

Überblick über die Speichertechnologien

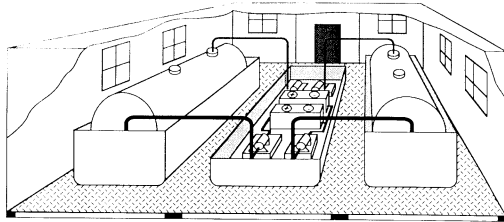
Fachgespräch der Bundestagesfraktion BÜNDNIS 90/ DIE GRÜNEN
Die Speicherfrage – Stolperstein für die Energiewende?
Berlin, 09.11.2011

Prof. Dr. Dirk Uwe Sauer
email: sr@isea.rwth-aachen.de

Lehr- und Forschungsgebiet Elektrochemische Energiewandlung
& Speichersystemtechnik

Institut für Stromrichtertechnik und Elektrische Antriebe (ISEA)
RWTH Aachen

Technologien für elektrische Energiespeicher



Redox-Flow Batterien



Wasserstoff



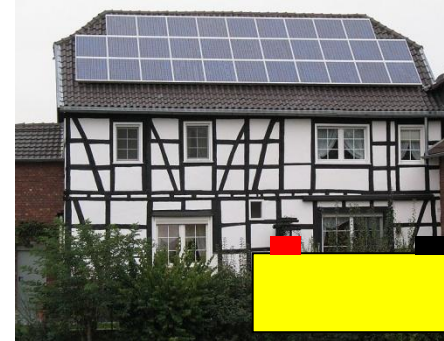
Pumpspeicher



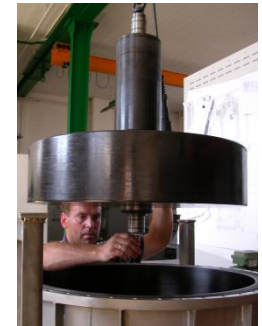
Supraleitende Spulen



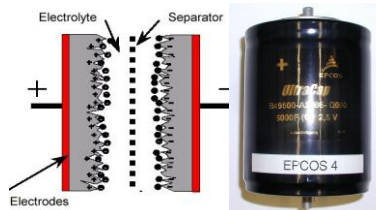
Elektromobilität



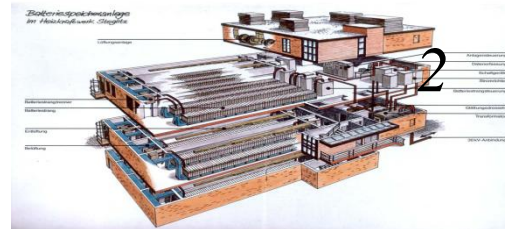
Eigenverbrauch in PV-Anlagen



Schwungrad



Doppelschichtkondensatoren



Batterien - Blei, Lithium, NaNiCl, ...



Druckluft

Klassifizierung von Speichern für Strom und Technologien für Ausgleichsenergie

Generalisierung: Speicher sind eine Technologie zur Bereitstellung von Regel- und Ausgleichsenergie

Klassifizierung aus Sicht des Marktes und der Marktstruktur für Ausgleichsenergie:

- Errichtungsstruktur (zentral vs. dezentral, Anlass für Errichtung)
- Bereitstellungsdauer von Energie und Leistung
- Regelenergieanbieter (positive und/oder negative Regelleistung)

Klassifizierung von Speichern für Strom und Wettbewerbstechnologien

- **„Strom zu Strom“ – positive und negative Regelenergie**
 - Speicher nimmt Strom aus dem Netz auf und gibt Strom in das Netz ab
- **„Irgendwas zu Strom“ – positive Regelenergie**
 - System generiert Strom aus einem speicherbaren Energieträger oder stellt dem Netz Strom durch Verzicht zur Verfügung
- **„Strom zu Irgendwas“ – negative Regelenergie**
 - Strom wird verwendet und in einen anderen niederwertigeren Energieträger umgewandelt oder vernichtet

