicher Batterietypen in Abhängigkeit des jeweiligen Ladezustandes (State of Charge SOC), 4000 - 5000 Zyklen entsprechen ca. 15 Betriebsjahre, Quelle [11]



Figur 14: Einbringen der Zebra-Batterie in eine Mercedes A-Class „Elektro“, 30 kWh Energie, 370 kg



Figur 15: Batterie eines umgerüsteten Toyota Prius 5 kWh Energie, 72.5 Kg

⁶ http://services.web.psi.ch/aktuell/clippings/2007/11_02.pdf

7.3.3 Batteriekapazität

Ein wesentliches Kriterium für den Einsatz von Fahrzeugbatterien zur Regulierung des Stromnetzes ist die kurzfristig abrufbare Leistung und Energie aus der Batterie. In **Figur 16** wird deutlich, dass bei einer vollen Batterie max. 40 kW während 15 min. bezogen werden können, oder bei einer halbvollen Batterie 6 kW während 60 min. Dies unterstreicht die Wichtigkeit der Dimensionierung des Stromanschlusses bei einem Hausanschluss.

TABLE 1 POTENTIAL POWER OUTPUT FROM PHEV (kW): STATE OF CHARGE (SOC) vs. DURATION OF DISPATCH (MINUTES)				
	Duration of Dispatch (minutes)			
SOC	15	30	45	60
100%	40	20	13	10
90%	36	18	12	9
80%	32	16	11	8
70%	28	14	9	7
60%	24	12	8	6
50%	20	10	7	6
40%	16	8	5	4
30%	12	6	4	3
20%	8	4	3	2
10%	4	2	1	1

Figur 16: Dauer der Entladung einer Batterie mit 10 kWh Kapazität im Bezug auf die aktuelle Ladekapazität und die Entladeleistung, Quelle [8]

7.3.4 Batterietechnologien

Nickel/Cadmium (NiCd) und Nickel/Metallhydrid (NiMH) Batterien

Bei den Traktionsbatterien für Elektroautos wurden bei den meisten Anbietern (z.B. Citroen, Peugeot, Renault, Twike) NiCd eingesetzt. Bei den Hybridfahrzeugen (Toyota, Honda) stehen NiMH Batterien im Vordergrund, mit einem Energie/Gewichtsverhältnis von 30 – 40 Wh/kg, einer Lebensdauer von 1000 – 3000 Zyklen und 4 – 7 Jahren. NiMH Batterien sind zwar mit Energie/Gewicht von bis 70 Wh/g erhältlich, aber erreichen dann nur die Hälfte der Lebensdauer der NiCd Batterien bei etwa gleichen Kosten von rund 1'000.- SFr/kWh.

Natrium-Nickel Chlorid Batterien (NaNiCl) (ZEBRA) Batterien

Die ZEBRA Batterie erreicht 80 – 100 Wh/kg und wird in verschiedenen Elektroautos in Kleinserien eingesetzt. Sie funktioniert bei 300 °C und hat durch den Wärmeverlust eine Standbyleistung von ca. 1.2 kWh/Tag. Es gibt nur einen Hersteller für dieses System (MES dea, Stabio, Schweiz). Die Lebensdauer wird mit bis zu 10 Jahren angegeben, die Kosten mit ca. 1'000.- SFr/kWh.

Lithium Batterien

Die meisten Fahrzeughersteller setzen für die Zukunft auf Lithium basierende Systeme, da dort ein Energie/Gewichtsverhältnis von bis zu 200 Wh/kg möglich ist und diese Batterien sich im Consumermarkt als Standard bereits etabliert haben. Lithium ist als Salz in Salzseen und in Gesteinsschichten gut verfügbar und relativ günstig. Daher ist auch ein Einsatz in grossen Serienanwendungen möglich. Der folgende Teil enthält eine Zusammenstellung, welche Lithium-Zellentypen heute hergestellt werden.

LiCoO₂ Zellen (Lithium Cobalt Oxid)

Die meistverbreitete Zelle wird allgemein als Li-Ion Batterie bezeichnet. Aus Sicherheitsgründen wird sie nur in Zellenkonfigurationen von maximal 4 Zellen und Kapazitäten von 2 bis 4 Ah eingesetzt in Laptops und anderen portablen Geräten.

LiMn₂O₄ Zellen (Lithium-Mangan-Oxide)

Die Lithium Mangan Oxid Zelle ist ähnlich, aber etwas günstiger und sicherer als die LiCoO₂ Zelle und löst diese als Nachfolger inzwischen ab. Mangan Akkus müssen bei genau 50% der Leistung gelagert werden, ansonsten lebt so ein Akku nur einige Monate. In E-Bikes (Flyer) werden diese Akkus in Grössen bis 0.5 kWh in Serien eingesetzt, in Autos erst als Prototypen.

Li-Polymer Zellen

Diese Zellen unterscheiden sich von den anderen Li-Ion Batterien dadurch, dass sie kein festes Gehäuse haben. Es wird dabei sowohl LiCoO_2 als auch LiMn_2O_4 Chemie verwendet.

Li-Eisenphosphat Zellen (LiFePO_4)

Die Zelle ist sehr ähnlich wie die anderen Lithiumzellen, hat jedoch weniger Energie pro Gewicht (100 Wh/kg) ist aber dafür viel sicherer gegen den gefürchteten „Thermal Runaway“ (Explosion) und chemisch stabiler (hohe Lebensdauer). Dies sind die Voraussetzungen für den Einsatz in grösseren Energiespeichern, wo die Sicherheit und die Lebensdauer entscheidend sind. Die Zellenspannung ist mit 3.2 V etwas tiefer als bei den LiCo Zelle.

Die Zellen sind robuster gegen Tiefentladung und Überladung, sodass das Batteriemanagement bei grossen Batterien wesentlich einfacher und damit günstiger ist. Die ersten Lieferanten bieten diese Zellen seit Mitte 2007 an.

Nanophosphate™ Lithium (A123)

Die Nanophosphat Zelle wird von der Firma A123Systems Inc. entwickelt und produziert. Sie hat ähnliche Eigenschaften wie die LiFePO_4 Zelle (3.3 V Spannung, 100 Wh/kg) und ist für sehr hohe Belastungen bei grosser Lebensdauer geeignet. Bisher sind nur Musterzellen mit 2.3 Ah erhältlich. Grössere Zellen sind in Entwicklung.

Sicherheitsaspekte von Lithium-Ionen Batterien

Aus den USA kam Mitte 2007 die Meldung, Toyota werde die Lithium-Ionen-Batterie für die nächste Generation seiner Hybrid-Fahrzeuge nicht wie geplant zwischen 2008 und 2010 einführen, sondern frühestens 2011. Als Begründung nannte das „Wall Street Journal“ in seinem Bericht die Gefahr einer Überhitzung und letztlich einer Explosion der Batterie.

Während Lithium-Ionen-Batterien in Mobiltelefonen, Notebooks oder Camcordern schon lange nichts Besonderes mehr sind, scheiterte ihr Einsatz als grosse Energiespeicher, etwa in Hybrid-Autos oder im Bereich der regenerativen Energien, an nicht gewährleisteten Sicherheitsanforderungen: Wenn die betreffenden Batterien überladen werden, können die bislang verwendeten Kunststoffseparatoren, deren Aufgabe es ist, Kathode und Anode zu trennen, so stark überhitzen, dass sie schmelzen und einen Kurzschluss auslösen.

Dieser nimmt in der Regel einen explosionsartigen Verlauf und kann zu einem Brand führen.

Batterieseparatoren aus Kunststoff sind nämlich zum einen brennbar und verlieren zum anderen ihre Stabilität oberhalb 140 °C.⁷

Mit Verfahren wie den Einsatz von keramischen Materialien, kann man dieses Risiko vermeiden:

Fazit:

In den vergangenen Jahren wurden bei Batterien bezüglich **Leistungs- und Energiedichte** enorme Fortschritte erzielt. Der 80 kg schwere Lithium Akkumulator von Airenergy speichert mehr als 10 kWh, genügend Energie für 40 km elektrischen Betrieb eines Plug-In-Hybrid Fahrzeuges. Trotzdem speichert Benzin mit 11.87 kWh rund **60 mal mehr Energie pro kg** als die beste Batterie mit 0.2 kWh/kg!

⁷ <http://www.all4engineers.com/index.php?do=show/sid=gww/site=ut/lng=de/id=6977/alloc=93>

7.4 ABSCHÄTZUNG TYPISCHER VERBRAUCHSWERTE PLUG-IN-HYBRID

In Tabelle 5 sind mittlere Kennwerte für einen Plug-In-Hybrid Einsatz in der Schweiz aufgeführt. Diese Werte werden auch zur Berechnung der Wirkungen im vorliegenden Szenario verwendet:

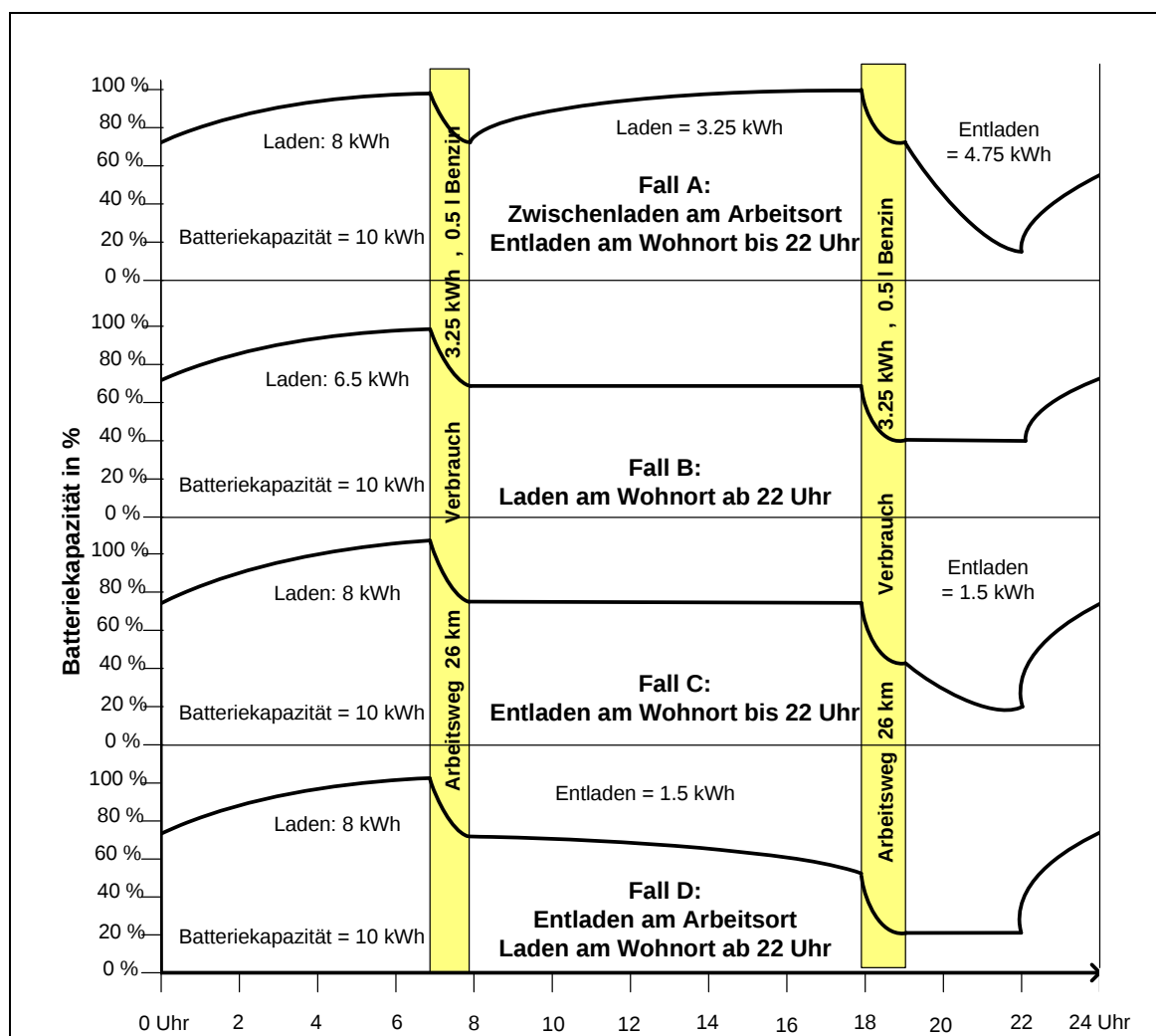
Max. Ladekapazität	Angenommene durchschnittliche Fahrleistung	Anteil welcher elektrisch gedeckt wird	Spez. Verbrauch elektrisch	Elektrischer Verbrauch ab Netz, inkl. Ladeverlust	Ladedauer, inkl. Verluste	Max. Ladeleistung
10 kWh	26 km / Tag	50%	0.25 kWh / km	3.25 kWh	2 Std.	2 kW

