

Die Batterie – Engpass der E-Mobilität?

„WATT geht ab in Aachen“ – car e.V. competence center automotive
Aachen, 18.09.2009

Prof. Dr. Dirk Uwe Sauer

email: sr@isea.rwth-aachen.de

**Juniorprofessur für Elektrochemische Energiewandlung
und Speichersystemtechnik**

Institut für Stromrichtertechnik und Elektrische Antriebe (ISEA)

Univ.-Prof. Dr. ir. Rik W. De Doncker

RWTH Aachen

Elektro- und Hybridfahrzeuge auf dem Vormarsch

- Strom aus CO₂-freien Quellen über Batterien für Fahrzeuge ist der effizienteste Weg zur Reduktion der CO₂-Emissionen im Straßenverkehr und zur Schonung der Erdölreserven



Quelle: Volvo



Quelle: Daimler



Quelle: Think



Quelle: Daimler



Quelle: minispacer.com



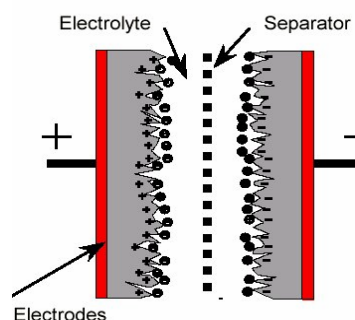
Quelle: Tesla Motors

Gliederung

- Einleitung
- Aktuell verfügbare Speichertechnologien
- Lithium-Ionen-Batterietechnologie
- Elektromobilität – Ladeinfrastrukturen & Netzwechselwirkungen
- Zusammenfassung

Aktuell verfügbare Speichertechnologien - SuperCaps

- Supercaps für Start/Stopp-Technologie
 - geringe Energiedichte, hohe Leistung, nur drei Anbieter
 - ungeeignet für Elektrofahrzeuge
- „Wunder“-Kondensatoren sind angekündigt (basierend auf Barium-Titanat mit sehr hoher Dielektrizitätskonstante, EESTORE)
 - ➔ Technologie und Ökonomie in Bezug auf Elektrofahrzeuge unklar



Doppelschichtkondensatoren

Aktuell verfügbare Speichertechnologien – Blei-Batterie

- Herstellungskosten für Bleibatterie liegen strukturell bei nur etwa 1/5 gegenüber Li-Ionen-Batterien
- Derzeit viele (auch neue) Produkte im Markt (kleine Elektro-PKW, Transporter, Fahrräder)
- Lebensdauer begrenzt (bis 1000 Zyklen)
- Gewicht hoch (ca. 320 kg für 80 km Reichweite in einem Kleinwagen)
- Aber: hohe Wahrscheinlichkeit, dass eine Reihe von (Billig-)Fahrzeugen mit Blei-Technologie an den Markt kommen werden



Abbildung: Exide

Aktuell verfügbare Speichertechnologien - NiMH

- NiMH für alle aktuellen Hybridfahrzeuge am Markt
 - technisch ausgereift, sicher
 - gute Lebensdauer im teilzyklischen Betrieb
 - Ausbau der Kapazitäten in Japan
 - bis 2012 steigender Absatz erwartet
 - geringes Potential für Kostensenkung und Erhöhung der Energiedichte
 - Keine nachhaltige Option für PHEV und EV



Quelle: Toyota



Quelle: Cobasys

Aktuell verfügbare Speichertechnologien – Hochtemperaturbatterien

- ZEBRA-Batterie (NaNiCl) in vielen Elektrotraktionsanwendungen (aktuell meist verkaufte Batterie für Elektrofahrzeuge)
 - Kosten um 500 €/kWh im System (heute !)
 - Produktionskapazitäten bei nur einem Hersteller sehr klein
 - Betriebstemperatur 300°C, thermische Verluste ca. 100 W
 - nicht optimal für Privatkunden wg. thermischen Verlusten
 - Gute Technologie für Flotteneinsatz



Quelle: NGK, MES-DEA

Natrium–Nickelchlorid (ZEBRA) – Anwendungsbeispiele

- Nur ein Hersteller weltweit (MES-DEA in der Schweiz)
- Einsatz vor allem in Elektrofahrzeugen
- Ebenfalls eingesetzt in stationären Anwendungen