Klassifizierung von Speichern für Strom und Wettbewerbstechnologien

- **„Sekunden bis Minuten“ – Kurzzeitspeicher**
 - Hohes Leistung zu Energieverhältnis
 - Energiebereitstellung bei Vollast für weniger als 15 min
 - Hohe Zyklenzahlen
- **„Tagesspeicher“ – mittelfristige Energiespeicher**
 - Energiebereitstellung im Bereich von einer bis zehn Stunden
 - Typischerweise geeignet nur für den Ausgleich innerhalb eines Tages
 - Ein bis zwei Zyklen pro Tag
- **„Wochen bis Monate“ – Langzeitspeicher**
 - Energiebereitstellung über viele Tage bis zu einem Monat
 - Ausgleich z.B. für lang anhaltende Flautephasen oder saisonale Schwankungen
 - Wenige Zyklen pro Jahr

Klassifizierung von Speichern für Strom und Wettbewerbstechnologien

- **„Zentrale Speichersysteme“**
 - Typischerweise nur als große Einheiten wirtschaftlich betreibbar
 - Meist an spezielle Standorte (z.B. Pumpspeicher, Druckluft) gebunden
- **„Modulare Speichersysteme“**
 - Speicher sind aus kleinen Einheiten aufgebaut
 - Aufbau ist nicht an bestimmte Umgebungsvoraussetzungen gebunden
 - Mit wachsender Größe kaum wirtschaftliche Skaleneffekte
- **„Modulare Speichersysteme mit Doppelnutzen“**
 - Speicher erfüllen einen anderen Primärzweck
 - Netzdienstleistung sind ein kostengünstig anbietbarer Zusatzverdienst

Modulare Speichersysteme mit Doppelnutzen

- Speicher erfüllen einen anderen Primärzweck
- Netzdienstleistung sind ein kostengünstig anbietbarer Zusatzverdienst
- Wirtschaftlich dann sinnvoll, wenn Zusatzarbeit am Netz zu keiner Verkürzung der Nutzungsdauer führt
- Potential sehr hoch: 40 Mill. PKW mit 3 kW ans Netz angeschlossen sind 120 GW Leistung ...



Elektromobilität



*Eigenverbrauch
in PV-Anlagen*

Speicherklassifizierung – “Strom zu Strom“

"Electricity to Electricity" storage systems only		"seconds to minutes" storage systems	"daily" storage systems	"weekly to monthly" storage systems
	E2P ratio	< 0.25 h	1 - 10 h	50 - 500 h
	typical power			
modular storage systems with double use	1 kW - 1 MW	<ul style="list-style-type: none"> - electric and plug-in hybrid vehicles with bi-directional charging - grid-tied systems 	<ul style="list-style-type: none"> - lead-acid - lithium-ion - NaS batteries 	<ul style="list-style-type: none"> - redox-flow batteries (?)
modular storage technologies for grid control only	1 kW - 100 MW	<ul style="list-style-type: none"> - flywheel - (lead-acid) - lithium-ion 	<ul style="list-style-type: none"> - pumped hydro 	<ul style="list-style-type: none"> - hydrogen - pumped hydro
centralised storage technologies	100 MW - 1 GW	<ul style="list-style-type: none"> - pumped hydro - NiCd - EDL 	<ul style="list-style-type: none"> - compressed (diabatic) 	

Speicherklassifizierung – „Irgendwas zu Strom“

"Anything to electricity" positive control power		"seconds to minutes" storage systems	"daily" storage systems	"weekly to monthly" storage systems
	E2P ratio	< 0.25 h	1 - 10 h	50 - 500 h
	typical power			
modular storage systems with double use	1 kW - 1 MW	- shut down of electric vehicles and PHEV charging	<ul style="list-style-type: none"> - CHP units with thermal storage - Demand side manag. (DSM) of electrical loads (shut down) - Electric vehicles and PHEV (stop charging) 	
modular storage technologies for grid control only	1 kW - 100 MW		- bio-gas power plants	- bio-gas power plants
centralised storage technologies	100 MW - 1 GW	- rotating masses and steam reserve of conventional power plants	<ul style="list-style-type: none"> - gas power plants - coal power plants - hydro storage - solar thermal power plants with heat storage 	<ul style="list-style-type: none"> - lignite power plants - nuclear power plants - hydro storage

