

Elektroautos und ihre Rolle im Stromnetz

Fabian Dreier

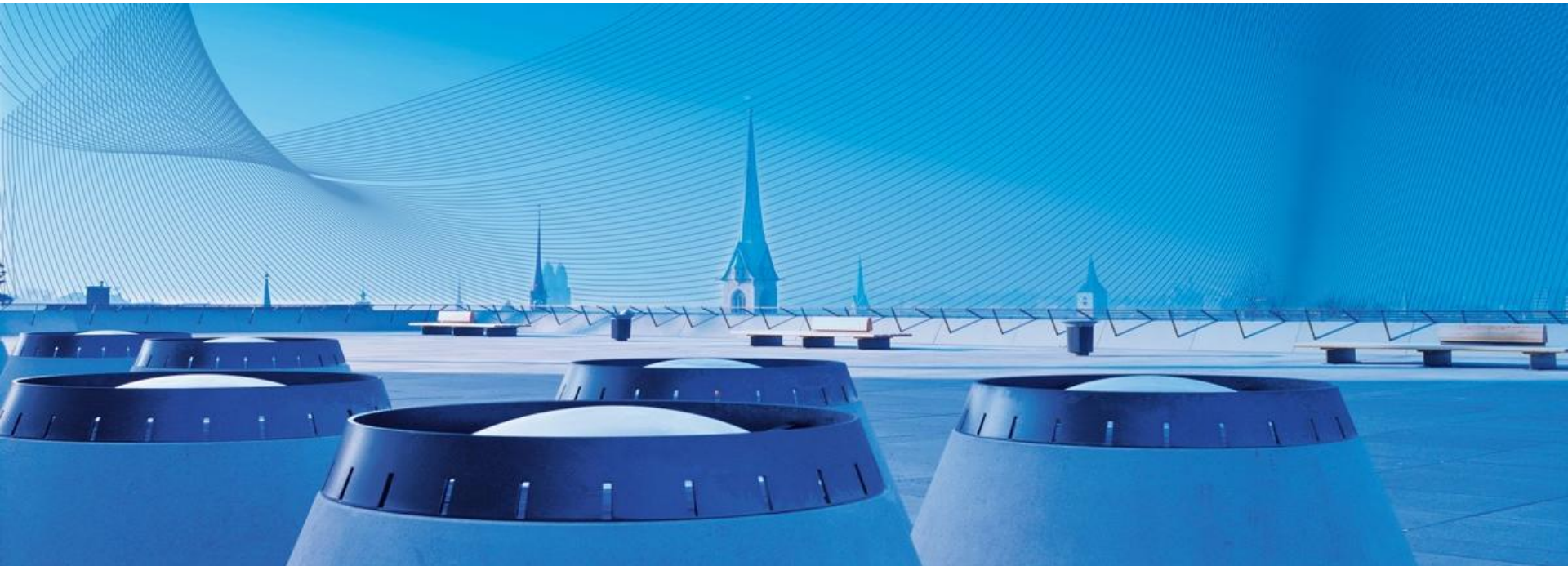




Bild:[10] Alaska Energy Wiki

Inhaltsübersicht

- Elektroautos - Allgemeines
- Elektroautos als Stromkonsumenten
- Strommarkt
- Elektroautos als Stromspeicher

Geschichte der Elektroautos

- 1881 erstes Elektroauto vorgestellt
- 1900: 38% der Autos in USA Elektromobile
- 1912 Höhepunkt mit Produktion von 33'000 Fahrzeugen
- Später verdrängt durch benzingetriebene Autos
 - Technische Verbesserungen
 - Grössere Reichweite



Bild [6]: Wikipedia, La_Jamais_Contente

Geschichte der Elektroautos

- Seit 1990 erneuter Aufschwung
 - Grösseres Umweltbewusstsein
 - Teurere Benzin-/Dieselpreise
 - Verbesserungen in Batterietechnologie
- Beste aktuelle Modelle erreichen Reichweite von 350km
z.B Tesla Roadster (Sportwagen)

Kategorien von Elektroautos

- Nur mit Batterie betrieben
 - - grosse Kapazität (bis 60 kWh)
- Brennstoffzelle
 - Strom aus Reaktion von Wasserstoff mit Sauerstoff
 - besitzen Batterie zur Speicherung
- Hybrid
 - Elektromotor und Verbrennungsmotor zum Antrieb
 - Batterie wird durch Motor aufgeladen

