

Zur Integration von Autoverkehr und Stromerzeugung: GENERATOR-STROM AUS MILD-HYBRID-AUTOS

Energiewende und Mobilitätswende verzögern sich offenbar. Kurz- und mittelfristig könnten Mild-Hybrid-Autos mit Gas- oder Flüssigtreibstoff, kleiner Batterie, und intelligenter Leistungsverzweigung Auto-System und Strom-System ökologisch und ökonomisch verbessern. Im Autosystem wären sie effizienter als reine Verbrennungs- oder Elektro-Antriebe. Im Stromsystem könnten sie mit Verbrennungsmotor und Generator (nicht über große problematische Batterien!) dezentral 120-400V/AC *) Netzstrom erzeugen: Regelstrom und Notstrom, zur Versorgungssicherheit mit höchster Leistungsreserve. C-H-Verbrennung erscheint zwar vordergründig problematisch; sie könnte aber in der Bilanz Investments (Netze, Großkraftwerke), Verbräuche, Kosten, Emissionen und Schäden verringern, sowie Gesamtwirkungsgrade deutlich erhöhen. Verbesserungen von 20% weltweit bei Strom und Auto erscheinen realistisch. Das bedeutete Technologieführung auf den wachsenden Märkten Auto und Strom, sowie - wegen der Flexibilität der Autofloten - wirksame Verhandlungspotentiale auf den Weltenergiemärkten.

**) Dieser Essay entstand ursprünglich entsprechend deutschen Randbedingungen. Die geschätzten Größenordnungen und Hypothesen sollten jedoch für alle hoch motorisierten und elektrifizierten Regionen ähnlich gelten. Wie üblich auf Weltmärkten, werden die Auto- und Stromindustrie allgemeine technische Lösungen an nationale Standards anpassen können. Die Verfasser bemühen sich hier um international verständliche Begriffe.*

1. Machbare Zwischentechnologien empfehlenswert

Speicherung und Transport von Strom sind bis heute als Schlüsselprobleme jeder Verkehrs- und Energiewende weit entfernt von praktikablen Lösungen. Zur Verbesserung der bestehenden Systeme Auto und Strom wird im Folgenden ein konkreter alternativer Pfad vorgestellt: nur aus serienfähigen Komponenten, in 5 Jahren beginnend, und für eine Technikgeneration von mindestens 30 Jahren.

Hundert Jahre Grundlagenforschung und zehn Jahre intensive Anwendungsforschung und Konstruktion haben in den Bereichen Transport und Energie einige Fortschritte gebracht. Trotzdem sind wirkliche Durchbrüche für Erneuerbare Energien und Elektromobilität nicht in Sicht. Unsicher bleiben Maß und Zeitpunkt besonders bei einzelnen kritischen Komponenten. Strom-Fern-Transporte und elektrochemische Stromspeicher (Batterien, Akkumulatoren) werden die erhofften Wirkungsgrade, Verträglichkeiten und Gebrauchsfähigkeiten (Stromkapazitäten? Ladezeiten und -plätze? Reichweiten? Winterbetrieb? Rohstoffe? Entsorgung? Recycling?) vielleicht nicht, nicht bezahlbar, oder erst nach vielen weiteren Jahrzehnten Entwicklung haben.

Dies entkräftet keineswegs die breite Kritik an der Schädlichkeit, Ineffizienz und Unverträglichkeit bei den bestehenden Strom- und Auto-Systemen. Sicher sind ja für Reformen auch technische Utopien und Grundsatzkritik sinnvoll und notwendig. Ebenso wichtig erscheinen aber laufende Konkurrenz bei machbaren alternativen Ideen und Konstruktionen. Wissenschaftliche, ingenieurtechnische und politischen Diskurse sollten daher wieder für die Entwicklung und Bewertung weiterer technischer Pfade geöffnet werden. Das folgende Konzept stellt dazu ein konkretes Szenario für *konkrete Verbesserungen* in 5-10 Jahren vor. Es kombiniert ausschließlich bekannte, serienfähige und preisgünstige Techniken. Es wäre lohnend für eine Technikgeneration von mindestens 30 Jahren für den weltweiten «Rest»-Autoflotte – seien das nun ½ Mrd oder 2 Mrd Autos (heute: 1 Mrd).

2. Die Auto-Seite:

Mild-Hybrid-Kfz für nachhaltige Mobilität und 120-400V/AC-Stromerzeugung:

Kern des Konzeptes ist eine Umstellung der Auto-Technik auf ein spezielles Mild-Hybrid-Antriebs-Konzept. Ein Kohlenwasserstoff-Verbrennungsmotor liefert Dauer- und Hochleistung im Fernverkehr. Parkend ist er ins Niederspannungsnetz eingesteckt und liefert Strom 120-400V/AC direkt aus Motor und Generator: für Regelstrom, unstabile Netze, und Notstrom. Der Verbrennungsmotor wird auf Bestpunkt konstruiert und betrieben. Das Elektro-Aggregat bewältigt Dynamiken und Stadtverkehr; dazu reicht eine - wegen ihrer schlechten Umweltbilanz - nur sehr kleine Batterie.