Speicherklassifizierung – „Strom zu Irgendwas“

"Electricity to Anything" negative control power		"seconds to minutes" storage systems	"daily" storage systems	"weekly to monthly" storage systems
	E2P ratio	< 0.25 h	1 - 10 h	50 - 500 h
	typical power			
modular storage systems with double use	1 kW - 1 MW	<ul style="list-style-type: none"> - electric domestic house heating or cooling incl. heat pumps - demand side management (household & industry) - cooling devices - electric vehicles and PHEV with uni-directional charger 	<ul style="list-style-type: none"> - electric domestic house heating or cooling incl. heat pumps - demand side management (household & industry) - cooling devices - electric vehicles and PHEV with uni-directional charger 	
modular storage technologies for grid control only	1 kW - 100 MW	<ul style="list-style-type: none"> - shut down of renewable power generators (wind, PV) 	<ul style="list-style-type: none"> - hydrogen for direct use (e.g. in the traffic sector) - methan or methanol made from CO2 and hydrogen - shut down of renewable power generators (wind, PV) 	<ul style="list-style-type: none"> - hydrogen for direct use (e.g. in the traffic sector) - methan or methanol made from CO2 and hydrogen
centralised storage technologies	100 MW - 1 GW		<ul style="list-style-type: none"> - hydrogen for direct use (e.g. in the traffic sector) - methan or methanol made from CO2 and hydrogen 	<ul style="list-style-type: none"> - hydrogen for direct use (e.g. in the traffic sector) - methan or methanol made from CO2 and hydrogen

Vergleich von Alternativen – “Tages”-Speicher

"Daily" storage systems		Electricity to Electricity storage systems only	"Anything to electricity" positive control power	"Electricity to Anything" negative control power
	typical power	Direkter Wettbewerb		
modular storage systems with double use	1 kW 1 M	<ul style="list-style-type: none"> - electric and plug-in hybrid vehicles with bi-directional charger - grid-connected PV-battery systems 	<ul style="list-style-type: none"> - CHP units with thermal storage - Demand side manag. (DSM) of electrical loads (shut down) - Electric vehicles and PHEV (stop charging) 	<ul style="list-style-type: none"> - electric domestic house heating or cooling incl. heat pumps - demand side management (household & industry) - cooling devices - electric vehicles & PHEV (uni-directional charger)
modular storage technologies for grid control only	1 kW 100 M	<ul style="list-style-type: none"> - lead-acid batteries - lithium-Ion batteries - NaS batteries - redox-flow batteries - zinc-bromine flow batteries 	<ul style="list-style-type: none"> - bio-gas power plants 	<ul style="list-style-type: none"> - hydrogen for direct use (e.g. in the traffic sector) - methan or methanol made from CO2 and hydrogen - shut down of renewables (wind, PV)
centralised storage technologies	100 M 1	<ul style="list-style-type: none"> - pumped hydro - compressed air (diabatic or adiabatic) 	<ul style="list-style-type: none"> - gas power plants - coal power plants - hydro storage - solar thermal power plants with heat storage 	<ul style="list-style-type: none"> - hydrogen for direct use (e.g. in the traffic sector) - methan or methanol made from CO2 and hydrogen

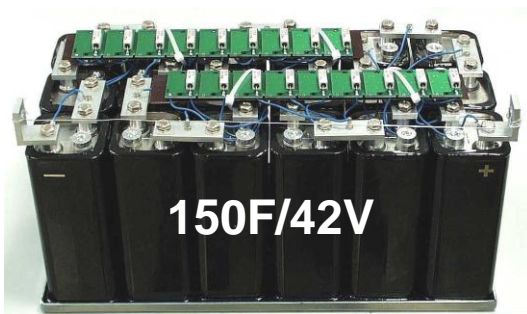
Direkter Wettbewerb

Bestehende Märkte in denen Speicher sich finanzieren müssen

- Blindleistung → „Sekunden bis Minuten“
- Primärregelenergie → „Sekunden bis Minuten“
- Sekundärregelenergie → „Tagesspeicher“
- Minutenreserve → „Tagesspeicher“
- Spread im Stromhandelspreis → „Tagesspeicher“
- Kraftwerkseinsatzplanung → „Wochen bis Monate“

Elektrochemische Doppelschichtkondensatoren ("Supercap")