Tabelle 5: Typischer Verbrauch / Fahrzeug und Ladezyklus⁸

7.4.1 Typischer Lade- / Entladezyklus

In **Figur 17** sind unterschiedliche Lade-/Entladezyklen dargestellt für einen typischen Hybrid-Betrieb:

- Batteriekapazität = 10 kWh, max. 80% Entladung, Werte berücksichtigen den Ladewirkungsgrad der Batterien.
- Arbeitsweg 26 km, davon 50% elektrisch (3.25 kWh Strom und 0.5 l Benzin)



Figur 17: Unterschiedliche Lade-, bzw. Entladezyklen eines Plug-In-Hybrid-Fahrzeuges im Kontext mit Regeldienstleistungen für das Stromnetz

⁸ <http://www.ferc.gov/about/com-mem/wellinghoff/5-24-07-electric-hybrid-wellinghoff.pdf>

Im **Fall A** wird die Batterie am Arbeitsplatz mit 3.25 kWh wieder aufgeladen, dadurch stehen zwischen 19 Uhr und 22 Uhr zusätzliche 4.75 kWh Regelenergie zur Verfügung. Ab 22 Uhr wird die Batterie mit 8 kWh wieder aufgeladen.

Fall B zeigt einen reinen Hybridbetrieb, für die Batterieladung werden ab 22 Uhr 6.5 kWh benötigt.

Im **Fall C** besteht keine Lademöglichkeit am Arbeitsort, hier stehen zwischen 19 Uhr und 22 Uhr noch 1.5 kWh zur Verfügung. Ab 22 Uhr wird die Batterie mit 8 kWh wieder aufgeladen.

Fall D beschreibt die Situation mit Entlademöglichkeiten am Arbeitsort. Für Regelenergie zwischen 8 Uhr und 18 Uhr stehen hier 1.5 kWh zur Verfügung. Dadurch steht aber abends zwischen 19 Uhr und 22 Uhr keine Regelenergie mehr zur Verfügung. Ab 22 Uhr wird die Batterie mit 8 kWh wieder aufgeladen.

Selbstverständlich sind weitere Betriebsverhalten denkbar, insbesondere durch Lade-, bzw. Entladung am Arbeitsplatz. Ebenfalls wird die gegebenenfalls kurzzeitig zur Primär-, bzw. Sekundärregelung benötigte Energie das Lastprofil beeinflussen.

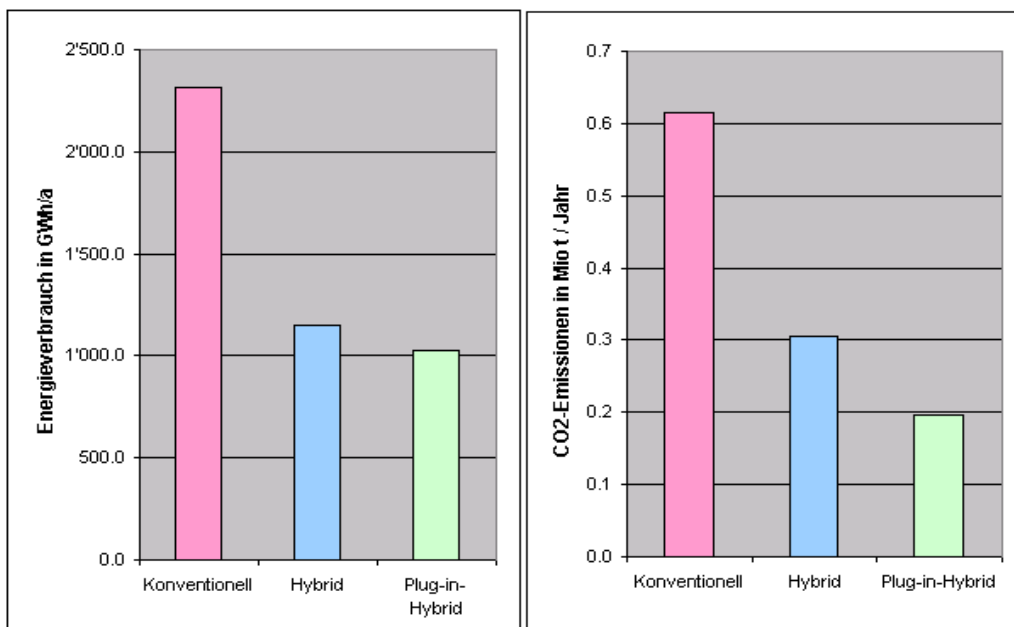
8 Potenzieller Nutzen

8.1 ENERGIEVERBRAUCH UND CO2-EMISSIONEN

Im Jahre 2006 wurden 270'000 Auto in der Schweiz und FL neu immatrikuliert. Nachfolgend wird dargestellt, wie sich die unterschiedlichen Konzepte auf den Energieverbrauch und die CO₂-Emissionen all dieser Fahrzeuge auswirken würden:

(Die detaillierten Berechnungen sind im **Anhang 14** aufgeführt)

- Der Ersatz von benzin- und dieselbetriebenen Fahrzeugen mit **Hybridfahrzeugen** führt zu einer Reduktion des Energieverbrauchs von 50% und der CO₂-Emissionen ebenfalls um 50%.
- Der Ersatz von benzin- und dieselbetriebenen Fahrzeugen mit **Plug-In-Hybrids** führt zu einer Reduktion des Energieverbrauchs um 56% und der CO₂-Emissionen von 68%.
- Würden alle im Jahre 2006 neu immatrikulierten PW als Plug-in-Hybrid eingesetzt, führt dies beim obigen Vergleich zu einer Erhöhung des Stromverbrauchs um 0.34 TWh (oder 0.6 % vom Gesamtverbrauch von 57,8 TWh)



Figur 18: Emissionen und Energieverbrauch der unterschiedlichen Konzepte.

Annahmen für obige Auswertungen:

- Alle im Jahre 2006 neu immatrikulierten Personenwagen (CH+FL), 270'000, werden entweder konventionell betrieben, als Hybrid oder als Plug-In-Hybrid.
- Mittlerer Verbrauch von Treibstoff aller neu immatrikulierten Personenwagen = 7.67 l/100 km
- Mittlerer Verbrauch von Benzin bei Hybrid- und Plug-In-Hybrid-Fahrzeugen : 3.8l/100km
- Mittlere Fahrdistanz = 26 km
- Anteil der Energie aus Elektrizität bei den Plug-In-Hybrid-Fahrzeugen = 40 %
- Deckung des zusätzlichen Stromverbrauchs mit Elektrizität mit Importstrom aus UCTE-Ländern (41.72 t CO₂ / GWh) [26]

8.2 ENERGIEWIRTSCHAFTLICH

8.2.1 Leistungsvorhaltung in der EU

Dr. Michel Vandenberg, ISET, Uni Kassel⁹ schätzt das Potential von Plug-in-Hybrid Fahrzeugen wie folgt ein:

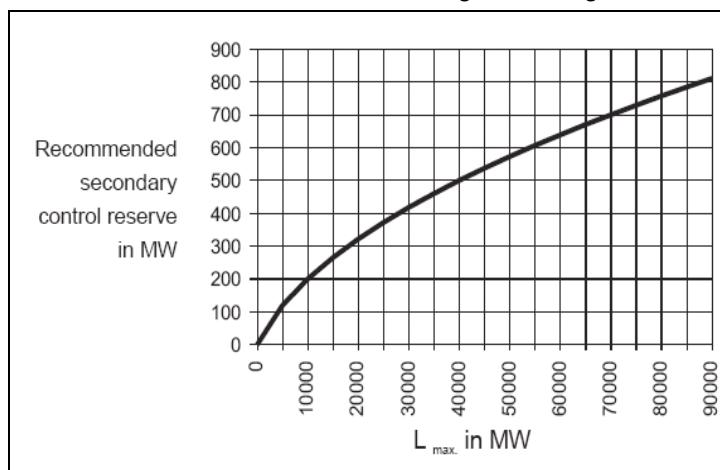
- bei entsprechender Ausrüstung der europäischen Fahrzeugflotte könnte diese dreifach mehr Leistung bereitstellen als der derzeitige Kraftwerkspark der EU25.
- Im Jahre 2015 werden 7 GW Regelernergieleistung benötigt.
- 700.000 steckdosentaugliche Hybridautos würden ausreichen um diese Reserven bereitstellen zu können.
- Im Jahre 2005 produzierte Toyota jährlich rund 300.000 Fahrzeuge vom Type "Prius", welcher grundsätzlich eine Plattform für einen Plug-In-Hybrid bieten würde.

8.2.2 Regelernergie mit „Plug-In-Hybrids“ in der Schweiz

Primärregelung - im Gegensatz zur Sekundär- und Tertiärregelung - bewirkt in der Regel keine signifikanten Energieflüsse, somit haben sie nur einen geringen Einfluss auf den Ladezustand der Fahrzeugbatterie.

