

Energiespeicher

- *Einleitung*
- *Technologien*
 - *chemische Speicher*
 - *thermische Speicher*
 - *mechanische Speicher*
 - *elektro-magnet. Speicher*
- *Wahl des richtigen Speichers*

Einleitung

Anwendungen:

- ‘ride-through‘: Überbrückung kurzzeitiger Netzausfälle
- ‘power quality‘: Kompensation von Netzspannungs-Schwankungen
- ‘energy management‘: Entkopplung von tages-/jahreszeitl. Schwankungen erneuerbarer Energien
- ‘peak shaving‘: Ausgleich von Lastschwankungen

Unterschiede:

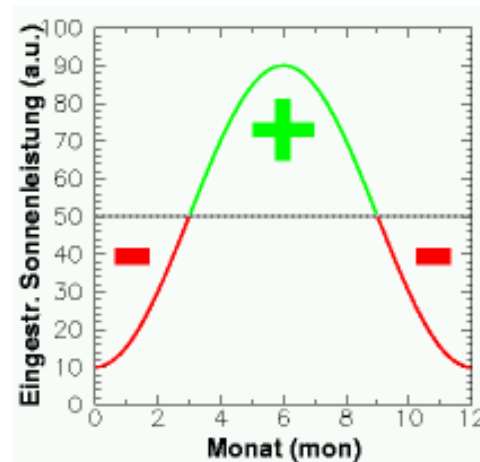
- Speicherdauer: Langzeit-/Kurzzeitspeicher, saisonale Speicher
- Be-/Entladezeit
- zu speichernde Energie/Leistung
- Größe/Gewicht

Einleitung

Jährliche Schwankung der umgewandelten Energie folgt der eingestrahelten Sonnenleistung:

$$P(t) = P_0 \left(1 - \delta \cos\left(\frac{\pi}{6} t\right) \right)$$

mit $0 \leq \delta \leq 1$ (abhängig vom Breitengrad)



→ relative, zu speichernde Menge aus den Überschuß-Monaten:

$$\Delta = \frac{1}{12} \int_3^9 \left(-\delta \cos\left(\frac{\pi}{6} t\right) \right) dt = \frac{\delta}{2\pi} \left(-\sin\left(\frac{3}{2} \pi\right) + \sin\left(\frac{1}{2} \pi\right) \right) = \frac{\delta}{\pi}$$

Einleitung

Fluktuationsstärke δ ist charakteristisch für die versch. Arten erneuerbarer Energie:

- Solarenergie $\langle\delta\rangle=0,5$
- Wasserkraft $\delta=0$

→ benötigte Speicherkapazität in 2050:

$$W_{Sp} = 2,2 * 10^{13} \text{ kWh/a}$$

für einen Weltenergieverbrauch von $27,4 * 10^{13} \text{ kWh/a}$

Technologien: chemische Speicher

Grundlage: galvanische Zelle

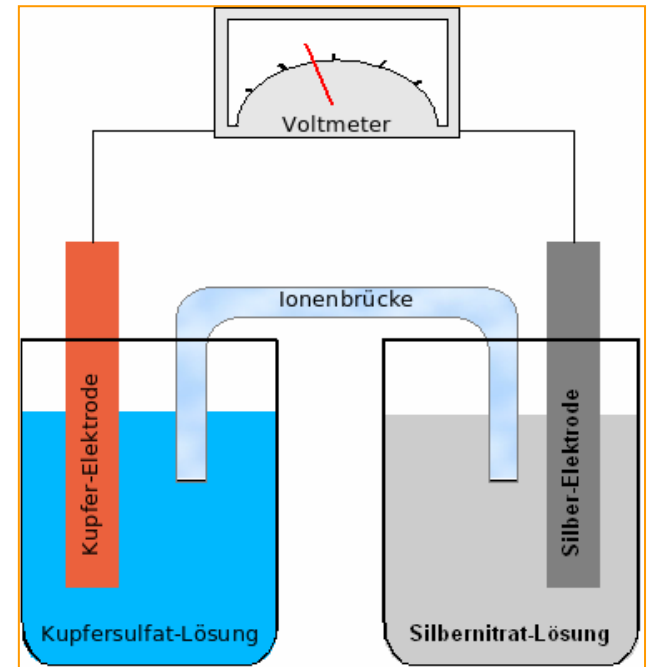
- an der Kupfer-Elektrode gehen mehr Cu^{2+} Ionen in Lösung (Diffusion), als sich an der Elektrode abscheiden. Dabei geben sie $2e^-$ ab



- an der Silber-Elektrode scheiden sich mehr Ag^+ Ionen ab, als in Lösung gehen. Sie nehmen e^- auf



- > Verbindung über äußere Beschaltung und Ionenleiter schließt den Stromkreis



Technologien: chemische Speicher

- Begriffe:** -Nennkapazität:
-Zyklenlebenszeit:
-Wirkungsgrad:

$C_N = I_N t$ (→ physikalisch also eine Ladung)

Anzahl der Lade-/Entlade-Zyklen bei einer Entladetiefe von 80%

Amperestundenwirkungsgrad $\eta_{Ah} = C_{entlad.} / C_{lad.}$

Energiewirkungsgrad $\eta_{Wh} = E_{entlad.} / E_{lad.}$

Blei-Akkumulator:

- günstig, ältester Batterietyp, weit entwickelt (nicht vollständig verstanden!)
- kurze Zyklenlebensdauer !!!
- 25-30 Wh/kg -> stationäre Anwendung (UPS, Alarmanlagen) oder Transport (Auto/Bahn)
- wenige Hochenergiespeicher-Systeme

| Plant Name & Location | Year of Installation | Rated Energy (MWh) | Rated Power (MW) | Cost in 1995\$ (\$/kW) | Cost in 1995\$ (\$/kWh) |
|-----------------------|----------------------|--------------------|------------------|------------------------|-------------------------|
| CHINO California | 1988 | 40 | 10 | 805 | 201 |
| HELCO Hawaii | 1993 | 15 | 10 | 456 | 304 |
| PREPA Puerto Rico | 1994 | 14 | 20 | 239 | 341 |
| BEWAG Berlin | 1986 | 8.5 | 8.5 | 707 | 707 |
| VERNON California | 1995 | 4.5 | 3 | 458 | 305 |

Technologien: chemische Speicher

Nickel-Cadmiumbatterien:

- unempfindlich gegen Fehlbehandlung
- hohe Zyklenlebensdauer
- hohe Leistungsdichten (30-40 Wh/kg)
- hohe Selbstentladerate
- Memory-Effekt
- Cadmium ist giftig!

Nickel-Metallhydridbatterien:

- 40-70 Wh/kg
- ungiftig
- ähnliche Zellspannung, ersetzt NiCd direkt

Lithium-Ionenbatterien:

- hohe Energiedichte (50-200 Wh/kg)
- Effizienz $\approx 100\%$
- hohe Zyklenlebensdauer (3000 Zyklen bei 80% Entladetiefe)
- beherrschen den Markt für portable Anwendungen (50%)
- relativ teuer (\$600/kWh)
- >wenig large-scale Anwendungen, kWh- und multi-kW-Systeme in der Entwicklung