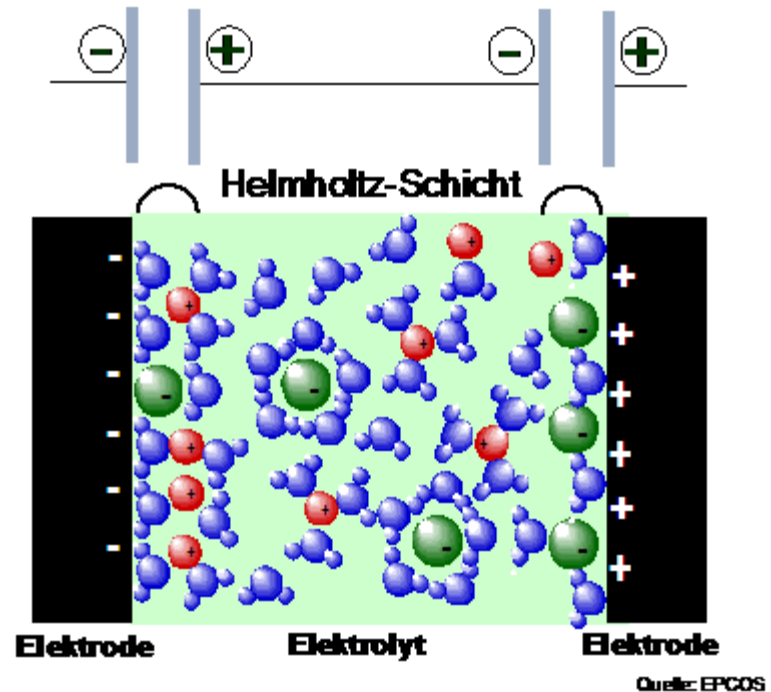
- Hohe spezifische Kosten pro Speicherkapazität
- Hohe Zyklenfestigkeit
- Sinnvoll als Speicher für Sekunden bis eine Minute
- Festkörperkondensatoren als mögliche Zukunftstechnologie (Forschungsthema beim BMBF?)



EPCOS
5000 F



NESS
5000 F

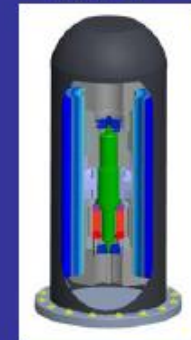
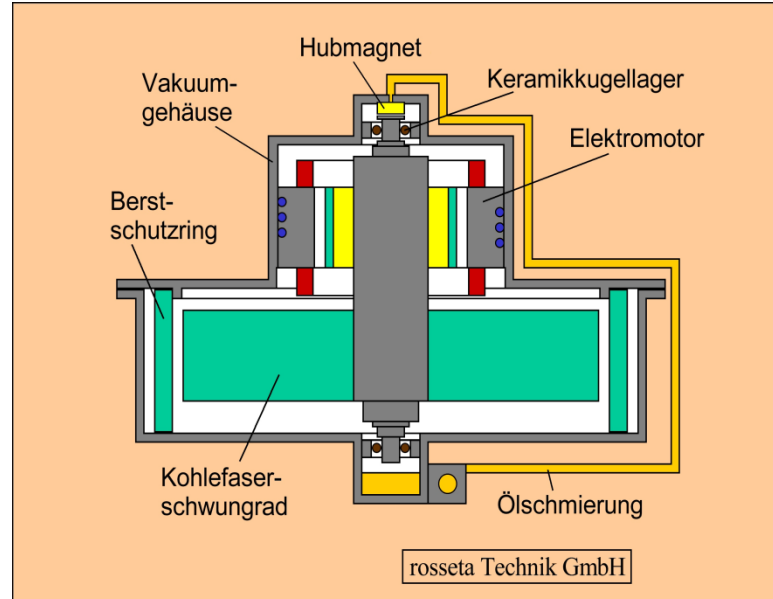


Schwungradspeicher

- Sehr robust
- Hohe Zyklenzahl (mehrere Millionen)
- Begrenztes Entwicklungspotential in Richtung höherer Energiedichten
- Erste Anlage mit 20 MW für 15 min in USA in Betrieb
– Wirtschaftliches Modell noch nicht bewertet