Die Komponenten sind ein integrierter Mild-Hybrid-Antriebsstrang mit Kohlenwasserstoff-Verbrennungsmotor, kleinen Elektro-Motor/-Generator-Aggregaten, die auch direkt 120-400V-Wechselstrom erzeugen können, sowie einer sehr kleinen Batterie. Durch stufenlose Leistungsverzweigung werden Leistung und Arbeit hoch effizient und schonend erzeugt, verteilt, übertragen, rückgespeist und gespeichert.

Der Verbrennungsmotor liefert hohe, gleichmäßige, dauernde, und jederzeit verfügbare Leistung. Er sollte auf einen oder mehrere Leistungspunkte optimiert, und sein Betrieb darauf konzentriert werden. Sein Wirkungsgrad wäre damit wesentlich höher als beim üblichen elastischen Motor und Betrieb weit abseits vom Bestpunkt. Die Kraftübertragung erfolgt überwiegend durch mechanische Getriebeanteile (z.B. Planetensätze). *Treibstoffe werden flüssige oder gasförmige C-H-Verbindungen sein.* Heute und in Zukunft wird Energie so mit Abstand am leichtesten, dauerhaftesten, unaufwändigsten und sichersten lagerbar, transportierbar, mitnehmbar und hantierbar sein. Vorhandene Tankstellen-Logistik, 30l (oder kg) für 1000km Fahrleistung, in 5 Minuten aufgetankt über einfache Kunststoffteile – das ist unschlagbar. Welche C-H-Varianten (Benzin, Diesel, LNG, LPG, sonstige?) aus welchen fossilen, synthetischen oder biologischen Quellen das sein werden, wird immer neu technisch, politisch, ökonomisch und ökologisch verhandelt werden. Reiner Wasserstoff (gleich ob über Verbrennungsmotor oder Brennstoffzelle verwertet) scheint wegen seiner ungefügen Hantierbarkeit nicht konkurrenzfähig. Derzeit scheint eine Bi-Fuel-Lösung mit stark reduziertem Verbrauch attraktiv, die auf der Langstrecke eher Benzin, und bei Stadtbetrieb und Stromerzeugung (s. Kap.3!) vorrangig Gas mit abgasgünstig hohem H-Anteil verbrennt, z.B. aus PTG (Power to Gas/Methanisierung, verteilt über das bestehende Gasnetz).

