

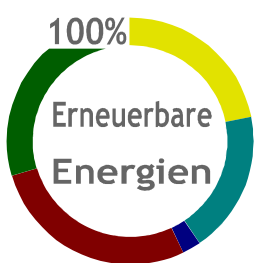
Langzeitspeicher für Erneuerbare Energien

E. Waffenschmidt

Aachen, 13.Nov.2010

Solarenergie-Förderverein Deutschland e.V.





100% Erneuerbare Energien sind möglich

Energiewenderechner.de

Bedarfsdeckung aus Erneuerbaren Energien

100%

Beschreibg Grundfunktion Bilanz Rechenblatt

EE-Stromkosten: 10 Ct/kWh Details ...
Minderverbrauch: 41%
Notfallreserve: 40 Tage (40 aufgefüllt)

Ausbl.

Datei ...

Warnmeldungen bei roter Leuchtanzeige

Suchhinweise:

- <= Hintergrundinfo, Videos usw.
- <= Bisheriger Energieverbrauch
- <= Effizienz, Minder- oder Mehrverbrauch
- <= Technische Potentiale - Maximalwerte und Nutzungsgrad
- <= Erneuerbare in Terawattstunden
- <= Energiewende in Prozent
- <= Notfallreserve
- <= Atom, Kohle, Erdöl, Erdgas

	in	TWh
	Strom	Wärme
1 TWh = 1.000.000.000 kWh		
Solarthermie	0	59
- davon Speicher-/Nutz.-Verluste		-30
Biomasse	6	54
Geothermie	16	51
Photovoltaik	883	
Wind	1311	
Wasserkraft	24	
-----		-----
Summe Erneuerbare Energie	2240	134

Solarthermie

Flächen u. Erträge

Dachfl. Fassade CSP-Strom

5% 12% 0%

Biomasse

Techn. Potential

Reststoff Flächen

78% 0%

Geothermie

Techn. Potential

Nutzung

33%

Photovoltaik

Flächen und Erträge - Einstellung des technischen Potentials

Dachfl. Fassaden Lärmschutz Verkehrsflä. Freiflä.

78% 80% 11% 3% 4%

Windenergie

Flächen und Erträge

Landw.Flä. Wald Offshore

15% 11% 18%

Wasserkraft

Techn. Potential

Nutzung

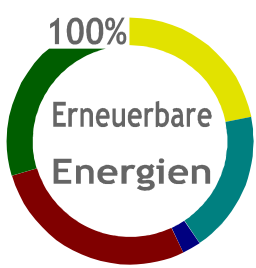
80%

V 0.76 beta



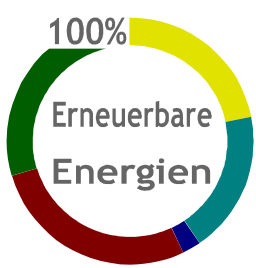
ebi 2007

Woher kommt der Strom, wenn die Sonne nicht scheint?



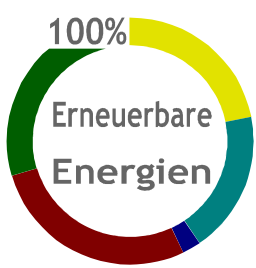
Inhalt

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



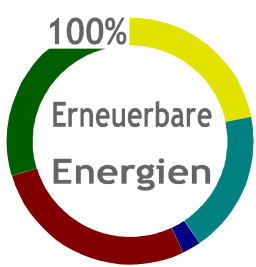
Zeitraahmen

- | | |
|--------------------|-----------------------------------|
| ■ Sekunden | Primär- und Sekundär-Regelung |
| ■ Minuten | Last-Änderungen (Minuten-Reserve) |
| ■ Stunden | Unbestimmte Erzeugung |
| ■ ½ bis ganze Tage | Tag-Nacht-Ausgleich |
| ■ Woche | Groß-Wetterlage |

