

Sonnen- und Windenergie auf Vorrat

E. Waffenschmidt

Aachen, 17.Feb. 2010

mit Änderungen vom 2.3.2010

Solarenergie-Förderverein Deutschland e.V.





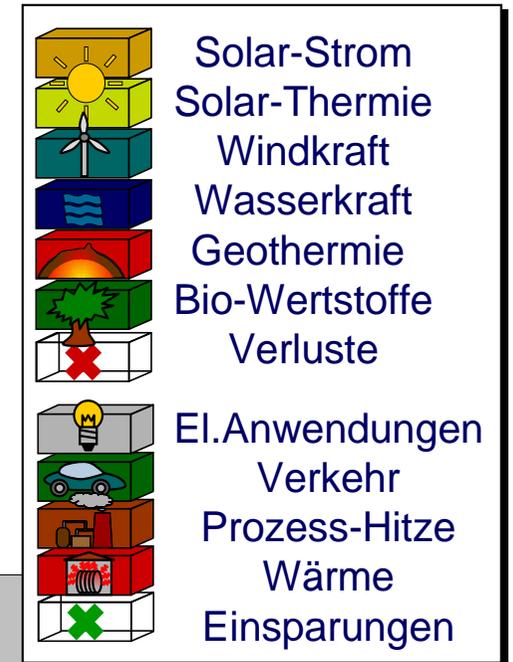
100% Erneuerbare Energien sind möglich

Energiequellen

- Solarenergie
- Windenergie
- Wasserkraft
- Geothermie
- Biomasse

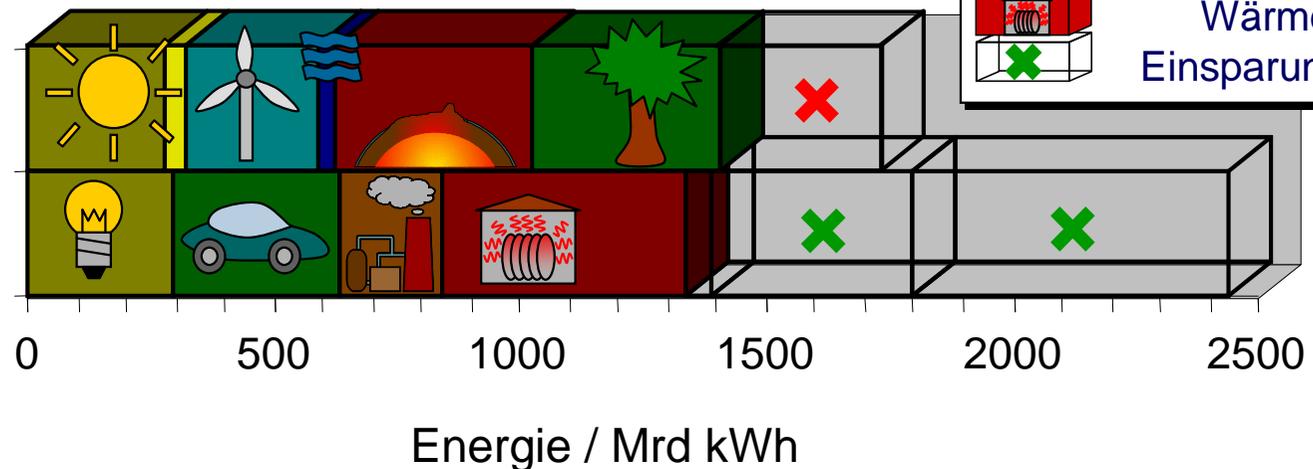
Einsparungen

- Elektrische Energie
- Verkehr
- Wärme



Zukünftiges Angebot

Zukünftiger Bedarf



Infos unter: www.sfv.de



Woher kommt der Strom, wenn die Sonne nicht scheint?



Inhalt

- Wie viel Speicher brauchen wir eigentlich?
- Welche technischen Möglichkeiten gibt es für Speicher?
- Was kostet das?
- Wie schaffen wir Anreize für den Ausbau?



Anwendung

Wofür benötigen wir Speicher?

■ Autarkes Gebiet:

- Haushalt / Gebäude
- Gemeinde
- Region
- Netzbereich
- Deutschland
- Europa

■ Zeitrahmen:

- Sekunden
- Minuten
- Stunden
- Halbe bis ganze Tage
- Woche

Beispiel:

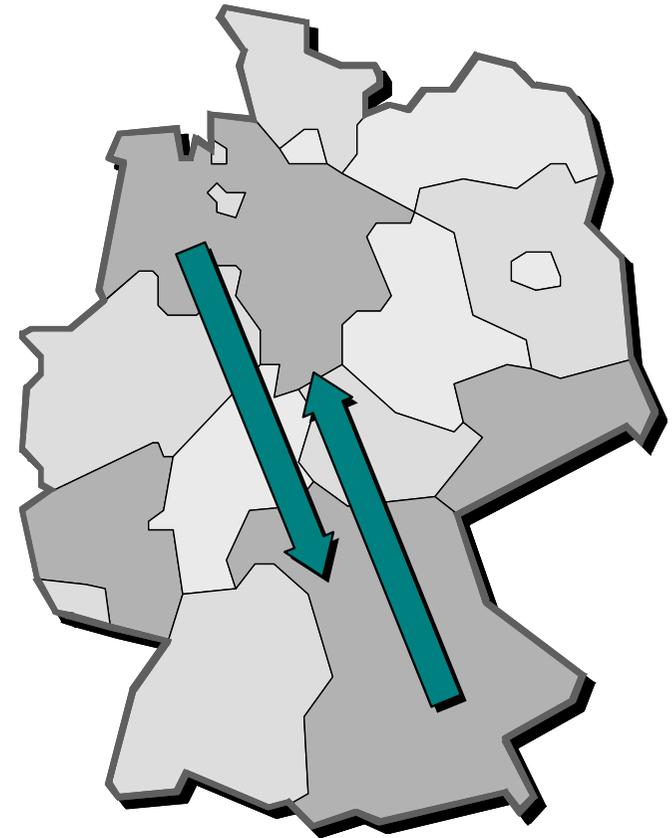
Primär- und Sekundär-Regelung

Last Änderungen (Minuten-Reserve)

