

Wasserstoff
Eine Option für die langfristige Speicherung
von Windenergie

(Ergebnisse einer VDE-Studie)

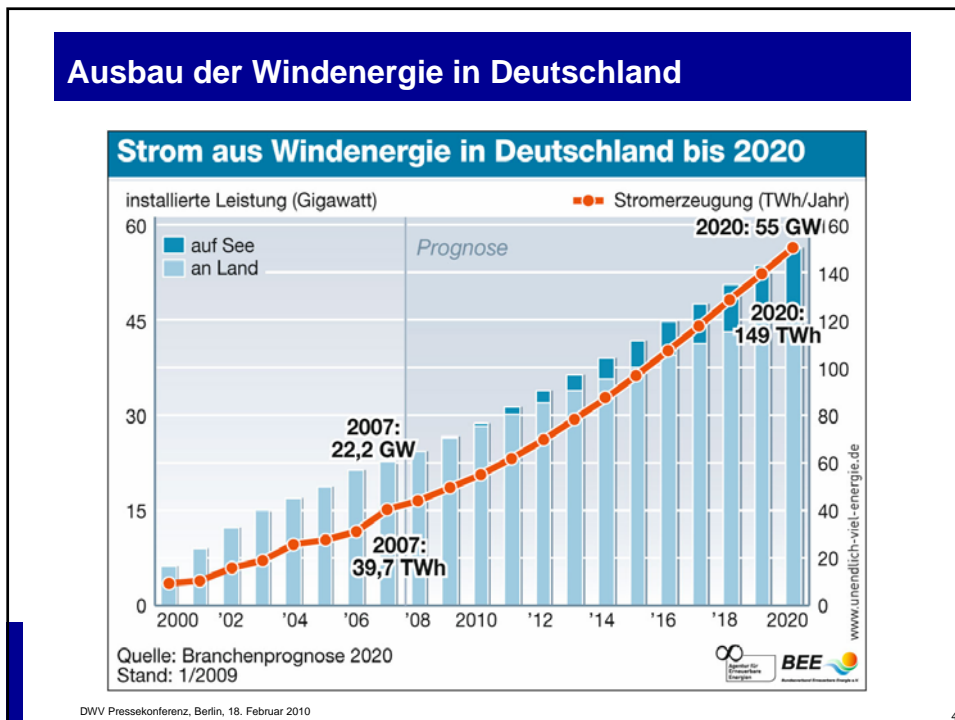
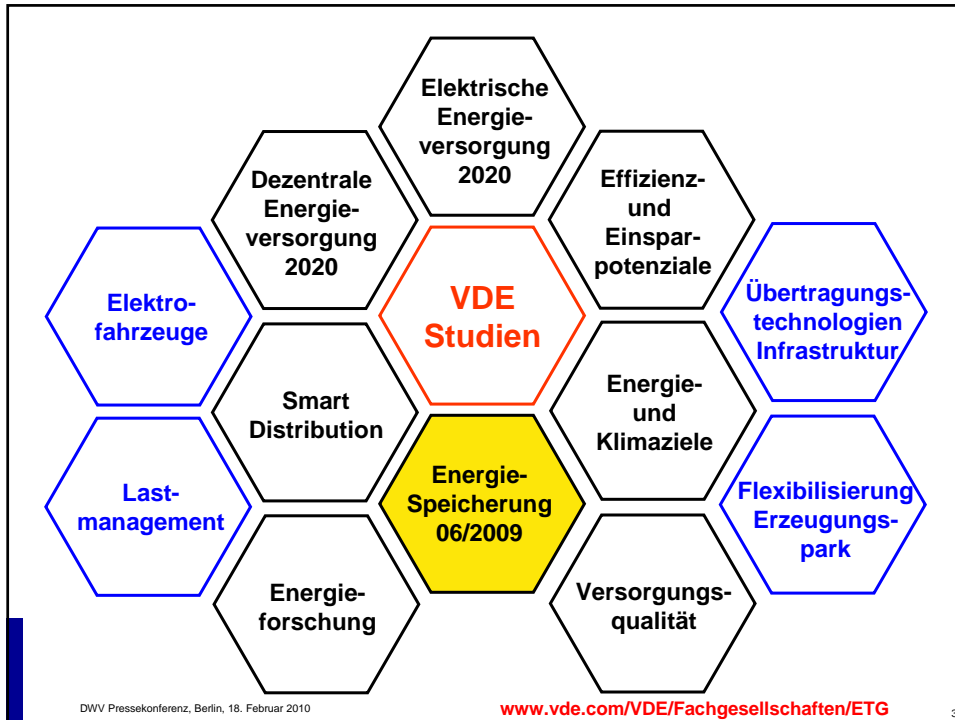
Dr.-Ing. Martin Kleimaier
Energietechnische Gesellschaft im VDE
Task Force „Energiespeicherung“