THINK City in Norway



Van for City Logistic in the Netherlands



Hybrid Bus in Italy



Electric Bus with 140 miles range in California

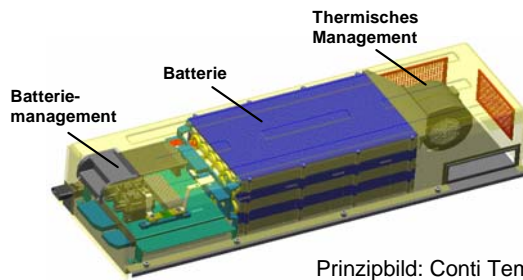
Quelle: MES-DEA

Aktuell verfügbare Speichertechnologien – Lithium-Ionen

- Lithium-Ionen im Einsatz bei Hybridfahrzeugen erst ab diesem Jahr
- Großer Markt im Bereich tragbare Geräte, PowerTools, Elektrofahrzeuge, Gartengeräte, etc.



Quelle: Daimler



Prinzipbild: Conti Temic

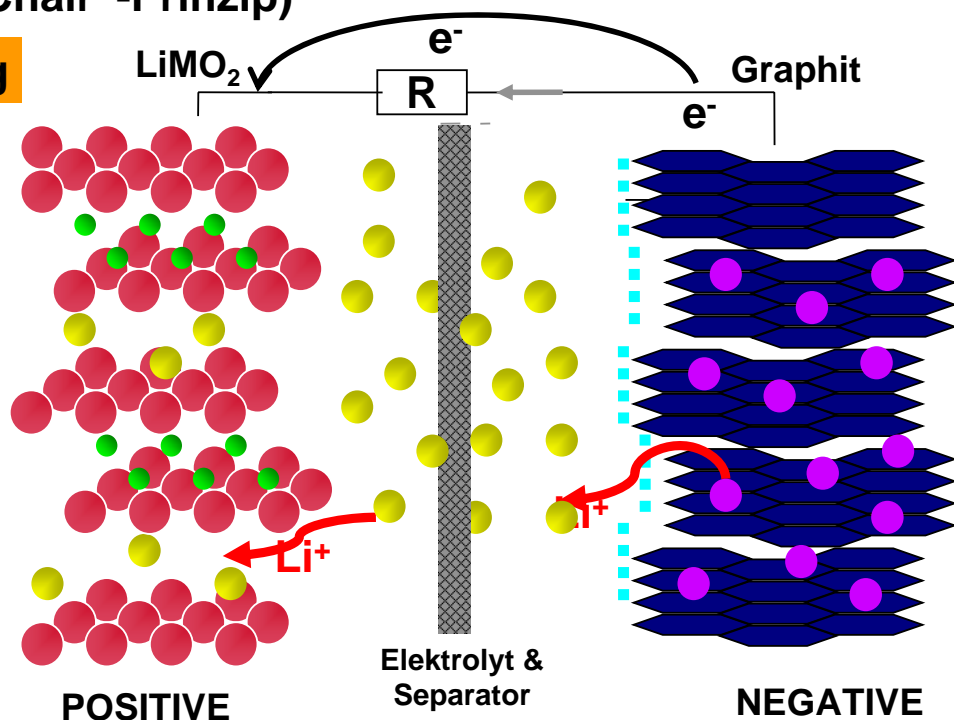


Quelle: Saft

Das Lithium-Ionen System (Interkalationelektroden, „Rocking Chair“-Prinzip)