Unbestimmte Erzeugung

Tag-Nacht-Ausgleich

Groß-Wetterlage





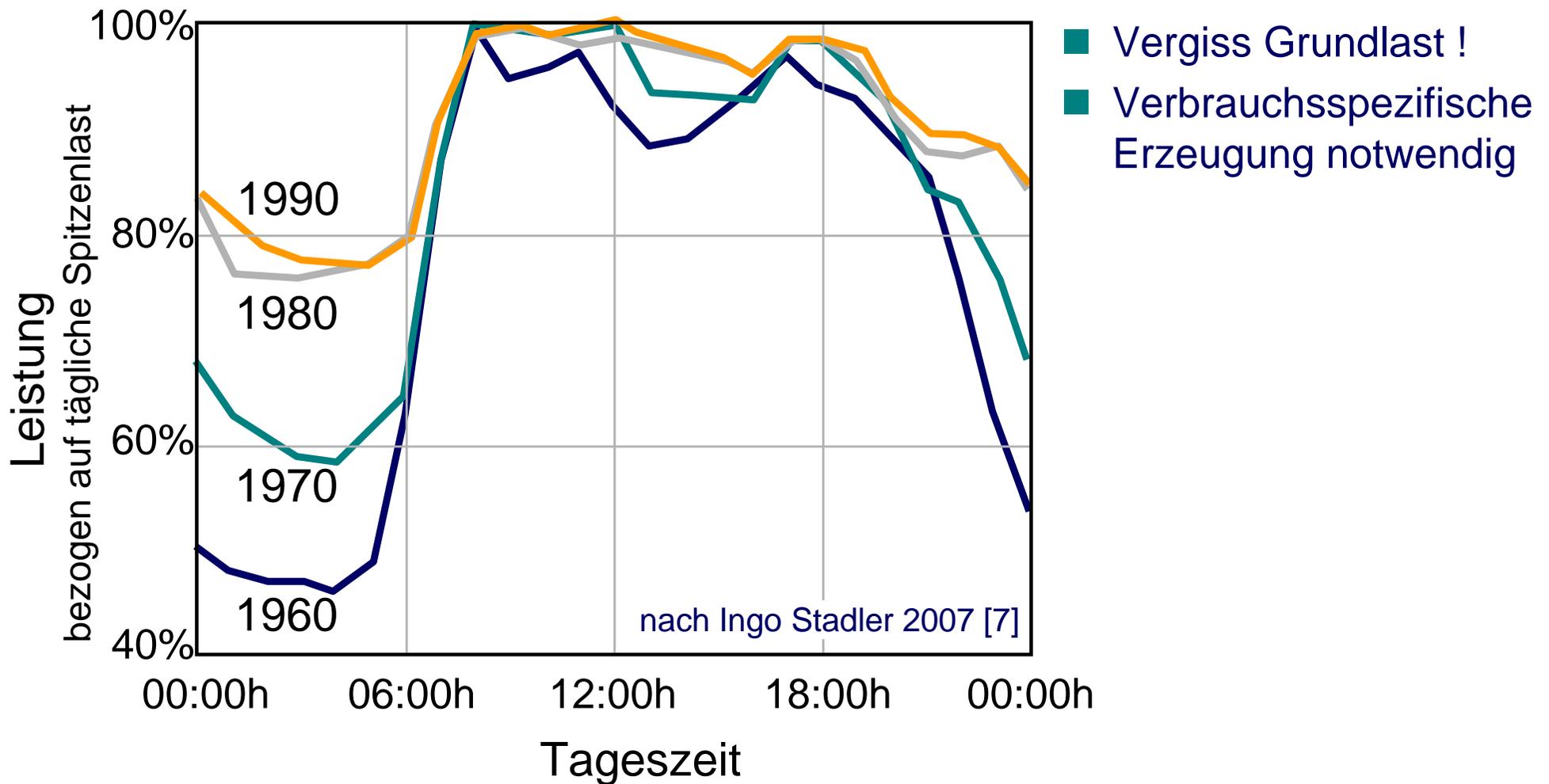
Die Bausteine

- Anpassung an Verbrauch
- Lastverschiebung
- Ergänzung der Energieformen
- Ausgleich über große Distanzen
- Im- und Export
- Regelbare Erzeugung
- Speicherung



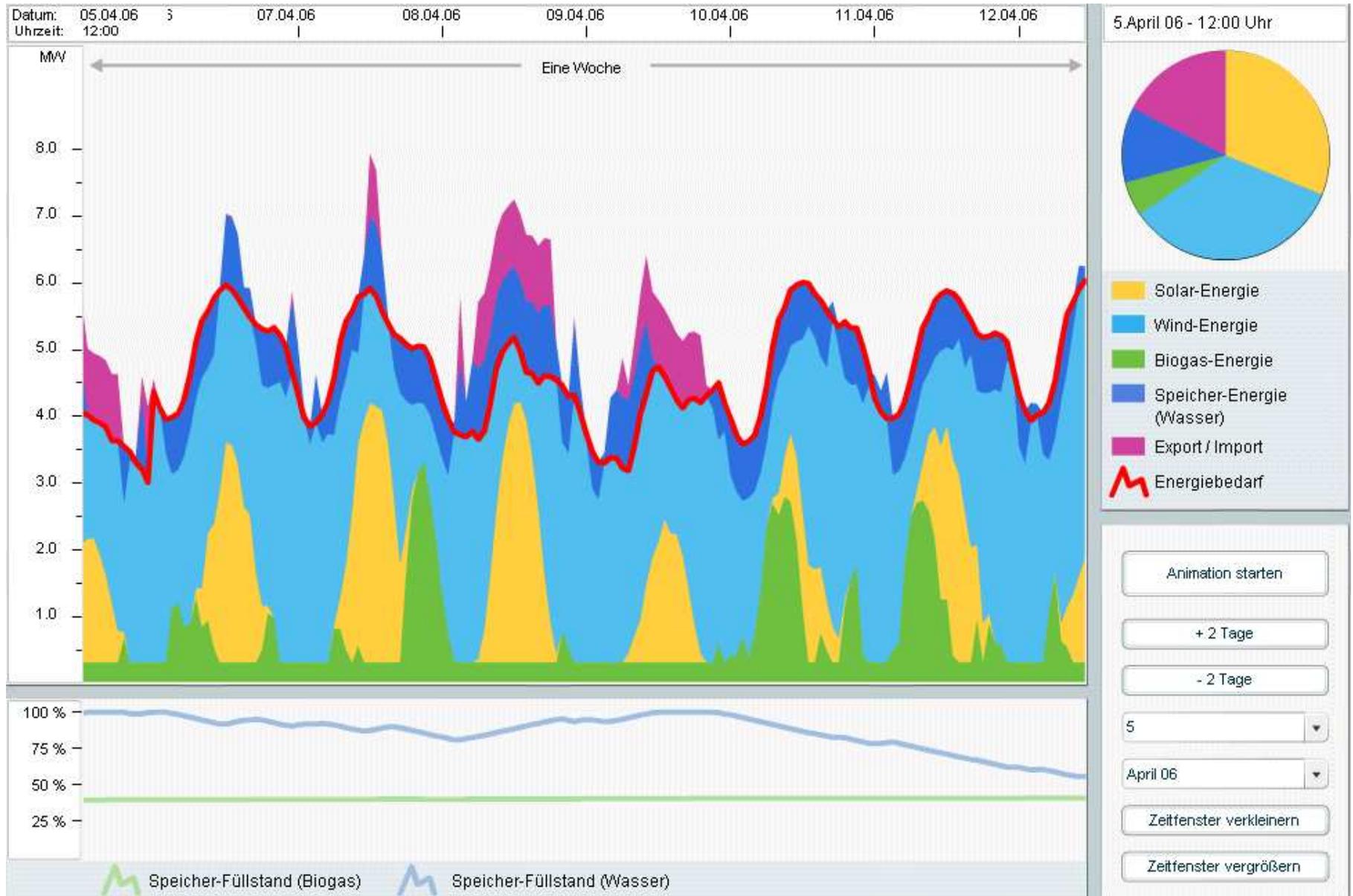
Anpassung an Verbrauch

Speicher sind nicht spezifisch für Erneuerbare Energien!