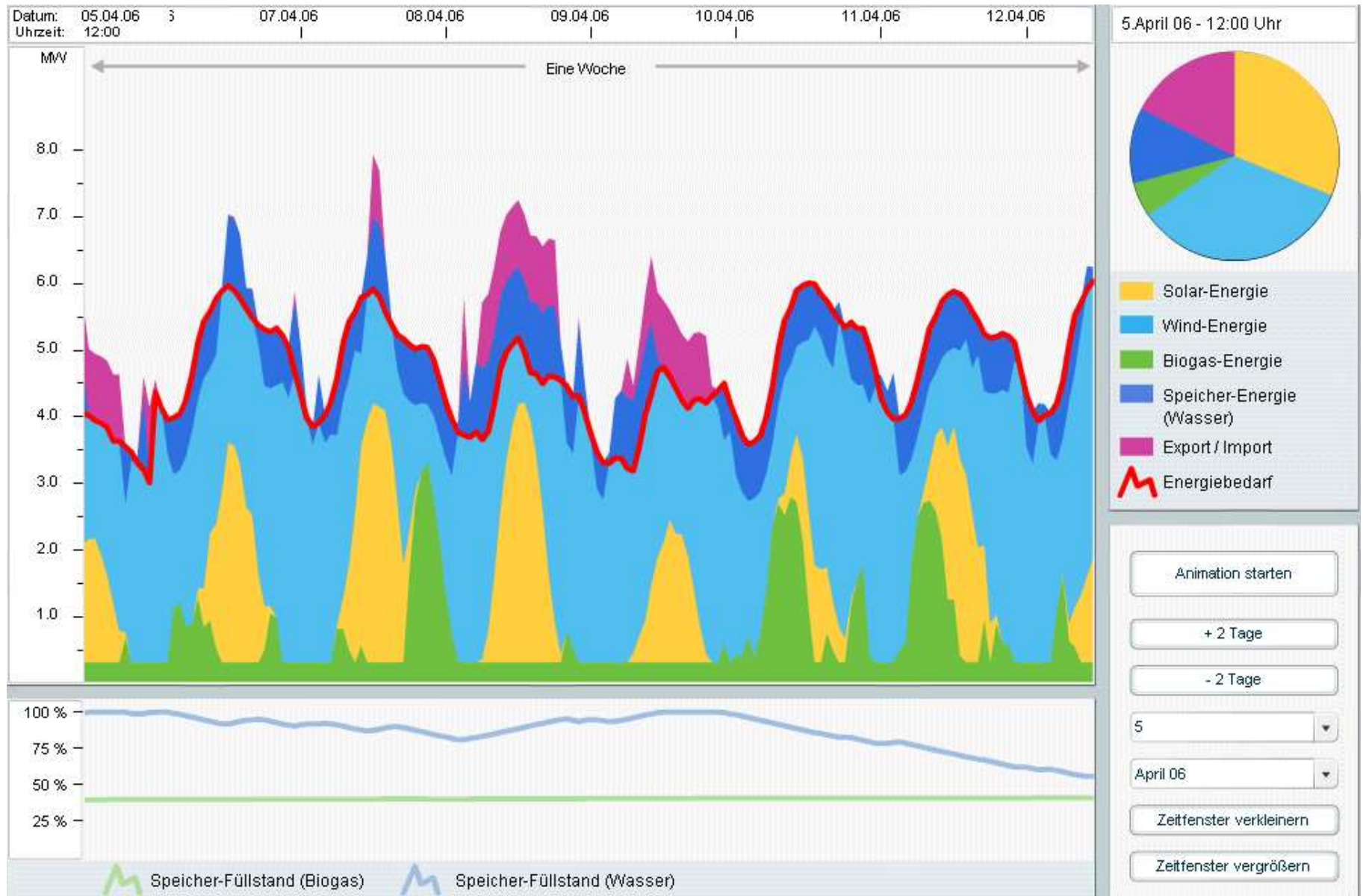


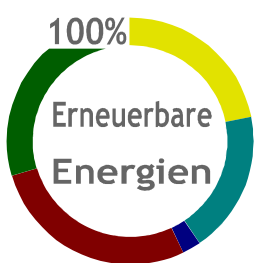
Die Bausteine

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



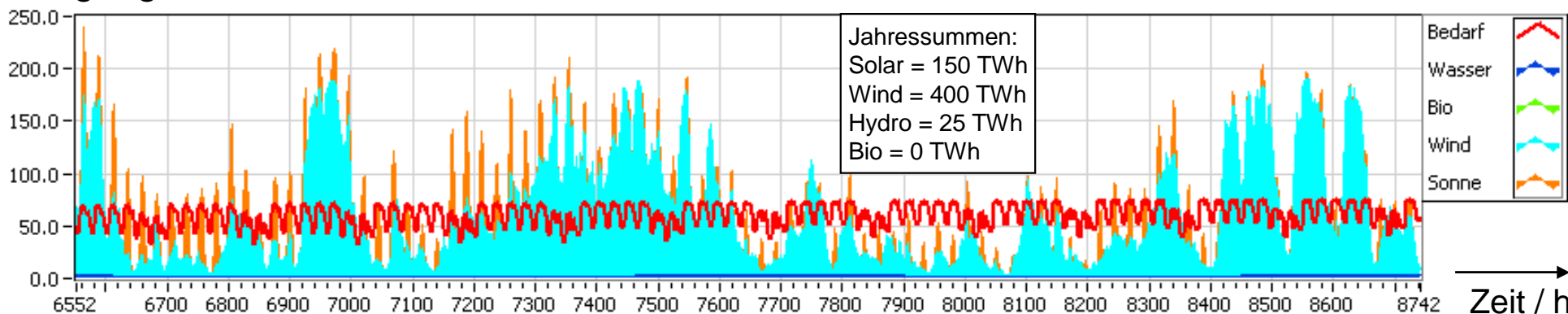
Anpassung an Verbrauch: Kombikraftwerk



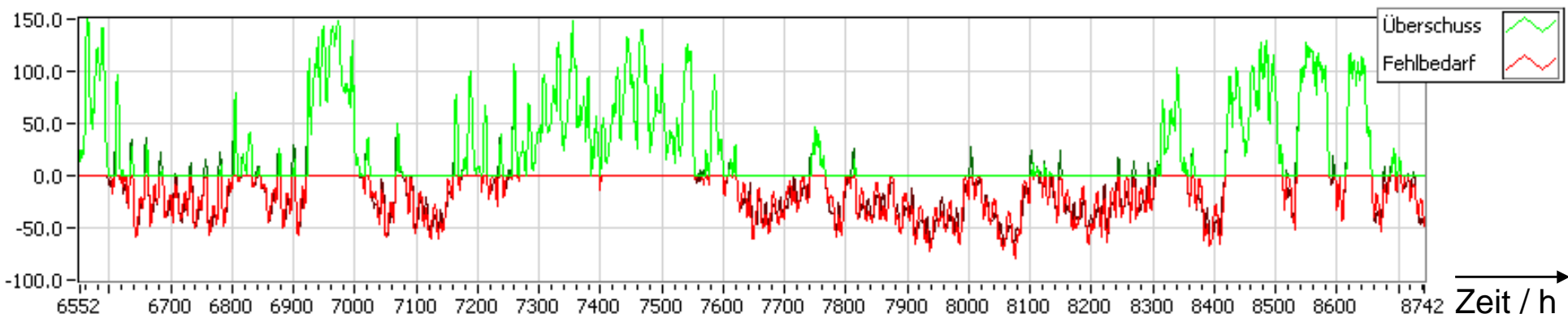


Wie groß ist die „Stromlücke“?

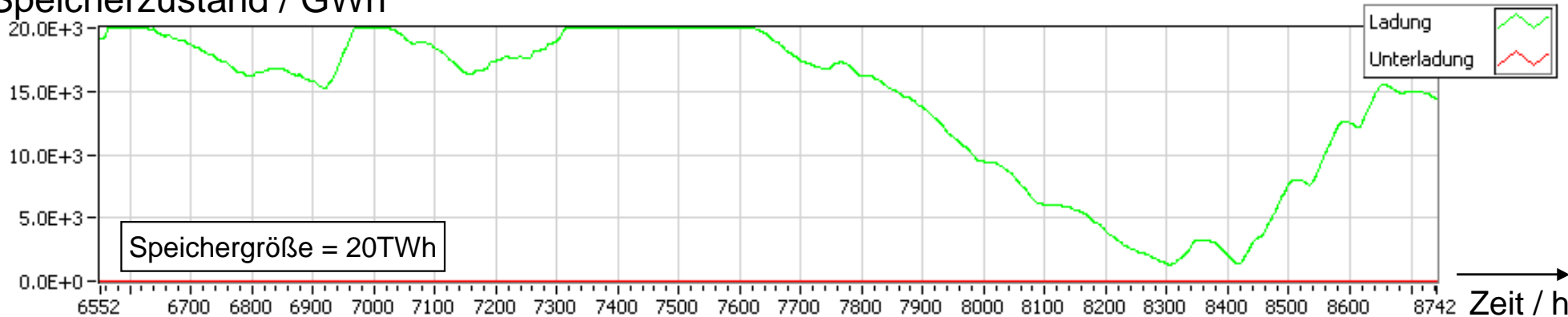
Erzeugung / GW Deutschland, 4. Quartal des Jahres 1991

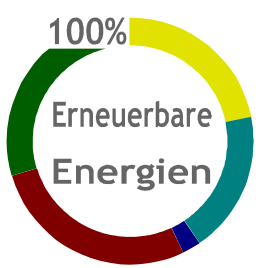


Differenz / GW



Speicherzustand / GWh





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

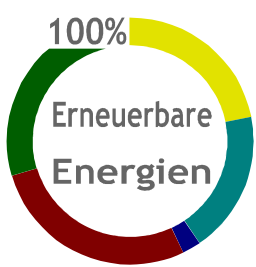
Standortwahl:

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

1. Sept. 2009, 16:00 UTC



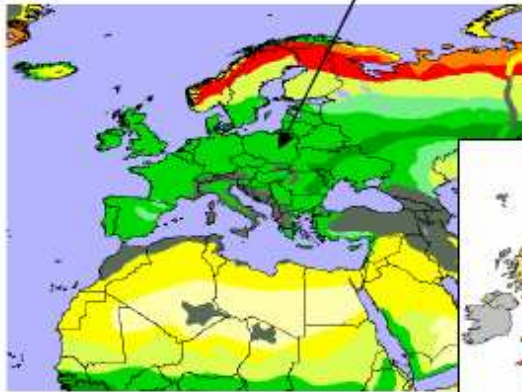
<http://www.sat24.com/history.aspx?country=eu>



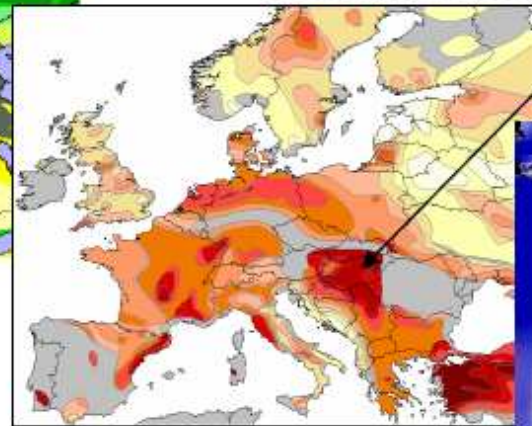
Potentialnutzung

Regenerative Energiepotentiale in Europa / Mittlerer-Osten / Nord-Afrika (EUMENA)