Inhaltsübersicht

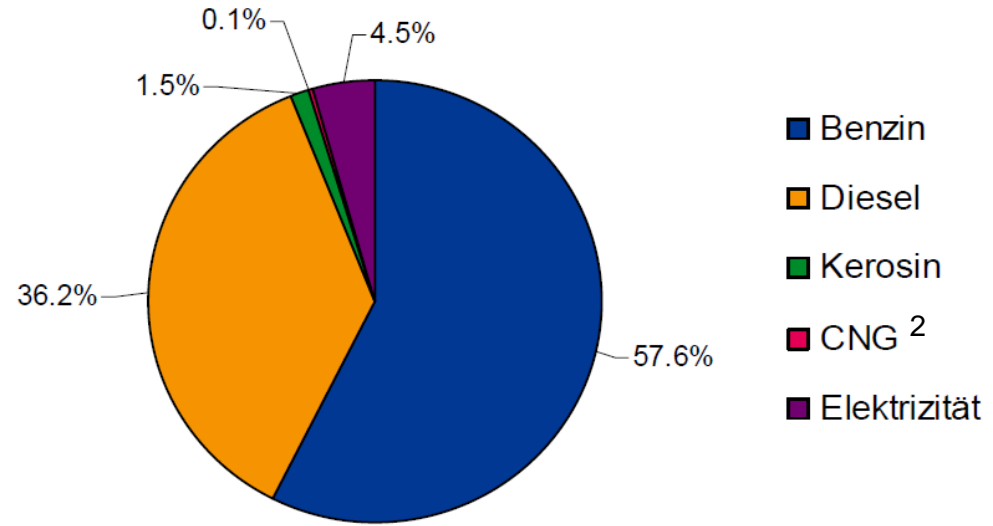
- Elektroautos
- Elektroautos als Stromkonsumenten
- Strommarkt
- Elektroautos als Stromspeicher

Elektroautos als Stromkonsumenten

- Anteil an Elektroautos wird stark steigen
 - 2015: 16% der Neuzulassungen in Städten¹
- Zusätzliche Last für das Stromnetz
- Wie gross ist diese zusätzliche Last?

¹ Quelle: Mc Kinsey [1] http://www.mckinsey.de/html/presse/2010/20100112_emobilitaet.asp