Anpassung an Verbrauch: Kombikraftwerk





Lastverschiebung

Verbraucher

- Industrie und Wirtschaft
 - Kühlhäuser
 - Prozesswärme
 - Lüftungsanlagen
- Privathaushalte
 - Speicherheizung / Wärmepumpe
 - Kühlgeräte
 - Wasch- und Spülmaschine

Potential

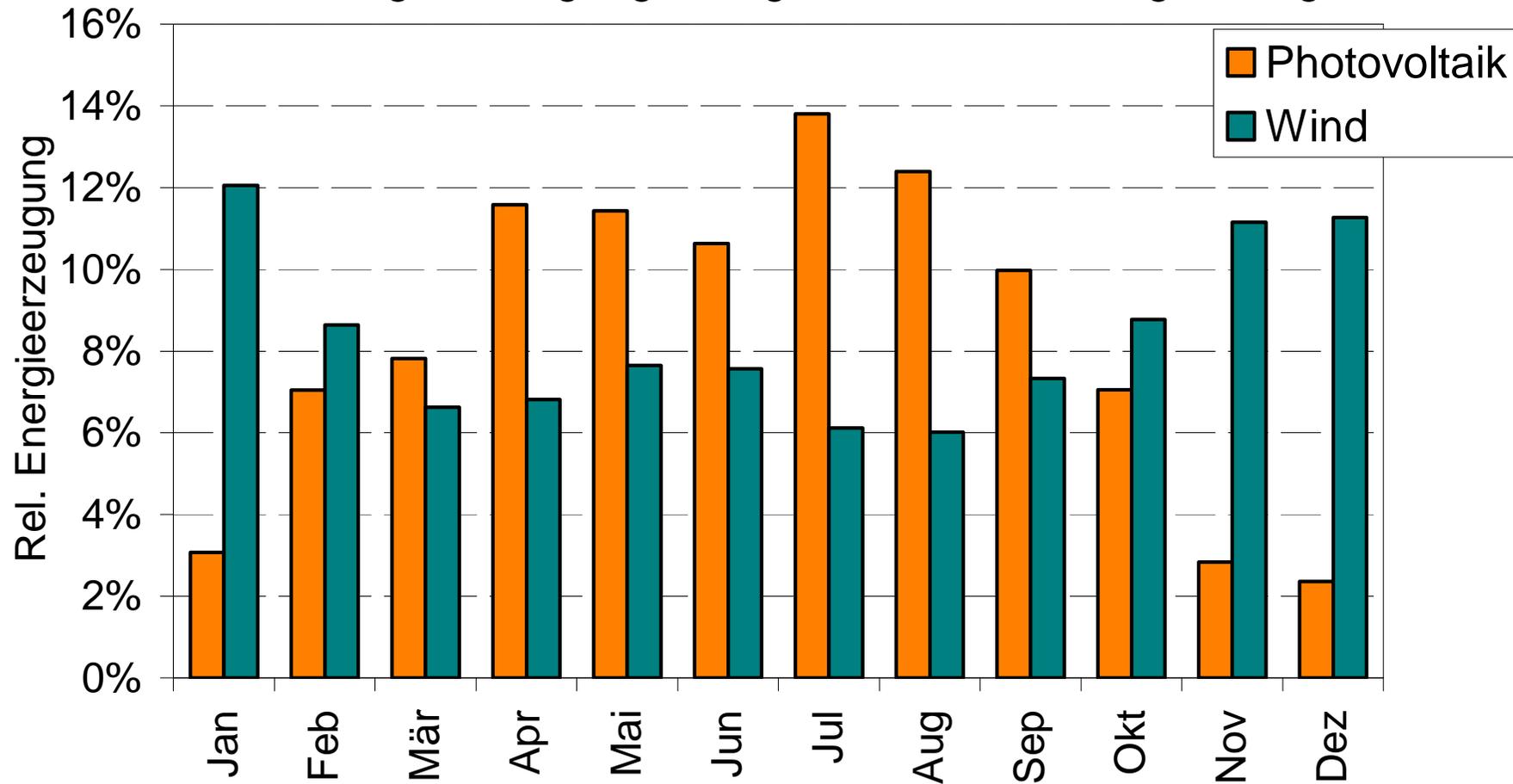
- Insgesamt 400 GWh
- Mehrfaches aller Pumpspeicherkraftwerke
- Aber nur kurzfristige „Speicherung“





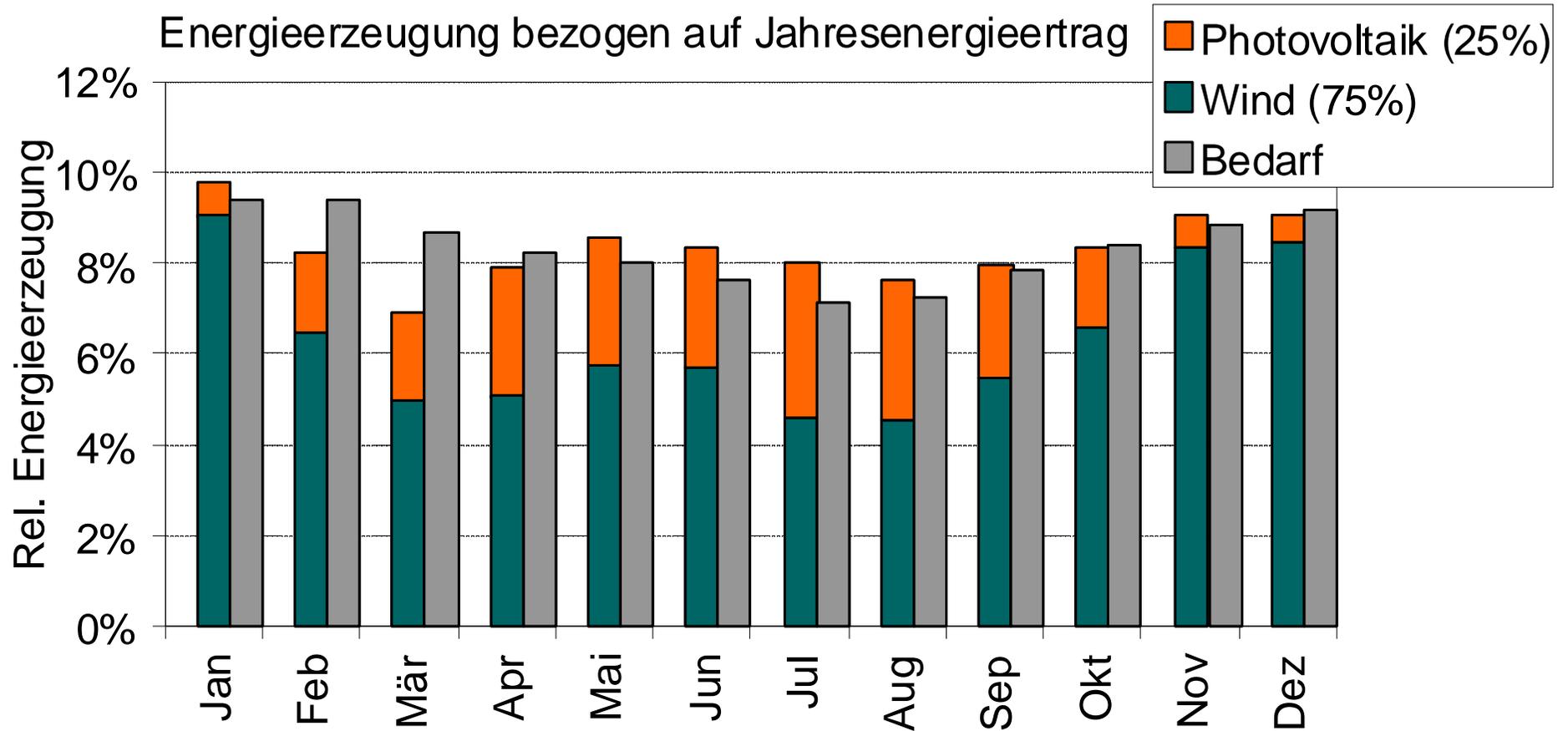
Ergänzung der Energieformen - Jahreszeitliche Kompensation

Energieerzeugung bezogen auf Jahresenergieertrag





Ergänzung der Energieformen - Jahreszeitliche Kompensation





Ausgleich über große Distanzen

Wetter ist nicht berechenbar.