Schwungradspeicher T2
rosseta Technik GmbH



Gen 4
Grid
25 kWh / 100 kW

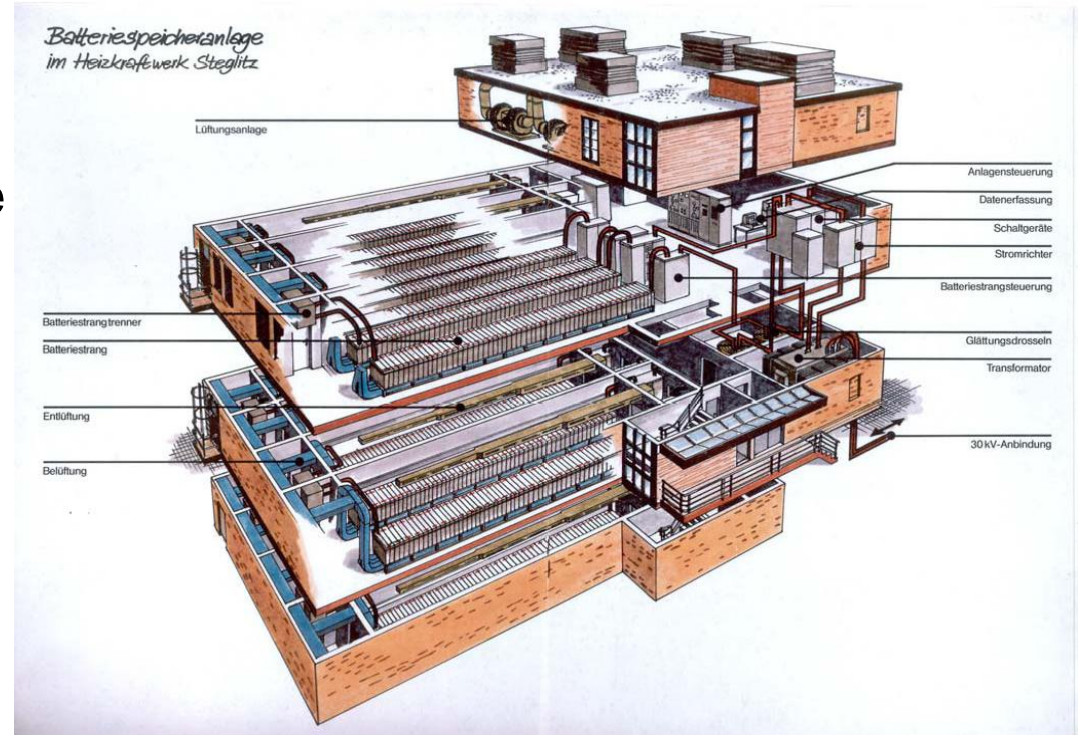
2007



1st MW operational in
commercial service

Blei-Säure-Batterie

- Große Zahl Installationen weltweit, erprobte Technologien
- von zahllosen Herstellern kommerziell angeboten
- Einzige schnell umsetzbare Technologie, aber auch Entwicklungsbedarf
- Produktion in Deutschland vorhanden
- Mittelfristig dann Ersatzbedarf wegen mangelnder Bleiverfügbarkeit

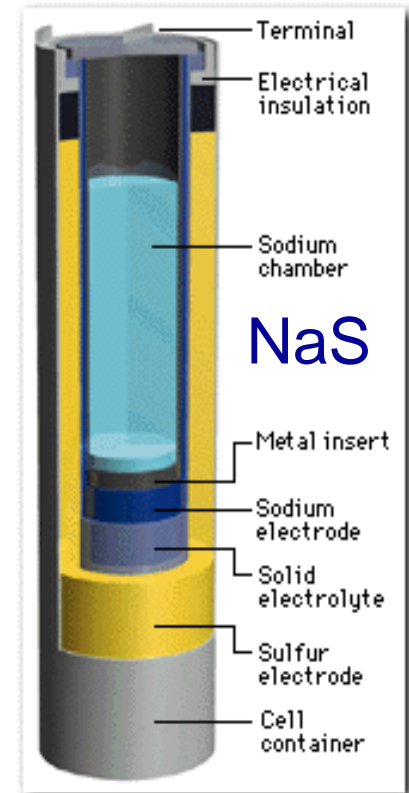


Natrium-Schwefel Hochtemperatur-Batterien

- NaS: in Japan kommerziell für stationäre Anlagen genutzt
- Nur ein Anbieter weltweit
- Grundsätzlich für größere Anlagen sehr sinnvoll
- Eher nicht für den Hausbereich (zu hohe Verluste, relativ hohes Risiko)