Die Modellierung bezüglich der Leistungsvorhaltung zeigt folgende Resultate: (Detailinformationen sind im **Anhang 14** aufgeführt)

- Ist ein Plug-In-Hybrid mit einer 10 kWh-Batterie, welcher max. 8 kW entnommen werden kann, während 33% der Zeit am Netz angeschlossen, so kann pro Fahrzeug 2.64 kW Leistung vorgehalten werden.
- Bei 270'000 Fahrzeugen wären dies 713 MW, rund doppelt soviel wie für die Schweiz unbedingt notwendig ist (schätzungsweise zwischen 300 MW und 500 MW, siehe auch **Figur 19**)
- Die Roadmap der erneuerbaren Energien der SATW [15] geht davon aus, dass die Stromproduktion aus erneuerbaren Energiequellen in der Schweiz bis 2050 im Vergleich zu heute um 12.8 TWh (ohne Wasserkraft) ansteigen wird. Die installierte Leistung all dieser Anlagen würde rund 8'500 MW¹⁰ betragen.
- Dadurch würde sich der Bedarf an Sekundärregulierungskapazität um rund 200 MW erhöhen, was ebenfalls noch durch die Fahrzeugbatterien gedeckt werden könnte.



Figur 19: Notwendige Reservehaltung an Sekundärregulierungskapazität in Funktion der Gesamtlast des Systems Quelle [21] Für die Schweiz (max. verfügbar 15'830 MW¹¹) werden 300 MW benötigt.

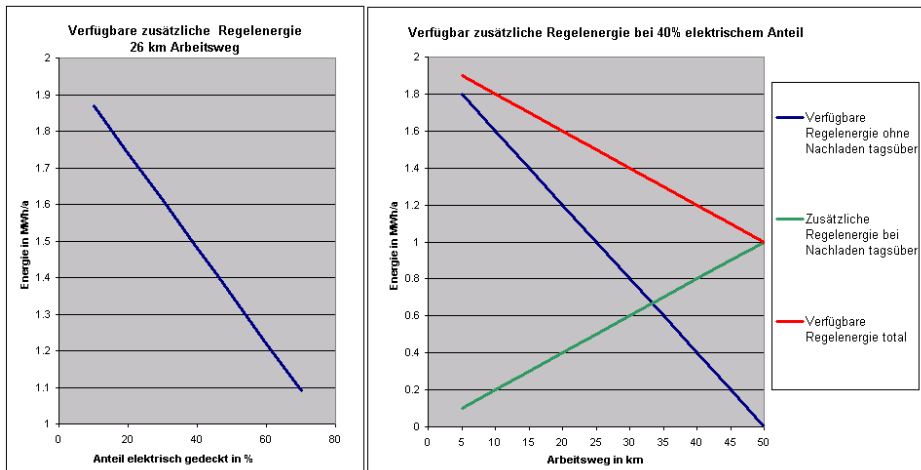
⁹ http://www.eurosolar.de/de/index.php?option=com_content&task=view&id=635&Itemid=34

¹⁰ Wind 1'250, Photovoltaik 950, Biomasse und Geothermie 4000 Vollaststunden

¹¹ http://www.bfe.admin.ch/themen/00526/00541/00542/00630/index.html?lang=de&dossier_id=00765, S. 31/32).

Die Modellierung bezüglich der Verlagerung der Lastzeiten, bzw. der Bereitstellung von Regenergie zeigt folgende Resultate: (Detailinformationen sind im **Anhang 14** aufgeführt)

- Ein Plug-In-Hybrid, welcher 40% seiner Energie elektrisch abdeckt, an 200 Tagen einen Arbeitsweg von 26 km zweimal täglich bewältigt und am Arbeitsort nachgeladen werden kann, könnte jährlich 1.48 MWh zusätzliche Regenergie zur Verfügung stellen.
- Bei 270'000 Fahrzeuge in der Schweiz wären dies total 400 GWh, welche zur Verfügung gestellt werden können.

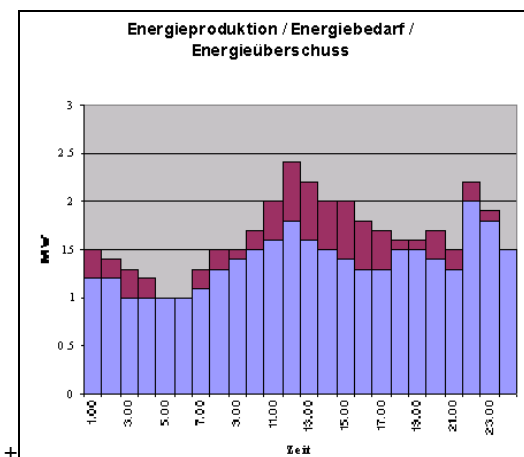


Figur 20: Verfügbare zusätzliche Regenergie in Abhängigkeit des elektrischen Anteils am Hybridbetrieb, der Distanz zum Arbeitsort und der Möglichkeit, am Arbeitsplatz die Batterie nachladen zu können.

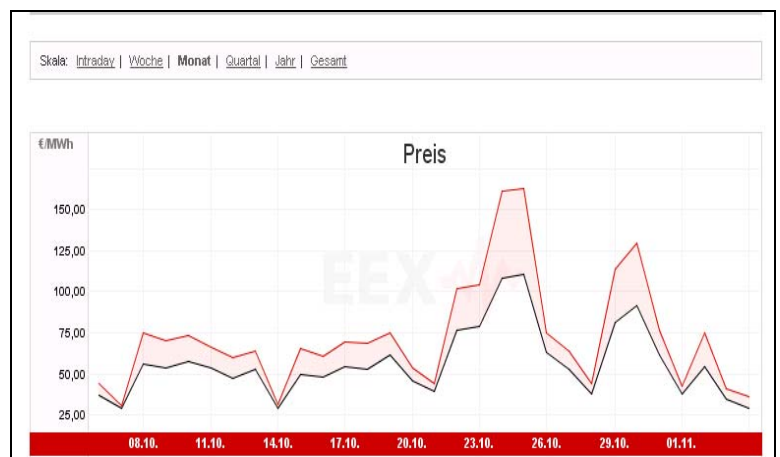
8.2.3 Energiefahrplan von Bilanzgruppen

Die Ausgleichsenergie zur Kompensation der Abweichungen vom vor angekündigten Energiefahrplan werden auf der Basis der Spotmarktpreise an der EEX entschädigt:

- Bei einer Energieabgabe mit mehr als 5% Abweichung gegenüber dem Energiefahrplan muss der halbe EEX-Preis (Spitzenlast) entschädigt werden, der Ertrag wird dadurch vermindert.
- Bei einem Energiebezug mit mehr als 5% Abweichung gegenüber dem Energiefahrplan muss der doppelte EEX-Preis (Spitzenlast) entschädigt werden, der Ankauf von Energie wird dadurch deutlich teurer.



Figur 21: Energiefahrplan des EW, Angaben 24 Std. im Voraus, Abweichungen werden „bestraft“



Figur 22: Preisentwicklung an der Europäischen Strombörse EEX während des Monats Oktober 2007, dunkle Linie = Grundlast, rote Linie = Spitzenlast¹²

¹² <http://www.eex.com/de/Marktinformation/Strom/Stundenkontrakte%20Chart%20%7C%20Spotmarkt/spot-hours-chart/2007-11-12/PHELIX>

Aus der Integration von kurzfristig abrufbarer Energie aus den Batterien von Hybridfahrzeugen könnten unter Umständen substantielle Einsparungen resultieren. Im obigen Beispiel kostet 1 MWh **Mehrverbrauch** am 25.10.2007 € 300.- oder 50 Rp./kWh!

8.2.4 Spitzenlastmanagement

Ein weiterer Vorteil sowohl für das EVU, für den Fahrzeugbesitzer als auch für das Unternehmen, bei dem tagsüber das Fahrzeug am Stromnetz angeschlossen ist, resultiert durch das Spitzenlastmanagement. Bei grösseren Energiebezügern (Gewerbe, Industrie) wird neben der Energie auch die Leistung verrechnet. Beispielsweise wird die während eines Monats max. aufgetretene Spitzenleistung (15 min. Mittelwert) ermittelt und mit Kosten, je nach EVU, von 5 –10 Fr./kW/Mt. verrechnet. Mit einer geschickten Bewirtschaftung der angeschlossenen Fahrzeugbatterien – integriert in Systeme zum Spitzenlastmanagement – können die Stromkosten unter Umständen deutlich gesenkt werden. Zu prüfen wäre, inwieweit die Nutzung der Hybridfahrzeuge zum Spitzenlastmanagement eine Nutzung für die Netzregulierung konkurrenziert oder gar ausschliesst.

8.2.5 CO2-Handel

Heute werden CO2-Zertifikate international gehandelt, laut „Stiftung Klimarappen“ erhalten im Durchschnitt die Projekte in der Schweiz 88 Fr. pro Tonne CO2-Reduktion¹³. Der Wert für die Reduktion von 1 Tonne CO2 aus Treibstoff liegt für EnAW-Mitglieder¹⁴ bei Fr. 125.-.

Die ermittelten und kontrollierten Reduktionen von CO2-Emmissionen aus Plug-In-Hybrid-Fahrzeuge könnten durch einen Energieversorger, eine Leasingfirma, etc. gebündelt und so in substantieller Höhe auf dem CO2-Emissionsmarkt angeboten werden. Der Wert der im obigen Plug-In-Hybrid-Szenario im Inland eingesparten CO2-Emissionen ist demnach 36 Mio. Fr.

8.2.6 Indirekte Vorteile

In der Fachliteratur [13] werden noch weitere Vorteile des V2G-Konzeptes für die Netzregulierung und -bewirtschaftung aufgeführt:

- Verzögerter Netzausbau und reduzierte Übertragungsverluste dank dezentraler Strukturen
- Bereitstellung von Blindleistung aus Batterien
- Phasenverschiebung über elektronisches Ladegerät

Dies ist jedoch noch genauer zu analysieren.

Fazit:

Sowohl im Bereich der Ausgleichsenergie als auch in der Leistungsvorhaltung können mit Plug-In-Hybrid Fahrzeugen energiewirtschaftlich interessante Dienstleistungen erbracht werden. Bis hin zur Erzeugung von CO2-Zertifikaten.

Wesentliche Hürde ist, dass der Strom auch zurück ins Netz fliessen muss, dazu sind bidirektionale Ladegeräte und Stromzähler, welche Bezug und Abgabe von Energie messen können, notwendig.