Energieverbrauch Verkehr in der Schweiz¹

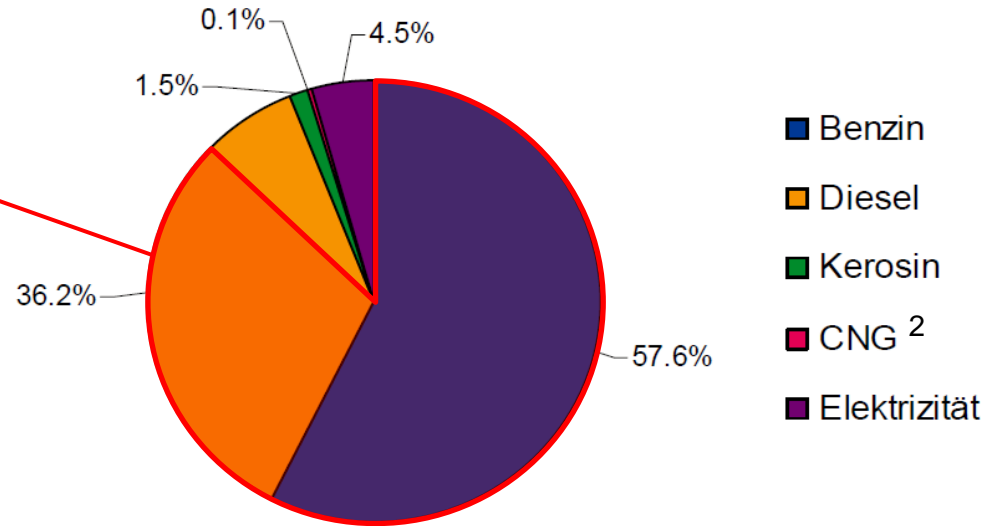


Verbrauch des Verkehrs nach Energieträgern

¹ Bild und Daten: Bundesamt für Energie [2], ² Composite Natural Gas

Energieverbrauch Verkehr in der Schweiz¹

- 86% Strassenverkehr

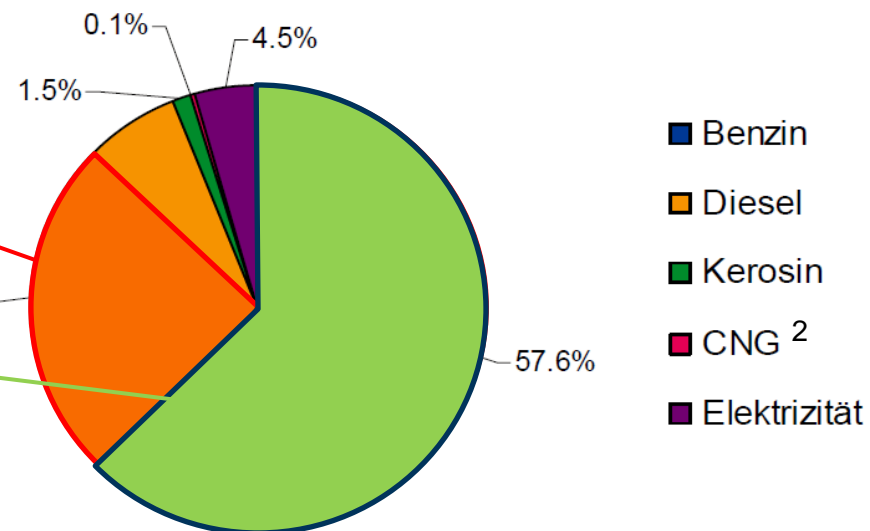


Verbrauch des Verkehrs nach Energieträgern

¹ Bild und Daten: Bundesamt für Energie [2], ² Composite Natural Gas

Energieverbrauch Verkehr in der Schweiz¹

- 86% Strassenverkehr
- Davon 70% Personenverkehr
 - = 60% des Ganzen

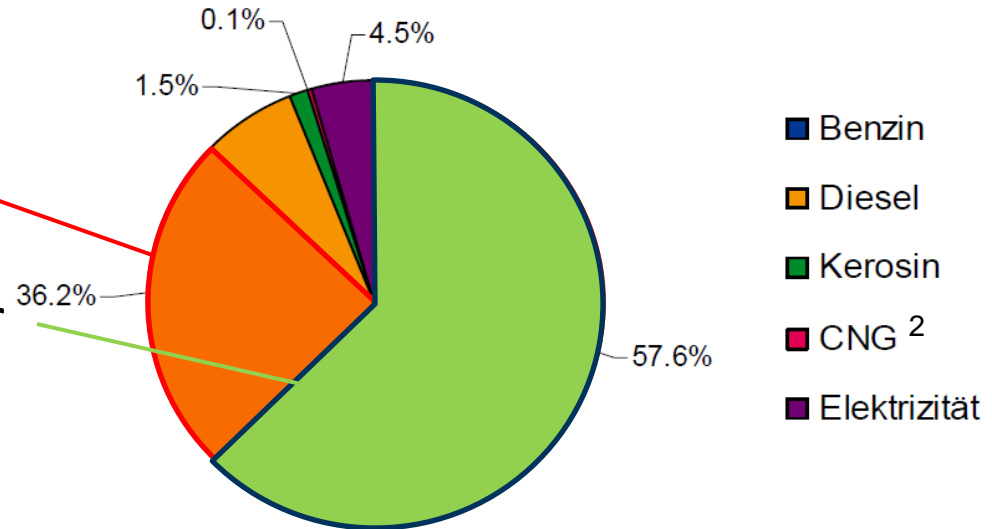


Verbrauch des Verkehrs nach Energieträgern

¹ Bild und Daten: Bundesamt für Energie [2], ² Composite Natural Gas

Energieverbrauch Verkehr in der Schweiz¹

- 86% Strassenverkehr
- Davon 70% Personenverkehr
 - = 60% des Ganzen



- Annahme: 50% Elektroautos
- ➔ 30% des Verkehrs durch Stromnetz ersetzt
- = 40% des Stromverbrauchs