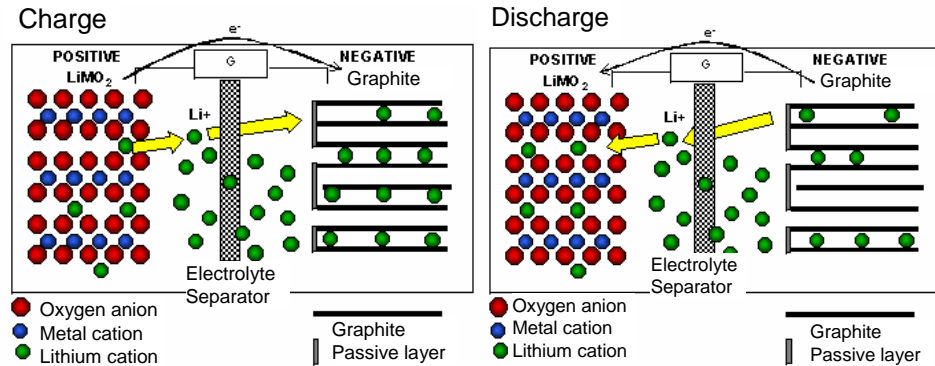
Source: NGK



Source: NGK

Lithium-Ionen-Batterie

- Stark im Bereich mobiler Endgeräte
- Erhebliche Kostensenkungen notwendig
- Geeignet vor allem Bereich von Überbrückungszeiten unterhalb von 30 bis 60 min
- Eigene Entwicklungslinie für stationäre Anwendungen oder Verwendung der E-Fahrzeugbatterien?



Redox-flow-Batterien (Vanadium)

- Demonstrationsanlagen im Feld, auf dem Weg in die Kommerzialisierung
- Wenige Anbieter
- Technologie auf Basis des heute verwendeten Vanadiums bringt kaum einen Mehrwert gegenüber eingeführten Technologien (Blei, NaS, Li-Ionen)
- Neue, sehr viel billigere Redox-Materialien müssen gesucht werden
- Ziel sollte der Markt für Speicherzeiten zwischen 24 und 72 Stunden sein

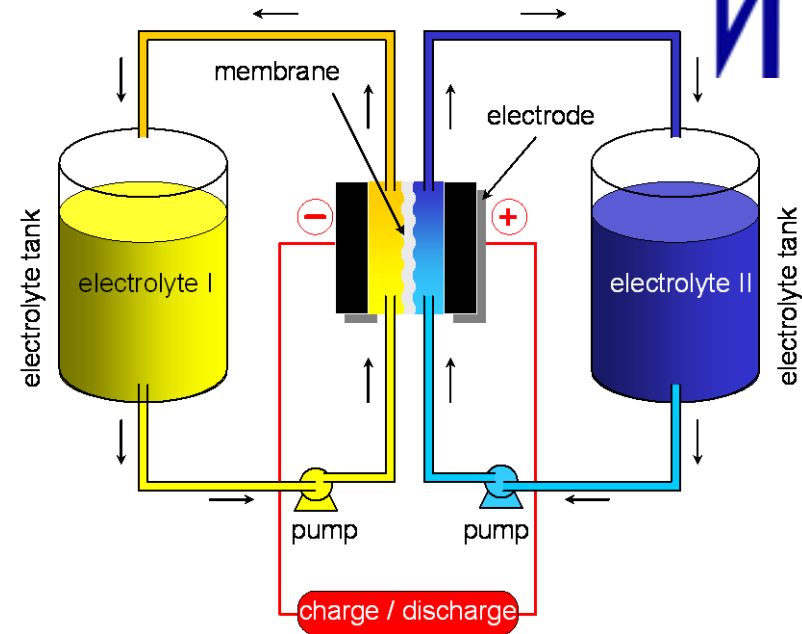


Bild: www.vrbpower.com

Pumpspeicherkraftwerke

- erprobte Technologie
- über 90 GW installierte Leistung weltweit
- Lange Planungs- und Errichtungsdauer
- Lange Abschreibungszeiträume
- Begrenzte Zahl von Standorten
- Bedeutende landschaftliche Eingriffe notwendig
- Nutzung unterirdischer Kavernen / Bergwerke verringert Eingriffe



Bild: <http://www.goldisthal.de>

Nutzung von bestehenden Speicherseen durch Substitution des normalen Bedarf durch EE-Überschüsse

- „Norwegen-Option“
- Starker Netzausbau notwendig
- Netze vereinheitlichen Preise, nicht unbedingt populär in Ländern mit hohem Wasserkraftanteil