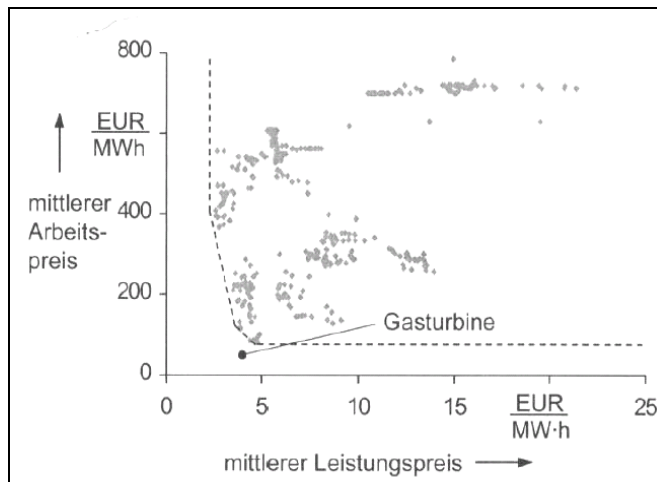
¹³ http://www.stiftungsklimarappen.ch/klimarappen/ data/pages/images/klimarappen_businessplan_de.pdf

¹⁴ Energie-Agentur der Wirtschaft (EnAW), <http://www.enaw.ch/>

8.3 AUTOFAHRENDE

Nachfolgend sind – basierend auf dem oben (Kap. 6.1) beschriebenen Fahr- und Laderegime – einige einfache wirtschaftliche Überlegungen für den Fahrzeughalter angestellt, um die Sinnhaftigkeit dieses Konzeptes auch aus ökonomischer Sicht zu evaluieren. (Detailinformationen sind im **Anhang 14** aufgeführt)

- Bei Benzinpreisen von Fr. 1.80 und Strompreisen von 12 Rappen Nachtarif und 22 Rappen Tagestarif können jährlich **Fr. 655.-** eingespart werden.
- Steht die max. Leistung aus der Batterie von 8 kW während 33% der Zeit ununterbrochen für Regeldienstleistung zur Verfügung, so resultiert bei einem Preis von 208 Fr. pro kW¹⁵ vorgehaltener Leistung ein jährlicher Ertrag von **Fr. 549.-**
- Bei einem mittleren Preis für die Tertiärregelreserve von Fr. 500.-/MWh [25] (siehe auch **Figur 23**) und einem Preis für Rücklieferung in der Höhe des mittleren Verkaufspreises von Fr. 170.- / MWh können noch **zusätzlich Fr. 349.-** generiert werden.
- Dadurch könnten die Mehrkosten für den Betrieb eines Plug-In-Hybrid-Fahrzeuges von rund Fr. 6'000.- (grössere Batterie und Infrastruktur für Batteriebewirtschaftung) in **4.2 Jahren** amortisiert werden.
- Der Wert der CO₂-Zertifikate pro Fahrzeug beträgt Fr. 116.-



Figur 23 : Ausschreibungsergebnisse für positive Tertiärregelreserve (RWE Net 2003) und Kosten einer Gasturbine Quelle [25]

8.4 NEUE GESCHÄFTSMÖGLICHKEITEN UND KOOPERATIONEN FÜR EVU UND AUTOINDUSTRIE

- Angebot Ökostrom der EVU als Betriebsenergie für Plug-In-Hybrid-Fahrzeuge
- Günstigere Stromtarife bei V2G für Fahrzeugbesitzer
- Leasing von Plug-In-Hybrid Fahrzeugen durch EVU, inkl. V2G Optionen und Ökostrom
- Erhöhter Absatz von Fahrzeugen für Hersteller durch Qualitätssteigerung der Produkte und verbessertem Image

Fazit:

Bei den aktuellen Rahmenbedingungen sind die Mehrkosten für ein Plug-In-Hybrid Fahrzeug über Netzregeldienstleistungen bereits nach wenigen Jahren amortisiert. Dies macht deren Einsatz auch für die Energieversorger interessant. Leasingangebote für Plug-In-Fahrzeuge und deren Komponenten durch die Energieversorgern erschliessen neue Kunden und neue Geschäftsfelder

¹⁵ Aktuelle Kosten aus Tabelle 2 in Kapitel 6.1.1

9 Herausforderungen und Hemmnisse

9.1 KAPAZITÄT REGELENERGIE

Als limitierende Faktoren scheinen aus heutiger Sicht vor allem die folgenden Punkte relevant:

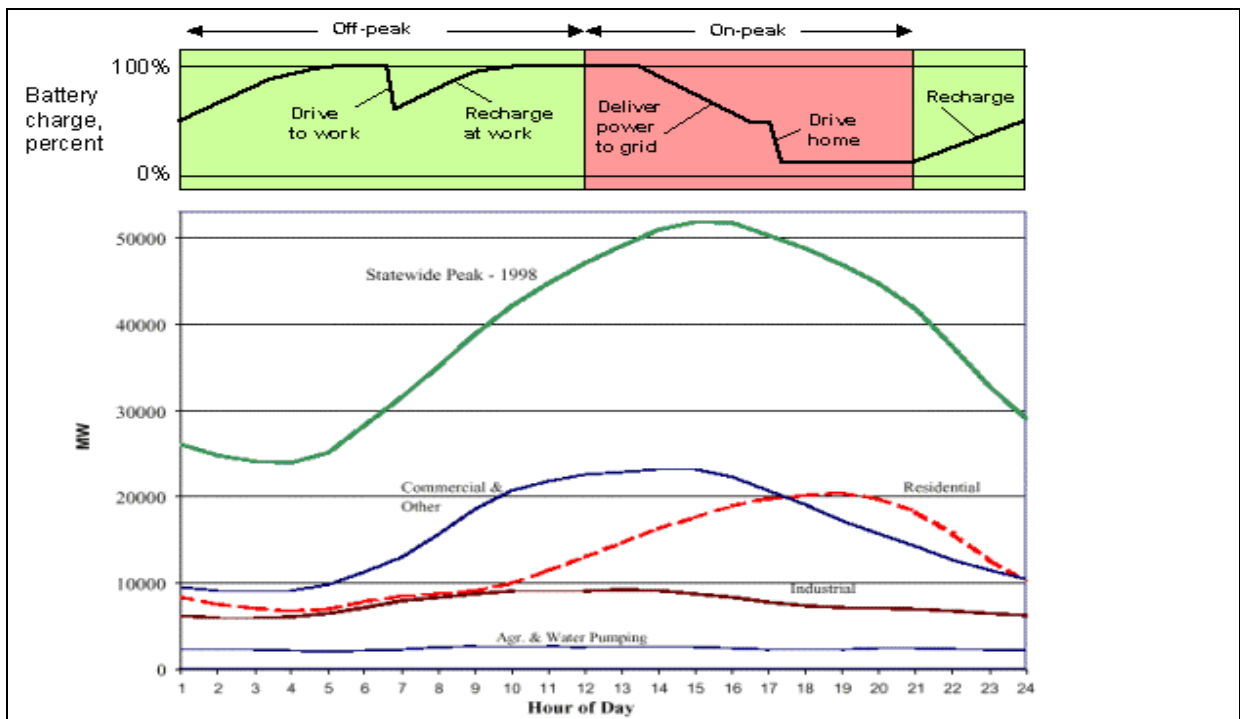
Da die Fahrzeuge während rund 90% der Zeit stationär sind, steht zwar die Kapazität der Hybridfahrzeuge während einem grossen Teil der Zeit für die Netzregulierung zur Verfügung. Allerdings muss wohl auch davon ausgegangen werden, dass viele Fahrzeuge gleichzeitig unterwegs sind (rush-hour). Das heisst, dass während dieser Zeit nur ein kleiner Anteil der Fahrzeuge für die Netzregulierung verfügbar ist.

Während eine vergleichsweise grosse Leistung für die Regulierung vorgehalten werden kann, wird die mögliche Regelenenergie durch die Kapazität und den Ladezustand der Batterie begrenzt. Andererseits wird eine voll geladene Batterie keine zusätzliche Regelenenergie mehr aufnehmen und somit für Ausgleichsenergie nicht zur Verfügung stehen. Werden in einem beschränkten Netzgebiet sehr viele Hybridfahrzeuge angeschlossen, kann das übergeordnete Stromnetz unter Umständen überlastet werden.

9.2 BELASTUNG STROMNETZ

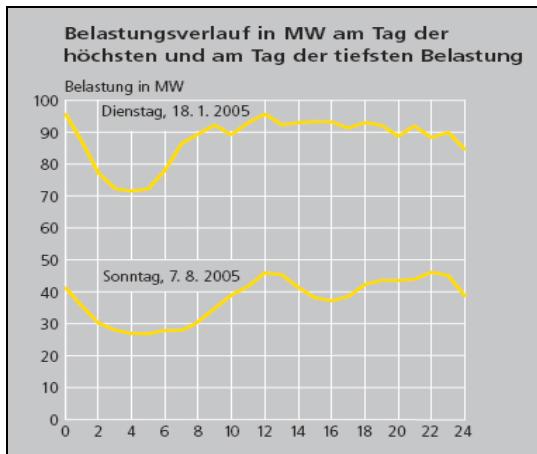
Je nach Art und Weise sowie dem Zeitpunkt des Batterieladevorgangs resultieren unterschiedliche Belastungen im Stromnetz. Ist das Fahrzeug mit einem Kommunikationskanal ausgerüstet, so kann der Besitzer (oder der Energieversorger) den Zeitpunkt und die Dauer des Lade-, bzw. Entladevorgangs bestimmen – je nach Netzbelastung und / oder Stromtarif.

Unter der Voraussetzung, dass ein optimales Batterieladeregime eingesetzt wird („Sanftes Laden während Tieflastzeiten“), resultieren die in **Figur 26** dargestellten Belastungen in einem Stromnetz [8]: Es wird dabei angenommen, dass das Fahrzeug auch untertags ans Stromnetz angeschlossen werden könnte.

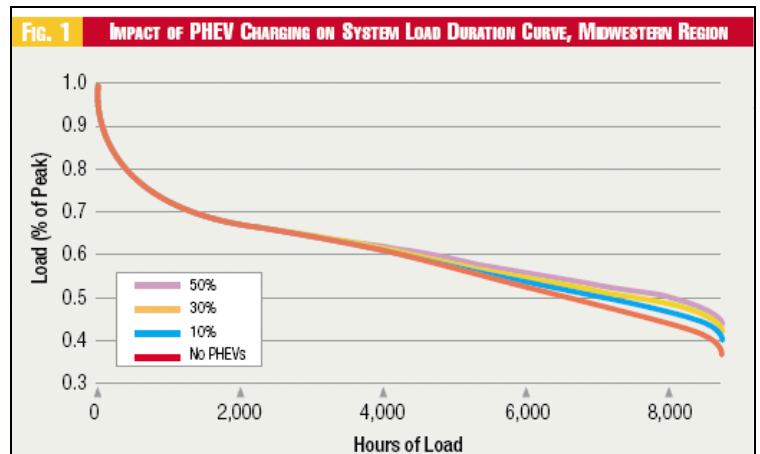


Figur 24: Beispiel eines möglichen Energieprofils eines Fahrzeuges, welches auch am Arbeitsplatz aufgeladen werden kann im Bezug zum Lastverlauf im Stromnetz von Kalifornien.¹⁶

¹⁶ http://www.acpropulsion.com/Veh_Grid_Power/Veh_grid_power.htm



Figur 25: Lastverläufe des EW Kantons Schaffhausen. Hier würde sich ein anderes Energieprofil (Laden / Entladen) als in Kalifornien aufdrängen.



Figur 26: Modellierung des Lastgangs bei unterschiedlicher Marktdurchdringung, PHEV = Plug in Hybrids, Quelle [8]

Figur 26 zeigt, wie sich die Belastung der Stromnetze in der Northwestern Region der USA ändern werden, je nach Anteil an Plug-In-Hybrid-Fahrzeugen. Bei geschickten Betriebs- und Lademanagement kann der zusätzliche Stromkonsum in lastschwache Zeiten verschoben werden.

9.3 INFRASTRUKTUR FÜR V2G-KONZEPT

Grundsätzlich wird für den Betrieb eines „Plug-In-Hybrids“ geringe zusätzliche Infrastruktur benötigt, eine Aussensteckdose beim Parkplatz genügt, sei es beim Wohngebäude oder am Arbeitsplatz. Die Kapazität des Netzanschlusses und des Ladegerätes limitieren aber die Menge an Energie und die Leistung, welche bezogen werden kann.