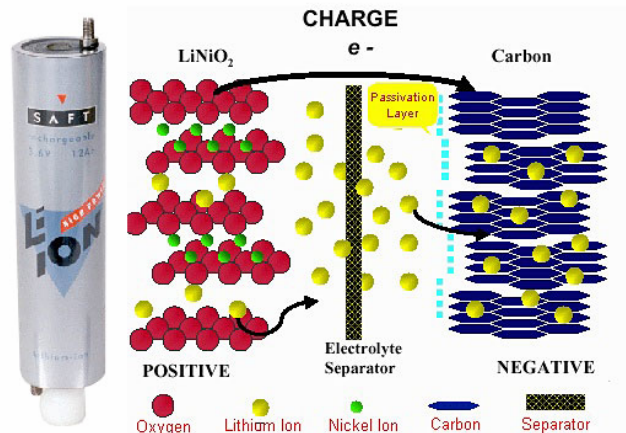


Photo Courtesy of SAFT America

Technologien: chemische Speicher

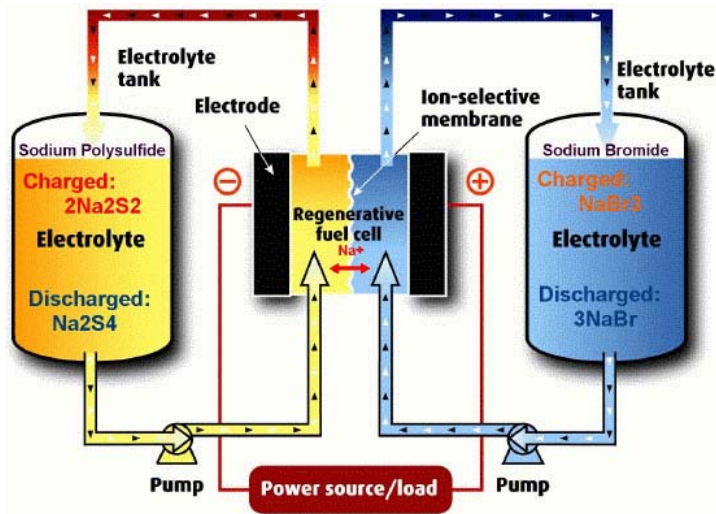
Polysulfid-Bromid Batterien

Vanadium Redox Batterien

Zink-Bromid Batterien

Natrium-Schwefel Batterien

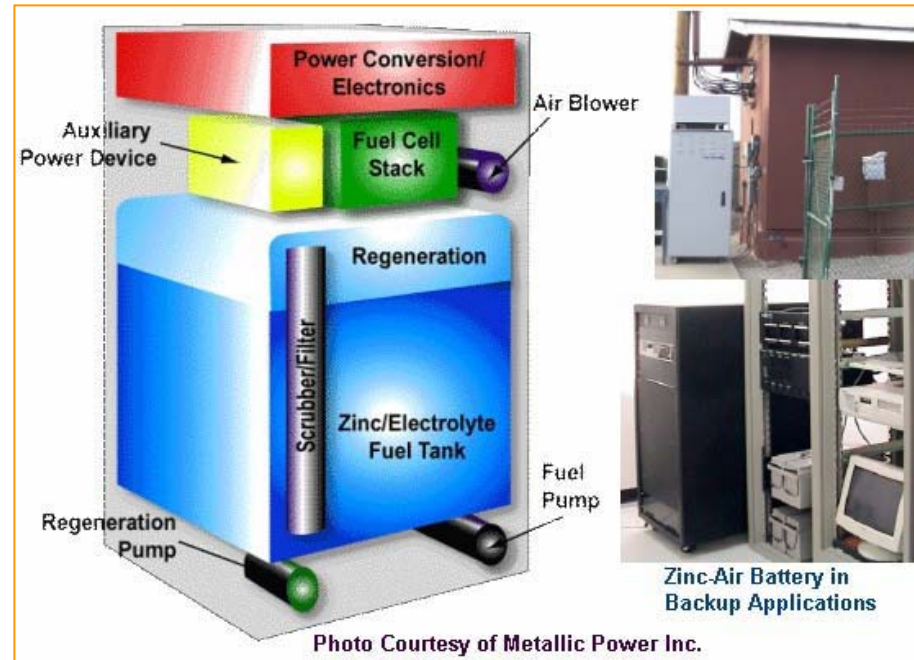
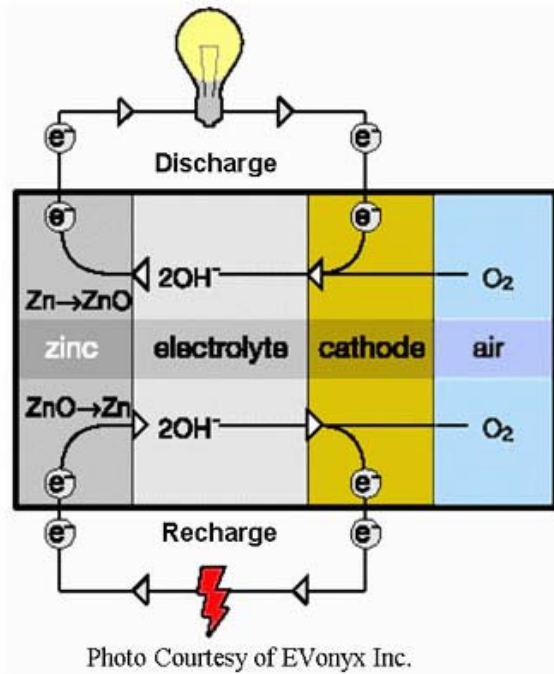
- Raumtemperatur, Wirkungsgrad etwa 75%, 1,5 V
- 120 MWh/15 MW Speicher in UK (2003)
- 120 MWh/12 MW Speicher in Mississippi (USA, 2004)
- 1,4-1,6 V, Wirkungsgrad etwa 85%
- mehrere 5MWh/500kW Speicher in Japan
- 1,8 V, Wirkungsgrad etwa 75%
- demonstriert 4 MWh/1 MW Speicher (1991), multi-kWh erhältlich
- 2 V, Wirkungsgrad etwa 89%, 300°C
- >30 Speicher, insgesamt etwa 20 MW (gespeichert für 8h) in Japan
- kommerzielle Produktion von 360 kWh/50 kW Modulen geplant für Anfang 2003



Technologien: chemische Speicher

Metall-Luft Batterien

- kompakteste, billigste erhältliche Batterie
- umweltfreundlich
- kaum bis gar nicht wiederaufladbar
- Metalle mit hoher Energiedichte (Al, Zn; 200Wh/kg) geben bei Oxidation Elektronen ab.
- in Entwicklung!



Technologien: thermische Speicher

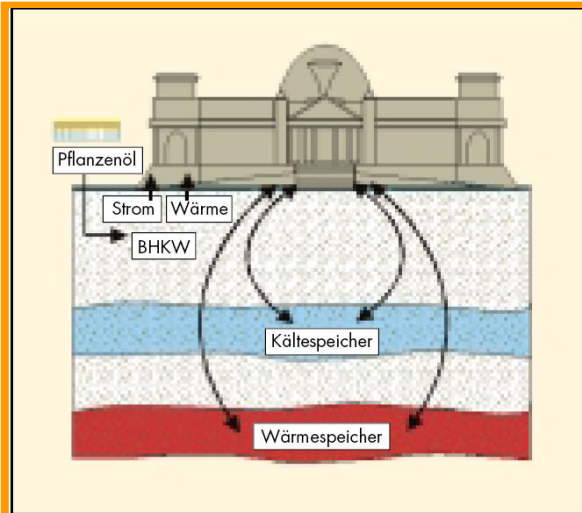
- Heißwasser-Wärmespeicher
- Kies-Wasser-Wärmespeicher
- Erdsonden-Wärmespeicher
- Aquifer-Wärmespeicher



Langzeit-Speicher, meist wasserbasiert

Wasser hat hohe Wärmeleitfähigkeit

- ➔ gute Isolierung benötigt
- ➔ Forschung an thermochem. Wärmespeicherung: umkehrbare chem. Reaktionen



Aquifer-Speicher im Reichstagsgebäude:

- Kaltwasser zur Kühlung im Sommer
- Warmwasser zum Vorheizen im Winter

Technologien: mechanische Speicher

Speicher für kinetische Energie: Schwungrad

- $E_k = 1/2 * J\Omega^2$ → Steigerung der gespeicherten Energie über Winkelgeschwindigkeit, nicht Trägheitsmoment
- Umfangsgeschwindigkeiten heute 700-1000 m/s (2000m/s gelten als erreichbar) → Vakuum
- magnet. Lager (berührungsfrei), nächster Schritt: supraleitende Magnetlager
- Ein- und Auskoppeln der Energie relativ problemlos
- hohe Zyklenlebensdauer, wartungsarm, hohe Lebensdauer, umweltfreundlich
- Anwendung: Lastspitzen-Kompensation, Kompensation von Netzschwankungen (power-quality), UPS

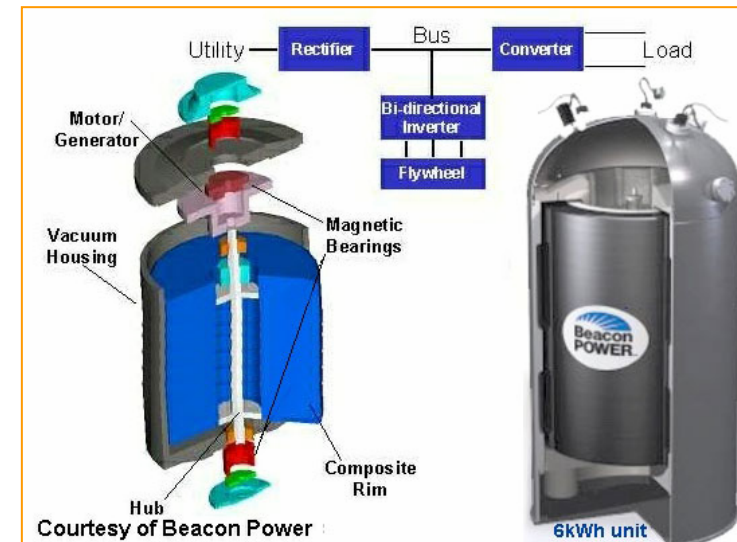
Schwungradspeicher soll binnen 20 ms
20 s lang 2 MW ins Mittelspannungsnetz
liefern können (11kWh)

(Projekt DYNASTORE, gefördert vom BMWA)

Andere Projekte:

- Pentadyne Power Corp., 120kWx20s
- Japan 0,5-1 kWh Units
- Boeing 35 kWh Unit in Entwicklung

→ evtl. spezialisierter Ersatz für Blei-Akkus



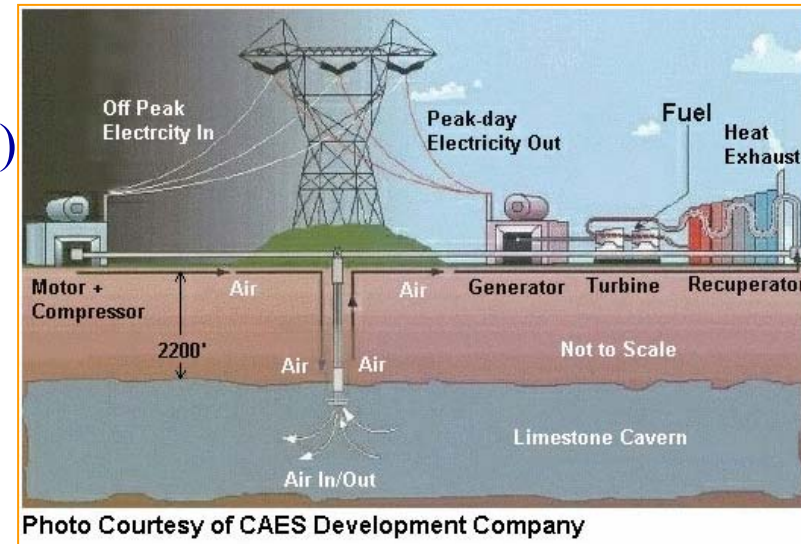
Technologien: mechanische Speicher

Speicher für potentielle Energie: Druckluftspeicher

- Gasturbinen-Kraftwerk, Verbrauch <40% eines normalen wegen Vorkompression der Luft
- Kompression zu Schwachlastzeiten(50-70 bar, Beladung dauert etwa 8h)
- komprimierte Luft gespeichert in vorhandenen Höhlen/Minen (300.000-500.000 m³)
- bei Kompression tritt Erwärmung auf, die jedoch an umliegendes Gestein verloren geht
- >erhöhter Druck bleibt erhalten
- Kosten etwa \$590/kW, Anlaufzeit 3-10 min., Laufzeit/Ladung etwa 2h
- geringer Wirkungsgrad wegen mehrfacher Wandlung der Energie

1. 290 MW Einheit bei Huntorf, Niedersachsen (1978)
2. 110 MW Einheit in McIntosh, Alabama (1991)
3. 2700 MW in Norton, Ohio (in Planung)