Fahren: 95% C-H, 5% EIt
mit 20% besserem Wirkungsgrad

Parken: 20 h/Tag Bereitschaft
5 Min/Tag Stromerzeugung

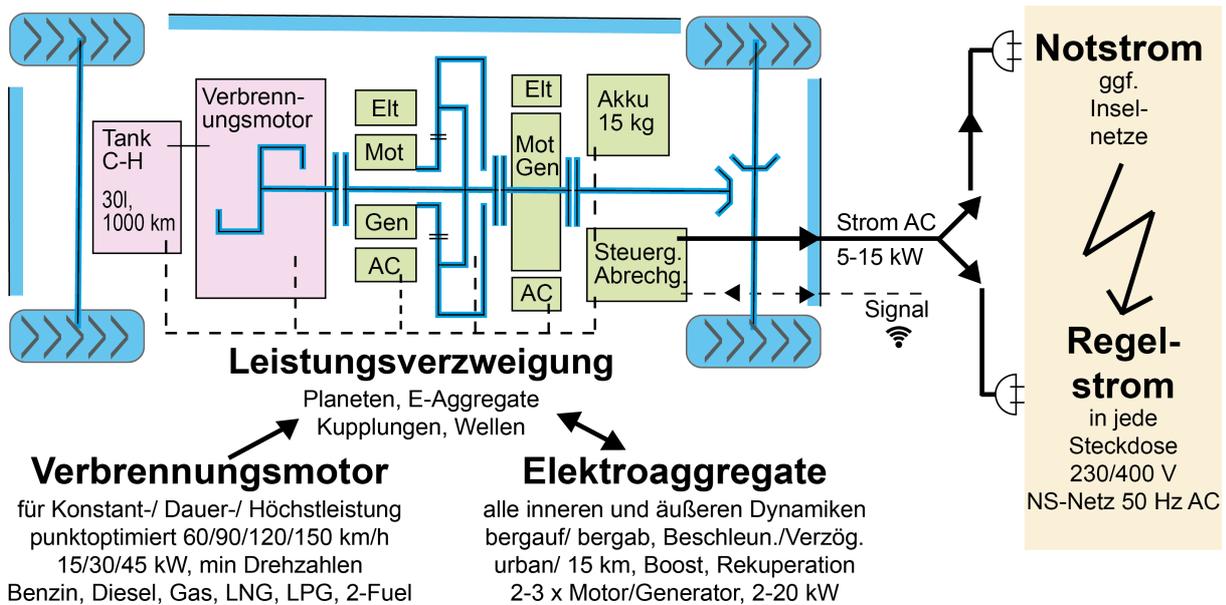


Abb.1: Die Auto-Seite: Optimum statt Maximum

Der elektrische Teil bewältigt und puffert - entsprechend seinen besonderen Vorzügen - alle notwendigen Dynamiken - Beschleunigen/Bremsen, Bergauf/Bergab, Rückwärts und Boost. Laufend wechselnde Kraftabgabe und -aufnahme sorgt für stufenlose Übergänge bei dynamischem Fahrbetrieb. Er hält den Verbrennungsmotor im Bestpunkt, und lädt die Batterie durch Brems-Rekuperation und «überschüssige» Arbeit des Verbrennungsmotors. Eine Batterie um 15kg ist ausreichend dafür und für etwa 15 km rein elektrische Stadtfahrt.

Insbesondere sollten aber die Generatoren *angetrieben vom Verbrennungsmotor* in der Lage sein, netzkompatiblen Strom direkt zu erzeugen (s. Kap.3). Das legt ein oder mehrere elektrische (Wechsel- bzw. Drehstrom-) Motor-/Generator-Aggregate mit 120-400V/AC, 2-20kW nahe. Weniger wichtig ist, die Batterie aus dem Stromnetz zu laden, da die Batterie sehr klein ist und das System ja gerade Netzstrom-Überfluss vermeiden wird.

Dies scheint derzeit allen anderen Auto-Konzept-Ansätzen ökonomisch und ökologisch überlegen. Auch die Herstellung kann durch Integration von Antrieb, Lichtmaschine, Anlasser, und Getriebe günstiger werden. Alle üblichen Fahrzeugarten könnten so konstruiert sein: Kleinwagen, Luxuslimousinen, Sportwagen, Sprinter, Stadtbusse, Lastwagen, Privat- oder Dienstwagen. Denn alle sind grundsätzlich in der Lage, die für Stadtverkehr und Netzstromerzeugung ähnlichen Leistungen um 5-15kW zu liefern. Das funktioniert im bestehenden Auto-

verkehr, der geprägt ist durch maximale Konkurrenz, Geschwindigkeit, und Beschleunigung. Es funktioniert um so besser, wenn es uns gelingen würde, die Verkehrsabläufe stetiger und gleichmäßiger zu machen *).

*) Hier ist ein kurzer Exkurs angebracht. Die größte Effizienzreserve im Autoverkehr wäre Verstetigung und Konkurrenzfreiheit, ohne Übermotorisierung: Autokonstruktion und -steuerung würden nur sanftes Hintereinander-her-Fahren gestatten, ohne Bummeln und ohne Überholen, automatisch, mit standardisierten mäßigen Geschwindigkeiten und Beschleunigungen, und mit den jeweils sparsamsten, schonendsten und verträglichsten Drehzahlen und Betriebsweisen. Für Dimensionierung von Motor, Getriebe und Steuerung wären nicht mehr Konkurrenz, Beschleunigung, Drehzahl und Höchstgeschwindigkeit maßgeblich, sondern ökologische und ökonomische Mobilität, Verkehrssicherheit, Klimaschutz, Stadtverträglichkeit, Fahrkomfort, Verbrauch, Emissionen und Kosten. Die Fahrgeschwindigkeiten könnten nach Straßentypen z.B. auf 30/60/90/120(/150?) km/h definiert werden (die arithmetische Symmetrie zur weiteren Optimierung des Antriebsstranges!). Allein dafür wurden Verbesserungen von 50% über alle Merkmale geschätzt. Und wenn man «autonomes Fahren» einführen möchte, wäre das ein notwendiger, besonders wirksamer, und technisch einfacher erster Schritt.