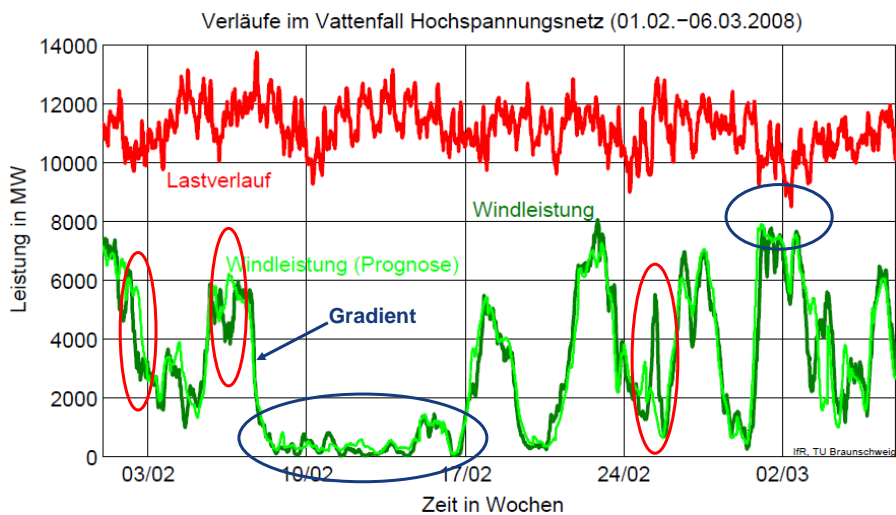
VDE-Studie

VDE-Studie
Energiespeicher in Stromversorgungssystemen
mit hohem Anteil erneuerbarer Energieträger
Bedeutung, Stand der Technik, Handlungsbedarf

www.vde.com/VDE/Fachgesellschaften/ETG
Kurzfassung: 12/2008
Langfassung: 06/2009



Fluktuierende Einspeisung aus Windenergie



DWV Pressekonferenz, Berlin, 18. Februar 2010

5

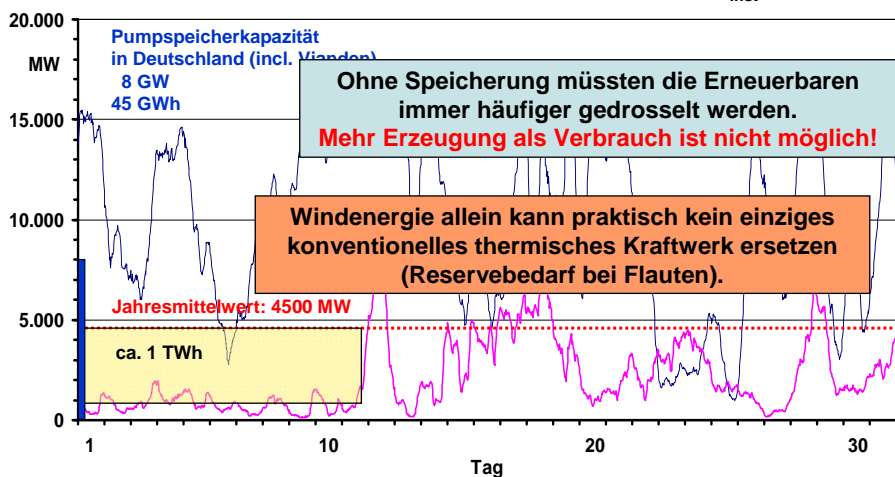
Verhalten der Windenergie in Deutschland

Windkraft in Deutschland 2007

2007: $E_{\text{wind}} = 39.713 \text{ GWh}$
ca. 1850 Volllaststunden

— Jan 07 — Okt 07

12/06: $P_{\text{inst}} = 20.622 \text{ MW}$
12/07: $P_{\text{inst}} = 22.247 \text{ MW}$



6

(Pump-) Speicher-Kraftwerke – Potenziale

Deutschland:

Verfügbare Gesamtleistung ca. 7 GW (ohne Vianden/Lux.)