→ vielversprechend als saisonale Speicher für regenerative Energie



Technologien: mechanische Speicher

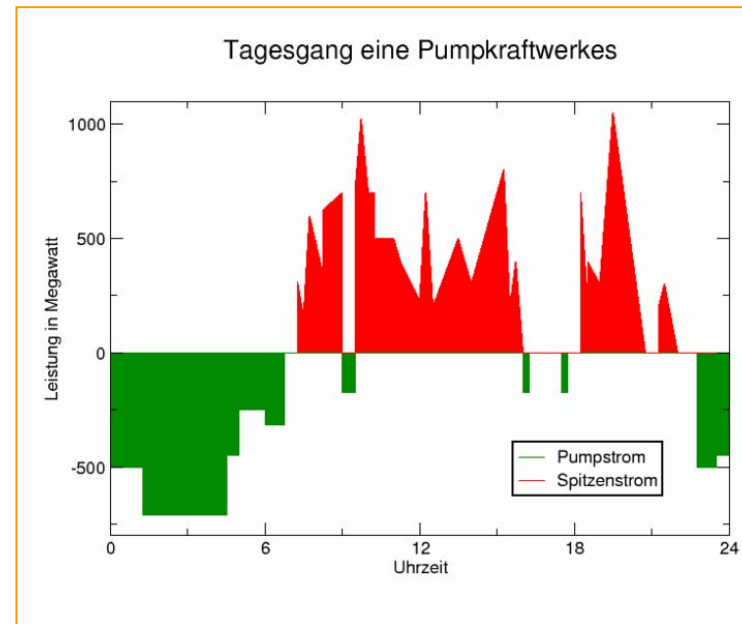
Speicher für potentielle Energie: Pumpspeicher

- $\Delta E_{\text{pot}} = mg\Delta h$ → pumpe Wasser in höher gelegenes Speicherbecken zu Schwachlastzeiten
→ zu Starklastzeiten Wasser treibt Turbine an, gewinnt Strom
- als Speicherbecken sind ebenfalls unterirdische Becken (Minen) oder Meer geeignet
- erste Nutzung Italien/Schweiz 1890er Jahre
- verfügbar auf fast jeder Skala, Entladezeiten mehrere Stunden bis wenige Tage
- Wirkungsgrade 70-85%
- weltweit >90 GW im Betrieb (~3% Weltenergieerzeugung), in Deutschland 4,3 GW
- Leistung steht innerhalb von Minuten zur Verfügung

Viele Kraftwerke in Deutschland und Österreich

Meerwasser-Anlagen in Japan und Hawaii

→ mögliche saisonale Speicher und Langzeitspeicher



Technologien: elektro-magnet. Speicher

superconducting magnetic energy storage:

- speichere Energie im Magnetfeld einer stromdurchflossenen supraleitenden Spule (AC): $E=1/2 LI^2$
- keine ohm'schen Verluste → Energie kann unbegrenzt gespeichert werden!
- Stromspeicher-Wirkungsgrad >95%, Verluste durch Gleichrichter
- Strom steht fast sofort wieder zur Verfügung, wenn benötigt
- keine beweglichen Teile → kaum Wartung (außer Kryostat), lange Lebensdauer

Aufgrund des Kryostaten bisher auf kurzen bis mittleren Zeitskalen benutzt.
Testmodell mit 20 MWh existiert.

super capacitors:

- spezielles Dielektrikum (Dünnschicht-Polymer), Elektroden (Kohlenstoff-Nanoröhren) → größere Energiedichte als normaler Kondensator (0.5 Wh/kg – 5 Wh/kg), aber niedriger als elektrochem. Batterie
- hohe Zyklenlebensdauer, leicht, relativ umweltfreundlich

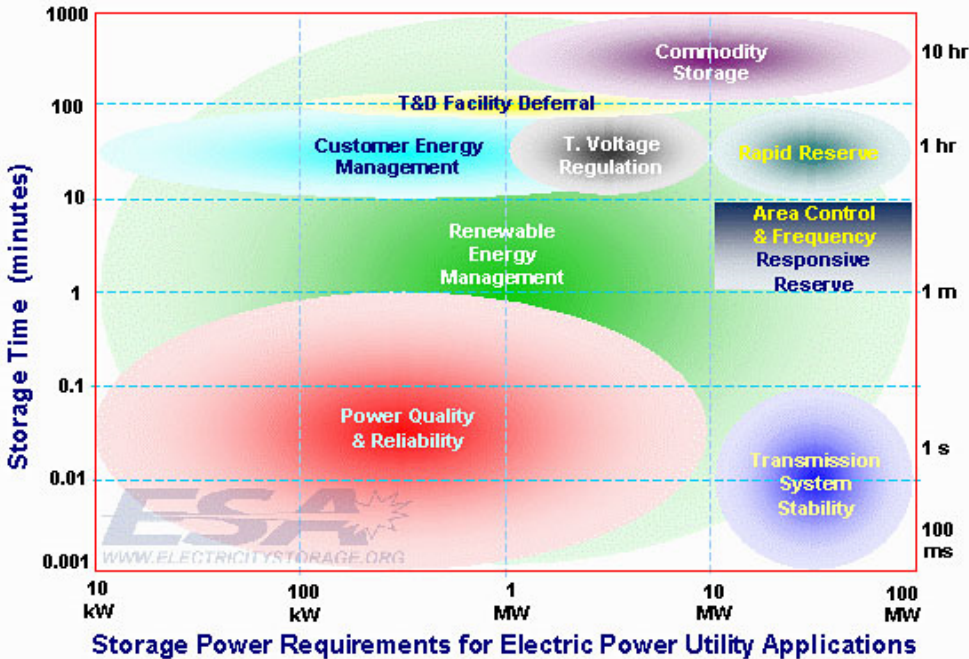
Backup-Batterie für portable Anwendungen, größere Speicherkapazitäten in Entwicklung