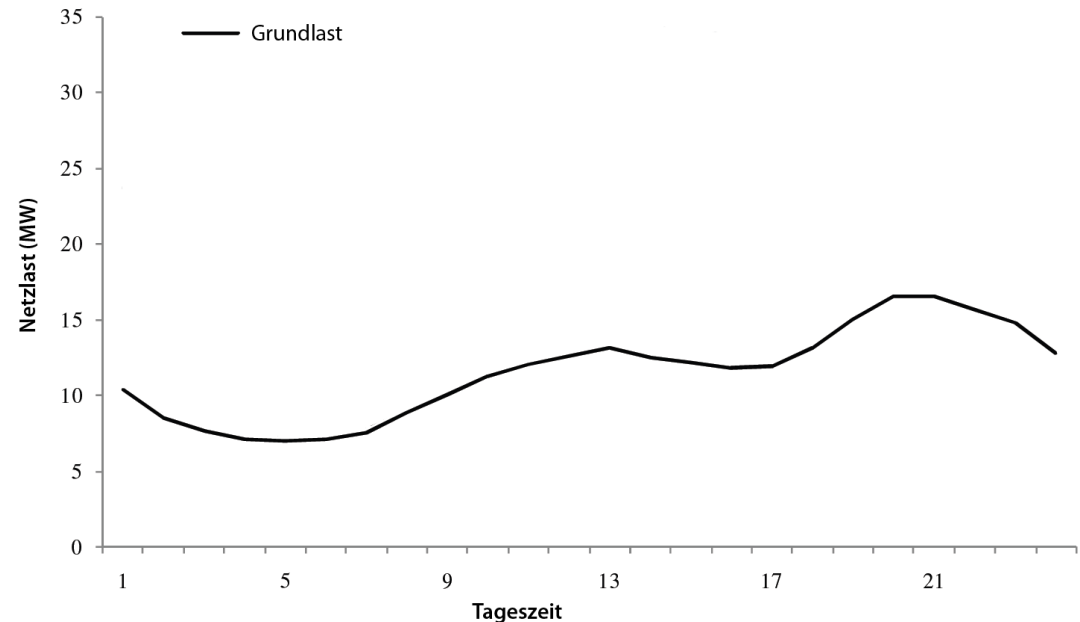
¹ Bild und Daten: Bundesamt für Energie [2], ² Composite Natural Gas

Schätzung – Elektrizitätsverbrauch

- Elektroautos haben etwa 3x höheren Wirkungsgrad
- → Zusatzverbrauch von etwa 14% (Elektrizität)
- Entspricht etwa der Produktion des KKW Gösgen

Ladestrategien - Probleme

- Problem: Zusatzlast vor allem am Abend (nach Heimweg)
- Ziel: Verschiebung aus Spitzenzeiten
- Bessere Lastverteilung durch Ladestrategien