Aber:

- Wenn die Sonne hier nicht scheint, scheint sie vielleicht wo anders

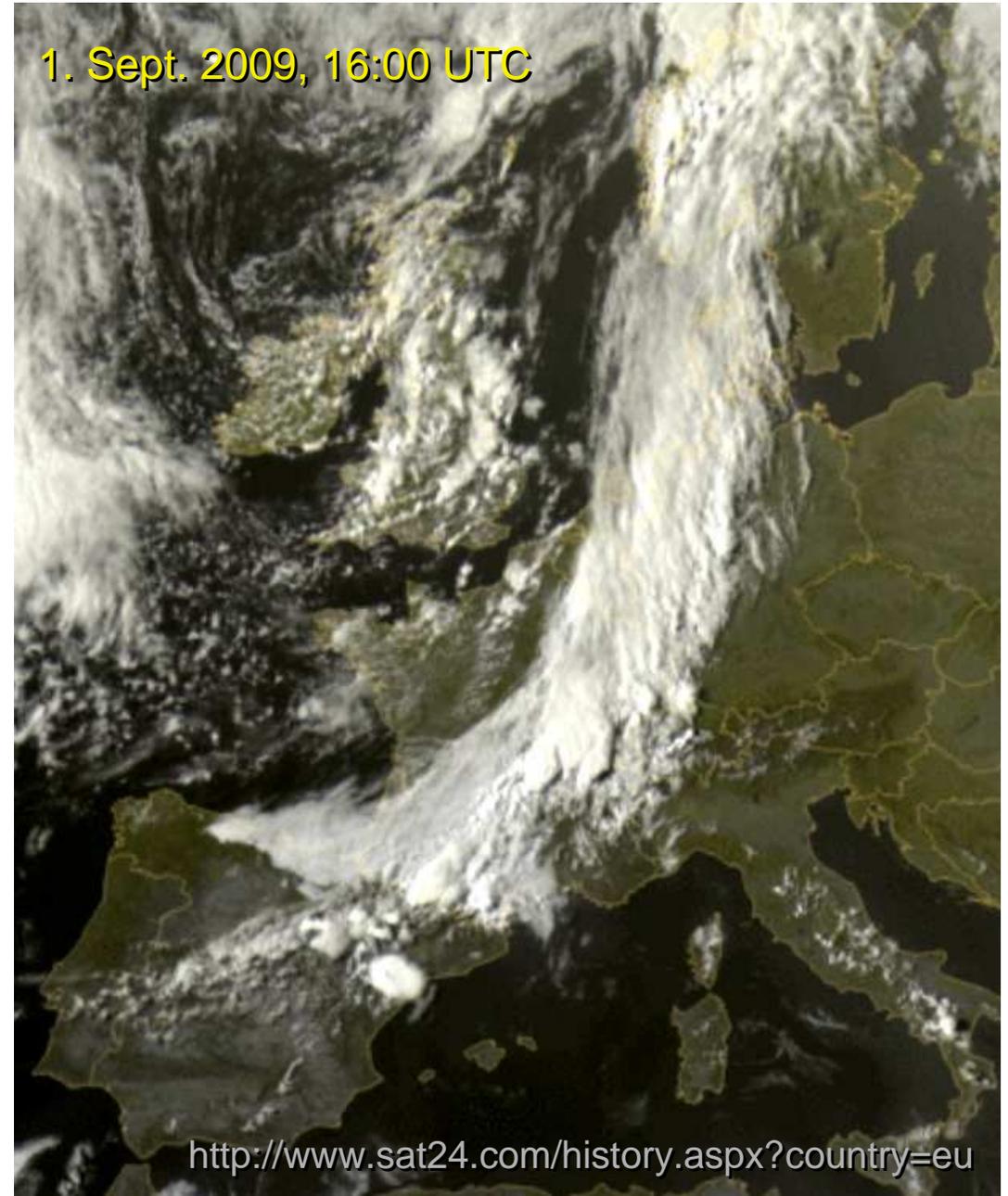
„Glätten“ der Erzeugung

- *Einzelner Standort*: Sekunden
- *Verbund*: Sekunden bis Minute
- *Region*: Einige Minuten
- *Deutschland*: Minuten bis Stunde

Standortwahl:

- Großräumige Verteilung besser als Konzentration in einer Region
- Nicht allein Quantität sondern auch „Qualität“ beachten

1. Sept. 2009, 16:00 UTC





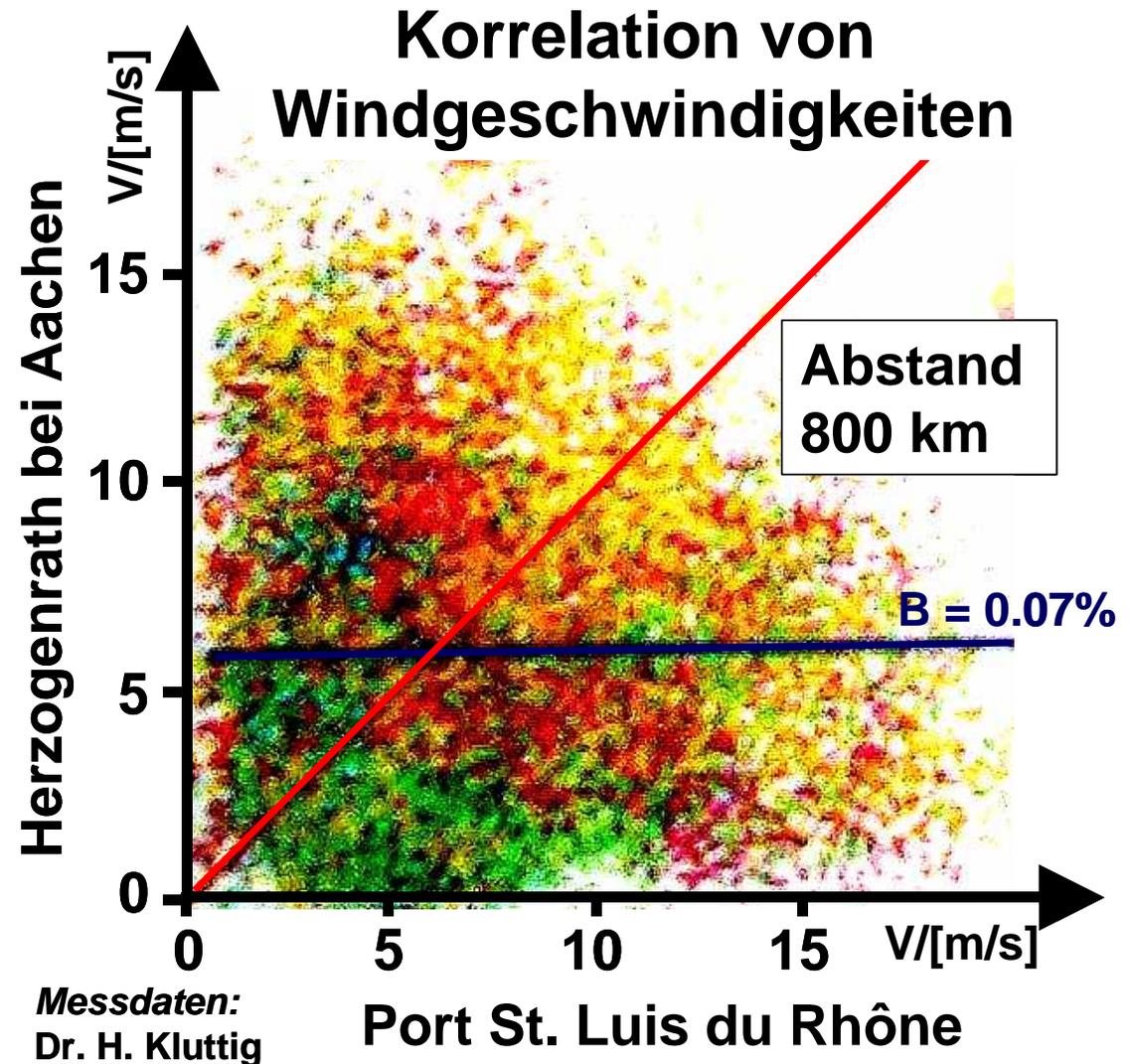
Ausgleich über große Distanzen

Europäische Ebene:

- Erzeugung de-korreliert
- Große Wahrscheinlichkeit zu jeder Zeit
- Wenig Speicher notwendig

Netzausbau:

- Notwendig für Ausgleich
- Ca. 10x billiger als Speicher
- DESERTEC ist Schritt in die richtige Richtung





Regelbare Erzeugung

Biogas Tagesspeicher

Steuer- und speicherbar

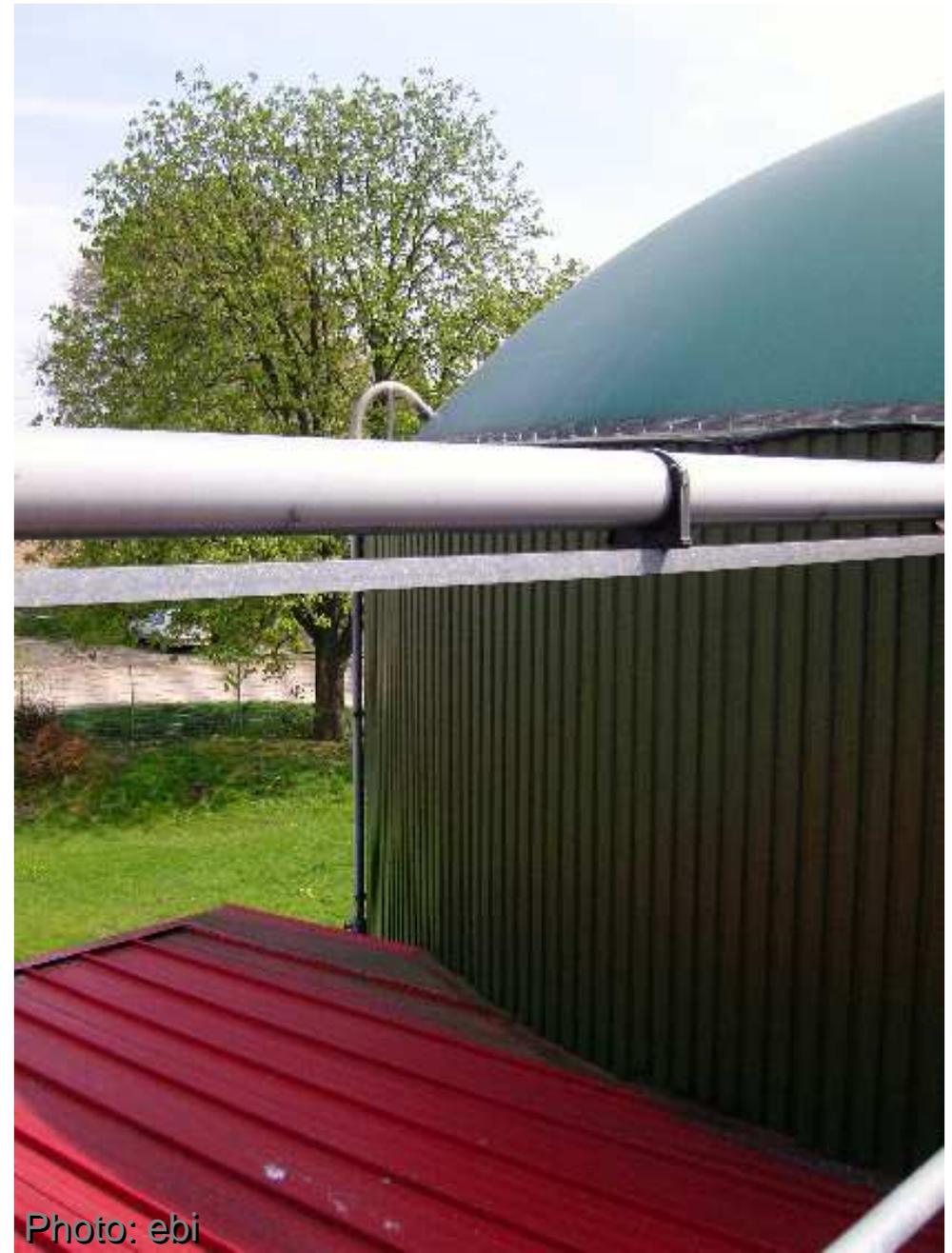
- Drucklose Speicherung, keine Kompressionsverluste

Typ. technische Daten:

- *Leistung*: einige 100 kW bis MW
- *Energiemenge*: max. ca. 2 Tage
- *Speicherdauer*: Tage

Anwendung

- Ausgleich von Leistungsspitzen
- Bedarfsgerechte Energiebereitstellung





Fazit

- Bedarf von vielen Faktoren abhängig z.B:
 - Größe des Netz-Gebietes
 - Räumliche Verteilung der einzelnen Erzeuger
 - Vernetzung
 - Nutzungsgrad (Abschalten / Kappen bei extremen Wetterlagen)

- „Trade-Off“ zwischen Netzausbau und Speichern

- Abschätzungen*:
 - Speichergröße: ca. 370 GWh (etwa 2...10 x exist. Speicher)
 - Nennleistung: ca. 20 GW (etwa 3 x exist. Pump-Speicher)

* nach Kombikraftwerk, 2008 [10]



Speichertechniken

- Pumpspeicherkraftwerk
- Druckluftspeicher
- Wasserstoff
- Redox-Flow Batterien
- NaS Hochtemperatur Batterien
- Li-Ion Batterien
- „Klassische“ Batterien
- Dezentrale Kleinspeicher

- Biomasse



Pumpspeicherkraftwerke

Funktionsweise:

- *Speichern:*
Wasser hoch pumpen
- *Erzeugen:*
Turbine mit Wasser antreiben

Typ. technische Daten:

- *Leistung:* bis zu 1GW
- *Energiemenge:* für mehrere Std.
- *Wirkungsgrad:* >80%
- *Speicherdauer:* Unbegrenzt

Insgesamt in Deutschland

- *Leistung:* 6.6 GW
- *Speichergröße:* ca. 30..60 GWh



Beispiel:

Pumpspeicherwerk Niederwartha bei Dresden

http://de.wikipedia.org/wiki/Pumpspeicherwerk_Niederwartha

Druckluft-Speicher

Funktionsweise:

- *Speichern:*
Hohlraum „aufpumpen“
- *Erzeugen:*
Turbine mit Druckluft antreiben
- *Hohlraum*
Salzkavernen oder andere
unterirdische Hohlräume

Typ. technische Daten:

- *Leistung:* einige 100 MW
- *Energiemenge:*
für ein bis zwei Std.
- *Wirkungsgrad:* um 60%
- *Speicherdauer:* Stunden bis Tage



Beispiel: Hundorf, Deutschland, 290MW / 2h



Wasserstoff-Speicher

Funktionsweise:

- *Speichern:*
Wasserstoff erzeugen (Elektrolyse)
- *Erzeugen:*
Brennstoffzelle oder Turbine
- *Hohlraum*
Salzkavernen oder andere unterirdische Hohlräume

Typ. technische Daten:

- *Leistung:* einige 100 MW bis GW
- *Energiemenge:*
für Tage bis Wochen
- *Wirkungsgrad:* um 40%
- *Speicherdauer:* Wochen bis Monate