3. Die Strom-Seite:

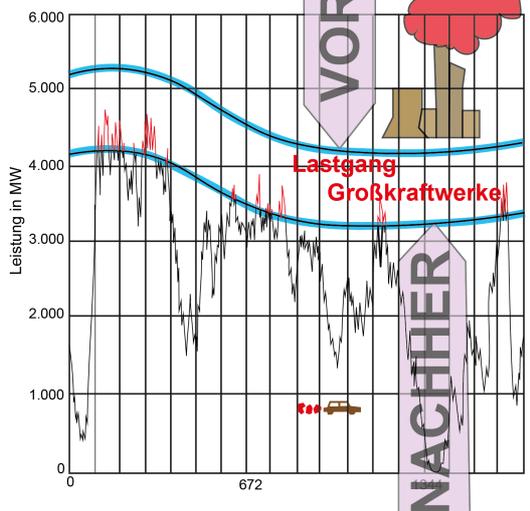
Regel- und Notstrom aus den Verbrennungsmotoren der Mild-Hybrid-Autos

Wichtige Aufgaben im Stromsystem könnten Mild-Hybrid-Autos standby über ihre Verbrennungsmotoren und 120-400V/AC-Generatoren erfüllen: Bereitstellung und Einspeisung von Regelstrom und Notstrom. Autos sind jederzeit in Sekunden dezentral, überall in jede Steckdose, (in Summe) mit höchster Leistung, aber nur kurze Zeit und für geringste Strommengen anschaltbar. Damit könnte die Autoflotte die Versorgungssicherheit billiger und ökologischer gewährleisten als die heutigen Puffer und Reserven von Netzen und Kraftwerken, und wesentlich besser als elektrochemische Batterien.

Ein besonderes Problem der Stromsysteme sind kurzfristige *Nachfragespitzen im Minutenbereich*. Kleinräumig betrachtet sind sie auch bei fortschrittlichem smart-grid-management hoch und kaum prognostizierbar. Heute können sie nur mit sehr hohen Kosten, Verlusten und Umweltschäden ausgeglichen werden. Die beschriebenen Mild-Hybrid-Autos könnten das billiger und weniger klima- und umweltschädlich bewältigen.

Stromangebot und Stromnachfrage

Leistung und Menge schematisch teilraumbezogen



Netzmanagement, Primär- / Sekundär- / Kalt- / Warm - Reserve

Vorher aus Großkraftwerken (Kohle, Atom, ...)

- verlustreiche Bandbreiten von Temperaturen und Drehzahlen
- Blindleistungen, Leerströme, Teillast
- zu schlechter Wirkungsgrad
- zu große Stromnetze und Transporte
- höchste Kosten, Verluste, Abschreibungen
- kritische Reserven und Importe

Nachher aus Mild- Hybrid- Autos (Flüssig C- H)

- geringste Strommengen mit höchster Reserve
- jederzeit, überall, dezentral, flexibel
- geteilte Abschreibung, Betrieb Bestpunkt
- Abwehr willkürlicher Spotpreise

Dadurch + 20% Verbesserungen

- 20% weniger verbleibende Kraftwerke
- 20% weniger Netze, bessere Wirkungsgrade
- 20% Ausgleich Wind- / Sonne - Volatilität

Abb. 2: Die Strom-Seite: Regelstrom und Notstrom

Das könnte so funktionieren: Die Autos parken ja mehr als 23 Stunden am Tag. In vielen privaten und öffentlichen Garagen und Parkplätzen können sie mit bordeigenen Kabeln in vorhandene oder unaufwändig neu installierte normale 120-400V-Steckdosen (Ein- und Mehrphasen-Wechselstrom, angepasst an regionale Standards) eingesteckt werden. Auf Bedarfssignal des Stromnetzes *schaltet sich der Verbrennungsmotor automatisch an* und speist für wenige Minuten über den Generator vielleicht 5-15kW in das Niederspannungsnetz ein. Die Kfz-

Elektronik ist genau und zuverlässig genug: Sie kann präzise Spannung und Frequenz synchronisieren; sie kann Stromnetz, Fahrzeuge und Standorte laufend analysieren, abstimmen und steuern (z.B. Last, Tankfüllstand, Emissionen, Fehler, u.a.). Und sie kann Bereitschaftszeiten und gelieferte Strommengen buchen und plombiert und datengeschützt für dezentrale Abrechnungsstellen aufbereiten. Trotz C-H-Verbrennung sind die Emissionen gering: Der Motor produziert *nur wenige Minuten lang* sehr geringe Strommengen, in seinem Bestpunkt, günstigenfalls mit Gas. So werden auch Verschleiß, Lebensdauer und Tankgröße kaum berührt. Auch die Lüftungs-kapazitäten von Garagen werden ausreichen, auch weil die Zu- und Abfahrten nun rein elektrisch erfolgen.