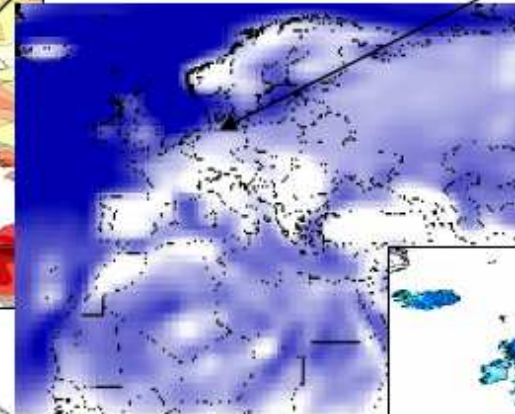
Biomasse



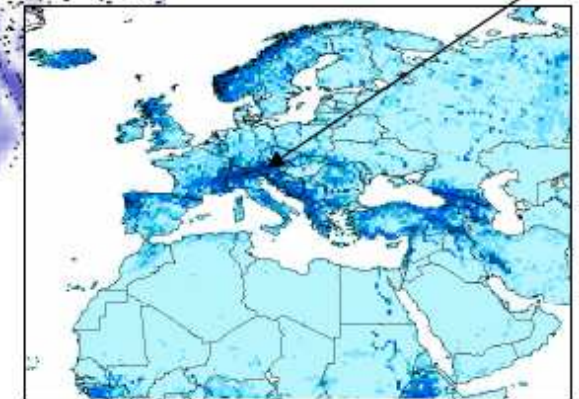
Geothermie



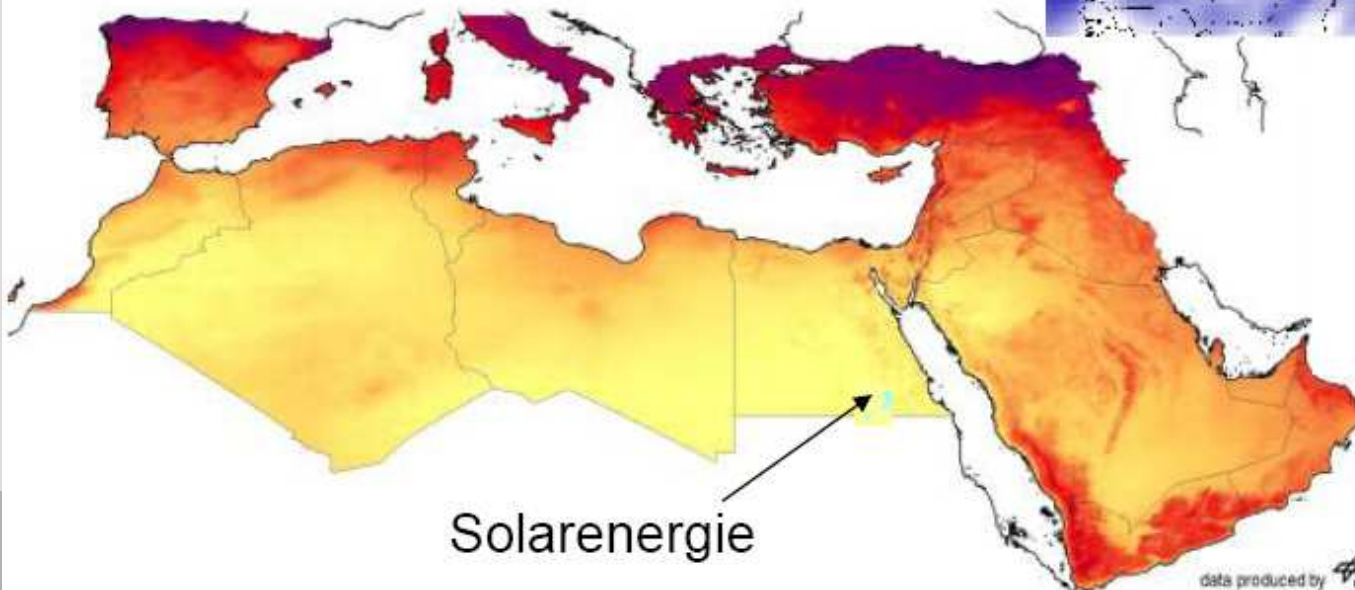
Windenergie



Wasserkraft



Solarenergie

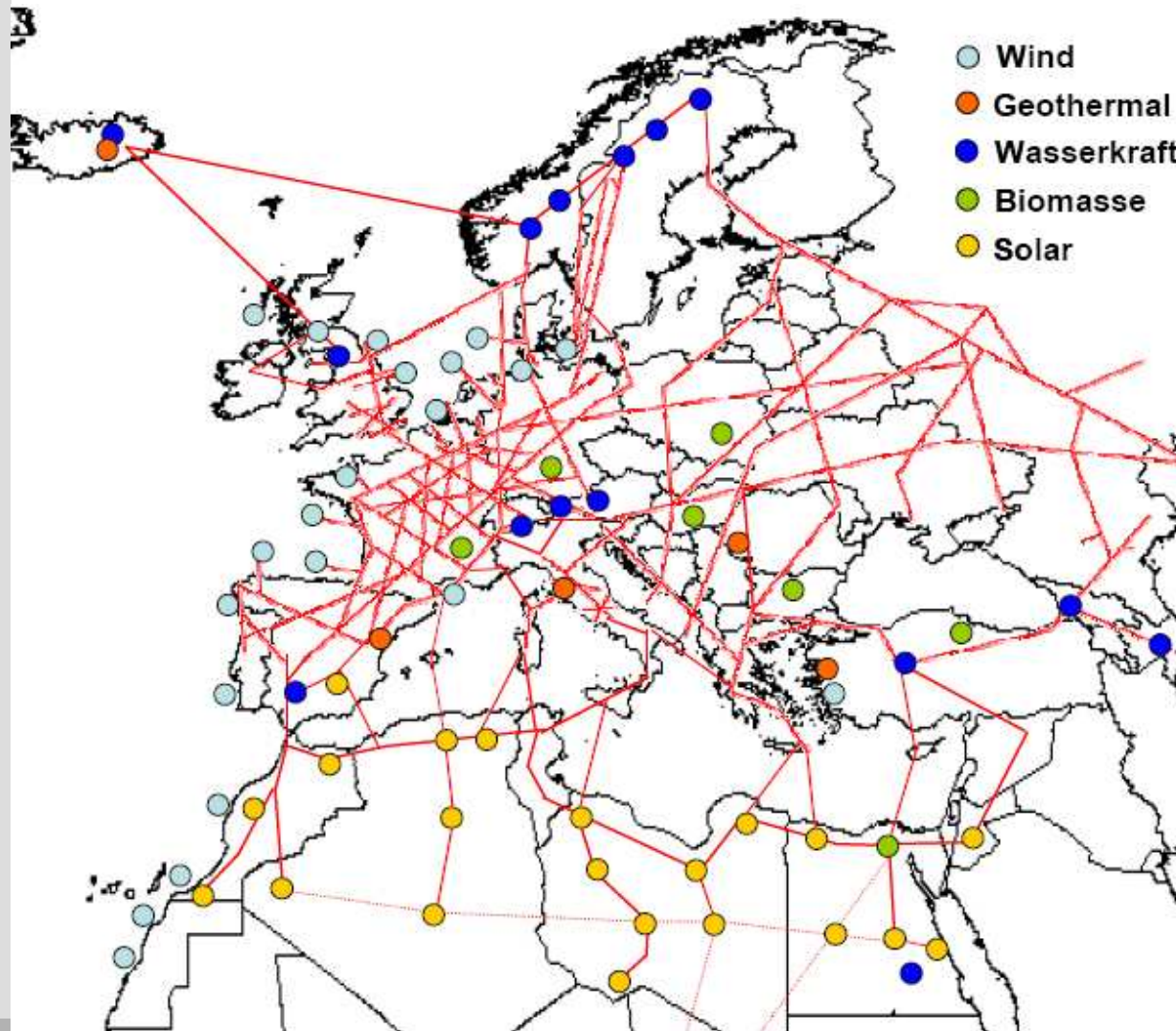


data produced by 

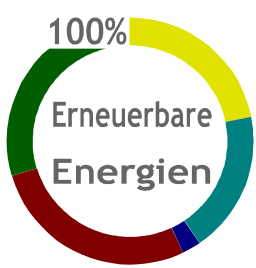


Vision eines HGÜ-Netzes

TRANS-CSP Studie für DESERTEC

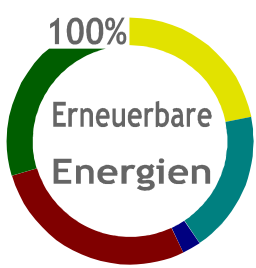


- Europäisches Backbone: „Strom-Autobahnen“
- Nur 10% Verluste über 3000km
- in 2050:
20 x 5GW HGÜ von Afrika
- bis zu 15% des europäischen Bedarfs aus Nord-Afrika



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



Speichertechniken

- Redox-Flow Batterien
- Pumpspeicherkraftwerk
- Druckluftspeicher
- Wasserstoff
- Methanol



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



Pumpspeicherkraftwerke

Funktionsweise:

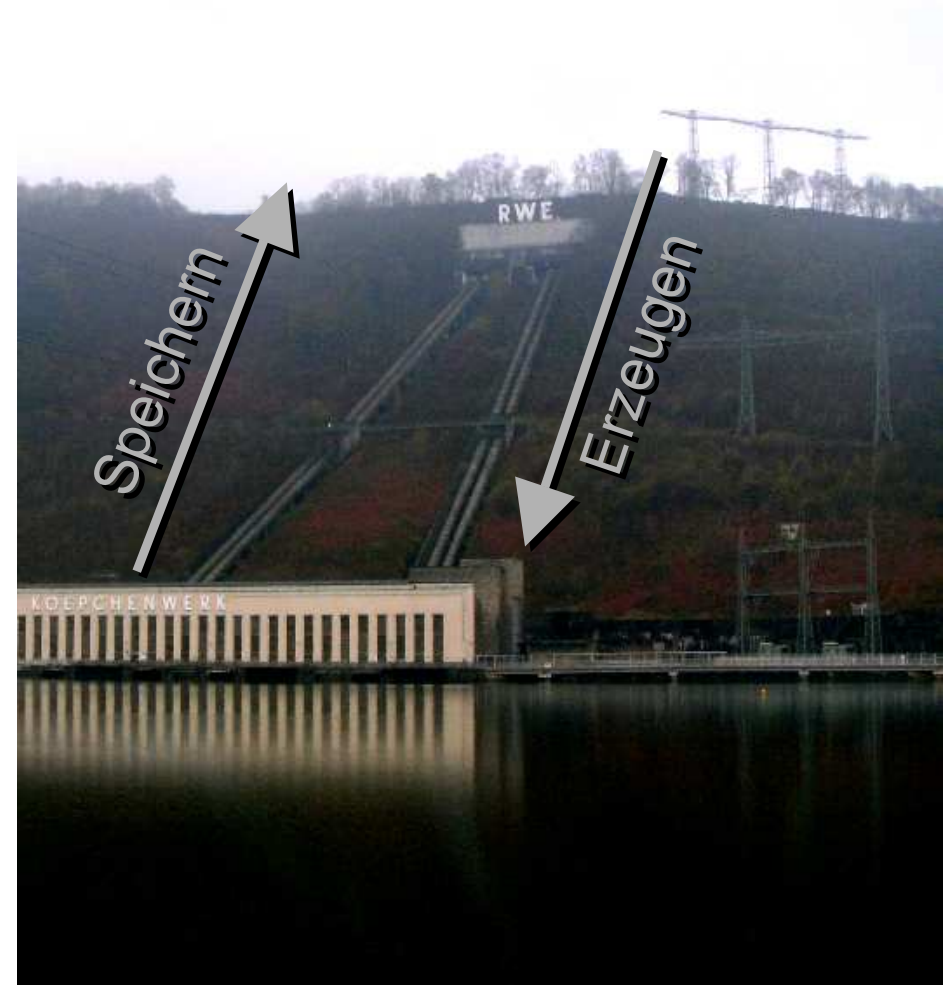
- *Speichern:*
Wasser hoch pumpen
- *Erzeugen:*
Turbine mit Wasser antreiben

