

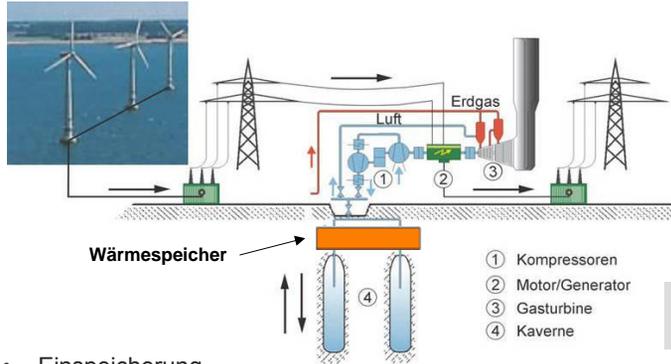
Druckluftspeicherkraftwerke und ihr Potential

Sanam Vardag
Tobias Tröndle
Ulrich Platt

IUP Heidelberg
Dresden, den 16.03.2011

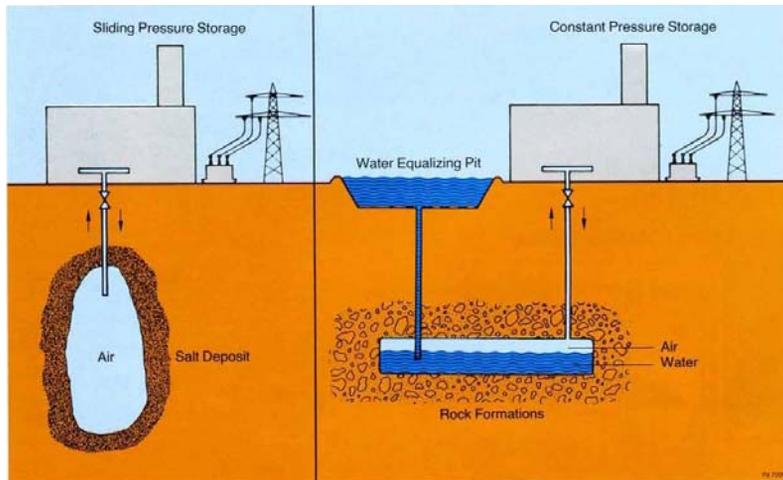
Einführung

- Vermehrte Einbindung erneuerbarer Energien (EE) in das Stromnetz birgt Probleme:
 - EE stellen schwankende Energiequellen dar
 - Das Angebot muss zu jeder Zeit die Nachfrage an Strom decken
 - **Speicher**
- Speicher muss bestimmte Kriterien an Leistung, Energiekapazität, Anlaufzeit, Standort und Kosten erfüllen
 - Druckluftspeicher erfüllt diese Kriterien



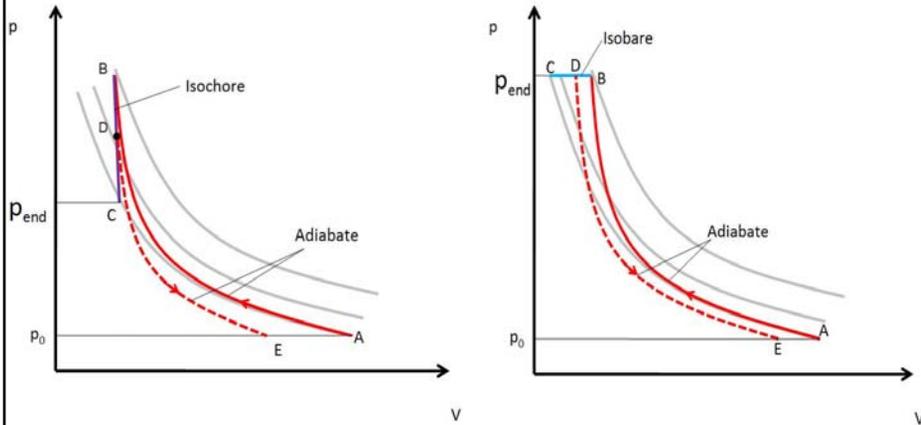
Bildquelle: <http://www.thema-energie.de/typo3temp/pics/614c24036c.jpg>

- Einspeicherung
Strom → Motor → Kompressor → Druckluft + Wärme
- Ausspeicherung
Druckluft + Wärme → Turbine → Generator → Strom



Bildquelle: BBC Brown Boveri (1978). Huntorf Air Storage Gas Turbine Power Plant-Energy Supply

Prozessführung- Isochor und Isobar



Arbeit:

Wirkungsgrad:

W

η

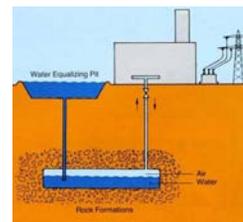
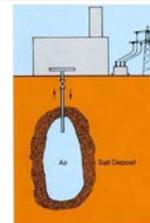
$$= - \int p dV$$

$$= W_{\text{aus}} / W_{\text{ein}}$$

Prozessführung- Isochor und Isobar

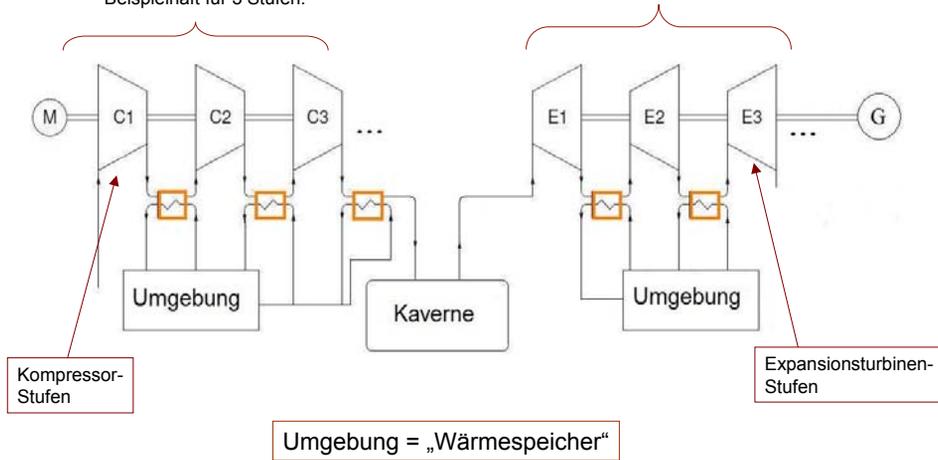
- Adiatat-Isochor
 - Kaverne kann wegen Mindestdruck nicht vollständig entladen werden
 - Geringe Energiedichte
 - Turbinen arbeiten bei sich veränderndem Druck
 - Drossel oder verstellbare Turbinenschaufeln

- Adiatat-Isobar
 - Gesamte Luft wird ausgespeichert
 - Hohe Energiedichte
 - Höhere Investitionskosten



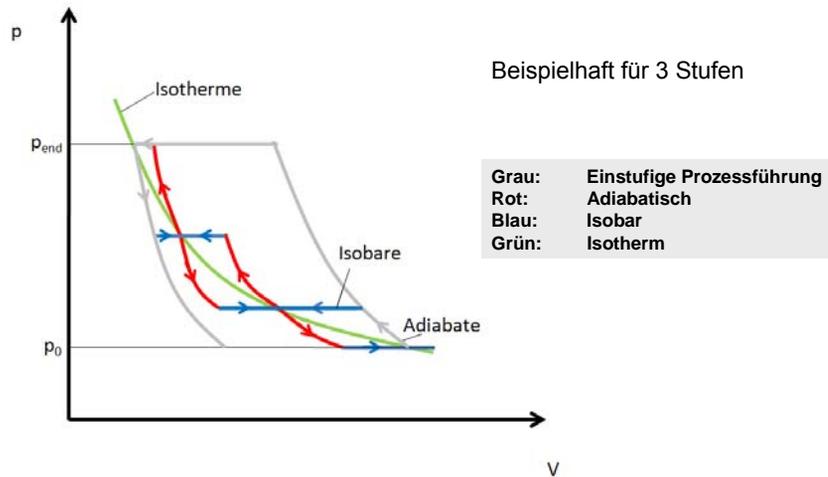
Prozessführung- Quasi-Isotherm (Q.-I.)

Beispielhaft für 3 Stufen:



Prozessführung- Quasi-Isotherm

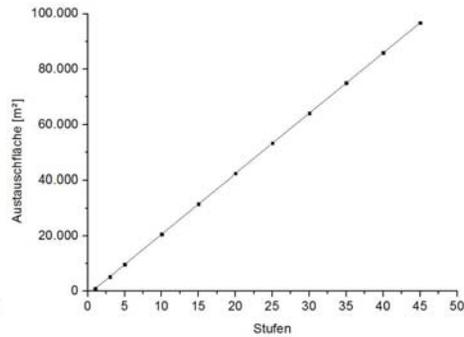
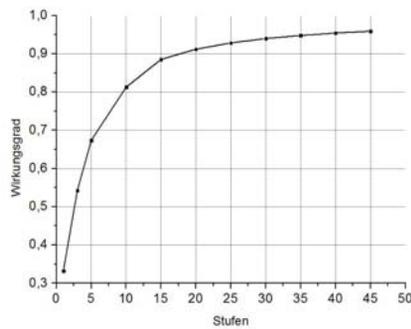
Beispielhaft für 3 Stufen