Bild[5]: Lopes und Soares, übersetzt

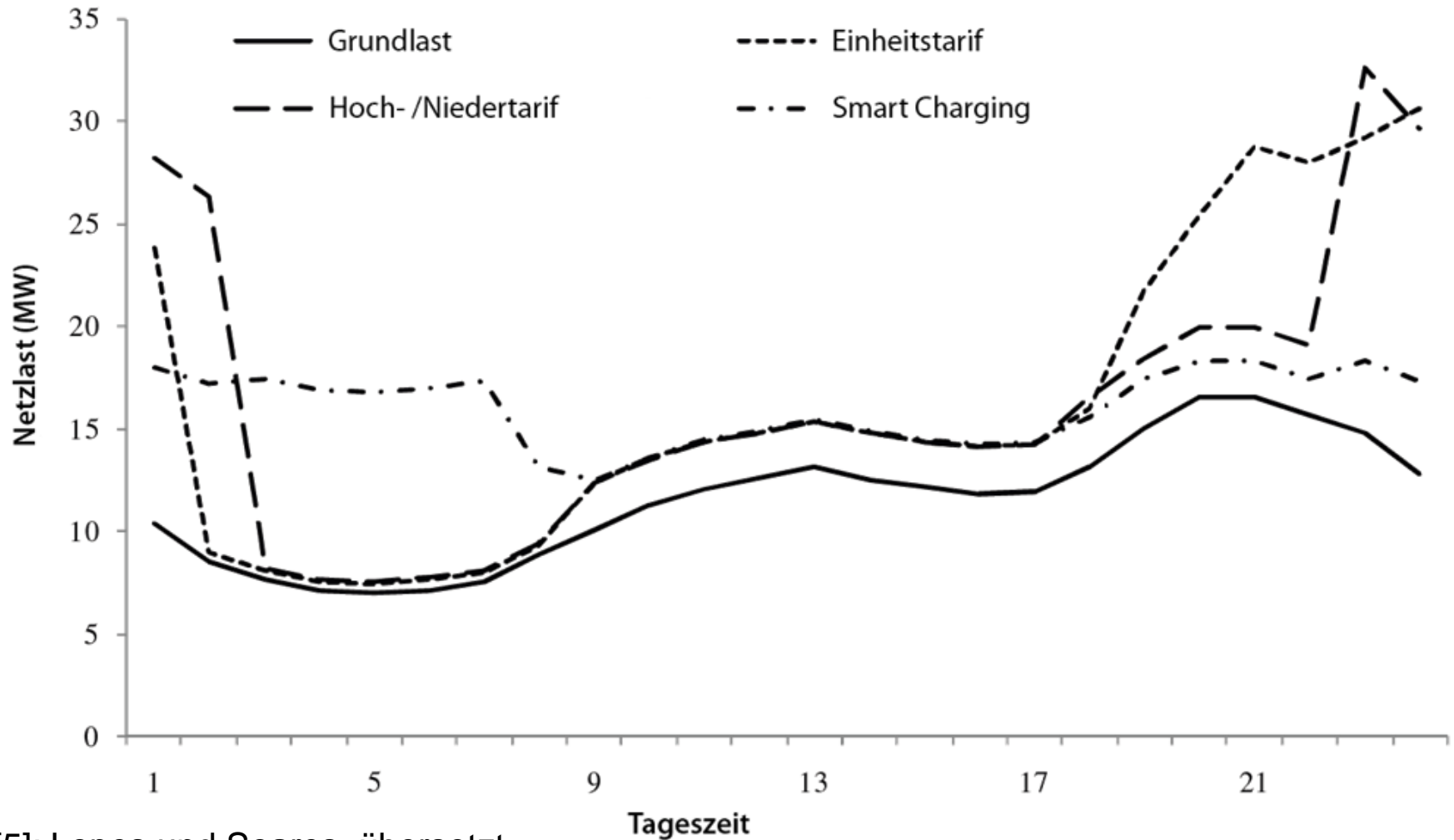
Ladestrategien – Hoch- /Niedertarif

- Besitzer spart, wenn Auto mit Niedertarif geladen wird
- Problem: Alle beginnen etwa gleichzeitig
- Führt zu neuer Spitzenlast
- Verschärft sich mit Zeitschaltuhren

Ladestrategien – Smart charging

- Idee: Auto lädt nur wenn momentane Netzlast gering ist
- Kommunikation mit lokalem Netzknoten
- Netzknoten entscheidet über Ladeleistung
- → Autos werden in der Nacht geladen
- Besitzer muss Möglichkeit haben um schnelles Laden zu erzwingen

Ladestrategien – Vergleich



Bild[5]: Lopes und Soares, übersetzt

Inhaltsübersicht

- Elektroautos
- Elektroautos als Stromkonsumenten
- Strommarkt
- Elektroautos als Stromspeicher

Strommarkt

Arten von gehandeltem Strom:

- **Grundleistung**
 - 24h/Tag
 - Produziert von: KKW oder grossen Wasser- / Kohlekraftwerken

- **Spitzenleistung**
 - Übernimmt **vorhersehbaren** Teil der Spitzenbelastung
 - Produziert von: Grossen Wasserkraftwerken- / Kohlekraftwerken

Strommarkt

- Minutenreserve
 - Reserve für **unvorhersehbare** Last oder Störungen
 - Produziert von: Wasserkraftwerken oder Gasturbinen
 - Reaktionszeit: <15 min
 - Wird auch für Bereitschaft bezahlt
- Regelleistung
 - Leistung zur Stabilisierung der Frequenz
 - Reaktionszeit: einige Sekunden
 - Für Bereitschaft + Lieferung (regulation up) und Aufnahme (regulation down) wird bezahlt