Typ. technische Daten:

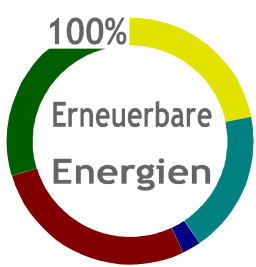
- *Leistung:* bis zu 1GW
- *Energiemenge:* für mehrere Std.
- *Wirkungsgrad:* >80%
- *Speicherdauer:* Unbegrenzt

Insgesamt in Deutschland

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



Beispiel:
Pumpspeicherwerk Koepchenwerk an der Ruhr



Ringwallspeicher

ca. 7..30x in Deutschland
für 1/2 bis 1 Monat



Bild der Wissenschaft 10/2010
www.ringwallspeicher.de

(C) Dr. Matthias Popp, Burgstraße 19
D-95632 Wunsiedel
www.poppware.de

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



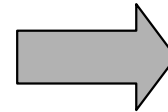
Beispiel: Hundorf, Deutschland, 290MW / 2h



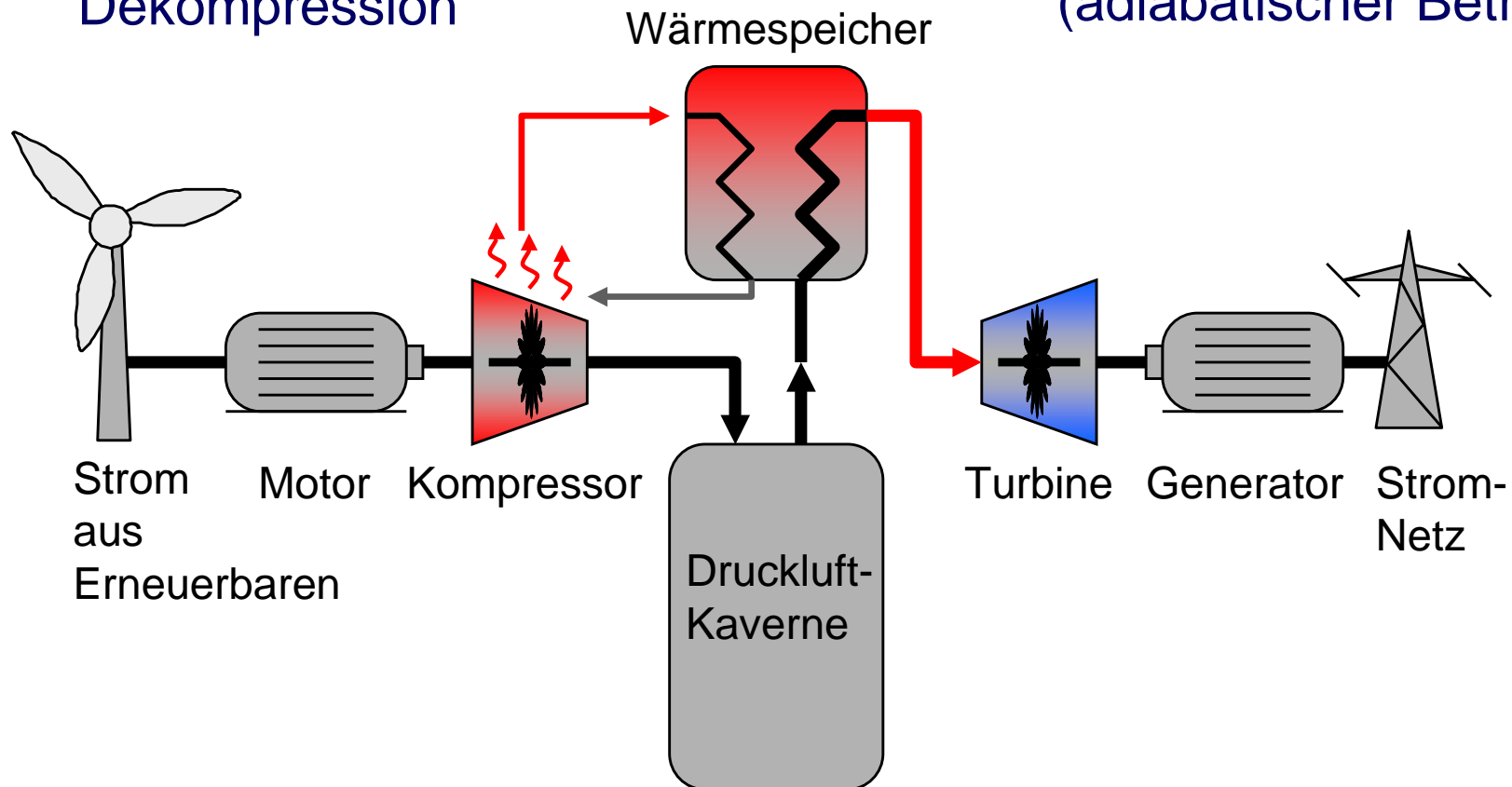
Druckluft-Speicher

Besonderheit

- Wärmeentwicklung bei Kompression
- „Kälteentwicklung“ bei Dekompression



- Nachheizen mit Gas *oder*
- Wärmespeicherung (adiabatischer Betrieb)





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:* 20 bis 40%
- *Speicherdauer:* Wochen bis Monate

Potential

- Vergleichbar mit Erdgas-Speicher
- Gasbedarf für mehrere Monate

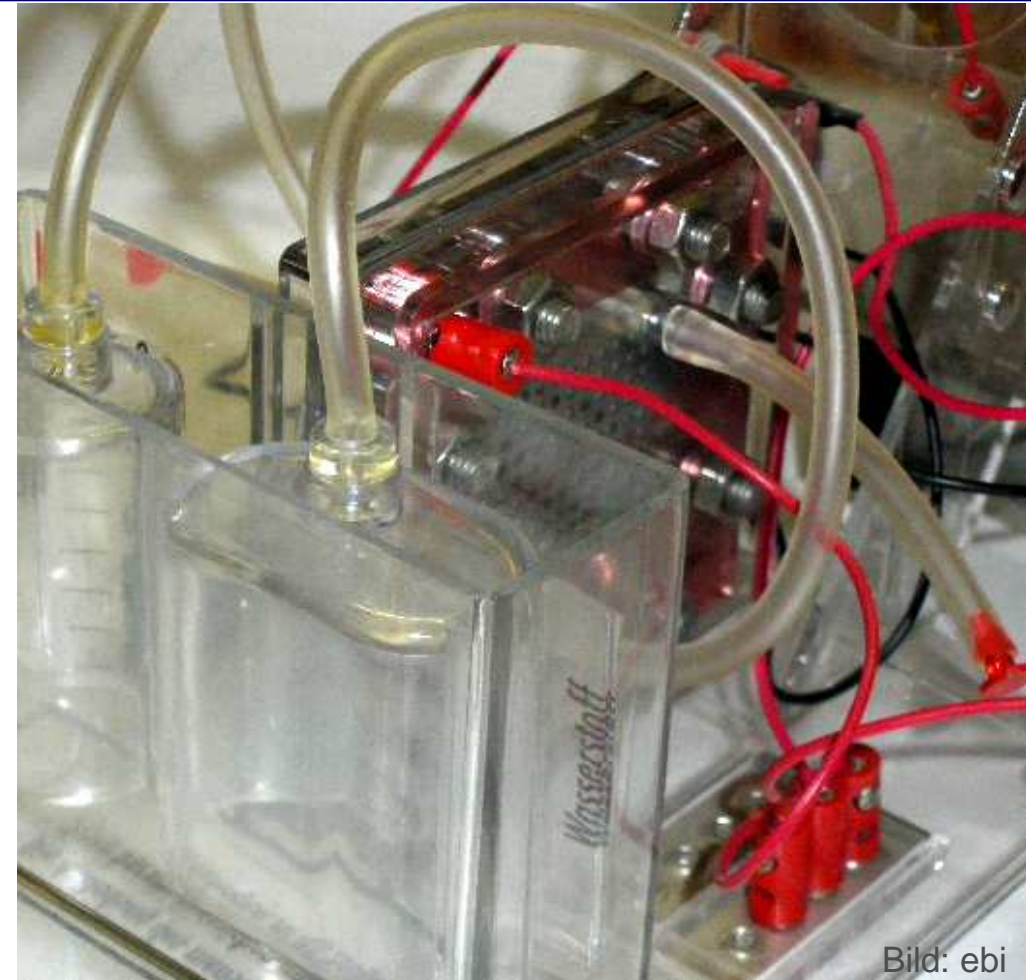
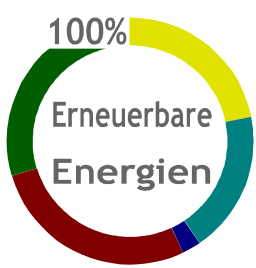