Potential

- Vergleichbar mit Erdgas-Speicher
- Gasbedarf für mehrere Monate

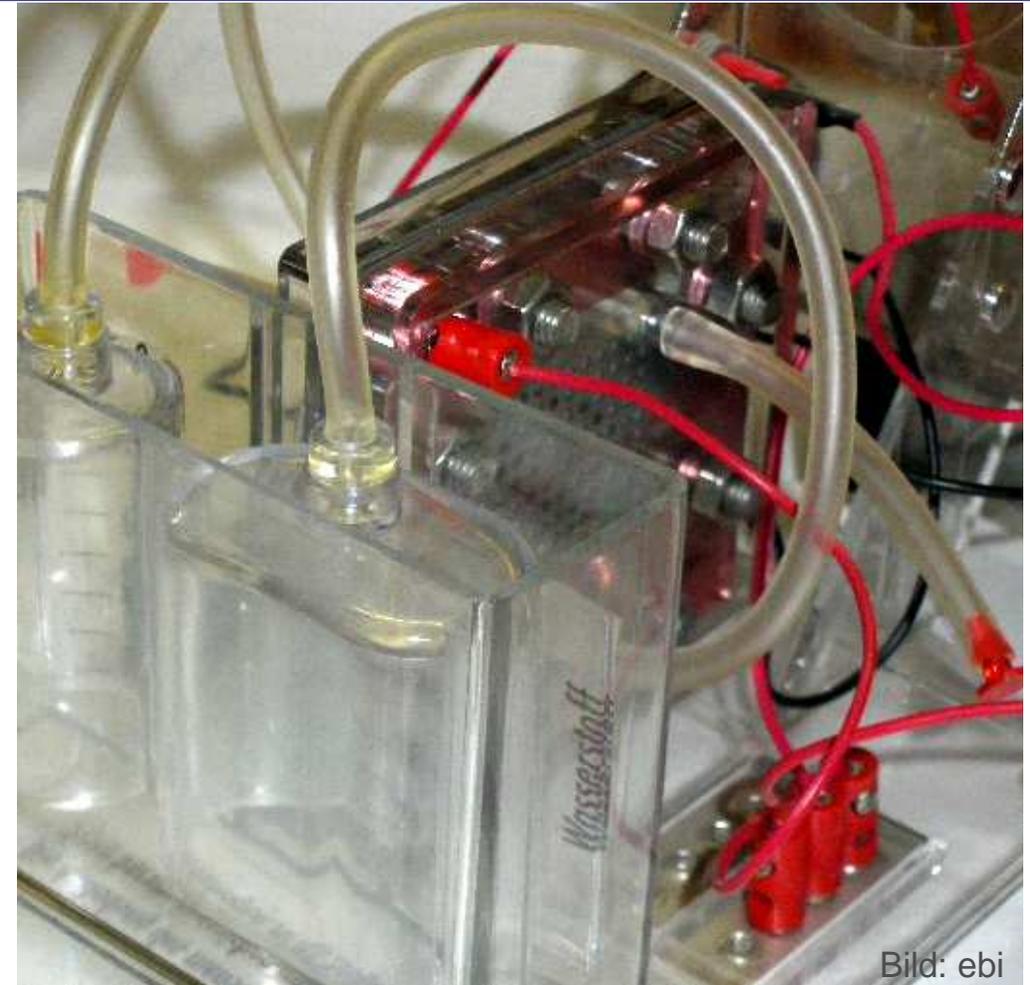


Bild: ebi

Bild: Wasserstoff-Brennstoffzelle



Redox-Flow Batterien

Funktionsweise:

- **Speichern:**
Flüssigkeit wird elektrochemisch „aufgeladen“
- **Erzeugen:**
Flüssigkeit wird elektrochemisch „entladen“
- **Speichermedium:**
z.B. Vanadium-Salz-Lösung

Typ. technische Daten:

- **Leistung:** einige 100 kW
- **Energiemenge:** für einige Std.
- **Wirkungsgrad:** >75%
- **Speicherdauer:** Grundsätzlich unbegrenzt, typ. Tage bis Wochen



Beispiel: King Island, Tasmanien, 200kW / 4h

Weitere Info:

http://en.wikipedia.org/wiki/Vanadium_redox_battery

http://www.isea.rwth-aachen.de/isea2/forschung/batterien/technologie.php?site=tec_redox.php



NaS Hochtemperatur Batterie

Funktionsweise:

- *Speichern und erzeugen elektrochemisch*
- *bei ca. 300°C ... 350°C*

Typ. technische Daten:

- *Leistung:*
einige 100 kW bis MW
- *Energiemenge:* *für einige Std.*
- *Wirkungsgrad:* *>75%*
- *Speicherdauer:*
Tage bis Wochen

Anwendung

- *Versorgung eines Dorfes*
Bsp. Bruchmühlbach, 2800
Einw.



Photo: Ebi



Photo: Ebi

Beispiel: 1MW / 7MWh NaS Batterie mit Netzanschluß, Younicos AG, Berlin



Li-Ion Batterien

Funktionsweise:

- Elektroden:
 - Negativ: Graphit
 - Positiv: Lithiertes Metalloxid mit Cobalt, Mangan, Nickel oder Eisen-Phosphat
- Elektrolyt: Gelöstes LiPF_6

Typ. technische Daten:

- *Leistung:*
einige W bis kW
- *Energiemenge:* für einige Std.
- *Wirkungsgrad:* >90%
- *Speicherdauer:*
Stunden bis Wochen
(Selbstentladung <5% / Monat)
- *Geringes Gewicht:* 100..200 Wh/kg
(Doppelt so gut wie NiCd)



Photo: Ebi

Photo: Ebi



Dezentrale Speicher

Batterietypen:

- *Bleibatterie*
- *NiCd / NiMhd*
- *Li-Ion*

Typ. technische Daten:

- *Leistung:* einige kW
- *Energiemenge:* für einige Std.
- *Wirkungsgrad:* 75% ... 90%
- *Speicherdauer:* Tage bis Wochen