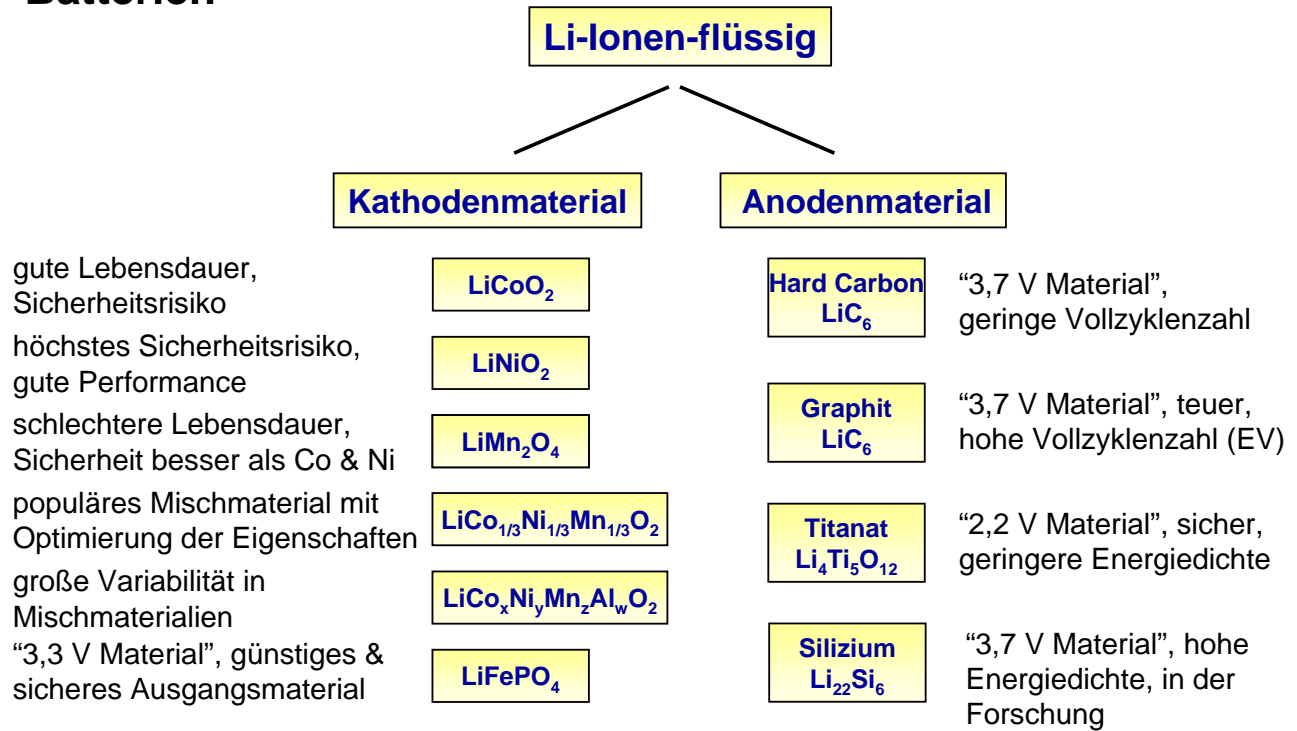
Entladung

- Sauerstoff
- Li^+ LiC_6
- Metall-Ion
- Graphit
- Separator



Graphik: Saft

Aktuelle Hauptentwicklungslinien bei Lithium-Ionen-Batterien



Elektrische Leistungsfähigkeit (Zellen)

	Hochenergie	Hochleistung
• Leistungsdichte (25°C)	200 – 400 W/kg	2000 – 4000 W/kg
• Energiedichte	120 – 160 Wh/kg	70 – 100 Wh/kg
• Wirkungsgrad	~ 95%	~ 90%
• Selbstentladung	< 5%/Monat (25°C)	< 5%/Monat (25°C)
• Lebensdauer	bis 5000 Vollzyklen	10 ⁶ (3,3% DOD)

Unterschiedliche Zellkonzepte



Rundzelle

- Viel Erfahrung im Zelldesign
- Hohe Lebensdauererwartung
- Kühlung aufwändig



„Coffee bag“-Zelle

- Sehr gute Kühleigenschaften
- Hohe Energiedichte
- Dichtigkeit der Folie zentrale Fragestellung