Bild: ebi

Bild: Wasserstoff-Brennstoffzelle

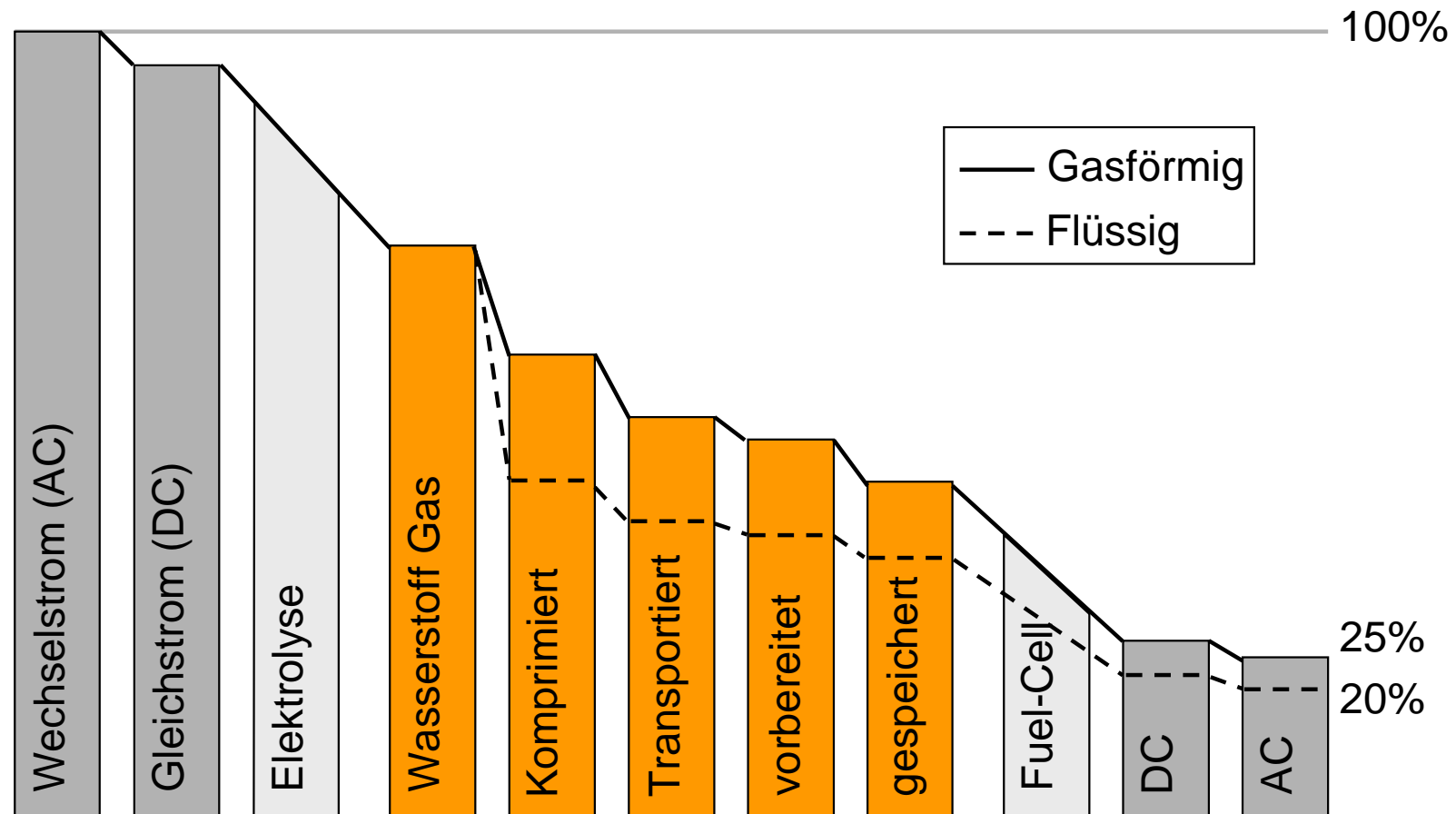


Wasserstoff-Speicher

Transport und Speicherung von Wasserstoff

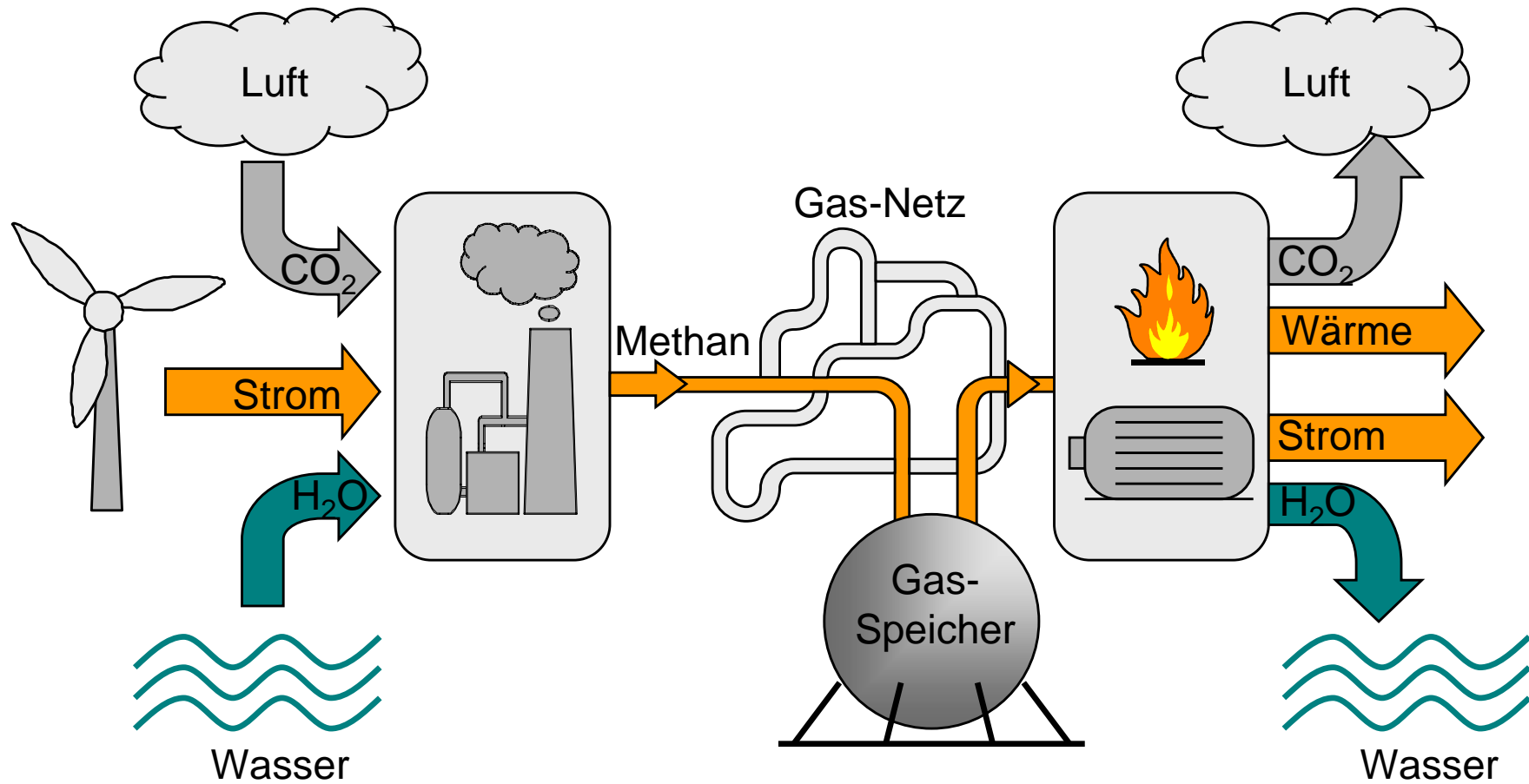
Strom-
Erzeugung

Verbraucher





Methan (Erdgas)