Um im Kontext mit V2G kurzzeitig Regelenenergie aufnehmen, bzw. abgeben zu können drängt sich eine Verstärkung des Hausanschlusses auf. Werden Parkplätze beim Gewerbe und der Industrie tagsüber verwendet, wird der dort übliche Anschluss genügen.

Hausanschluss	Max. Anschlussleistung	Max. Batteriekapazität	Max. Fahrleistungen nur	Max. Fahrleistungen Hybrid 40 / 60 ¹⁷	Kürzeste Lade- bzw. Entladezeit ¹⁸	Zusätzliche Kosten
10 A, 240 V, einphasig	2 kW	10 kWh	elektrisch 40 km	100 km	6 Std.	keine
45 A, 240 V, einphasig ¹⁹	10 kW	10 kWh	40 km	100 km	1.5 Std.	Fr. 5'000.- für Hausanschluss
16 A, 240 V 3-phasig	10 kW	10 kWh	40 km	100 km	1.6	Kein neuer Hausanschluss, dafür teureres Ladegerät

Tabelle 6: Notwendige Infrastruktur, Fahrleistungen und Ladezeiten

Die maximal mögliche Leistung, welche ab der Batterie bezogen oder in die Batterie zurück geliefert werden kann definiert auch den maximalen Beitrag welchen das Fahrzeug an die Leistungsvorhaltung für den Regelbetrieb bereitstellen kann.

¹⁷ 40 / 60 definiert ein typisches Plug-In-Hybrid- Fahrzeug: auf 100 km werden 40 km elektrisch und 60 km fossil gefahren

¹⁸ effektive Werte, inkl. Ladewirkungsgrad der Batterien.

¹⁹ Industriestandard, kritisch wegen unsymmetrischer Belastung des Netzes

Folgende Faktoren beeinflussen die Kapazität von Plug-in-Hybrids zur Bereitstellung von Dienstleistungen für die Netzregulierung

- Auslegung der Leistungselektronik des Fahrzeuges, insbesondere zusätzlicher Wechselrichter im Fahrzeug für Rücklieferung
- Maximale Ladeleistung
- Maximale Entladeleistung
- Batteriekapazität
- Mittlere zur Verfügung stehende Restkapazität der Batterie

Kommunikationsseitig müsste das heutige System auf bidirektionale Verbindung ausgebaut werden, damit Regelparameter wie z.B. der Ladezustand der Batterie zurück gemeldet werden kann.

9.4 KOMPENSATION DES ZUSÄTZLICHEN STROMVERBRAUCHS

Die Erhöhung des Elektrizitätsverbrauchs kann mit unterschiedlichsten Massnahmen teilweise kompensiert werden:

- **Lastverlagerung**
Verlagerung von Spitzenlast in Schwachlastzeiten mittels der Speicherkapazität der Plug-In-Hybrid-Fahrzeuge, insbesondere auch um Abweichungen im Energiefahrplan zu kompensieren.
- **Ökostrom**
Erhöhung des Anteils des unregelmässig anfallenden Stroms aus erneuerbaren Energien durch starke Zunahme der Regelungskapazität aus den Fahrzeugbatterien. Marktkonzepte welche die Betriebsenergie der Fahrzeuge ausschliesslich aus Ökostrom bereitstellen.
- **Wärmekraftkopplung**
Verwendung der eingesparten fossilen Energien in WKK-Anlagen, dadurch Erzeugung von Wärmeenergie für Gebäude und die Betriebsenergie für Plug-In-Hybrid-Fahrzeuge.
- **CO₂-Zertifikate**
Ein Energieversorger, welcher das V2G-Konzept in eigener Regie und mit eigenen Fahrzeugen - welche er seinen Konsumenten verleast - umsetzt, kann substantielle Mengen an CO₂-Zertifikaten generieren und damit handeln.
- **Kompensation der CO₂-Emissionen aus fossilen Kraftwerken**
Das V2G-Konzept flächendeckend eingesetzt könnte wesentliche Anteile der zusätzlichen CO₂-Emissionen aus fossilen Kraftwerken kompensieren.

9.5 MARKTAKZEPTANZ

Energieversorger, Autofahrer und Automobilhersteller sind im Markt die kritischen Akteure. Sie alle werden das Konzept nur verfolgen, wenn sich entsprechende Chancen auf Verbesserung der Lebensqualität (Autofahrende) und der Geschäftsmöglichkeiten (Automobilhersteller und Energieversorger) ergeben.

Die Erfahrung zeigt, dass die innere/technische Logik des vorliegenden Konzepts erst der Anfang für das Funktionieren im Markt ist. Doch mit den im Markt herrschenden Gesetzen von Mobilität und Elektrizitätsversorgung ist das oft nicht vereinbar. Gescheiterte Beispiele wie Elektrofahrzeuge, die Brennstoffzelle, das Auto als Kraftwerk ans Haus gekoppelt, wie es bereits Autokonzerne, EVU und Investoren mit Milliardenbeträgen Ende der 90er in den USA lancierten haben, zeigen solche Schwierigkeiten auf.

Bisherige Anfragen zeigen noch wenig Offenheit, da sich die Akteure im Markt nicht in die Karten sehen lassen wollen, was in den Produktpipelines vorhanden ist. Eine entsprechende Weiterentwicklung des Konzepts mit klaren Rollen und Mitarbeit für die Akteure könnte dies ändern.

10 Erste Machbarkeitsabschätzungen

10.1 GENERELLE ANALYSE

Das hier vorgestellte Konzept hätte folgende Vorteile:

- **Netzoptimierung** in Schwachlastzeiten
- Erhöhung des möglichen Anteils an unregelmässig produzierender **erneuerbaren Energiequellen** aus Wind, Sonne etc. im Stromnetz
- Erhöhung der **Gesamteffizienz** unserer Energieversorgung aufgrund des deutlich höheren Wirkungsgrades des elektrischen Antriebs von Fahrzeugen.
- Deckung eines grossen Anteils der für die **individuelle Mobilität im Pendlerverkehr** benötigten Energie aus Elektrizität, insbesondere auch aus erneuerbaren Energien.
- Beitrag an die Regelung des Stromnetzes für die **Primär-, Sekundär- und Tertiärregelung**.
- Kurzfristige **Anpassung des effektiven Verbrauchs / Produktion** innerhalb von Bilanzgruppen an den Energiefahrplan, auch in Relation zu Preisen des „EEX European Energy Exchange“.
- Zusätzliche **Geschäftsfelder** für die Elektrizitätswirtschaft.

Aber auch Nachteile:

- Nach wie vor ist das ganze Stromversorgungssystem darauf ausgerichtet, das die Elektrizität vom Hochspannungsnetz über das Mittel- bis ins Niederspannungsnetz zu den Kunden fliesst. Dass Kunden zu Produzenten werden und somit **Energie zurückliefern** ist für die Branche technisch wie auch politisch noch Neuland.
- Der **Regulierungsbedarf** bei sehr dezentralen Systemen nimmt zu und benötigt flächendeckend eingesetzte intelligente Steuerungs- und Kommunikationssysteme.

10.2 SWOT-ANALYSE

Im Sinne einer SWOT-Analyse wurden die Sinnhaftigkeit und die Realisierbarkeit des V2G-Konzeptes durchleuchtet:

Blickwinkel	Stärken/Unterstützung Erfolg	Schwächen/Hemmnisse
Produkt	▪ Fahrzeuge können technisch Bedarf an Regelennergie decken ▪ Konzept senkt CO2-Emissionen ▪ Konzept bietet günstige Regelennergie ▪ Fahrzeuge sind in absehbarer Zeit auf dem Markt verfügbar ▪ Infrastrukturaufwand gering	▪ Dezentralität der Infrastruktur ▪ Unvorhergesehene Schwankungen im Angebot Regelennergie ▪ Aufrüstung Infrastruktur ▪ Mehrkosten Fahrzeug ▪ Akzeptanz der Fahrzeugbesitzer, ihre Batterie auch „extern“ bewirtschaften zu lassen.
	Chancen	Gefahren
Markt	▪ Bedarf an Regelennergie steigt stark an ▪ Stakeholder haben Verdrängungskampf ▪ Preise von Strom und Benzin steigen wegen Verknappung ▪ Saubere Fahrzeuge werden politisch bevorzugt	▪ EVU stehen Konzept eher kritisch gegenüber ▪ Autohersteller hat keine Motivation Produkt herzustellen ▪ Käufer hat (noch) wenig Motivation Produkt zu kaufen ▪ Kooperation nicht gewünscht ▪ Preis kWh steigt ▪ Stromverbrauch steigt

Tabelle 7: SWOT-Analyse des V2G-Konzeptes

Fazit:

Die vorliegende Studie zeigt auf der technischen Ebene bereits ermutigende Resultate bezüglich einer Machbarkeit des Konzepts. Ökonomisch könnten neue, kompetente und finanzstarke Koalitionen zwischen Mobilität und Energieversorgung entstehen. Erfahrungen bezüglich Erfolgsfaktoren solcher Kooperationen zeigen, dass die Risiken eines Misserfolgs erheblich sind.

Weitere Abklärungen sollten sich frühzeitig auf die ökonomische und marktwirtschaftliche Klärung der Machbarkeit konzentrieren - unter Berücksichtigung der relevanten technischen offenen Fragen.

11 Weiteres Vorgehen

11.1 ZIEL

Marktnahe und aussagekräftige Recherchen sollen in folgenden vier Schwerpunkten wesentliche Klarheit und eine Basis für die weitere Entwicklung des Konzepts bzw. eines Geschäftsmodells schaffen:

- ausführliche Wirtschaftlichkeitsberechnungen auf allen Seiten der Akteure (Energiewirtschaft, Autoindustrie, Autofahrende).
- ein Marktanalyse zur Akzeptanz und Motivation der Akteure
- Klärung der offenen technischen Fragestellungen
- Details der Energie- und Ökobilanz

11.2 VORGEHEN

11.2.1 Gründen eines Arbeitskreises V2G

Vertreter aller relevanten Stakeholder und themen- sowie systemübergreifende Experten werden in einem Arbeitskreis gesammelt, der folgende Aufgaben übernimmt:

- Repräsentation des Marktes
- Steuerung der Forschungsinhalte
- Verifizierung der fachlichen und marketingsseitigen Fragen bei den Stakeholdern
- Strategieentwicklung für die Unterstützung von Plug-In-Hybrids

11.2.2 Workshop mit wichtigen Akteuren

Das BFE sollte zu einem Workshop einladen, welcher eine Vielzahl von Akteuren aus dem Bereich der Energiewirtschaft, der Automobilbranche und der Forschung zusammen bringt, mit dem Ziel, die konkrete Weiterentwicklung und Realisierung dieses Konzeptes voranzubringen.

11.2.3 Internationales Seminar 2008

Sollte ein weiterreichendes Interesse am vorliegenden Konzept manifest werden, wäre die Durchführung eines grösseren Seminars ein weiterer Meilenstein in der Realisierung von V2G.