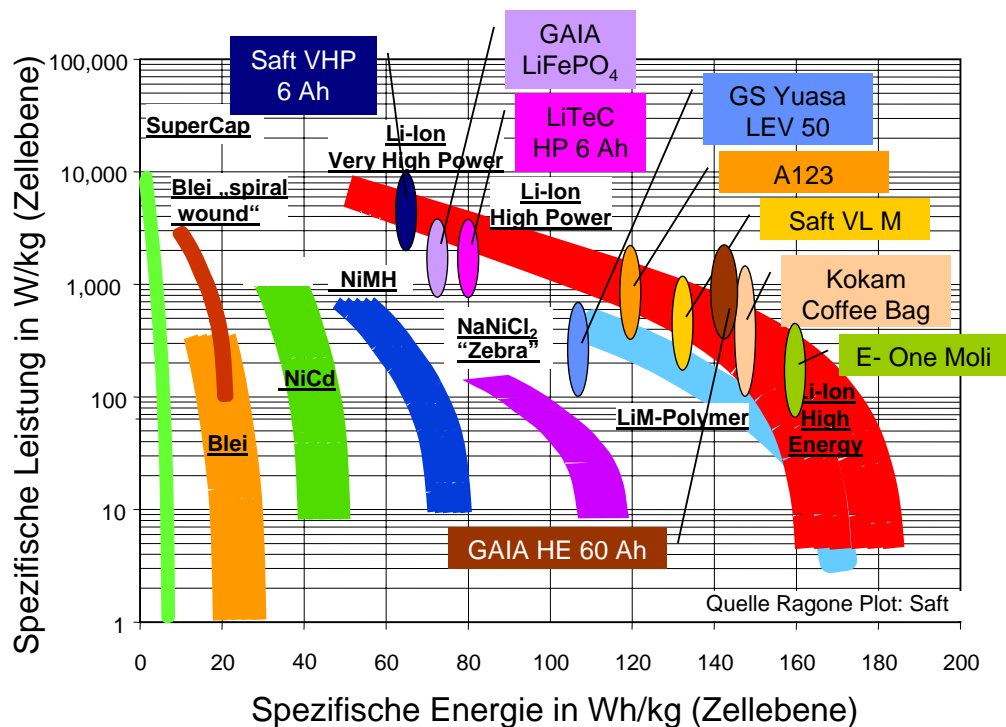


Prismatische Zelle

- einfacher Verbau
- Vereint einige Vorteile von Rund- und Coffee-bag Zellen

Gravimetrische Leistungsdichte vs. Energiedichte

(Leistungs- und Energiedichten spezifischer Produkte aus Datenblättern und eigenen Messungen)



Kosten von Li-Ionen-Batterien

heute

- Hochenergiebatterien bei ca. 1000 - 1500 Euro / kWh (Kleinserie), aber Preisangaben sehr schwierig, da kein echter Markt existiert

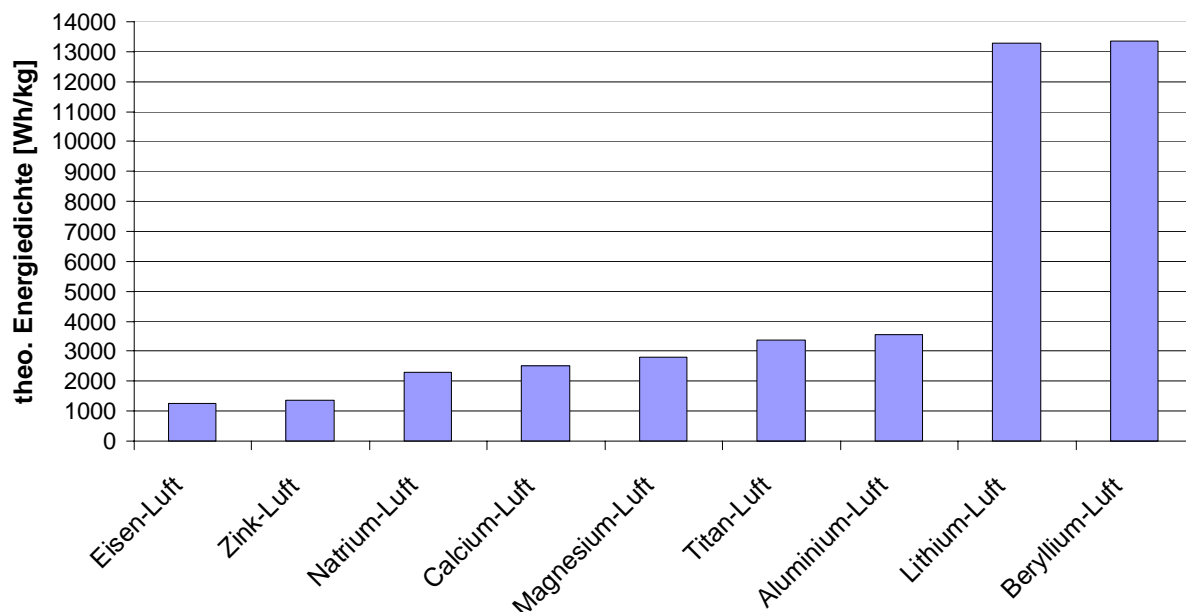
Einschätzung bzw. Marktforderung der erreichbaren Kosten bei Massenproduktion:

- 500 €/kWh für Hochleistungsbatterien
- 300 €/kWh für Hochenergiebatterien (Schätzung aus Japan liegen bei 160 €/kWh)

Warum?

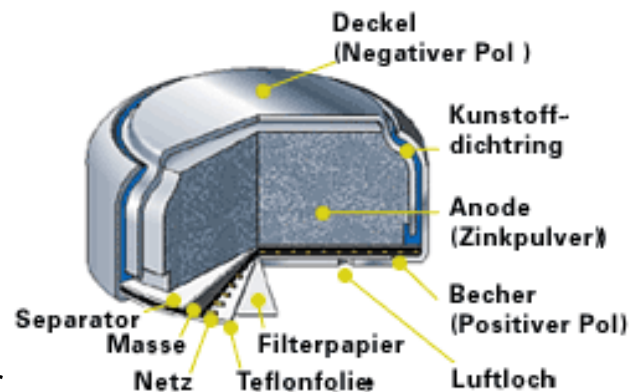
- Kokam liefert heute bei großen Stückzahlen heute für < 500 €/kWh (HE)
- Hochenergiebatterien aus China heute schon für 300 €/kWh erhältlich (Markt für Elektrofahrräder), Qualität fraglich
- Laptop-Batterien heute bei 220 €/kWh, Kostenreduktion 1995 – 2005 etwa Faktor 5

Batterietechnologien mit sehr hohen Energiedichten - Theoretische Energiedichten von Metall-Luft-Batterien



Metall-Luft-Batterien – Option für die Zukunft?

- Einzige theoretisch realistische Batterieoption für Energiedichten $> 1000 \text{ Wh/kg}$
- Aber, als wiederaufladbare Batterie mit $> 1000 \text{ Wh/kg}$ innerhalb von 10 Jahren sehr unwahrscheinlich
- Aber: Interessant möglicherweise als Austauschbatterien mit externer Regeneration an Tankstellen (siehe auch „Project Better Place“)