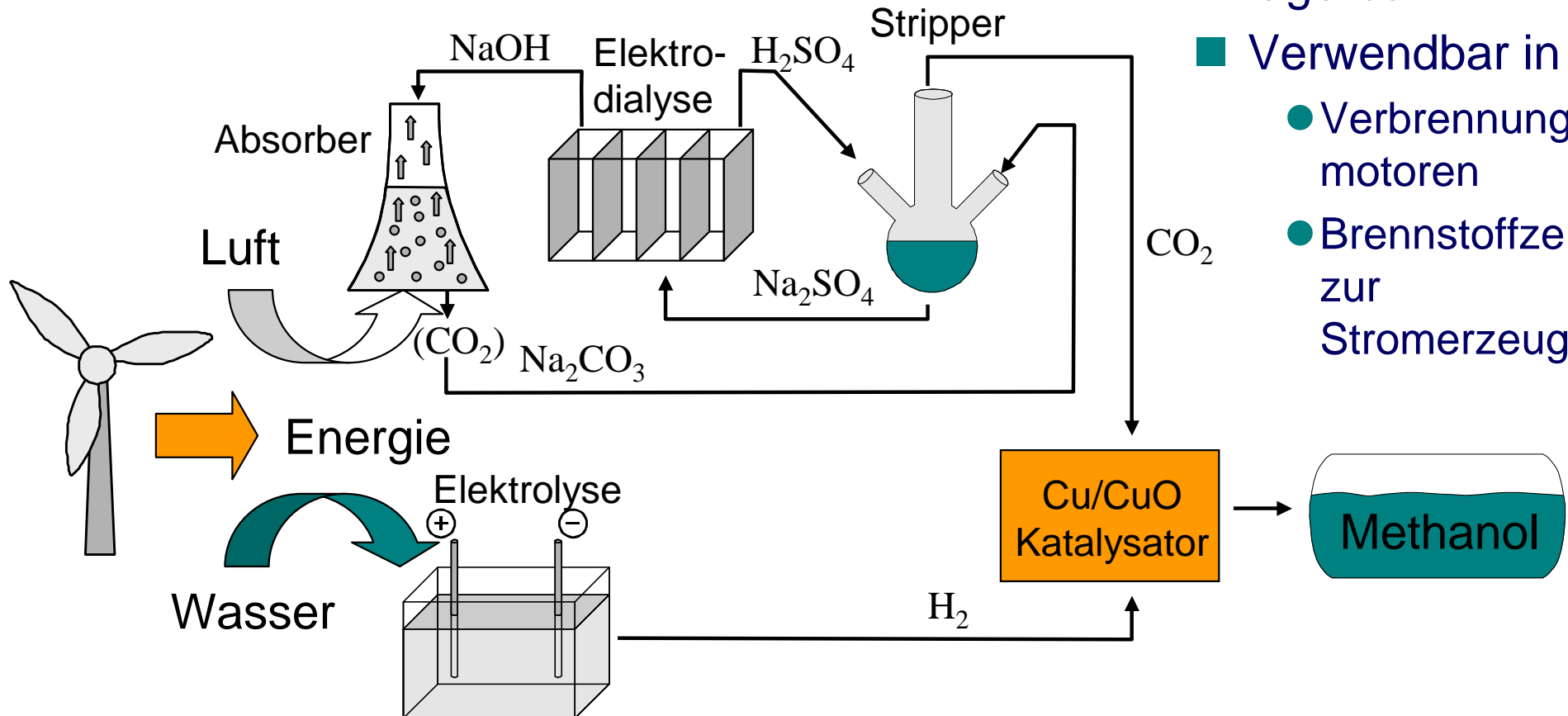




Methanol (flüssig)

Herstellprozess

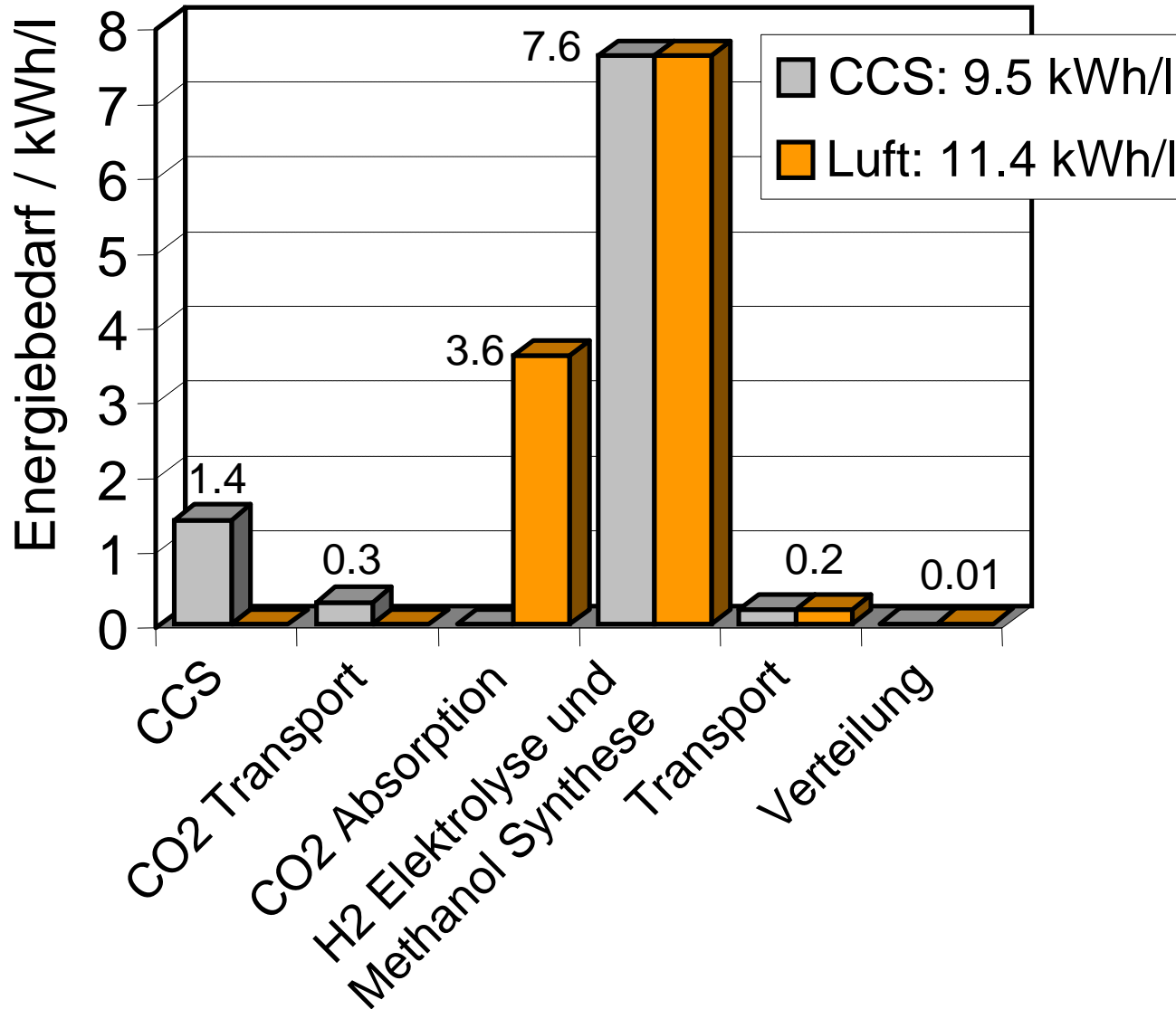
- Flüssiger Treibstoff
- Unbegrenzt lagerbar
- Verwendbar in
 - Verbrennungsmotoren
 - Brennstoffzellen zur Stromerzeugung





Methanol

Methanolherstellung



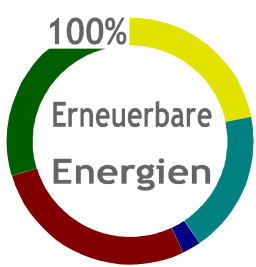
■ Energie-Gehalt:
4.4 kWh/l

Laborversuch:

■ Energie-Effizienz bis
zur Flüssigkeit:
 $\eta = 38\%$

■ Schon 1998 gezeigt:

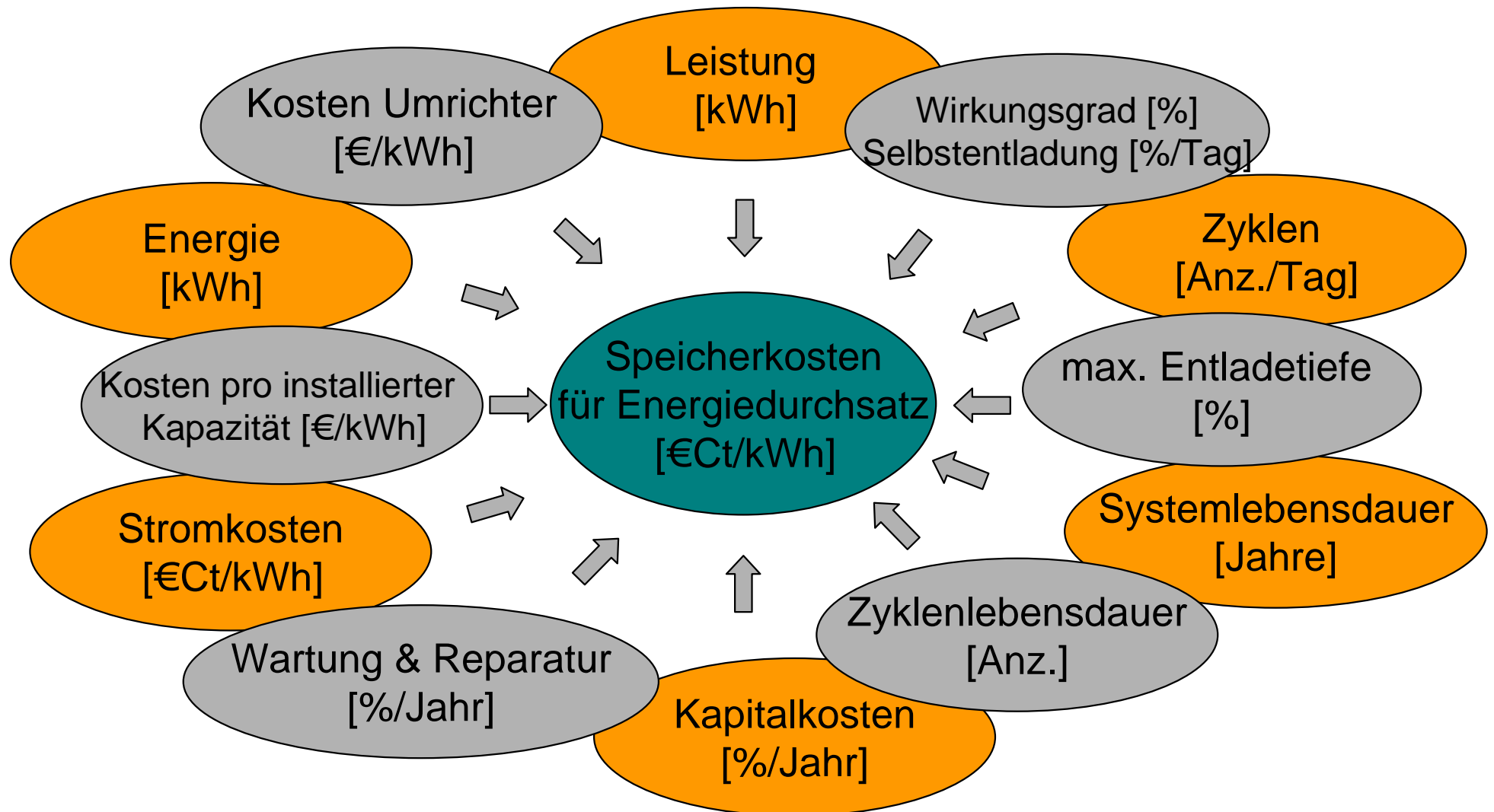
■ Kostenabschätzung
1.10 DM/l
(=2.30 DM/l Benzin-
Äquivalent)

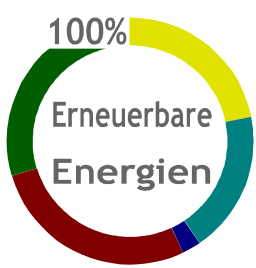


Kostenberechnung von Speichern

Definition Referenzfall

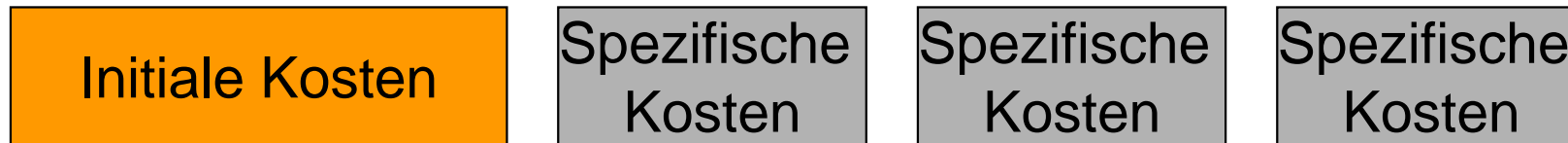
Definition Speichertechnologie



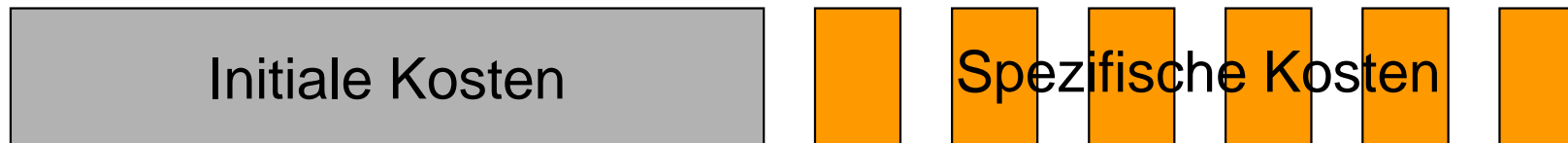


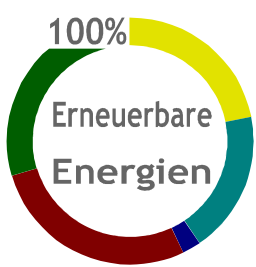
Kostenberechnung von Speichern

Wenige Zyklen:
Initiale Kosten dominieren

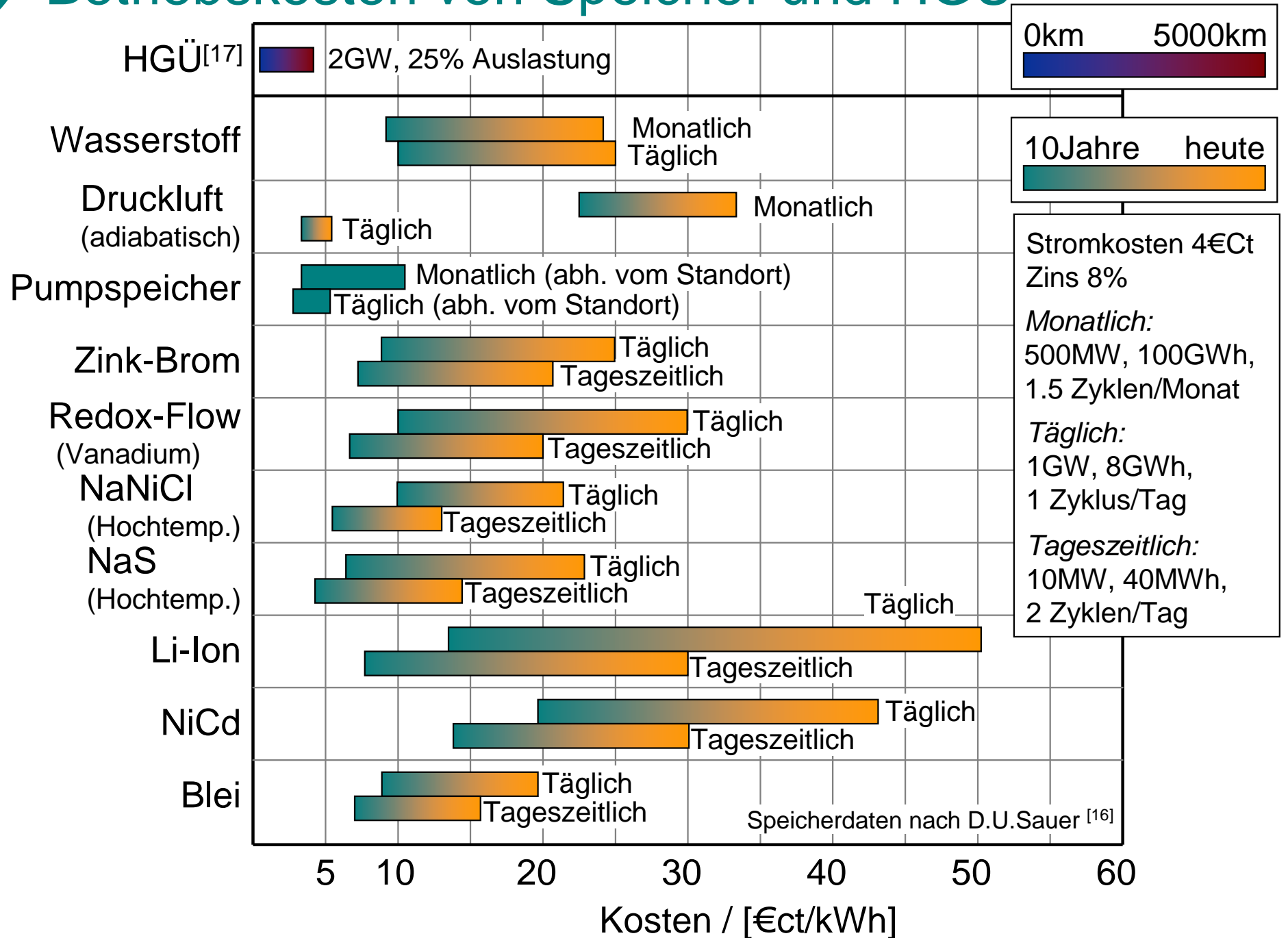


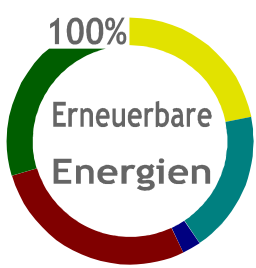
Viele Zyklen:
Spezifische Kosten dominieren