Gesamte Speicherkapazität ca. 40 GWh (ohne Vianden/Lux.)

Die Realisierungsmöglichkeiten für neue Projekte sind sehr begrenzt!

In Österreich und in der Schweiz werden derzeit bestehende Saisonspeicher (insbesondere mehrstufige Anlagen) um Pumpfunktion erweitert, neue Speicherseen können auch dort praktisch nicht mehr gebaut werden.

Vorteil:

hoher Wirkungsgrad: 75...80 %

Nachteil:

geringe spezifische Speicherkapazität

Saison-Speicherkraftwerke (beispielhaft):

	Speicherkapazität	Leistung
Österreich	4,5 TWh	6 GW
Norwegen	81,7 TWh	29 GW
Schweden	33,8 TWh	16 GW

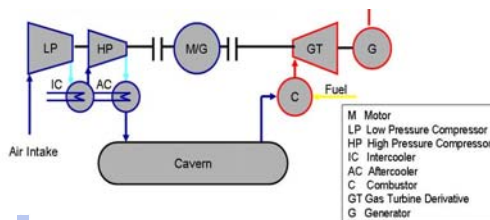


aber: Übertragungskapazität eines HGÜ-Seekabels: nur ca. 600...700 MW

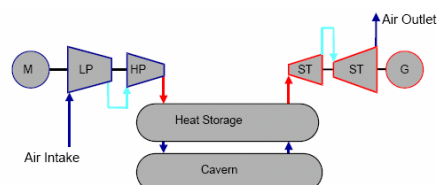
DWV Pressekonferenz, Berlin, 18. Februar 2010

7

Zentrale Großspeicher: Druckluftspeicher (CAES)



Huntdorf



Wirkungsgrade:

Huntdorf: 45 %

McIntosh: 54 %

adiabat: ca. 70 %

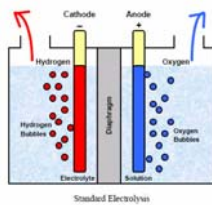
Nachteil:

geringe Speicherkapazität

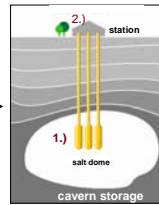
DWV Pressekonferenz, Berlin, 18. Februar 2010

8

Zentrale Großspeicher: Wasserstoff



Kompressor



Brennstoffzelle

GuD-Kraftwerk

derzeit noch
Zumischung von
Erdgas erforderlich

Wasserstoff mit Kavernenspeichern



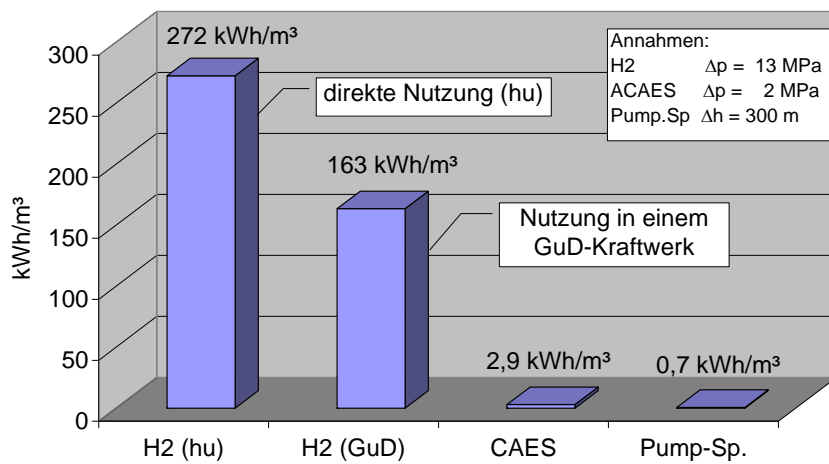
Vorteil:
hohe spezifische Speicherkapazität

Nachteil:
Wirkungsgrad der gesamten Kette:
derzeit ca. 30 %
zukünftig ca. 40 % erreichbar