→ verändertes Konzept mit Auswirkungen auf Fahrzeugdesign und Nutzerverhalten

Elektrifizierung des Individualverkehrs



Hybridfahrzeug

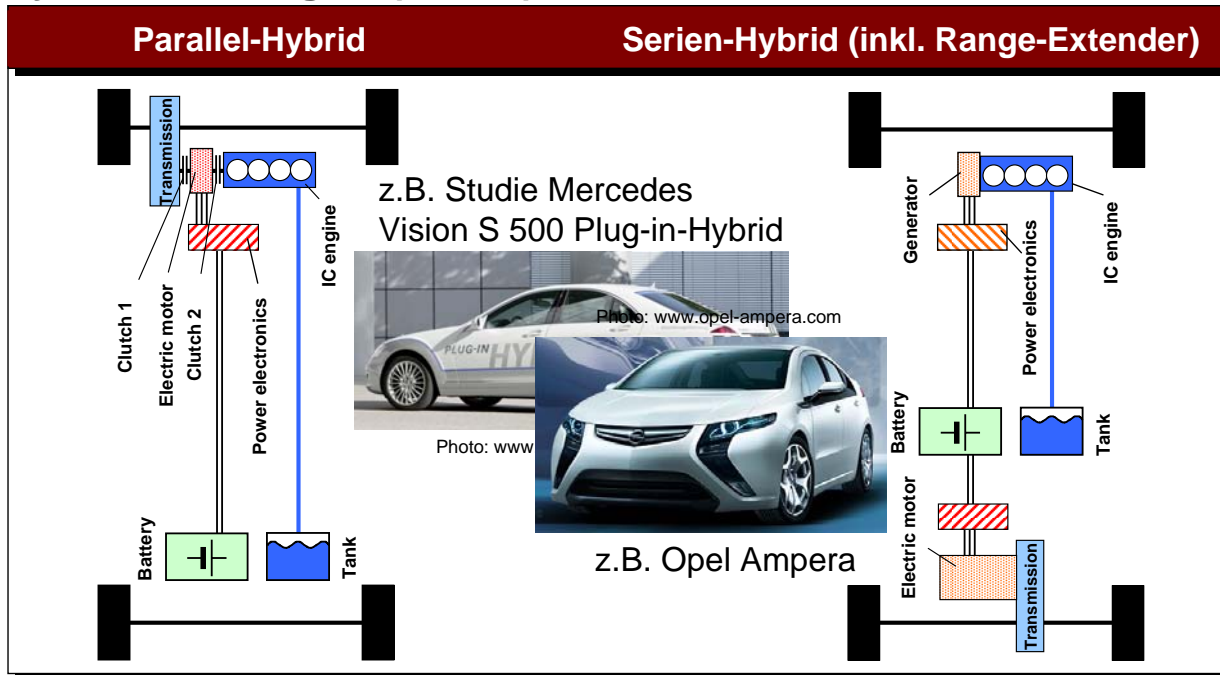
Speicher ca. 1 kWh, Ladung nur während Fahrt, Treibstoffeinsparung max. 20%



Plug-in Hybrid

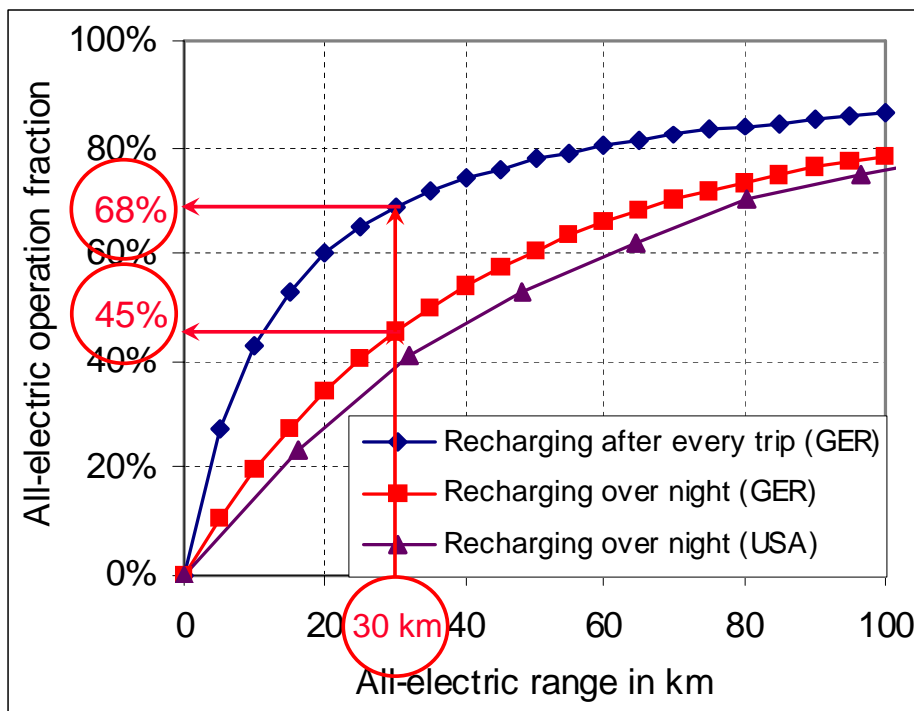
Speicher 5 – 10 kWh, Ladung aus dem Netz, 50 – 70 km Reichweite ohne Treibstoff, volle Reichweite, volle Leistungsfähigkeit