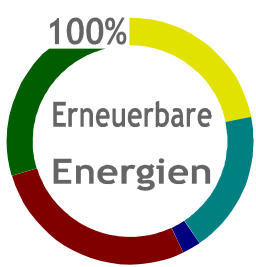
Betriebskosten von Speicher und HGÜ





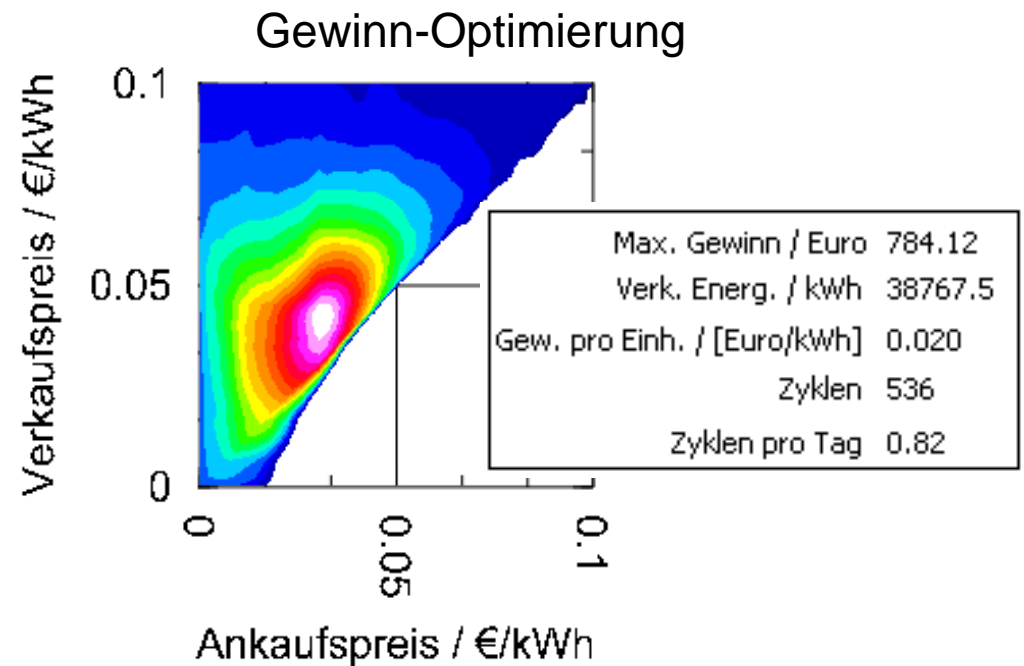
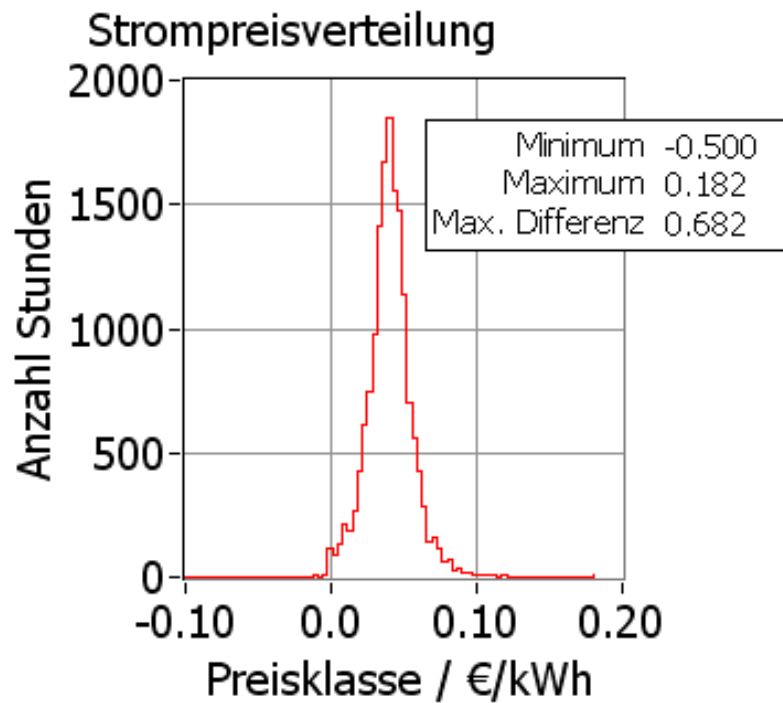
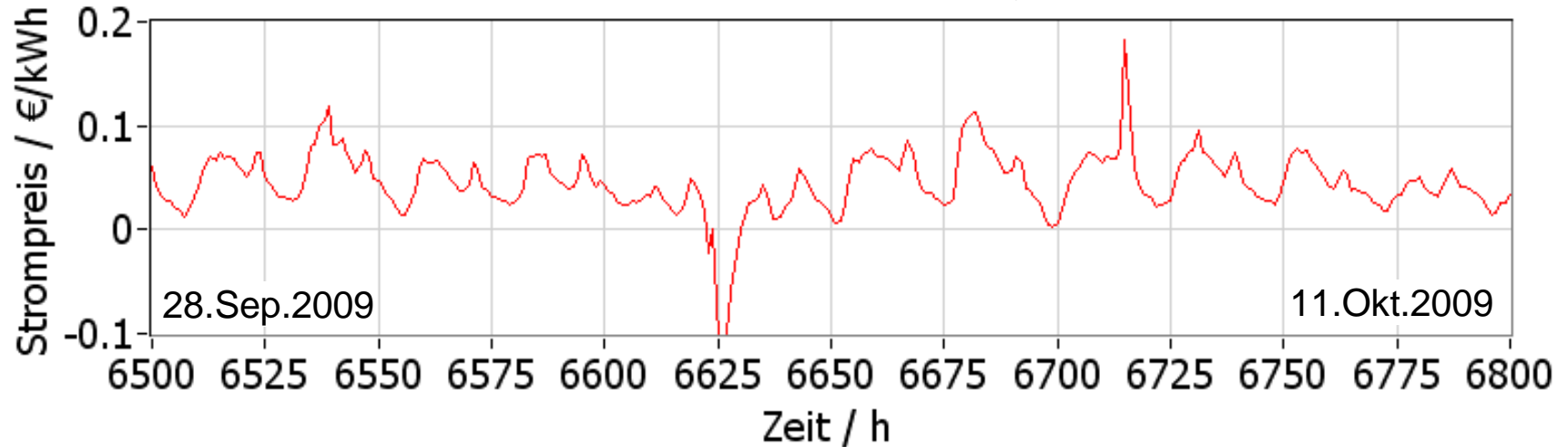
Variable Strompreise

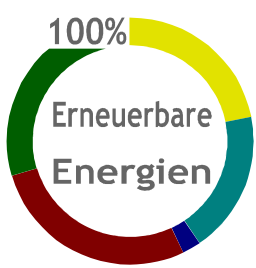
- Viel Strom: Strom ist billig
 - Speicher aufladen,
 - Energie gebrauchen
- Wenig Strom: Strom ist teuer
 - Speicher entladen,
 - Energieverbrauch verschieben



Börsenpreis

EEX-Börsenpreis Spotmarkt Day Ahead

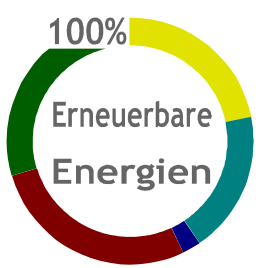




Vorschlag SFV

Gesetzliche Regelung beinhaltet:

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

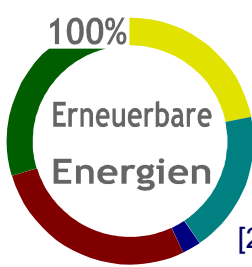


Speicher für Erneuerbare Energien...

- 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
- [12] Franz Trieb (DLR) et al., „Trans-Mediterranean Interconnection for Concentrating Solar Power“, Final Report, Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt und Reaktorschutz, Juni 2006. <http://www.dlr.de/tt/trans-csp>
- [13] Ulf Bossel, On the Way to a Sustainable Energy Future, International Conference "Intelec '05" Berlin, September 18 -22, 2005,
http://www.folkecenter.net/mediafiles/folkecenter/pdf/Presentation_Bossel.pdf, zitiert von [12]
- [14] M. Specht, F. Staiss, A. Bandi, T. Weimer, „Comparison of the renewable transportation fuels, liquid Hydrogen and Methanol, with Gasoline - energetic and economic aspects“, Int. J. Hydrogen Energy, Vol. 23, No. 5, 1998, pp. 387-396.
- [15] M. Specht, A. Bandi, M.Elser, F. Staiss, „Comparison of CO2 sources for the synthesis of renewable methanol“, Advances in Chemical Conversions for Mitigating Carbon Dioxide, Studies in Surface Science and Catalysis, Vol. 114, 1998.
- [16] 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
- [17] Studie Speicher, ETG/VDE, 2008/2009, Zitiert durch D.U. Sauer, „Elektrizitätsspeichersysteme für die Grundlastfähigkeit erneuerbarer Energien“, Vortrag Aachen, Nov. 2009.