DWV Pressekonferenz, Berlin, 18. Februar 2010

9

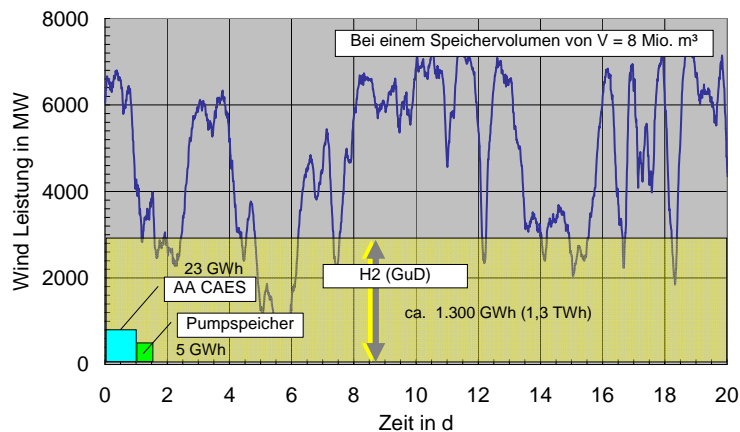
Vergleich der Netto Speicherkapazitäten



DWV Pressekonferenz, Berlin, 18. Februar 2010

10

Vergleich von Netto-Speicherkapazitäten



8 Mio. m^3 entsprechen dem Volumen des größten deutschen Erdgaskavernenspeichers

Zum Vergleich: Pumpspeicher Goldisthal hat ein Speichervolumen von 12 Mio. m^3

DWV Pressekonferenz, Berlin, 18. Februar 2010

11

Vergleich der Speicherkosten / weitere Optionen

Kosten für das Speichermedium

Pumpspeicher (See): 10 ... 40 €/kWh

Druckluft (Kaverne): 10 ... 20 €/kWh

Wasserstoff (Kaverne): 0,2 ... 0,5 €/kWh

weitere Speicheroptionen:

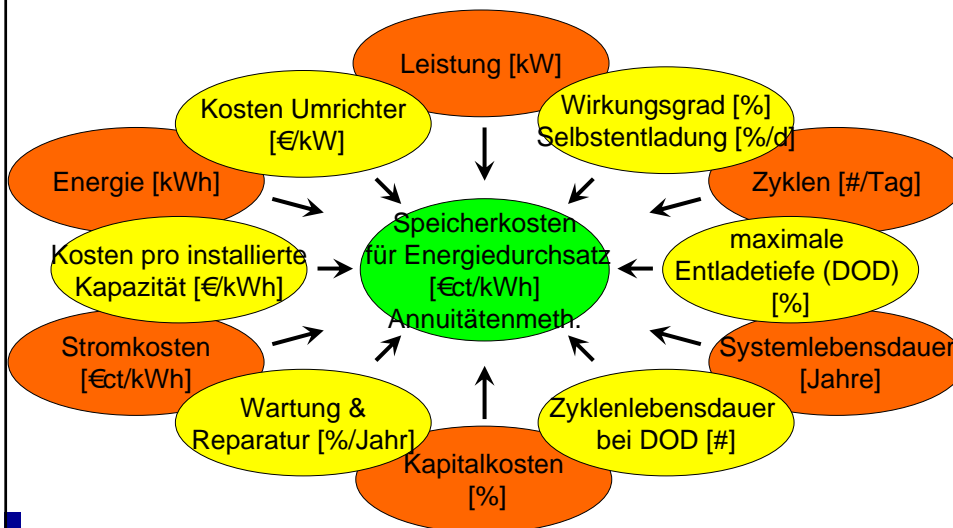
Wasserstoff-Verflüssigung und Speicherung in Kryotanks

→ zusätzliche Verluste bei Verflüssigung und Speicherung

DWV Pressekonferenz, Berlin, 18. Februar 2010

12

Kostenvergleich für Speicher (Modell)