12 Anhang: Offene Fragen, Mögliche Forschungsinhalte

12.1 GENERELL

- Marktakzeptanz der Akteure ermitteln
- Erstellen von Geschäftsmodellen für Bilanzgruppen, regionale EVU, Autohändler
- Kaufverhalten der Kunden im Bezug zum Anschaffungspreis, etc.
- Durchführen von Pilotvorhaben zur Klärung relevanter Forschungsinhalte

12.2 NETZREGULIERUNG

- Wie korreliert der Regelbedarf im Schweizerischen Stromnetz mit den Speichermöglichkeiten der Fahrzeugbatterien? Wie entwickelt sich dieser im Kontext einer vor allem auf erneuerbaren Energien beruhenden Stromversorgung?
- Ermittlung der effektiv zusätzlich notwendigen Regelenergie bei einem starken Ausbau der erneuerbaren Energien
- Welche Zeitdauer bis zur Bereitstellung der unterschiedlichen Regelungsenergie ist tolerierbar, kann die Leistungselektronik bei voller Batterie abgeschaltet werden? (Stand-by-Verluste ca. 50 Watt, ca. 30 sec. Aufstartzeit)?
- Detaillierte Analyse der Kommunikationsmöglichkeiten vom Netzregulator zu den Fahrzeugbatterien
- Entwicklung eines umfassenden Simulationsmodells für das V2G-Szenario, Integration der Anforderungen der Netzregulatoren
- Kann ein weiterer Netzausbau dank dezentralen Versorgungsstrukturen verzögert werden?
- Reduzieren dezentralen Versorgungsstrukturen die Übertragungsverluste?
- Kann Blindleistung aus Batterien bereit gestellt werden?
- Ist die gewünschte Phasenverschiebung über das elektronische Ladegerät machbar?

12.3 FAHRZEUGE

- Welches Konzept ist viel versprechender, paralleler Hybrid oder serieller Hybrid?
- Wann ist mit der Markteinführung der jeweiligen Produkte zu rechnen?
- Wie sieht es mit der Umweltverträglichkeit der einzelnen Batteriearten aus?
- Entwicklung von kostengünstigen bidirektionalen Ladegeräten und Wechselrichter im Fahrzeug
- Leichtbaufahrzeuge mit hoher Sicherheit
- Effiziente elektrische Antriebe und Fahrzeugelektronik (Ladegerät, etc.)
- Energieeffiziente Fahrzeugtechnologie (Beleuchtung, Rekuperation, etc.)
- Zuverlässige und sichere Lithium-Ionen-Batterien
- Energie- und Ökobilanz im Detail abklären, insbesondere im Bereich der Batterien

12.4 KOMMUNIKATION

- Was ist der Stand der Einführung von Smart-Metering in der Schweiz? Inwieweit können diese Datenerfassungsgeräte auch im Kontext von V2G effektiv eingesetzt werden?
- Sind Bestrebungen im Gange, sich auf eine europaweite Norm zu einigen?
- Kosten der einzelnen Kommunikationssysteme
- Integration des Powermanagement, Verhindern von Leerlaufverlusten bei voller Batterieladung
- Sind Transformatoren, Hauszähler und Stromverbraucher an den unterschiedlichen Phasen ein Problem für Powerline-Communication?

13 Anhang: Glossar

Ausgleichsenergie =	Elektrizität, die zum Ausgleich der Differenz zwischen dem effektiven Bezug (bzw. der Lieferung) und dem Bezug (bzw. der Lieferung) nach Fahrplan benötigt wird.
Bilanzgruppe =	Mess- und Abrechnungseinheit, in welcher innerhalb der Regelzone eine beliebige Anzahl von EndverbraucherInnen und LieferantInnen mit ihren Mess- und Abrechnungsstellen zusammengefasst wird.
Durchleitungsberechtigte =	EndverbraucherInnen, ElektrizitätserzeugerInnen, Elektrizitätsversorgungsunternehmen und Stromhandelsunternehmen, die Anspruch auf eine nicht diskriminierende Durchleitung von Elektrizität haben
Durchleitungsvergütung =	das für die Netzbenutzung zu entrichtende Entgelt.
Eigene Kunden =	von einem Elektrizitätsversorgungsunternehmen mit Elektrizität aus eigenen Erzeugungsanlagen oder beliebig eingekaufter Energie belieferte EndverbraucherInnen
Eigenerzeugerinnen =	Inhaber von Energieerzeugungsanlagen, an welchen Elektrizitätsversorgungsunternehmen oder NetzbetreiberInnen zu höchstens 50 Prozent beteiligt sind und die leitungsgebundene Energien vorwiegend für den Eigenbedarf erzeugen. Erzeugung und Verbrauchsstätte müssen eine wirtschaftliche und örtliche Einheit bilden; diese Anforderung ist auch erfüllt, wenn eine VerbraucherIn über eine eigene Leitung verfügt, die von einer ErzeugerIn zu ihrem Standort führt und die nicht der öffentlichen Versorgung dient.
EVU =	Energieversorgungsunternehmen (Elektrizitätswerk)
EEX =	Europäische Strombörse in Leipzig
Fahrplan =	Plan für die Einspeisung und den Bezug von elektrischer Leistung während einer bestimmten Messperiode an bestimmten Messpunkten
Lieferantin =	Elektrizitätsversorgungsunternehmen, ElektrizitätserzeugerInnen und Stromhandelsunternehmen, die Versorgungsunternehmen oder EndverbraucherInnen mit Elektrizität beliefern
Plug-in-Hybrid =	am Stromnetz aufladbare Benzin-/Elektroautos
Primärregelung =	stabilisiert die Netzfrequenz innert Sekunden mittels Anpassung der Leistung der Turbinen über einen automatischen Kontroller.
Regelenergie =	Automatisch oder manuell von Kraftwerken abrufbar Einsatz von Elektrizität (oder elektrischer Leistung) zur Einhaltung des geplanten Elektrizitätsaustausches und zur Gewährleistung des sicheren Netzbetriebes;
Regelzone =	Gebiet, für dessen Netzregelung ein Übertragungsnetzbetreiber verantwortlich ist. Die Regelzone wird physikalisch durch Messstellen festgelegt;
Spitzenlast =	Höchstwert der Leistung, die ein Energieversorger während einer gewissen kurzen Zeit zur Verfügung stellen muss.
Spitzenleistung =	Höchste, während einer gewissen kurzen Zeit (oft 15 Minuten) vom Konsumenten benötigte Leistung. Die Spitzenleistung muss in aller Regel separat bezahlt werden (Ausnahme: z.B. Haushalte).

Systemdienstleistungen =	die für den sicheren Betrieb der Netze notwendigen Hilfsdienste. Diese umfassen Systemkoordination, Bilanzmanagement, Primärregelung, Schwarzstart- und Inselbetriebsfähigkeit von ErzeugerInnen, Spannungshaltung (inkl. Anteil Blindenergie), betriebliche Messung, Ausgleich der Wirkverluste.
Sekundärregelung =	ersetzt oder unterstützt die Primärregelung nach einigen Minuten bei zu grossen unerwarteten Schwankungen der Frequenz oder der Leistung innerhalb einer definierten Regelzone.
Tertiärregelung =	wird manuell hinzugeschaltet, wenn die Primär- und Sekundärregelung nicht ausreichend ist, bzw. damit die für die Primär- und Sekundärregelung benötigten Kapazitäten wieder frei werden.
UCTE =	The main purpose of the Union for the Co-ordination of Transmission of Electricity" UCTE is to promote the reliable and efficient operation of the interconnected power systems in Europe through the establishment of commonly agreed standards for system operation. Besides the definition and regular review of these standards, this implies a procedure to monitor the compliance of the standards in order to ensure that the TSO (Transmission system operator) community keeps credible in its commitment to reliable operation of the interconnected system.
V2G =	Vehicle to Grid, Konzept der Hybridfahrzeuge zur Netzregulierung

14 Anhang Rechentabellen

14.1 VERGLEICH ENERGIEVERBRAUCH UND EMISSIONEN

Fahrverhalten

Anzahl Fahrzeuge	270'000
Distanz / Automobil / Jahr	12'580 km
Mittlere Fahrdistanz	26 km
Anzahl Fahrten	484
Anzahl Fahrten beurteilt	100%

Konventionell

Gefahrene Kilometer konventionell	3'396'600'000 km
Energieverbrauch in t Benzin	195'389 t
Energieverbrauch in GWh	2'319 GWh 100%
CO2-Emission / Jahr in Mio t	0.61 Mio t 100%

Hybrid

Gefahrene Kilometer Hybrid	3'396'600'000 km
Energieverbrauch Benzin	96'803 t
Energieverbrauch in GWh inkl. Benzin	1'149 GWh 50%
CO2-Emission / Jahr in Mio t	0.30 Mio t 50%

Plug-in-Hybrid

Gefahrene Kilometer Plug-In-Hybrid	3'396'600'000 km
Energieverbrauch in t Benzin	58'082 t
Energieverbrauch Elektrizität	340 GWh
Energieverbrauch in GWh inkl. Benzin	1'029 GWh 44%
CO2-Emission / Jahr in Mio t	0.20 Mio t 32%

Energieverbrauch konventionell

Mittlerer Energieverbrauch / 100 km	7.67 l / 100 km
Jahresverbrauch eines Fahrzeuges	964.89 l / Jahr
Gramm CO2 pro gefahrener km	181 g / km

Energieverbrauch Hybrid

Mittlerer Energieverbrauch / 100 km Hybrid	3.80 l / 100 km
Gramm CO2 pro km "Hybrid" nur Benzin	90 g / km

Energieverbrauch Plug-In-Hybrid

Anteil Energieverbrauch rein elektrisch	40%
Mittlerer Energieverbrauch / 100 km Benzin	3.80 l / 100 km
Mittlerer Energieverbrauch / 100 km elektrisch	25 kWh
Ladeenergie inkl. Verluste	0.25 kWh / km
Tonne CO2 / GWh aus Strom EU-Mix	41.72 t / GWh

Eingaben notwendig in gelben Feldern

14.2 BERECHNUNG DER ZUSÄTZLICHEN REGELENERGIE

Fahrverhalten

Gesamtfahrleistung / Jahr	10'400 km
Fahrdistanz zum Arbeitsort	26 km
Anzahl Fahrten (Hin- und Rückweg)	400
Arbeitstage	200
Laden am Arbeitsplatz möglich	ja ja/nein

Szenario Hybrid

Energieverbrauch konventionell	7.1 MWh
Anteil Hybrid rein elektrisch gedeckt	40%
Anteil Hybrid mit Benzin gedeckt	60%
Energieverbrauch Hybrid elektrisch	1.0 MWh
Energieverbrauch Hybrid Benzin	2.1 MWh
Energieverbrauch Hybrid total	3.2 MWh
Zusätzliche Ladenergie für Regelenenergie	1.0 MWh
Total Energieverbrauch inkl. Ladenergie	4.1 MWh
Energieeinsparung bei Hybrid	42.1 %

Regulierungsdienstleistungen

Anzahl Fahrzeuge	270'000 Stck.
Max. Regelenenergie / Fahrzeug / Jahr	1.48 MWh / a
Max. Energie für Tertiärregelung	0.3 MWh/a
Max. Leistungsvorhaltung	2.64 kW
Gesamte Regelenenergie im Szenario	399.6 GWh/a
Gesamte Leistungsvorhaltung	713 MW