Prozessführung- Quasi-Isotherm Wirkungsgrad steigt mit Stufenzahl

Kaverne: $V = 300.000 \text{ m}^3$ und $p = 30\text{-}70 \text{ bar}$

Wärmetauscher: $P = 1\text{kW/m}^2\text{K}$ und $\varepsilon = 0,8$



- Abwägung zwischen höherem Wirkungsgrad und geringerer Austauschfläche (15 Stufen)

Prozessführung- Übersicht

Prozessführung	Adiabat-Isochor	Adiabat-Isobar	Quasi-Isotherm (15 Stufen)
Wirkungsgrad [%]*	59 - 64	60 - 61	75
Energiedichte [kWh/m³]	3,4	6,5	3,4

* Dabei wurde ein Wirkungsgrad von Kompressor, Turbine, Generator und Motor von insgesamt 84% angenommen (Dubbel, 2007)

Prozessführung- Bewertung Q.-I.

- Vorteile der Q.-I. Prozessführung:
 - Kein Wärmespeicher benötigt
 - Keine Wärmeverluste bei Speicherung
 - Moderate Temperaturen
- Nachteile der Q.-I. Prozessführung:
 - Viele Kompressions- und Expansionsstufen nötig für ausreichend hohen Wirkungsgrad

Fazit und Ausblick

- Druckluftspeicher eignen sich für einen Anschluss an das Stromnetz
 - Isobare Prozessführung: Höchste Energiedichte
 - Quasi-Isotherme Prozessführung: Ohne Wärmespeicher effizient
- Deutschland hat eine Kapazität für ein Gesamtspeichervolumen von ca. 110 Mrd. m³. Damit ließen sich mehr als 90% des mittleren deutschen Jahresenergiebedarfs decken.
- Vielversprechende Möglichkeit der Stromspeicherung, aber noch konstruktive Herausforderungen zu bewältigen

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Betrachtete Kaverne

Parameter	Wert
Volumen	300.000 m ³
Druckspiel	30-70 bar
Ein- und Ausspeicherzeit	8 h
Wärmetauscherkoeffizient	0,8
Ausgangstemperatur	282 K
Kavernentiefe	700 m

Potential für Druckluftspeicher in Deutschland

- Anzahl aller Salzstöcke: ca. 250
- Speichervolumen pro Salzstock: ca. 450 Mio. m³
- Kapazität pro m³: ca. 5 kWh/m³
- Mittlerer deutscher Strombedarf pro Jahr : ca. 600 TWh

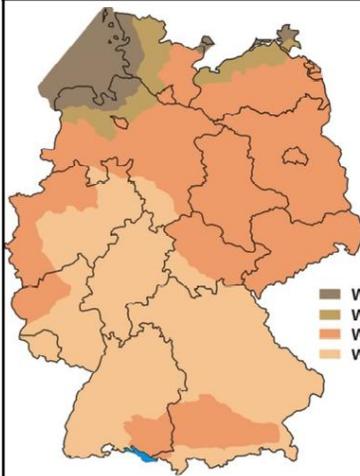
- **Durch die Benutzung von Druckluftspeichern könnten also theoretisch ca. über 90 % des deutschen Jahresenergiebedarfs gedeckt werden**

Kostenabschätzung

- Aus einer ökonomischen Abschätzung ergibt sich, dass der Bau eines Druckluftspeichers ca. **100 Mil. €** kosten darf um rentabel zu sein
- Experten schätzen die Kosten für den Bau eines Druckluftspeicherkraftwerkes zwischen **69 Mil. und 139 Mil. €** liegen
- Die Investitionskosten sind also ungefähr so hoch wie der erzielbare Erlös
- Vor allem eine Wirkungsgradsteigerung und eine Erhöhung der Differenz aus On- und Off-Peakpreisen würden höhere Investitionskosten rechtfertigen

17

Standortbewertung



■ Windzone 4
■ Windzone 3
■ Windzone 2
■ Windzone 1



Rot, grün:
Kavernen in
Betrieb
Gelb: Kavernen in
Bau oder Planung

Bildquellen: links: www.solarpower-gmbh.com/de/home/windenergie/windzonen-deutschland.html,
rechts: www.lbeg.niedersachsen.de/image/31948