Hohe Vergütungen sollten die Halter veranlassen, ihre Autos freiwillig häufig bereit zu stellen. Dann führt die schiere Menge der überall verfügbaren Autos zu hoher Flexibilität. In der Summe werden nur Bruchteile der Auto-Stromleistung tatsächlich benötigt, abgefragt und erzeugt, das aber potentiell überall am notwendigen Ort, binnen Sekunden, genau zum notwendigen Zeitpunkt, und nur in der notwendigen Menge. Dagegen können das zeitlich und räumlich unflexible Großkraftwerke, Stromnetze, und Notstromsysteme nur unter sehr großen Investitions- und Betriebskosten, Verlusten, und Umweltschäden. Das wiederum rechtfertigt eben *hohe Vergütungen an die Autohalter* für Bereitstellung und Stromlieferung.

Außerdem könnten bei Netzausfall Einzelfahrzeuge als *Notstromaggregate* kleinere Anlagen wie Trinkwasser- oder Heizungsanlagen, Beleuchtung oder Batterieaufladung, Werkzeuge oder Tankstellen betreiben. Für größere Leistungen könnten sie *zu Inselnetzen zusammengeschaltet* werden, da sie ja Spannung und Frequenz ohnehin synchronisieren. Das qualifiziert z.B. jeweilige Mitarbeiterparkplätze als Schwarm-Notstromanlage: für Kliniken, Schulen, Datenserver, Infrastrukturanlagen, oder Industriebetriebe. Kurze Netzausfälle können automatisch überbrückt werden. Dann ist es nur ein kleiner Schritt, dass der Betrieb eines neuen PKW-Werkes in Malaysia, Marokko, oder Mexico mit (eigenen!) Mitarbeiterfahrzeugen gesichert wird – auch gegen überbeuerte Spitzenstrompreise und Stillstandzeiten wegen Stromausfall.

4. Synergien Auto - Strom: 20% weniger Kosten, Aufwand, Umweltschäden; weltweit Notstrom und höchste Versorgungssicherheit

Ein Schlüssel zum Verständnis der Möglichkeiten und Wirkungen sind die Dimensionen. In hoch motorisierten und elektrifizierten Regionen ist in den Autos ein Vielfaches der gesamten Kraftwerksleistung installiert; ein Regelstrombedarf definiert als 20% der höchsten Stromnachfrage entspräche etwa den Kfz-Neuzulassungen eines halben Jahres. Schon ein Bruchteil davon stünde überall mit höchster Zuverlässigkeit dezentral bereit. Autoverkehr und Stromversorgungssicherheit würden optimiert. Insbesondere die Einsparungen bei Netzen und Großkraftwerken, die bisher die Versorgungssicherheit gewährleisten, machen Effizienzgewinne von 20% über Alles als Arbeitshypothese plausibel.

Die installierte Leistung der Autoflotte in hoch motorisierten und elektrifizierten Ländern und Regionen (wie z.B. Deutschland) ist rechnerisch 10 bis 20 mal höher als die gesamte Großkraftwerk-Leistung. Zur Abschätzung der Wirkungen wird eine - äußerst grobe - Größenordnung von 20% Effizienzgewinn als Arbeitshypothese gesetzt im Vergleich mit der derzeitigen Situation und üblichen Szenarien. *)

**) Diese Hypothese muss in umfangreichen vergleichenden Studien wie Wirkungs- und Wirkungsgrad-, sowie Kosten-Nutzen-Analysen überprüft und präzisiert werden. Inhaltlich und methodisch besonderes schwierig ist der Vergleich sehr unterschiedlicher Felder und Variablen, der eine sehr breite Abgrenzung der Betrachtung erfordert: Ein Elektromotor für sich gesehen mag einen hohen Wirkungsgrad haben – was aber, wenn man Energie und Fläche für Produktion, Betriebsverluste, und Recycling der dafür notwendigen Batterien mit rechnet? Daher müssen Bilanzen und Vergleiche sehr breit angelegt sein. Insbesondere müssen sie alle internen und externen Effekte (Kosten/Zinsen/Abschreibungen, Umwelt, Energie, Fläche), den gesamten Lebenszyklus (Bau, Betrieb, Entsorgung), und alle Systemteile (Infrastruktur, Fahrzeuge, Betrieb) umfassen.*

Im derzeitigen Autosystem haben Konstruktionen und Betriebsweisen andere Ziele als effiziente Mobilität. Bislang ermöglichen z.B. die üblichen Stufengetriebe und elastischen Motoren vielleicht einen speziellen Fahrspaß durch Übertragung von Dynamik, Drehzahl und Höchstleistung. In Zukunft wird dagegen höherer Wirkungsgrad durch kontinuierlich hohe Last bei niedriger Drehzahl möglich: durch Punkt-Optimierung der Konstruktion und entsprechenden Betrieb. Auch bei der Stromerzeugung hat damit der Verbrennungsmotor deutlich bessere Wirkungsgrade als beim heutigen Fahrbetrieb. Schließlich können die Fahrzeugkosten zwischen Mobilität und Stromerzeugung aufgeteilt werden.