Energieverbrauch

Energieverbrauch konventionell / 100 km	7.67 l / 100 km
Jahresverbrauch des Fahrzeuges konventionell	797.7 l / Jahr
Ladeenergie Hybrid inkl. Verluste	0.25 kWh / km
Mittlerer Energieverbrauch / 100 km Hybrid	3.80 l / 100 km
Eingesparte CO2-Emissionen	

Regelregime / Fahrzeug

Batteriekapazität	10 kWh
el. Energie für Arbeitswege (2)	5.20 kWh
Verfügbare Energie für Regelenenergie	4.80 kWh
Zusätzliche Laden am Arbeitsort max. möglich	2.60 kWh
Verfügbare Energie für Regelenenergie ohne Nachladen	0.96 MWh / a
Zusätzliche Regelenenergie bei Nachladen tagsüber	0.52 MWh / a
Verfügbare Energie für Regelenenergie total	1.48 MWh / a
Häufigkeit Inanspruchnahme Tertiärregelung	20%
Dauer der Bereitschaft für Regeldienstleistungen	33% der Zeit
Max. Leistung ab Batterie für Leistungsvorhaltung	8 kW
Max. Leistungsvorhaltung für Primär / Sekundärreg.	2.64 kW

14.3 WIRTSCHAFTLICHKEIT

Wirtschaftlichkeit

Kosten 1 Liter Benzin	1.8 Fr.
Kosten 1 kWh Benzin	0.20 Fr.
Kosten / kWh Nachtstrom	0.12 Fr./kWh
Kosten / kWh Tagstrom	0.22 Fr./kWh
Mittlerer Preis / MWh für Tertiärregelreserve	500.- Fr./MWh
Durchschnitt. Verkaufspreis beim EVU	170 Fr./MWh
Preis für Leistungsbereitstellung/ Jahr	208.- Fr./kW
Ertrag aus CO2-Emissionenhandel	116.4 Fr.
Zusatzkosten für Hybridfahrzeug	5'000.- Fr.
Zusatzkosten für Infrastruktur	1'000.- Fr.

Kosten konventionell	1'436.- Fr.
Kosten Hybrid Benzin	427.- Fr.
Kosten Laden mit Nachtstrom	240.- Fr.
Kosten Laden mit Tagstrom	114.- Fr.
Kosten Hybrid	781.- Fr.
"Gewinn" beim Hybrid-Betrieb	655.- Fr.
Erlös aus Verkauf von Energie für Tertiärregelung	148.- Fr.
Erlös aus Verkauf von Energie für Rücklieferung	201.- Fr.
Erlös aus Verkauf von Leistungsbereitstellung	549.- Fr.
Jährlicher Gesamtertrag netto	1'553.- Fr.

Amortisation der Mehrkosten inkl. Verzinsung

4.2 Jahre

15 Anhang: Referenzen

15.1 LITERATURVERZEICHNIS

15.1.1 Beispiele und Konzepte

- [1] Alec N. Brooks: **Vehicle-to-Grid Demonstration Project: Grid Regulation Ancillary Service with a Battery Electric Vehicle**, Prepared for the California Air Resources Board and the California Environmental Protection Agency, 2002
- [2] Willett Kempton, Jasna Tomic, Steven Letendre, Alec Brooks, Timothy Lipman: **Vehicle-to-Grid Power: Battery, Hybrid, and Fuel Cell Vehicles as Resources for Distributed Electric Power in California**, California Air Resources Board and the California Environmental Protection Agency and Los Angeles Department of Water and Power, Electric Transportation Program, 2001
- [3] Tomi Engel: **Smart Grid Vehicle Strategie**, Deutsche Gesellschaft für Solarenergie 2006
- [4] Christian Schluchter: **Die Idee des Vehicle to grid (V2G)**, EEH – Power Systems Laboratory, ETH Zürich, 2007
- [5] Steffan Heuer, **Rollende Kraftwerke**, Fokus Automobil 20/0, 2004
- [6] Willett Kempton and Amardeep Dhanju, **Electric Vehicles with V2G, Storage for Large-Scale Wind Power**, Windtech international, 2006
- [7] Willett Kempton and T. Kubo: **Electric-drive vehicles for peak power in Japan**, Energy Policy 28 (2000) 9-18, 1999
- [8] Steven Letendre, Paul Denholm, Peter Lilenthal: **Electric & Hybrid Cars, New Load, or new resource?**, Public Utilities Fortnightly, Seite 28 – 37, 2006
- [9] W. Short and P. Denholm: **A Preliminary Assessment of Plug-in-Hybrid Electric Vehicles on Wind Energy Markets**, Technical Report NREL, 2006
- [10] Tomi Engel: **Das Elektrofahrzeug als Regelenergiekraftwerk des Solarzeitalters**, Object Farm Solarkonzepte, 2005

15.1.2 Fahrzeugtechnologie

- [11] Tony Markel: **Plug-in-Hybrid Electric Vehicles, Current Status, Lang-Term Prospects and Key Challenges**, Presented at Clean Cities Congress and Expo, 2006
- [12] M. Duvall: **Comparing the Benefits and Impacts of Hybrid Electric Vehicle Options for Compact Sedan and Sport Utility Vehicles**, Technical Report – EPRI, California, 2002
- [13] Joseph J. Romm and Andrew A. Frank: **Hybrid Vehicles**, Scientific American, Seite 72 – 79, April, 2006

15.1.3 Forschung

- [14] Edward J. Wall: **Plug-in-Hybrid Electric Vehicle R&D Plan**, FreedomCAR & Vehicle Technologies Program U.S. Department of Energy, 2007
- [15] SATW Schweizerische Akademie der technischen Wissenschaften: **Roadmap erneuerbare Energien in der Schweiz**, 2007

15.1.4 Kommunikation

- [16] Klaus Dostert: **Powerline - Kommunikation**, Franzis Verlag, 2000

15.1.5 Batterien und Ladesysteme

- [17] T. Markel and A. Simpson: **Plug-in-Hybrid Electric Vehicle Energy Storage System Design**, Conference Paper NREL, Advanced Automotive Battery Conference Baltimore, Maryland, 2006

15.1.6 Netzregulierung

- [18] Göran Andersson: **Dynamics and Control of Electric Power Systems**, Lecture 227-0528-00, ITET ETH, 2007
- [19] Willett Kempton and Jasna Tomic: **Vehicle-to-grid power fundamentals: Calculating capacity and net revenue**, Journal of Power Sources, 2005
- [20] Willett Kempton and Jasna Tomic: **Vehicle-to-grid power implementation: From stabilizing the grid to supporting large-scale renewable energy**, Journal of Power Sources, 2005
- [21] **Policy 1 Load-Frequency control and performance**, UCTP-Handbuch
- [22] Jasna Tomic and Willett Kempton: **Using fleets of electric-drive vehicles for grid support**, Journal of Power Sources, 2007
- [23] Yann G. Rebours et.al.: **A Survey of Frequency and Voltage Control Ancillary Services – Part I: Technical Features**, IEEE Transactions on Power Systems, Vol.22, No.1, February 2007

- [24] Yann G. Rebours et.al.: **A Survey of Frequency and Voltage Control Ancillary Services – Part II: Economic Features**, IEEE Transactions on Power Systems, Vol.22, No.1, February 2007
- [25] Consentec: **Windenergie und Schweizerischer Wasserkraftpark**, Bundesamt für Energie, Energiewirtschaftliche Grundlagen, BFE 2004
- [26] BAFU: Graue Treibhausgasemissionen der Schweiz; **Stromproduktion und Emissionsfaktoren** der für die Schweizer Importstrom relevanten Länder für 2004 (UCTE)
- [27] BFE: Organisation der Stromversorgung, Erläuternder Bericht zum Entwurf des Bundesgesetzes über die Stromversorgung (StromVG) vom 30. Juni 2004

15.1.7 Smart Grid

- [28] P. Bühler, Dr. G. Schnyder: **Vorprojekt VEiN, Verteilte Einspeisungen in Niederspannungsnetzen**, Jahresbericht Bundesamt für Energie BFE, 2005
- [29] Patrick Mazza, **The Smart Energy Network: Electrical Power for the 21st Century**, Climate Solution, 2002
- [30] Dr. G. Schnyder, **Dezentrale Erzeugungsanlagen in Niederspannungsnetzen (Machbarkeitsstudie)**, Schlussbericht im Auftrag des Bundesamtes für Energie, 2005
- [31] Patrick Mazza, **The Smart Energy Network: Electricity's Third Great Revolution**, Climate Solution, 2002

15.1.8 Wirtschaftlichkeit

- [32] A. Simpson: **Cost-Benefit Analysis of Plug-in-Hybrid Electric Vehicle Technology**, Conference Paper, presented at the 22nd international Battery, Hybrid and Fuel Cell Electric Vehicle Symposium and Exhibition, Yokohama, Japan, 2006
- [33] Bundesamt für Statistik; Fact Sheet Neuchâtel, 15.5.2007 Mobilität in der Schweiz Ergebnisse des **Mikrozensus** zum Verkehrsverhalten, <http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index.Document.91826.pdf>
- [34] Erdölvereinigung „Inside“ 1/2007: 2006: Absatz von Mineralölelprodukten leicht höher. <http://www.erdoel.ch/doc/880596339828032007.pdf>
- [35] BAFU: **Klimaveränderungen in der Schweiz** 28 / 07 (<http://www.bafu.admin.ch/php/modules/shop/files/pdf/phplGdBZo.pdf>)

15.2 LINKS²⁰

15.2.1 Allgemeines

- Aktuell will **google.org** entsprechende Forschungsprojekte mit 10 Mio.\$ für Forschung fördern: <http://www.google.org/recharge/rfp/index.html>
- Ein guter Überblick über die aktuelle Situation in den USA gibt: <http://www.ferc.gov/about/com-mem/wellinghoff/5-24-07-electric-hybrid-wellinghoff.pdf>
- Eine breite Kampagne „Plug in Partner Campaign“ macht intensives Lobbying für dieses Konzept, getragen von Stromversorger, engagierten Firmen und Umweltorganisationen <http://www.pluginpartners.org/campaignOverview/index.cfm>

15.2.2 Konzept

- Konzept zu Plug-in-Hybrids <http://www.evworld.com/article.cfm?storyid=872>
- Allgemeiner Artikel Grid-Connected Autos <http://www.renewableenergyaccess.com/rea/news/story?id=45369>
- Linksammlung zum Thema „Key PHEV Studies“ http://www.energetics.com/phev07/pdfs/Literature_search_PHEVs_for_web.pdf
- Link zu „V2G: Vehicle to Grid Power“, diverse Artikel zum Thema: <http://www.udel.edu/V2G/>
- Beschrieb des Konzeptes V2G: http://www.acpropulsion.com/Veh_Grid_Power/Veh_grid_power.htm
- Plug-In-Hybrid Idee kommt nach Europa: http://www.greencongress.com/2007/06/the_plugin_hybr.html