Die Wahl des richtigen Speichers

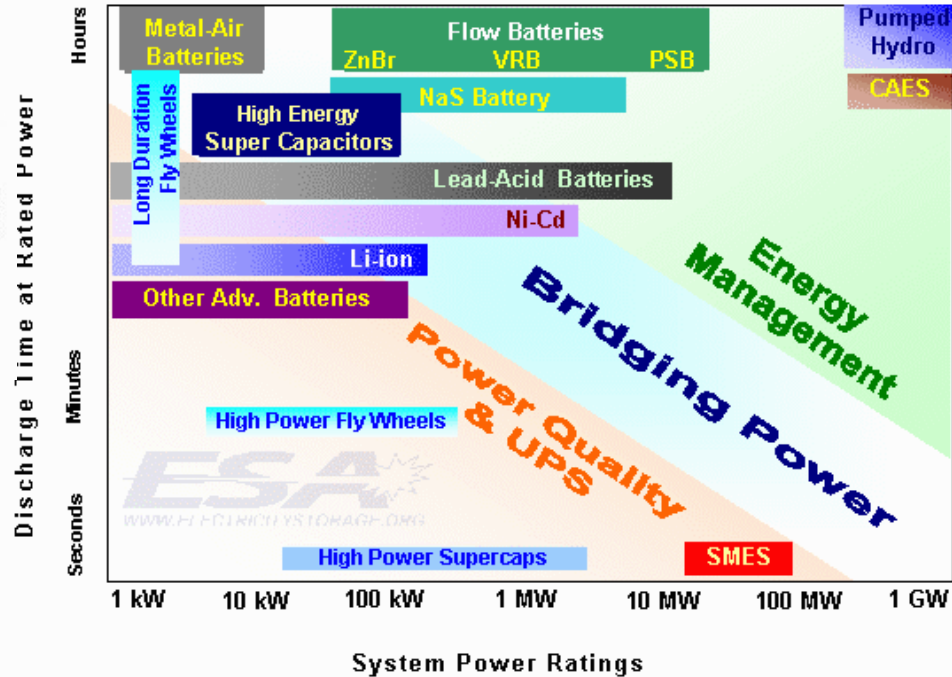
| Storage Technologies | Main Advantages (relative) | Disadvantages (Relative) | Power Application | Energy Application |
|---------------------------------------|---|---|-------------------|--------------------|
| Pumped Storage | High Capacity, Low Cost | Special Site Requirement | | ● |
| CAES | High Capacity, Low Cost | Special Site Requirement, Need Gas Fuel | | ● |
| Flow Batteries: PSB VRB ZnBr | High Capacity, Independent Power and Energy Ratings | Low Energy Density | ◐ | ● |
| Metal-Air | Very High Energy Density | Electric Charging is Difficult | | ● |
| NaS | High Power & Energy Densities, High Efficiency | Production Cost, Safety Concerns (addressed in design) | ● | ● |
| Li-ion | High Power & Energy Densities, High Efficiency | High Production Cost, Requires Special Charging Circuit | ● | ○ |
| Ni-Cd | High Power & Energy Densities, Efficiency | | ● | ◐ |
| Other Advanced Batteries | High Power & Energy Densities, High Efficiency | High Production Cost | ● | ○ |
| Lead-Acid | Low Capital Cost | Limited Cycle Life when Deeply Discharged | ● | ○ |
| Flywheels | High Power | Low Energy density | ● | ○ |
| SMES, DSMES | High Power | Low Energy Density, High Production Cost | ● | |
| E.C. Capacitors | Long Cycle Life, High Efficiency | Low Energy Density | ● | ◐ |