Für das Stromsystem sind die Vorteile nicht so offensichtlich; hier lohnt ein genauer Blick. Gegenstand sind vor Allem die *nicht prognostizierbaren Minutenlücken* zwischen der zufälligen Stromnachfrage und dem (nach Prognosen produzierten) trägen Angebot. Diese Lücken sind selten, erreichen aber manchmal hohe Spitzenwer-

te, die um jeden Preis überbrückt werden müssen, um Netzzusammenbrüche («blackout») zu verhindern. Wir schlagen vor, nur noch negative Bedarfslücken (zu *wenig* Strom) entstehen zu lassen, und diese durch die überall dezentral bereit stehenden Autos zu kompensieren. Das eröffnet folgende Einsparmöglichkeiten:

- Bis heute ist bei den Kraftwerken das Angebot um rund die Hälfte höher als die historisch höchste je eingeschaltete Leistungsnachfrage, z.B. in Deutschland etwa 120-200GW installierte Leistung (ohne/mit volatile aus Wind/Sonne wegen Dunkelflaute) gegenüber etwa 90GW Höchstnachfrage. Das bedeutet Vorhalten und Betrieb riesiger zusätzlicher Kraftwerkskapazität, die entweder keinen Strom erzeugen oder den erzeugten Strom unmittelbar wieder vernichten (Kaltreserve, Warmreserve). Diese Reserven werden nicht mehr notwendig sein. Es müssen auf viele Jahre hinaus *deutlich weniger Kraftwerke gebaut* und betrieben werden.
- Bis heute wird bei den Kraftwerken schwankende Stromnachfrage durch Anpassung von Frequenz und Spannung in drehenden Massen und Anlagentemperaturen gepuffert. Höhere «zulässige» Bandbreiten erzeugen überproportional höhere Verluste. In Zukunft würden die Bandbreiten der verbleibenden thermischen Großkraftwerke viel geringer, umso *besser wird ihr Wirkungsgrad* - mit großen absoluten Gewinnen. Und Betreiber und Verbraucher haben zusätzliche *Betriebsvorteile durch geringere Netzschwankungen*.
- Bis heute gilt die Logik, nur durch noch größere Fern-Netze, notfalls über kontinentale Distanzen, könnten Erzeugung und Verbrauch koordiniert und die Spitzen geglättet werden. Auch das verursacht riesige Kosten und Verluste. In Zukunft würde das ersetzt durch genau passende, geringe Strommengen, direkt am Bedarfsort verfügbar mit höchster Leistung (-sreserve). Es müssen auf viele Jahre hinaus *deutlich weniger Netze gebaut* und mit deutlich geringeren Kosten und Verlusten betrieben werden.

Kosten, Verluste und Umweltschäden der heutigen Strategien für Regelstrom und Notstrom sind außerordentlich hoch, aber gut versteckt: teilweise in überhöhten Netzentgelten, teilweise in überhöhten (Durchschnitts-) Preisen je kWh; durchschnittliche Wirkungsgrade von Kraftwerken werden zu niedrig angenommen, und angeblich notwendige Fernleitungen werden – beiläufig oder gezielt – missbraucht, um zu viel produzierten Strom durch Aufwärmung der Luft zu vernichten. Regelstrom wird an den Spotmarkt-Strombörsen gehandelt: Preise erreichen oft *Faktor 10-20*, und müssen politisch plafondiert werden. Offensichtlich sind diese Kosten schwer genau berechenbar, und Schlagworte wie «Regelstrom», «Netzmanagement» und «Versorgungssicherheit» suggerieren, dass höchste Preise unvermeidlich seien. Aber schon äußerst grobe Schätzungen erhellen den Unterschied, wenn in Zukunft die Autos allmählich diese Teile der Stromerzeugung übernehmen: Bei Neubau und Betrieb von Kraftwerken und Stromnetzen könnten auf viele Jahre hinaus viele Milliarden € eingespart werden. Viele Hinweise deuten darauf hin, dass eine Arbeitshypothese von 20% Gewinn sogar eher konservativ ist. Da bleibt *viel Geld zu verteilen*: an Stromerzeuger, -verteiler, und -verbraucher, sowie an die Autohalter als Zusatzverdienst für Bereitstellung und Stromeinspeisung.