Strommarkt

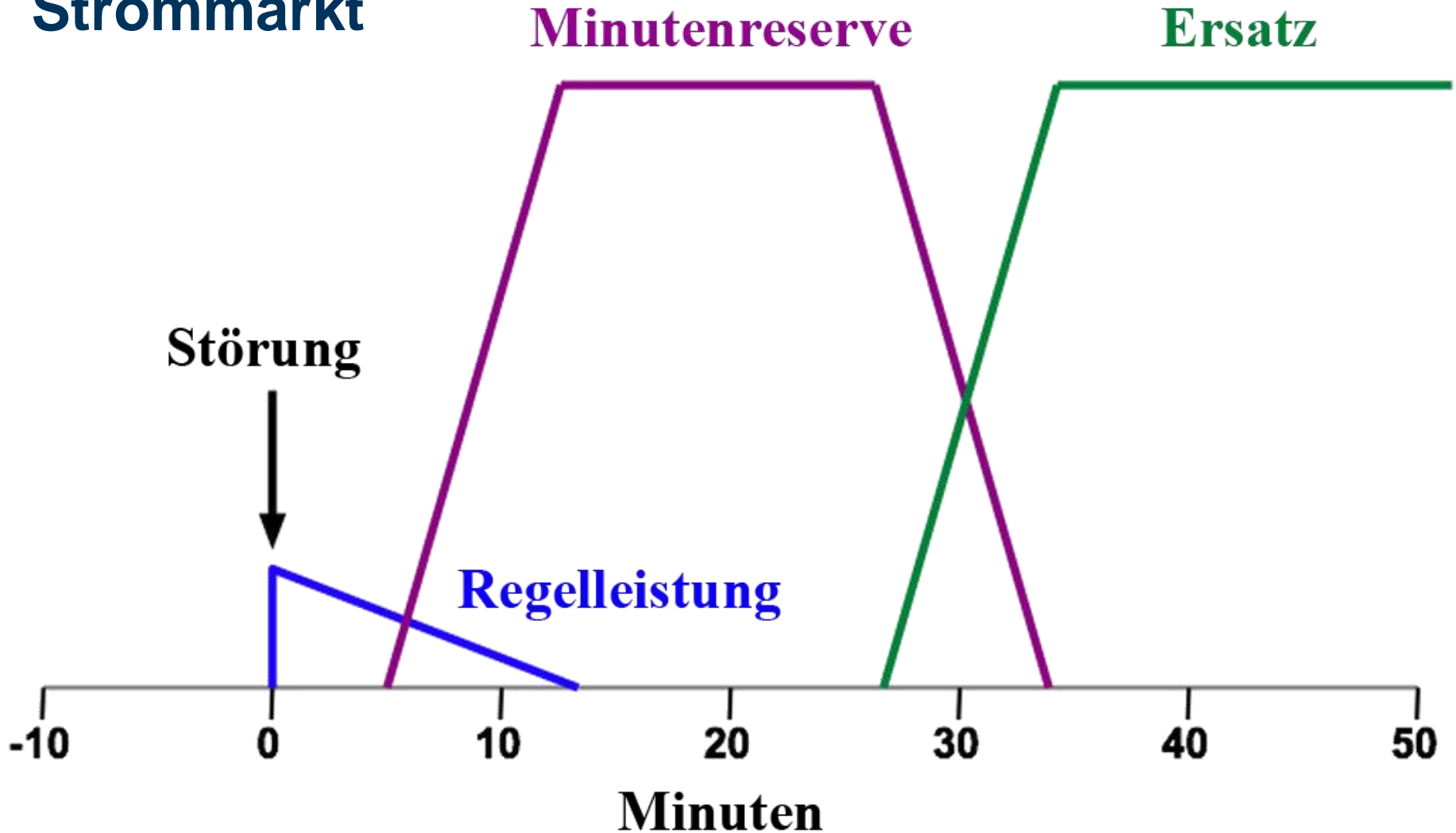


Bild: [7] Wikipedia, Operating_reserve, übersetzt

Inhaltsübersicht

- Elektroautos
- Elektroautos als Stromkonsumenten
- Strommarkt
- Elektroautos als Stromspeicher
 - Motivation – Probleme
 - Zusammenschluss
 - Wirtschaftlichkeit
 - Für erneuerbare Energien?