Anwendung

- Versorgung eines Haushaltes
- Für Kleininvestoren



Elektroautos als Speicher

Speicher-Nutzung

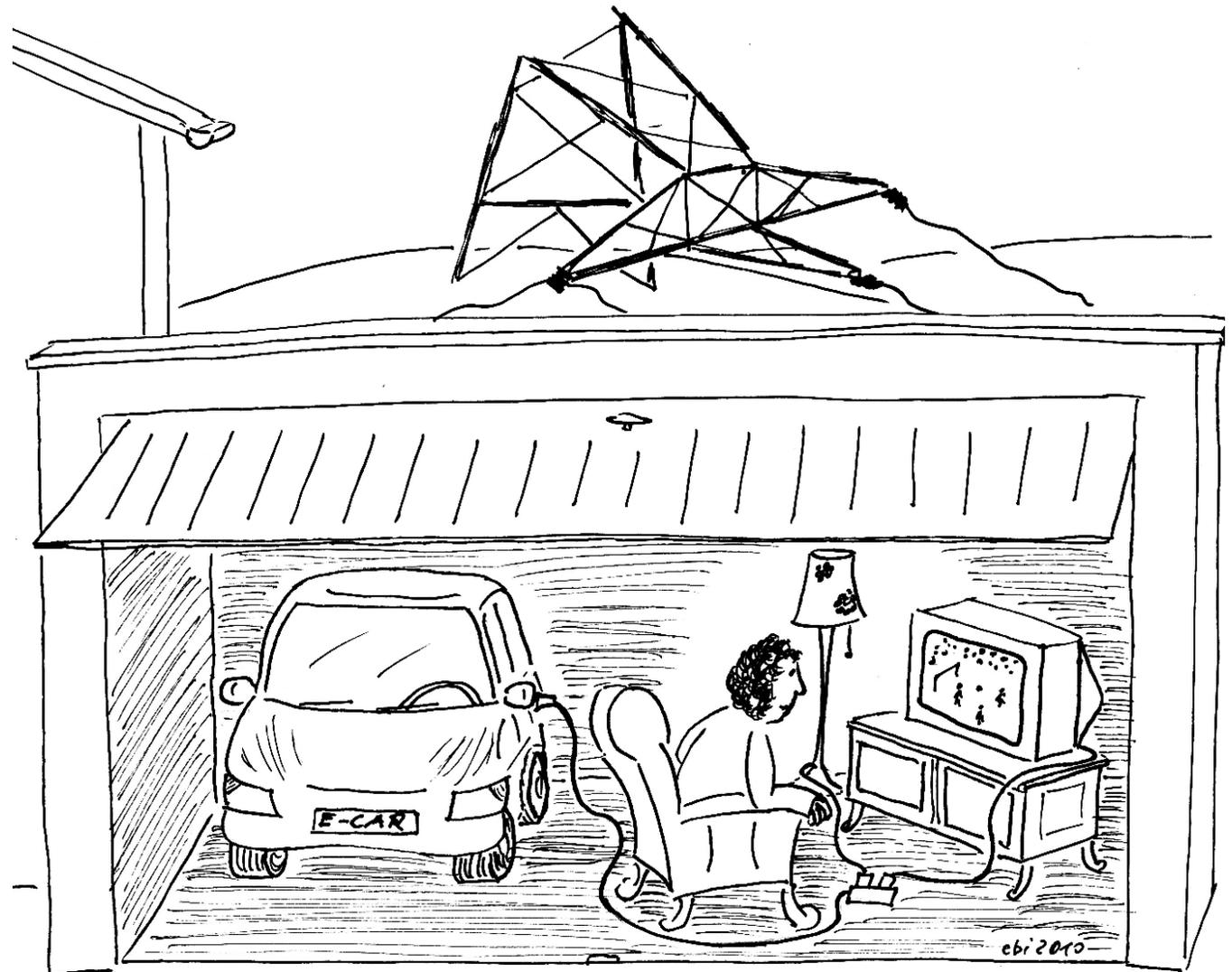
- Lastverschiebung beim Aufladen
- Option zum teilweisen Entladen
- Notfall-Reserve

Geschäftsmodell

- Auflade-Garantie zum festen Zeitpunkt
- Finanzielle Beteiligung

Potential:

- 4 Mio E-Cars (10% aller Autos)
- 40..100 GWh Speicher



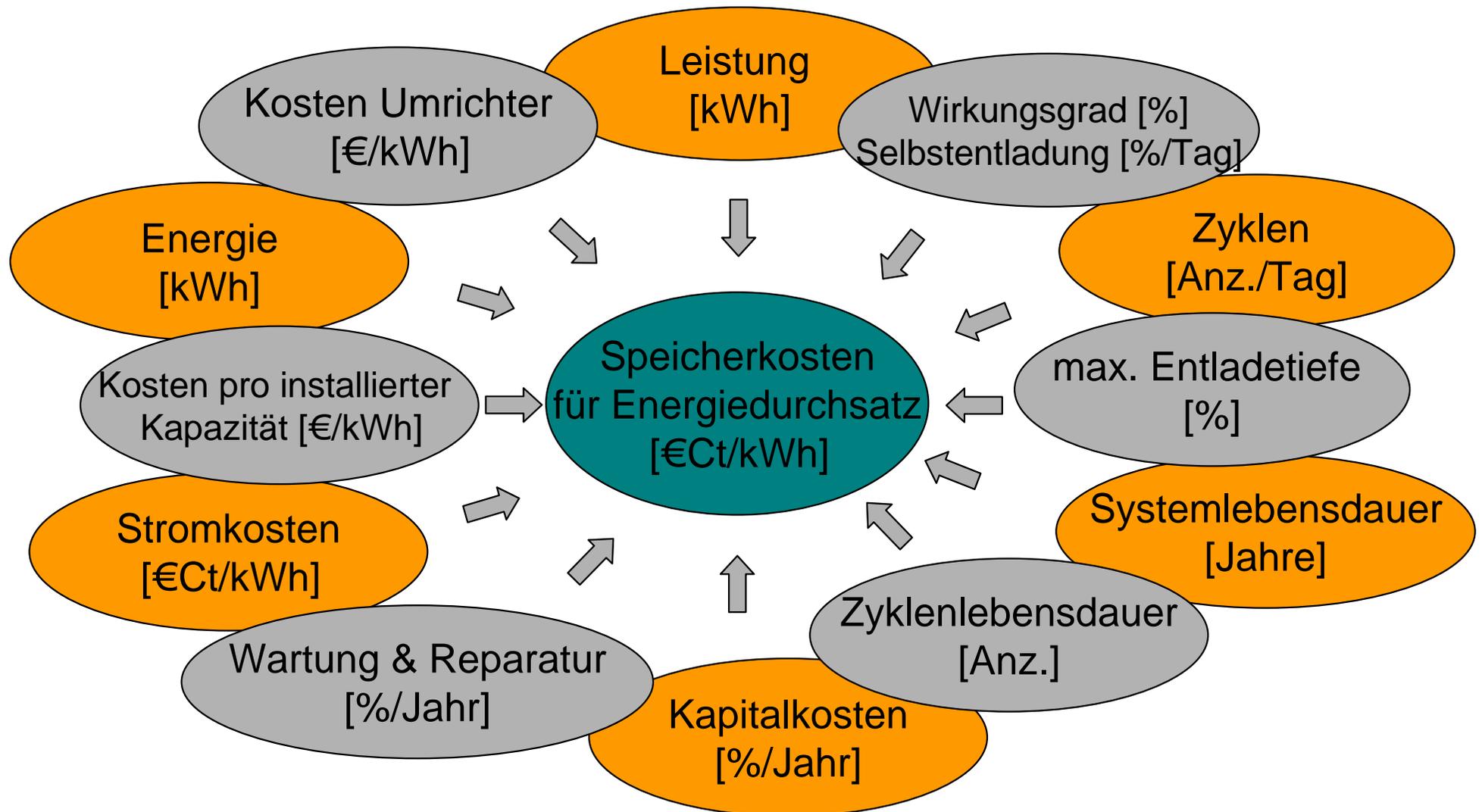
Der letzte Raum mit Strom



Kostenberechnung von Speichern

Definition Referenzfall

Definition Speichertechnologie



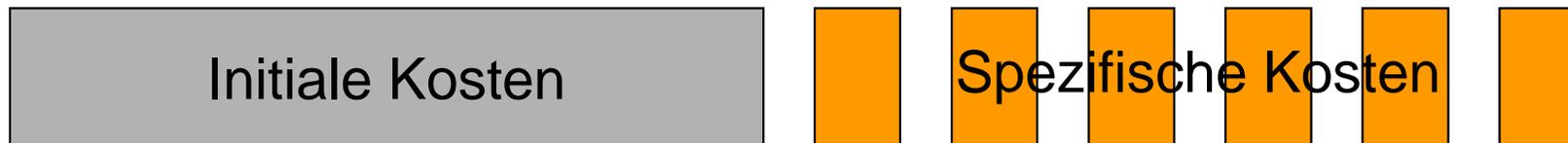


Kostenberechnung von Speichern

Wenige Zyklen:
Initiale Kosten dominieren

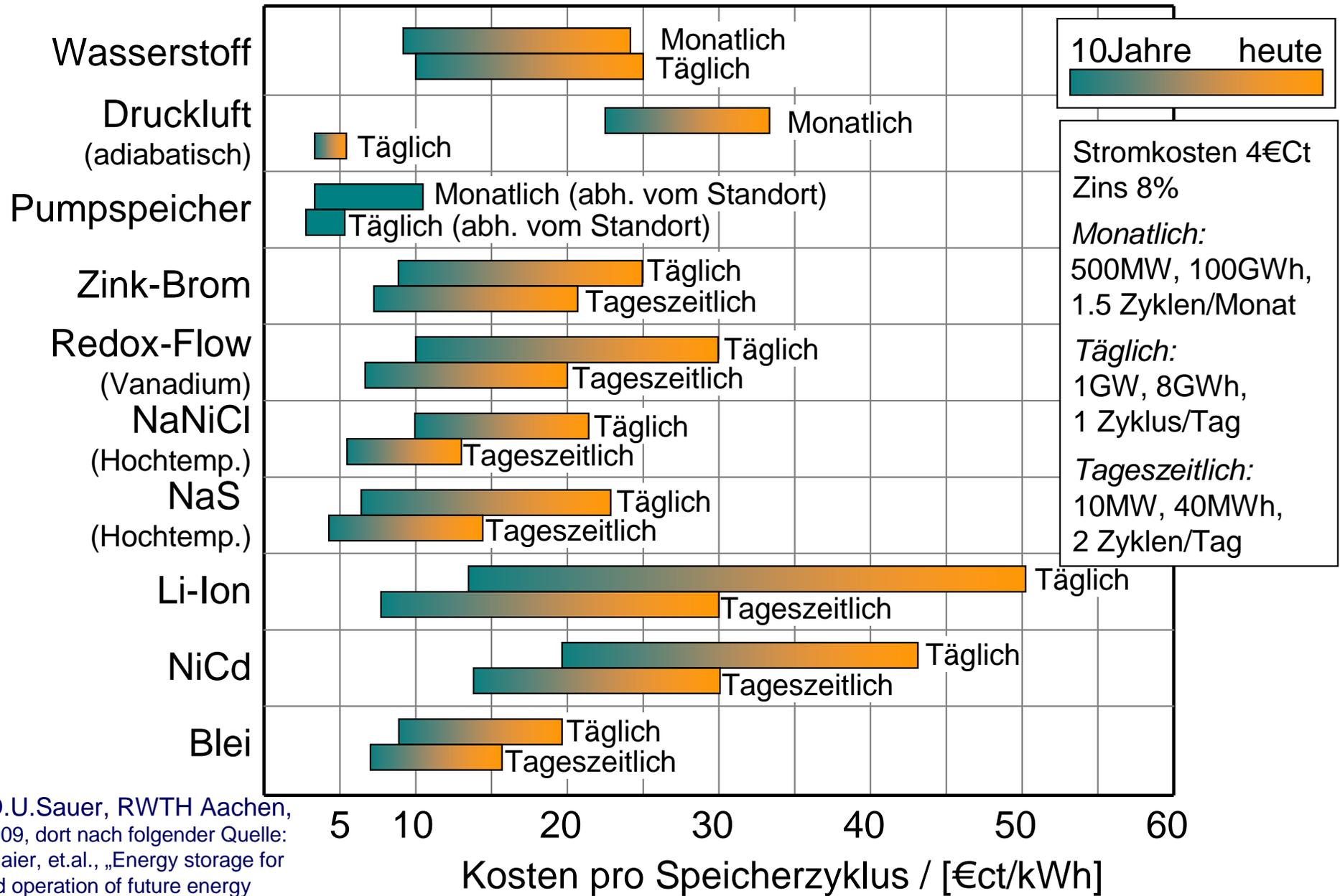


Viele Zyklen:
Spezifische Kosten dominieren





Kosten von Speichertechnologien



Nach D.U.Sauer, RWTH Aachen, 15.11.2009, dort nach folgender Quelle: M. Kleimaier, et.al., „Energy storage for improved operation of future energy supply systems“, CIGRE 2008



Variable Strompreise

- Viel Strom: Strom ist billig
 - Speicher aufladen,
 - Energie gebrauchen
- Wenig Strom: Strom ist teuer
 - Speicher entladen,
 - Energieverbrauch verschieben



Vorschlag SFV

Gesetzliche Regelung beinhaltet:

- Strompreis abhängig von Angebot und Nachfrage
- Einspeisung von „steuerbarem“ Strom wird vergütet wie Regelenergie
- Netzgebühr wird bei Einspeisung von Speicherenergie rückerstattet



Speicher für Erneuerbare Energien...

- Sind notwendig
- Sind machbar
- Sind bezahlbar

Wir müssen es angehen!





Literatur

- [1] Pumpspeicherwerk Niederwartha, http://de.wikipedia.org/wiki/Pumpspeicherwerk_Niederwartha
- [2] http://en.wikipedia.org/wiki/Vanadium_redox_battery
- [3] http://www.isea.rwth-aachen.de/isea2/forschung/batterien/technologie.php?site=tec_redox.php
- [4] Ralf Simon, Christian Pohl, Kerstin Kriebs,
„Einsatzmöglichkeit einer NaS-Batterie für die Regenerativstromversorgung am Beispiel der Gemeinde Bruchmühlbach“
Institut für Innovation, Transfer und Beratung GmbH, Transferstelle Bingen, im Auftrag des Ministerium für Umwelt und
Forsten Rheinland-Pfalz, 10.03.2006, www.tsb-energie.de.
- [5] Volker Quaschnig, "Systemtechnik einer klimaverträglichen Elektrizitätsversorgung in Deutschland für das 21.
Jahrhundert", Fortschritt-Berichte VDI, Energietechnik, Reihe 6, Nr. 437, Düsseldorf: VDI Verlag 2000, ISBN 3-18-343706-
6, auch im Internet unter: <http://www.quaschnig.de/volker/publis/klima2000/index.html>
- [6] Ralf Bischof, Geschäftsführer Bundesverband WindEnergie (BWE), „Windenergie Netz- und Systemintegration“,
Fachtagung „Windenergie in Deutschland – Beitrag zu Klimaschutz und Versorgungssicherheit“ 11. Sept. 2007.
(NNetz- und Systemintegration.pdf)
- [7] Ingo Stadler, „400 GWh of existing energy storage is waiting to be integrated into electricity supplies to balance fluctuating
renewable energies“, 2nd International Renewable Energy Storage (IRES) Conference, Bonn, Nov. 2007.
- [8] Ingo Stadler, „Demand Response – Nichtelektrische Speicher für Elektrizitätsversorgungssysteme mit hohem Anteil
erneuerbarer Energien“, Habilitation, Fachbereich Elektrotechnik Universität Kassel, Okt. 2005.
- [9] Tomi Engel, „Das Elektrofahrzeug als Regelenergiekraftwerk des Solarzeitalters“, Solarzeitalter 3/2005, S. 11. Siehe auch:
<http://www.unendlich-viel-energie.de/de/verkehr/detailansicht/browse/3/article/185/das-elektrofahrzeug-als-regelenergiekraftwerk-des-solarzeitalters.html>
- [10] R. Mackensen, K. Rohrig, H. Emanue, „Das regenerative Kombikraftwerk – Abschlussbericht“, 31. April 2008,
http://www.kombikraftwerk.de/fileadmin/downloads/2008_03_31_Ma_KombiKW_Abschlussbericht.pdf
- [11] Walter Schitteck, „Strom – fit für die Zukunft? Dynamischer Strompreis und virtuelle Sekundärregelung“, Verlag Görlich &
Weiershäuser, Marburg, Nov. 2008, ISBN 978-3-89703-706-9
http://www.staff.uni-marburg.de/~schitteck/buch_strom.html