Dazu kommen weitere Vorteile:

- Mild-Hybrid-PKW bilden riesige dezentrale „Schwarm-Notstromaggregate“. Bei *Krieg, Terror, oder Katastrophen* garantierten sie Versorgungssicherheit für empfindlichen Nutzungen wie Notdienste, Krankenhäuser oder Bankenserver. Aber auch der Normalbetrieb in den weltweit eher instabilen Stromnetzen wäre sicher gestellt. Zusätzliche private Kraftwerke und Notstromaggregate könnten eingespart werden.
- Die dezentrale Verfügbarkeit gewährleistet eine gewisse *dezentrale Autarkie*, Autonomie, Verantwortung und Resilienz bei den zentralen Bedürfnissen Strom, Mobilität, und ggf. Wärme und Kälte. Das gilt für das einzelne Eigenheim, für ländliche Gemeinschaften oder urbane Quartiere - in guten und schlechten Zeiten.
- Eine Mild-Hybrid-PKW-Technologie kann «schnell» mit wechselnden Treibstoffen verschiedenster Herkunft flexibel die weltweiten Spotmärkte bedienen: Wo eine Kraftwerksumstellung 20 Jahre benötigt, kann die PKW-Technologie in 2 Jahren reagieren. Das ermöglicht einflussreiche, politisch stabilisierende *Verhandlungspositionen auf den regionalen und internationalen Energiemärkten*.

Die Bereitstellung privater PKW zur Einsparung getrennter Notstromaggregate könnte z.B. von Firmen oder Institutionen über private Verträge den Mitarbeitern und Anliegern vergütet werden - angesichts weltweit eher instabiler Stromnetze ein erhebliches Potenzial. Für Streitkräfte, Zivilschutz und Hilfsorganisationen könnten zur Bereitstellung private, staatliche, genossenschaftliche und gemeinnützige Regelungen gelten, im «Ernstfall» ordnungsrechtlich gestützt.

Die beschriebenen Autos sind genau die dezentralen «kleinen Gaskraftwerke» zur Ergänzung der volatilen Stromerzeugung aus Wind und Sonne. Die *schiere Menge der Autos* ist überwältigend: 10Mio Mild-Hybrid-Kfz hätten eine mögliche elektrische Leistung von 100 GW; anders formuliert könnten in hoch motorisierten und elektrifizierten Regionen theoretisch 20% der Autos den Ausfall des gesamten Kraftwerksparks kompensieren. Die technischen Komponenten sind alle serienfähig; die Innovationstiefe ist bescheiden, und die Detailentwicklung wäre schrittweise und korrigierbar möglich. Die Einführung ist von Anfang an ohne neue Infrastruktur

ökologisch und ökonomisch wirksam. Schon das erste Mild-Hybrid-Kfz am Stromnetz entfaltet statistisch eine anteilige Wirkung. Eine Vergütung von 300€/Monat an den Kfz-Halter ist keine unrealistische Perspektive.

Ununterbrochene Strom-Versorgungssicherheit auch bei höchsten Nachfragespitzen oder Notsituationen ist äußerst wichtig, aber nur schwer als feste Zahl definierbar. Sie besteht heute aus der Reservekapazität und dem technischen Zustand «zusätzlicher» Kraftwerke und Netze. Sie ist mehr oder weniger zufälliges Ergebnis sehr langfristiger Investitionen, politischer Interventionen, und technischer oder natürlicher Einflüsse, teilweise vor Jahrzehnten. So schwankt die Versorgungssicherheit statistisch stark über verschiedene Regionen und Zeitpunkte. Prognosen sind unscharf, und Sparmaßnahmen gefährlich. Defizite zeigen sich als scheinbar zufällig häufigere oder längere (aber eben immer noch seltene und kurze) Netzausfälle («blackout»); sie können nur mit höchsten Investitionen in Jahrzehnten aufgeholt werden. In unserem Szenario dagegen wird *riesige Zusatzsicherheit durch die bestehende Autoflotte* garantiert. Deren Kapazität kann sofort aktiviert und in wenigen Monaten oder Jahren vervielfacht werden. 1 Million Fahrzeuge in 6 Monaten ist für die Autoindustrie eine eher geringe Stückzahl, würde aber mit 10 GW elektrischer Leistung signifikant die Versorgungssicherheit erhöhen.



Abb.3: Schwarm-Gaskraftwerk 10 Mio. Mild-Hybrid-Autos

Wichtig ist das vor Allem als *theoretische Leistungsreserve*. Real werden Automotoren nur ganz wenig, und nur gerade den Strom erzeugen, der bisher nur extrem verlustreich, teuer und schädlich vorgehalten und erzeugt werden konnte. Und vielleicht führt schon die bloße Existenz der Leistungsreserve zu günstigeren Preisen und/oder ökologischeren Innovationen der Konkurrenzanbieter von Regelstrom: sei es durch mehr Verbrauchsmanagement, durch dezentrale-Kleinst-Pumpspeicherwerke, durch billigere Auslandsangebote, durch unerwartete Durchbrüche in der Stromspeichertechnik, oder viele andere Ideen.