Elektroautos als Stromspeicher - Motivation

- Autos meist ungenutzt ($\approx 96\%$ der Zeit)
- Elektroautos könnten in dieser Zeit zusätzlich genutzt werden
- Besitzen Möglichkeit Wechselstrom mit 50Hz zu erzeugen
- Können über kurze Zeit hohe Leistung erbringen
- Sehr schnelle Reaktionszeit (ms bis 1s)
- → v.a. geeignet für **Minutenreserven** und **Regelleistungen**

Stromspeicher - Probleme

- Besitzer will bei Antritt einer Fahrt keine leere Batterie
 - Nur ein Teil der Kapazität zur Verfügung stellen
- Durch zusätzliche Zyklen sinkt Lebensdauer der Batterie
 - Keine tiefe Entladung
 - Besitzer wird für Service entschädigt
- Wirtschaftlichkeit?
- Koordination vieler Autos, wer speichert/liefert wann?

Stromspeicher - Zusammenschluss

- Strommarkt: Mindesthandelsgrösse (1-2MW)
- Leistung vieler Autos muss kombiniert werden um handeln zu können
- Zusammenschluss könnte z.B. lokales EVU¹ übernehmen
- Verbund kann als virtuelles Kraftwerk gesehen werden

¹ Energieversorgungsunternehmen

Stromspeicher - Wirtschaftlichkeit

- Studie von W.Kempton mit Daten aus Kalifornien[4]
- Toyota RAV4 EV als Basis für Elektroauto (27.4 kWh Batterie)
- Nur 80 % nutzbar (schont Batterie)
- Jederzeit Reserve um noch 32 km fahren zu können
- Besitzer ist schon 25 km gefahren



Bild: [3] Wikipedia, Toyota_RAV4_EV

Stromspeicher - Wirtschaftlichkeit - Regelleistung

- Nach Abzug der Reserven: 7 kWh für Stromnetz zur Verfügung
- Maximalleistung 15kW (=P), begrenzt durch Anschluss
- Annahme: Auto ist 18 Stunden/Tag eingesteckt
 - 6570 Stunden pro Jahr (=t)
- Bei Regelleistung:
$$v = \frac{\textit{Lieferung}}{\textit{Bereitschaft}} = 0.1$$
- Preise (2003):
 - 0.10 \$/kWh für gelieferte Energie (=p_{el})
 - 0.04\$/kW-h für Bereitschaft (= p_{kap})

Stromspeicher - Wirtschaftlichkeit - Regelleistung

- Ertrag: Bereitschaft + Lieferung

- Bereitschaft: $p_{ber} * P * t = 3942\$$

- Lieferung : $p_{el} * P * v * t = 985\$$

- Ertrag: 4928 \$

$$\begin{aligned} p_{ber} &= 0.04\$ / kW - h \\ p_{el} &= 0.10\$ / kWh \\ P &= 15kW \\ t &= 6570h \\ v &= 0.1 \end{aligned}$$

- Kosten: 1900 \$ für Anschluss (1x)+ 474\$/y für Abnutzung Batterie

- Total: 4928 -2374= **2554\$** erstes Jahr, **4454\$** weitere Jahre

Stromspeicher - Wirtschaftlichkeit - Regelleistung

- „regulation down“ rentabler als „regulation up“
- „Regulation down“ vor allem in der Nacht
- ➔ Besitzer wird für das Laden des Autos bezahlt