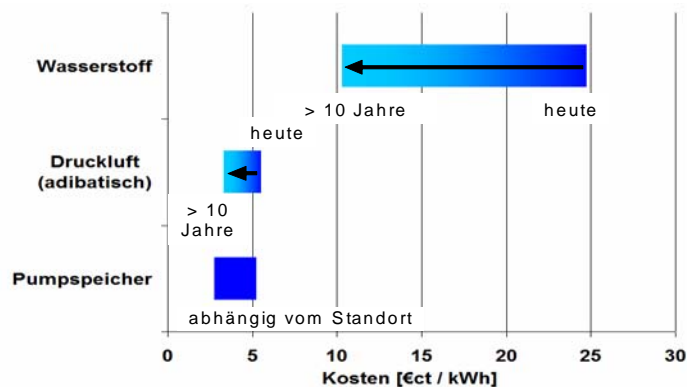
Quelle: Prof. Sauer, ISEA, RWTH Aachen

DWV Pressekonferenz, Berlin, 18. Februar 2010

13

Speicherkosten bei zentraler „Stundenspeicherung“

1 GW für 8 Stunden (8 GWh), 1 Zyklus pro Tag, Zugriffszeit < 15 min.



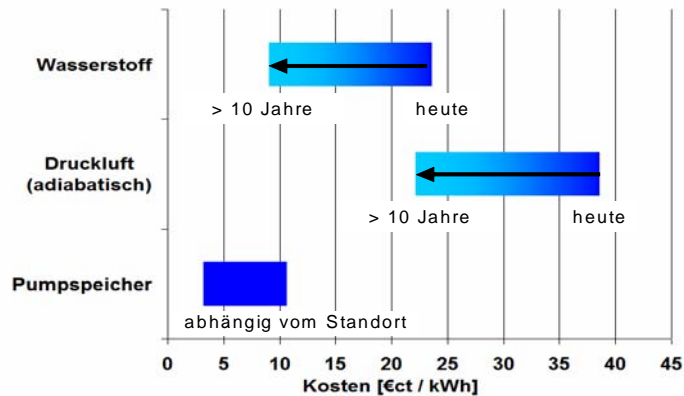
Reine Speicherkosten; die Kosten für den Einkauf der abzugebenden Energie sind jeweils noch zu addieren.

DWV Pressekonferenz, Berlin, 18. Februar 2010

14

Speicherkosten bei „Wochenspeicherung“

500 MW für 200 Stunden (100 GWh), 2 Zyklen pro Monat



Reine Speicherkosten; die Kosten für den Einkauf der abzugebenden Energie sind jeweils noch zu addieren.

Zusammenfassung: Speicherkosten und Effizienz

- **Speicherung elektrischer Energie ist mit signifikanten Kosten verbunden. Mittelfristig ist günstigstenfalls von folgenden Kosten auszugehen:**
 - 3 €/kWh bei Stundenspeicherung (Pumpspeicher)
 - 10 €/kWh bei Langzeitspeicherung („Wochenspeicherung“)
(reine Speicherkosten inkl. Kompensation der Verluste, ohne Kosten für Energieeinkauf)
- **Dezentrale Speicherung in Batterien ist heute noch wesentlich teurer als zentrale Speicherung im Übertragungsnetz. Deutliche Kostensenkungspotenziale sind bei Massenfertigung jedoch möglich.**
- **Die Effizienz der unterschiedlichen Speicher liegt im Bereich von**
 - 40 % bei Wasserstoffsystemen und
 - > 90 % bei Lithium-Ionen-Batterien.

Zusammenfassung

- Bei hoher Marktdurchdringung von Elektrofahrzeugen könnten diese mobilen Speicher – integriert in ein intelligentes Last- und Speichermanagement - alle Aufgaben für das Netz im Zeitbereich von Sekunden bis zu einigen Stunden übernehmen.
- Für mehrtägige Windflauten sowie saisonaler Schwankungen von erneuerbaren Energien sind die mobilen und die meisten Groß- und Batteriespeichertechnologien nicht ausreichend.
- Hierzu sind große stationäre Speicher („Wochenspeicher“) erforderlich. Mögliche Optionen: großen Speicherseen in alpinen Regionen (Umbau zu Pumpspeichern) und Wasserstoff in unterirdischen Salzkavernen.
- Aus der stationären Wasserstoffspeicherung sind Synergien für die Versorgung zukünftiger Brennstoffzellen-Hybridfahrzeuge zu erwarten (Wasserstoff als Kraftstoff für die Langstrecke).
- Forschung und Demonstration für Speicher muss in Deutschland erheblich intensiviert werden.

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Haben Sie noch Fragen?

martin.kleimaier@t-online.de