Topologie von Hybrid- (HEV) und Plug-in Hybridfahrzeugen (PHEV)



Graphik: Dr. Kube, Volkswagen Konzernforschung, 2007

Auslegung des Speichers von Plug-in Hybriden → sehr hohes Kraftstoffeinsparpotential mit kleinen Batterie



Elektrifizierung des Individualverkehrs



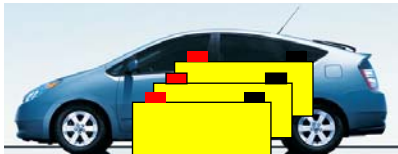
Hybridfahrzeug

Speicher ca. 1 kWh, Ladung nur während Fahrt, Treibstoffeinsparung max. 20%



Plug-in Hybrid

Speicher 5 – 10 kWh, Ladung aus dem Netz, 50 – 70 km Reichweite ohne Treibstoff, volle Reichweite, volle Leistungsfähigkeit



Elektrofahrzeug

Speicher 15 – 40 kWh, Ladung aus dem Netz, 100 – 300 km Reichweite ohne Treibstoff,

Warum sind langreichweitige reine Elektrofahrzeuge wirtschaftlich schwierig darzustellen?

Größe der Batterie für 200 km elektrische Reichweite: ca. 30 kWh
(sehr sparende Stadtfahrzeuge ggf. 20 kWh, große Fahrzeuge eher 40 kWh)

Kosten der Batterie (nur Einkauf Batteriesystem durch Automobilhersteller):
ca. 30 x 300 € = 9.000 €

→ Mehr als Produktionskosten eines Mittelklassefahrzeugs

→ Gewicht bei 100 Wh/kg → 300 kg

Batterie ist nach 10 bis 15 Jahren kaputt, auch wenn sie nicht genutzt wird.

Bei mittlerer Nutzung von 37 km/Tag stehen sich 80% der Batterie im Wesentlichen kaputt.

Das reine Elektroauto als Massenprodukt bleibt auch auf absehbare Zeit ein Kurzstreckenfahrzeug mit einer sinnvollen Reichweite um 100 km.

Zusammenfassung

- Lithium-Ionen-Technologie im Fokus der Entwicklungen, aber Alternativen für Spezialanwendungen und kleine Reichweiten nicht zu unterschätzen
- Reichweite eines reinen Elektrofahrzeugs sollte nicht mehr als das dreifache der mittleren täglichen Fahrstrecke betragen.
- Plug-in Hybride (Parallel oder Seriell) sind die Lösung für den langreichweitigen Verkehr (Ersatz der heutigen Standardfahrzeuge).
- Elektromobilität ist attraktiv, wenn sie ohne zentrale Ladestationen und Wechselbatteriekonzepte auskommt.
- Übernahme von Regelaufgaben im Netz ist sinnvoll, wenn die Zyklenlebensdauer nicht durch den Fahrbetrieb erreicht wird (was mit modernen Lilon-Akkus in E.-Fahrzeugen immer der Fall ist).
- Viele „Nischenmärkte“ (Busse, Kleintransporter, Baumaschinen, etc.) werden Technologien übernehmen und sind viel schneller profitabel

Die Batterie – Engpass der E-Mobilität?

„WATT geht ab in Aachen“ – car e.V. competence center automotive
Aachen, 18.09.2009

Prof. Dr. Dirk Uwe Sauer

email: sr@isea.rwth-aachen.de

**Juniorprofessur für Elektrochemische Energiewandlung
und Speichersystemtechnik**

Institut für Stromrichtertechnik und Elektrische Antriebe (ISEA)