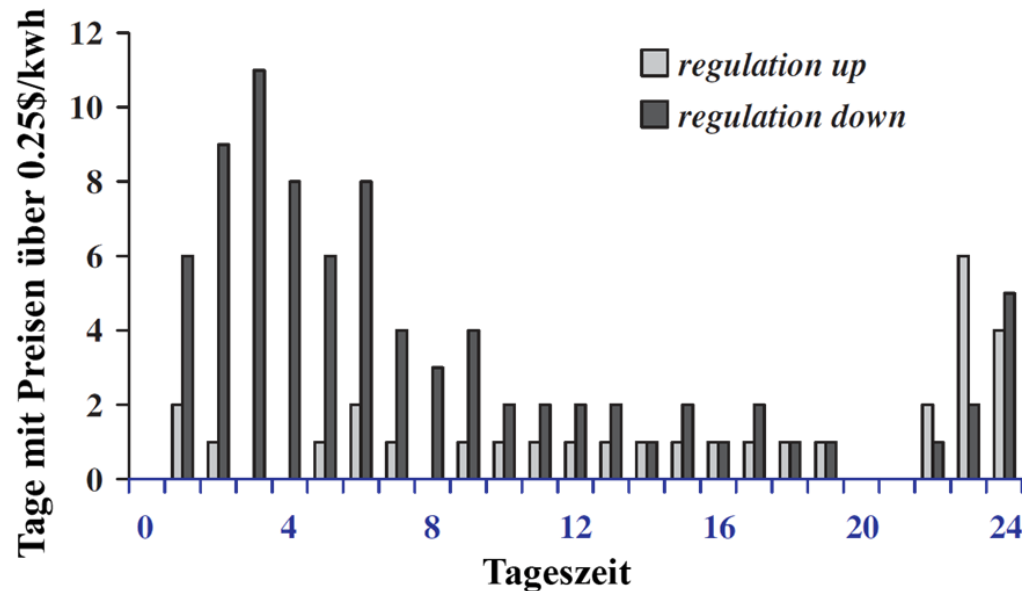


Bild: [8] Christophe Guille, übersetzt

Stromspeicher - Für Windenergie

- Windanlagen haben unregelmässige Leistung
- Bedarf an Regelleistung steigt dadurch
- Berechnung von Kempton [9] :

Annahme: 50% der elektrischen Energie in USA aus Windkraft

Regelleistung wird mit 3.3% der Fahrzeugflotte erreicht

¹ USA: 176 Mio. Personenwagen.

Stromspeicher - Für Solarenergie

- Solaranlagen erreichen Spitzenleistung am frühen Nachmittag
- Spitzenlast ist jedoch am frühen Abend (ca. 3 Stunden später)
- Berechnung von Kempton [9] :

Annahme: 20% der Spitzenleistung aus Solarkraft

Genügend Speicher falls 26% der Fahrzeugflotte¹ Speicher anbieten

¹ USA: 176 Mio. Personenwagen.

Fazit

- Wenn Elektroautos nur geladen werden entstehen Probleme fürs Stromnetz
- Mit intelligenten Ladestrategien können diese Probleme reduziert werden
- Besser : Autos als Speicher verwenden
- Kann wirtschaftlich betrieben werden
- Könnten als Ausgleichsspeicher für erneuerbare Energien dienen

Quellen

- [1] McKinsey, Online Stand 29.04.2010, http://www.mckinsey.de/html/presse/2010/20100112_emobilitaet.asp
- [2] Analyse des schweizerischen Energieverbrauchs 2000 - 2006 nach Verwendungszwecken, Bundesamt für Energie. Online, Stand 18.04.2010
- [3] Wikipedia, Online 1.05.2010 , http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/9d/Toyota_RAV4_EV--DC.jpg
- [4] W. Kempton and J.Tomic. Vehicle-to-grid power fundamentals: Calculating capacity and net revenue. *Journal of Power Sources*, 144:268–279, April 2005.
- [5] J. A. P. Lopes, F. Soares, and P. R. Almeida. Identifying Management Procedures to Deal with Connection of Electric Vehicles in the Grid. In *IEEE Bucharest Power Tech Conference*, 2009
- [6] La jamais contente - Geschwindigkeitsrekordwagen. Online, Stand 24.04.2010. http://de.wikipedia.org/wiki/La_Jamais_Contente.
- [7] Wikipedia, Operating Reserve, Online Stand 01.05.2010, http://en.wikipedia.org/wiki/Operating_reserve
- [8] C. Guille and G. Gross. A conceptual framework for the vehicle-to-grid (V2G) implementation. *Energy Policy*, 37:4379–4390, June 2009.
- [9] W. Kempton and J.Tomic. Vehicle-to-grid power implementation: From stabilizing the grid to supporting large-scale renewable energy. *Journal of Power Sources*, 144:280–294, April 2005
- [10] Ni-cad-batteries - Alaska Energy Wiki, Online Stand 02.05.2010, <http://energy-alaska.wikidot.com/ni-cad-batteries>

Fragen?