Die Wahl des richtigen Speichers

Anwendung

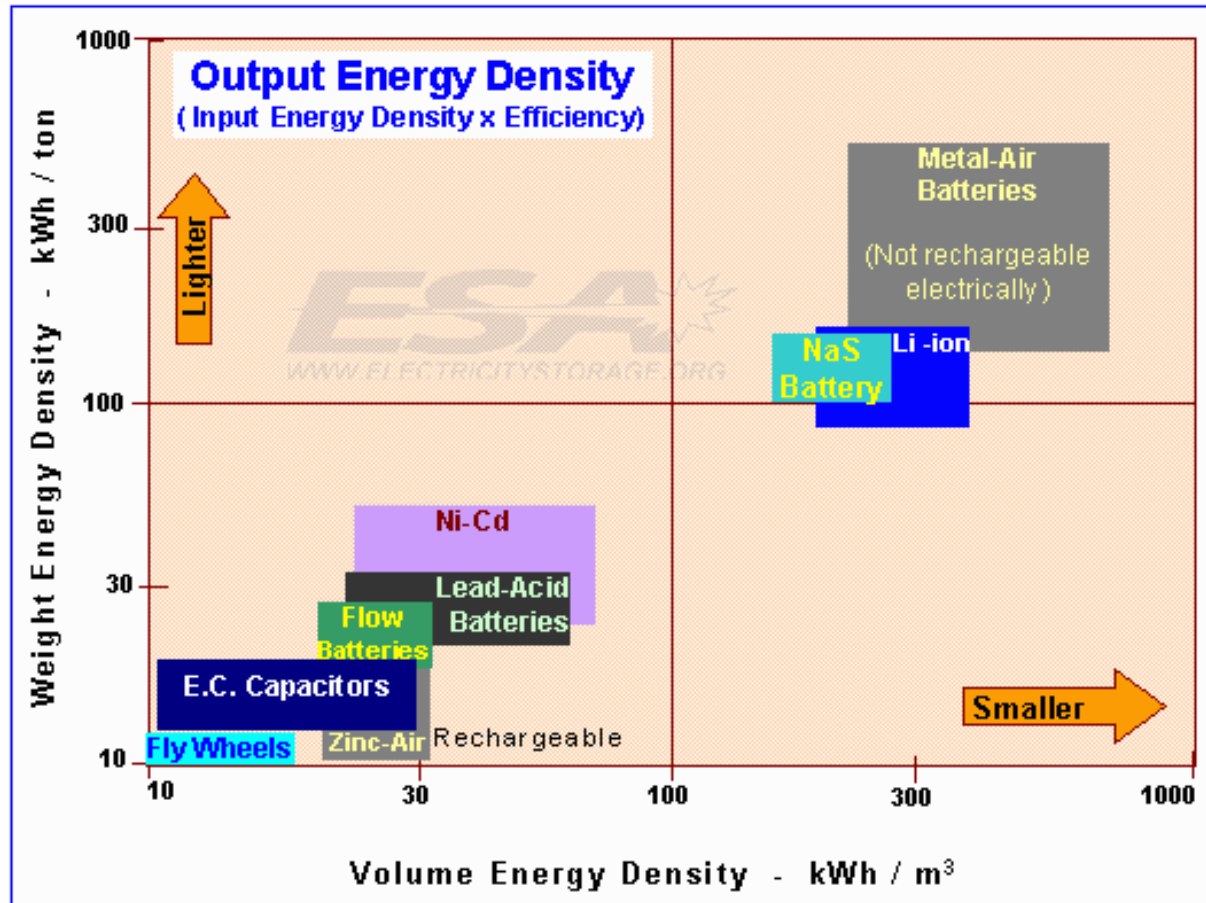


Data from Sandia Report 2002-1314



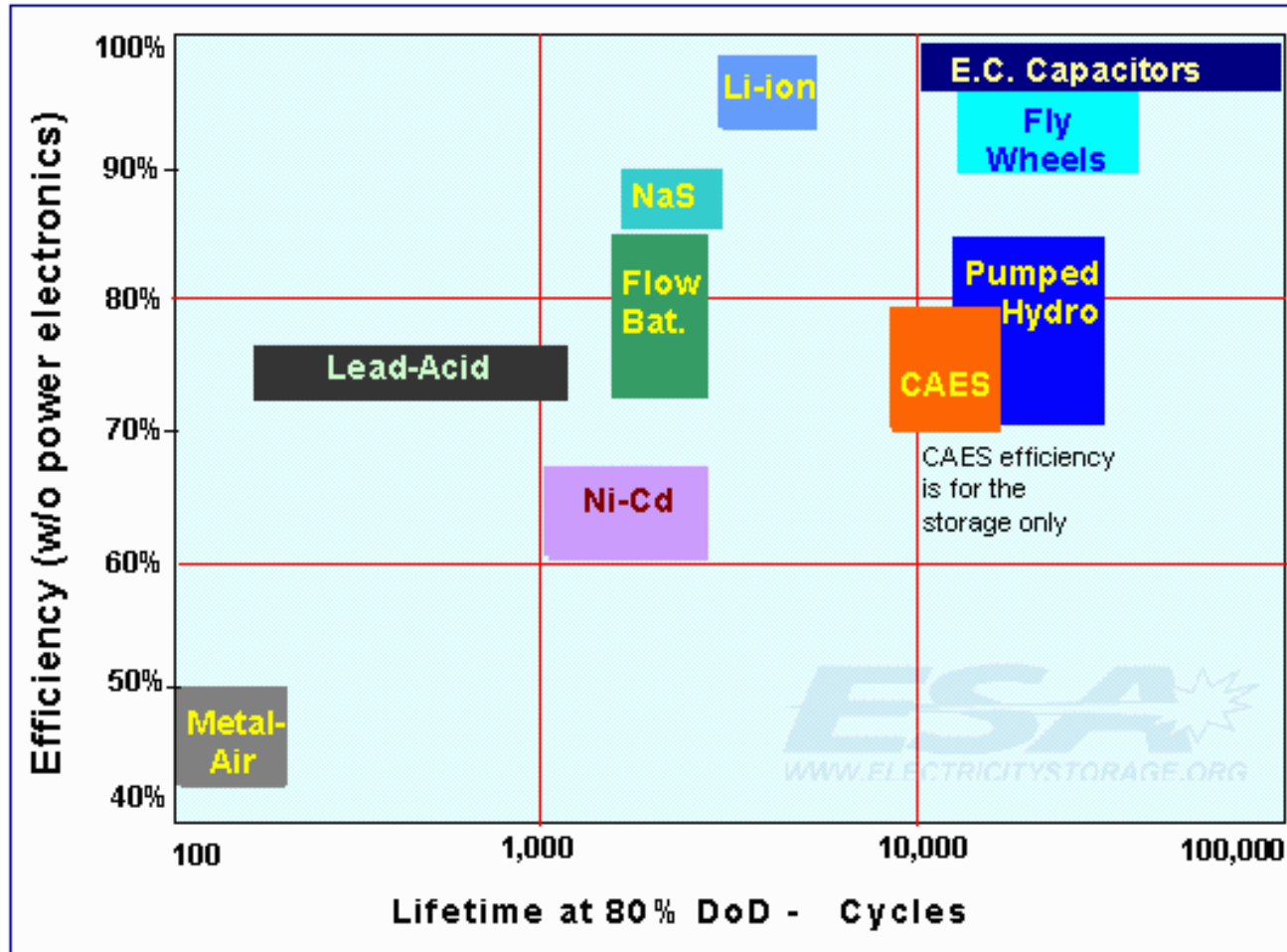
Die Wahl des richtigen Speichers

Verfügbarer Platz/Tragkraft



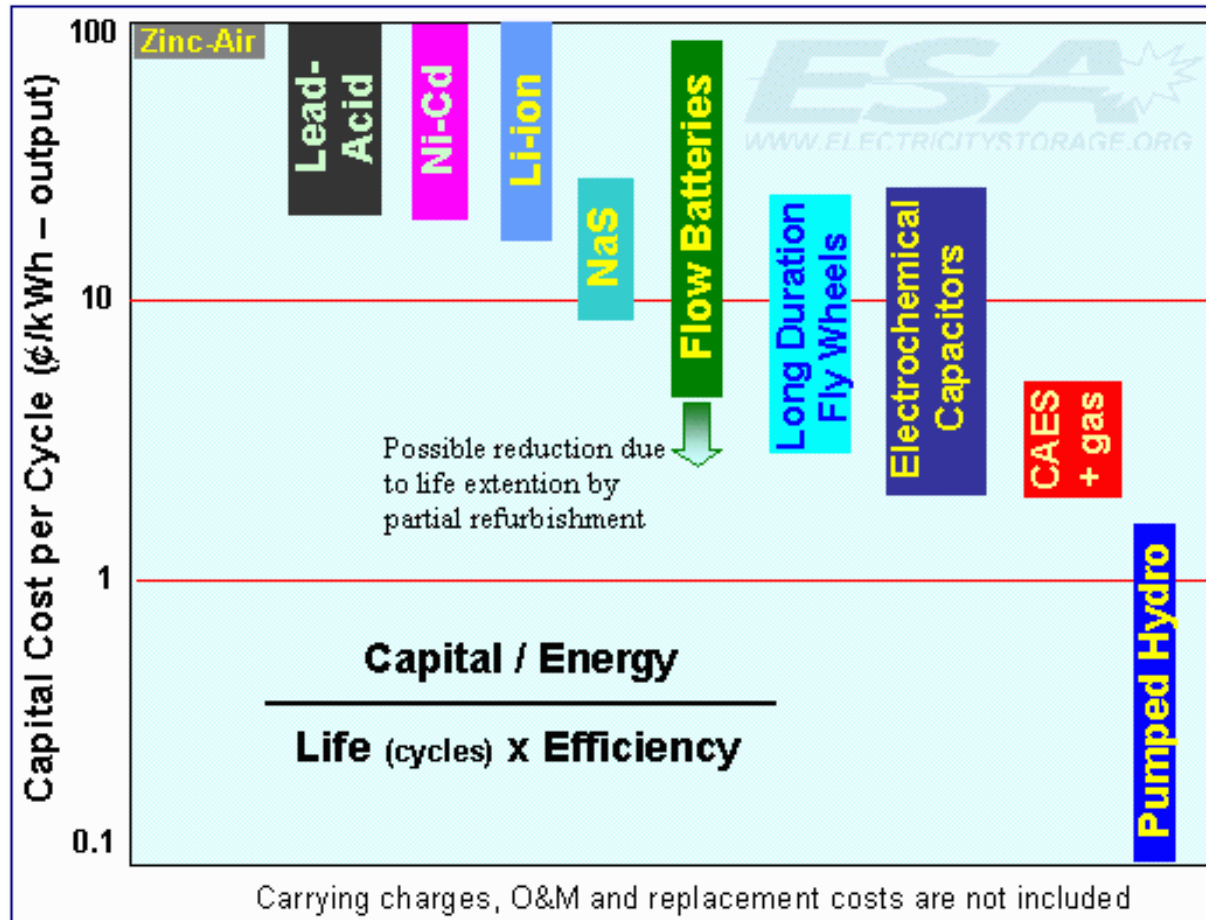
Die Wahl des richtigen Speichers

Lebensdauer



Die Wahl des richtigen Speichers

Kosten pro Zyklus



Zusammenfassung

-es existiert eine Vielzahl verschiedener Energiespeichersysteme

-sehr interessantes, aktives Forschungsgebiet (scheinbar hauptsächlich USA, Japan)

-bisher keine kommerzielle Lösung für Langzeit-Hochenergie-Speicher Anwendungen

Quellen

1. Energy Storage Agency

www.energystorage.org

2. BINE Informationsdienst

www.bine.info (übrigens ansässig in Bonn)

3. Wikipedia !

4. BaSyTec:

„Übersicht über technisch relevante Akkumulatorsysteme“

René Groß, BaSyTec GmbH

5. Vorlesung „Die Zukunft unserer Energieversorgung“

Prof. Dr. Dietrich Pelte, Universität Heidelberg