²⁰ Zuletzt benutzt im Dezember 2007

15.2.3 Netz-Speicherung

- Möglichkeiten zur Lastregulierung im Stromnetz mit Hybridfahrzeugen sind beschrieben unter <http://www.udel.edu/V2G/docs/TomicKemp-Fleets-proof-07.pdf>
- Primärregelung verteilt Schwankungen des Stromverbrauchs auf Kraftwerke im gesamten Verbundsystem <http://udo-leuschner.de/basiswissen/SB124-03.htm>
- Beschrieb des Begriffs "Operating reserve" http://en.wikipedia.org/wiki/Operating_reserve
- Warum immer genug Strom aus der Leitung kommt - Primärregelung <http://www.stromtip.de/rubrik2/9098/5/Primaerregelung.html>
- Beschrieb des Begriffs „Regelleistung“ <http://de.wikipedia.org/wiki/Regelenergie>
- Beschaffung von Regelleistung und –energie in Deutschland <http://www.rwetransportnetzstrom.com/generator.aspx/netznutzung/regelenergie/language=de/id=75506/regelenergie-home.html>
- Primärregelung, Sekundärregelung, Minutenreserve <http://www.rwetransportnetzstrom.com/generator.aspx/netzwelt/regelung-netze/primaerregelung,-sekundaerregelung,-minutenreserve/language=de/id=270746/primaerregelung,-sekundaerregelung,-minutenreserve.html>
- Regelenergie <http://www.rwetransportnetzstrom.com/generator.aspx/netzwelt/regelung-netze/regelenergie/language=de/id=270740/regelenergie.html>
- Warum immer genug Strom aus der Leitung kommt - Sekundärregelung <http://www.stromtip.de/rubrik2/9098/6/Sekundaerregelung.html>
- Stromverbund Deutschland <http://www.vdn-berlin.de/stromverbund.asp>

15.2.4 Fahrzeuge

- Der Elektromobilclub in der Schweiz: <http://www.e-mobile.ch/>
- 3rd European Ele-Drive Transportation Conference EET-2008 - Geneva, March 11-13, 2008 <http://www.ele-drive.com/index.html>
- Elektrofahrzeug Hersteller – auf der Basis des Renault Kangoo <http://www.cleanova.com/public/sve/>
- Linksammlung zum Thema Hybrid-Autos <http://about-hybridcars.com/>
- Allgemeine Informationen über die kommenden Hybrid-Modelle <http://www.greencarsite.co.uk/hybrid-cars.htm>
- Welche Automodelle sind bald als Hybrid erhältlich <http://www.hybridcars.com/>
- Beschrieb der Umrüstung des konventionellen Toyota Prius auf die Plug-In-Hybrid-Version: <http://www.edrivesystems.com/index.html>
- PowerPoint Präsentation der Betriebserfahrungen mit einem Toyota Prius „Plug-In-Hybrid-Version“: <http://www.arb.ca.gov/msprog/zevprog/symposium/presentations/nortman.pdf>
- Toyota stellt sein Plug-in Flex-Fuel Hybrid vor <http://www.greencarcongress.com/2007/10/toyota-to-show-.html>
- Toyota beginnt mit dem Praxistest von Autos, die sich an der Steckdose aufladen lassen http://www.handelsblatt.com/News/Auto/Auto-News/_pv/grid_id/1020242/_p/205913/_t/ft/_b/1293808/default.aspx/toyota-laedt-autos-an-der-steckdose.html
- Video vom Toyota Primus Plug-in-Hybrid <http://www.toyota.co.jp/en/tech/environment/phv/conference/>
- Opel-Konzept: Flextreame <http://www.automobil-blog.de/2007/09/11/opel-conceptcar-vorstellung-flextreame>

- Übersicht über die Vorteile von Plug-in-Hybrids und „normalen“ Hybridautos
<http://www.calcars.org/vehicles.html>
- Präsentation vom „Zero Emission Vehicle Symposium“ vom 17.10.2006 der „Californian Environmental Protection Agency“:
<http://www.arb.ca.gov/msprog/zevprog/symposium/presentations/presentations.htm>
- Der Autokonzern General Motors (GM) will die so genannte "Plug-In-Hybrid"-Technik vorantreiben.
<http://www.heise.de/tr/artikel/83217>

15.2.5 Batterien

- Fragen zur Energiespeicherung in Plug-In-Hybrids sind abgehandelt in
<http://www.nrel.gov/docs/fy06osti/39614.pdf>
- Artikel zum Stand Lithium-Ionen-Batterien:
http://powerelectronics.com/portable_power_management/ion_batteries_transportation/
- Artikel zum Betrieb mit Lithium-Ionen Batterien
<http://www.lithium-power.de/>
- Deutscher Hersteller von Lithium Batterien:
http://www.airenergy.de/html/lithium_batterien.html
- Artikel NZZ über Untersuchungen am PSI:
http://services.web.psi.ch/aktuell/clippings/2007/11_02.pdf
- Batteriehersteller und Batteriebeschrieb:
<http://www.altairnano.com/index.html>
http://www.altairnano.com/documents/NanoSafe_Datasheet.pdf
- Batterieentwickler:
<http://www.a123systems.com>
- Batterie für Toyota Prius „Plug-in-Version“
http://www.hymotion.com/pdf/Specs_PHEV_L5.pdf
- Beschrieb Zebra-Batterie (Schweizer Produkt), Einsatz im Mercedes Elektroauto
http://www.solartaxi.com/index.php?link=348772157413.htm&nav=3_3
http://www.umweltbrief.de/pdf/Mercedes_A-class_electric_zebra.pdf
- Spin-off Firma der EPFL, Entwicklung von Lithium Batterien:
http://www.highpowerlithium.com/index.php?option=com_frontpage&Itemid=1
- Umfassende Beschreibung der LiPO4 Zelle
http://en.wikipedia.org/wiki/Lithium_iron_phosphate_battery
- Beschreibung der Lithium Polymer Batterie
http://en.wikipedia.org/wiki/Lithium-ion_polymer_battery
- Beschreibung zu LiMn2O4 Zellen
<http://www.sat-akku.ch/index.html?/main-d/lexikon/akkus-li-ion-mangan.html>
- Batterieentwicklungsprojekt Mitsubishi / Yuasa
<http://www.gsyuasa-lp.com/News/20070508e.pdf>
- Grafiken zu Energiedichte und Energieeffizienz von Lithium Batterien
<http://www.iea.org/Textbase/work/2007/learning/Tatsumi.pdf>

15.2.6 Kommunikationssysteme

- Cbox: Der moderne Bordcomputer für CarSharing und Flottenmanagement
<http://convadis.com/>
- Internet über das Stromnetz: Groupe-e:
<http://www.groupe-e.ch/index.php?idnav=11&resol=1280&resol=1280&resol=1280>
- ZigBee: Kommunikation im Haushalt:
http://www.zigbee.org/en/markets/1_app_home.asp
- Tonfrequenz- und Funkrundsteuerung:
http://www.landisgyr.ch/files/pdf2/LandisGyr_Rundsteuerung_Prospekt_DE11.pdf
- Home Plug Technologien:
http://www.homeplug.org/products/whitepapers/Enhancing_the_Consumer_Experience.pdf

15.3 BATTERIEHERSTELLER

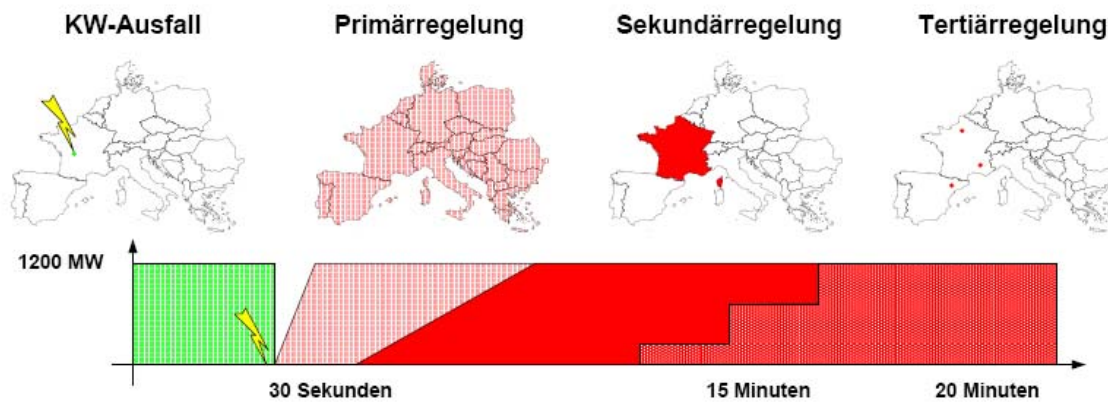
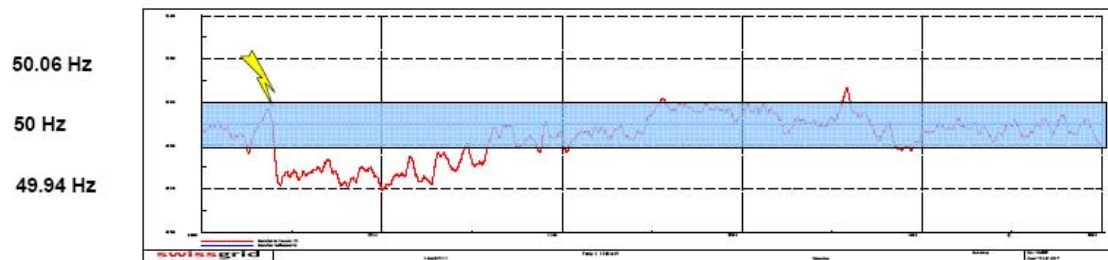
Beispiele einiger Zellentypen und Hersteller von Lithium-Batterien. Jeder grössere Batteriehersteller fertigt unter Lizenz Lithium Zellen für den Consumer Markt. Grössere, komplette Batterieblöcke mit mehr als 1 kWh bietet aktuell nur Thundersky an.

<i>Hersteller</i>	<i>Typ</i>	<i>Kapazität / Spannung</i>	<i>Gewicht</i>	<i>Energie / Gewicht</i>	<i>Preis</i>
Kokam http://www.kokam.com	LiPo SLPB 60216216	25Ah / 3.7V	0.62 kg	149Wh/kg	
HYB Battery http://www.hyb-battery.com	Li-Ion IMP2680130S	18Ah / 3.8V	0.68kg	100Wh/k	
Panasonic http://www.panasonic.com/industrial/battery/oem	LiCo CGR18650E	2.5Ah / 3.7V	46 g	200Wh/kg	
Thundersky http://www.thunder-sky.com	Li-Ion NOTS-LFP40AHA	40 Ah / 3.4V	1.5kg	90 Wh/kg	1.00US\$/Ah 294\$/kWh
GP-Batteries http://www.gpbatteries.com	LiFePO4 GP15EVLF	13Ah / 3.2V	0.52 kg	80Wh/kg	2.70US\$/Ah 833 \$/kWh
A123-Systems http://www.a123systems.com	Li-Nanophosphate ANR26650-M1	2.3Ah / 3.3V	70 g	108Wh/kg	7.00US\$/Ah 2000\$/kWh

15.4 DARSTELLUNG DES ZUSAMMENWIRKENS DER UNTERSCHIEDLICHEN REGELUNGEN DES STROMNETZES

swissgrid
Die Nationale Netzgesellschaft

Wirkleistungsregelung in der UCTE



Grafik freundlicherweise zur Verfügung gestellt durch Swissgrid.