Univ.-Prof. Dr. ir. Rik W. De Doncker

RWTH Aachen

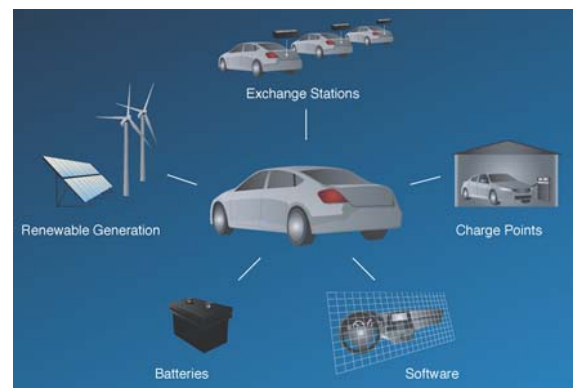
Auslegung des Batteriespeichers – Elektroauto

Größe der Batterie wird durch Kundenwunsch bestimmt

- Größe in Abhängigkeit des Energiebedarfs (typisch 10 bis 20 kWh/100km)
- **Wichtig:** Wirtschaftlichkeit von Elektroautos ergibt sich vor allem durch Substitution von Treibstoff durch günstigeren Strom
- **Wichtig:** Batterien haben eine Zyklen- und eine kalendarische Lebensdauer.
- Modulare Batteriekonzepte mit Batterien für z.B. 50, 100 oder 150 km sind interessant

Intensive Diskussion über Infrastrukturfragen

- Wechselbatteriekonzepte mit standardisierten Batteriepacks (und Fahrzeugen?)
- Schnellladestationen für Reichweitenverlängerung?
- Ladegeräte (3 oder 5 kW) im Fahrzeug oder stationär?
- Lademöglichkeiten auch an Parkplätzen, öffentlichen Plätzen, etc.?



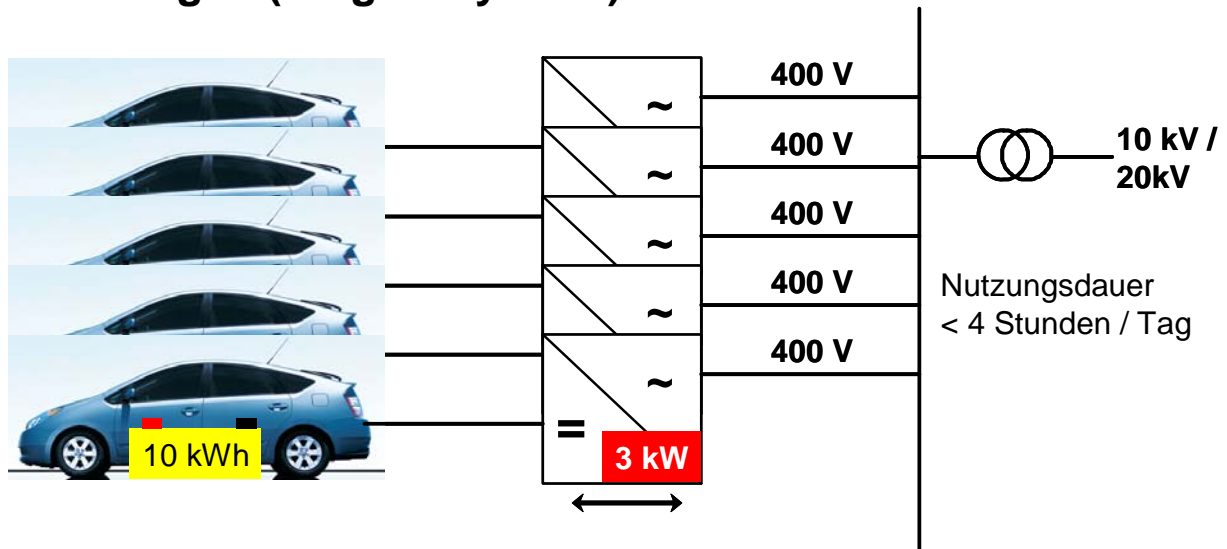
Quelle: Project Better Place

➔ Antworten vielfach interessengetrieben ...



Quelle: NEC/AESC

Virtuelle Großspeicher durch verteilte Speicher in Fahrzeugen (Plug-in Hybride)



- Interessant, weil in Elektroautos im Mittel höchstens 30 – 50% der Zykluslebensdauer ausgenutzt werden.
- Differenzielle Kosten für den Speicher sind daher zunächst null !