5. Effizienz-Innovation, Technologieführung, Geopolitische Implikationen, Akteure

Das Konzept hat hohes Weltmarktpotential. Es trägt bei zu Antworten auf die globalen politischen, wirtschaftlichen, demographischen, und klimatischen Herausforderungen. Die Spotmarktfähigkeit eröffnet Spielräume in der internationalen Energiediskussion. Nächste Schritte wären verstärkte Forschungs- und Entwicklungsanstrengungen. Initiative und Federführung dafür könnte von Unternehmen oder Institutionen, Verbänden oder Behörden verschiedenster Ressorts ausgehen.

Es geht um *Effizienz-Innovationen* und Technologieführung mit *höchstem Weltmarktpotential*. Weltweit gibt es derzeit rund 1 Mrd. PKW (manche vermuten bald 2 Mrd., Umweltschützer wünschen ½ Mrd.), und der Welt-Strommarkt wächst dynamisch. Die internationalen Risiken nehmen zu – Stichworte Bevölkerungswachstum, Welthandel oder Klimawandel. Große Unsicherheiten bestehen zu der Frage, welche Technologieinnovationen für eine Weltbevölkerung von demnächst 10 Mrd. Mitbürgern angemessen sein werden. Selbst bei Öko-

Szenarien wird ein riesiger «Rest»-Automarkt bleiben. Erneuerbare Energien und Elektromobilität sind allein nicht ausreichend, sofort 200 Jahre C-H-Verbrennung zu ersetzen. Bei der Auto-Mobilität und bei den Strom-Spotmärkten sind die Vorteile flüssiger oder gasförmiger C-H-Treibstoffe eklatant. Wer diese Technologien bestmöglich beherrscht, steigert Nachhaltigkeit und Resilienz der hochempfindlichen Infrastrukturen («Black-out»), und hat *in Geopolitik und Energiepolitik große Gestaltungsmöglichkeiten*. Jede Umstellung auf «Erneuerbare» sollte daher zunächst weltweit auf alle stationären Anlagen konzentriert werden.

Zum Schluss sollen noch einige Anmerkungen zu den wichtigsten Akteuren gemacht werden. Die größten Herausforderungen ergeben sich voraussichtlich im Umgang mit den Abgrenzungen von Fraktionen, Branchen und Fachgebieten in Wissenschaft, Wirtschaft und Politik. Für beide Branchen – Strom und Auto – bieten sich neue Chancen in einer schwierigen Umbruchphase – für beide mit relativ wenigen Eingriffen. Wachstum kann tendenziell die PKW-Industrie erwarten, weil sie Teile des Strommarktes bedienen und dabei ihre Kernkompetenzen weiter nutzen kann. Vielleicht läuft der Innovationspfad dieses Mal nicht über das Premium-Segment: Vielleicht sind die Gewinner dieses Mal die Konstrukteure und Verkäufer von High-Tech-Drivelines für den weltweiten Massenmarkt. Auf der Stromseite sind Verteilnetzbetreiber wie die Stadtwerke die Gewinner: sie können einen allmählich wachsenden Teil Regelstrom und Versorgungssicherheit verbilligen und in lokale und regionale Verantwortung übernehmen. Politik und Regulierungsbehörden haben weiter hohe Verantwortung für technisch-wirtschaftliche Standards (Versorgungssicherheit!) und Preisimpulse (Regelstrom!). Rechtsrahmen, Steuern und -abgaben, Emissionshandel, Flottenverbräuche u.a. müssten neu justiert und vereinfacht werden.

Und schließlich könnten die verschiedenen Fachleute - einzeln und in ihren Organisationen – einen *New Deal der Zusammenarbeit* schließen: Neue fachübergreifende Verknüpfungen, und Wirkungsgrad statt Leistung um jeden Preis. Die Idee ist, aus den verschiedenen technischen Komponenten jeweils die Rosinen aus der Bandbreite der durchschnittlichen Wirkungsgrade zu picken. Es erhärtet sich die Anfangsvermutung, dass die Hypothesen zu den positiven Gesamtwirkungen realistisch, und dass Detailprobleme, Pilotprojekte, Umsetzung, und allmähliche Einführung technisch-wirtschaftlich erfolgreich lösbar sind. Und das rechtfertigt jedenfalls erhebliche Forschungs- und Entwicklungsanstrengungen. Ein passendes Testgebiet könnte eine größere Insel sein – vielleicht Bali, Sizilien, oder Vancouver Island. Eingeladen sind alle: Physiker und Ingenieure, Ökonomen und Juristen, Wirtschaft, Wissenschaft, Politik und Zivilgesellschaft. Es bleibt spannend, welche Fachrichtungen und welche Institutionen Initiative und Führung übernehmen werden.