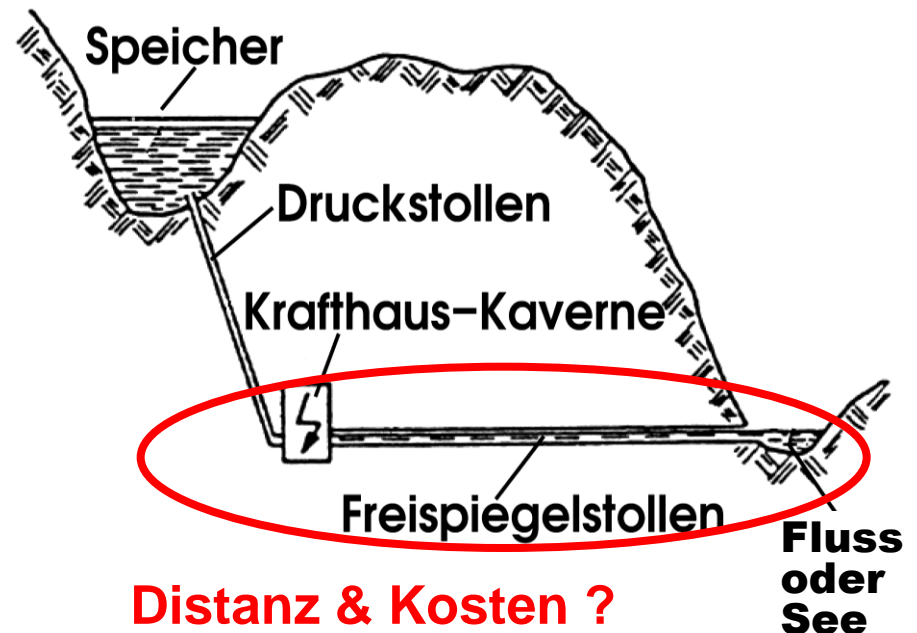
Stausee mit natürlichem Zulauf

„Nachrüstung“ von bestehenden Speicherseen mit Pumpoption

- Nutzung der großen Kapazitäten in bestehenden Speicherseen
- Nachrüstung von Pumpsätzen
- Evaluation des Potentials notwendig – kritischer Punkt ist die Erreichbarkeit eines geeigneten Unterwassers

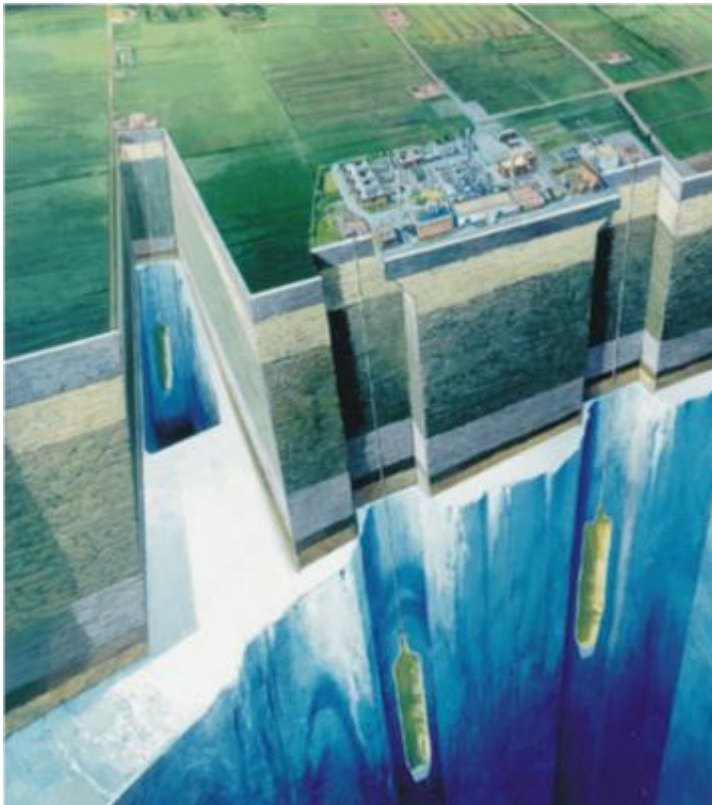


Stausee mit natürlichem Zulauf



Druckluftspeichersystem (adiabatisches CAES)

- in Entwicklung befindlich



Picture: KBB

- Einsatz auch nur im Stundenbereich
- Lange Abschreibungszeiträume
- Technologie noch nicht demonstriert, Kosten unklar

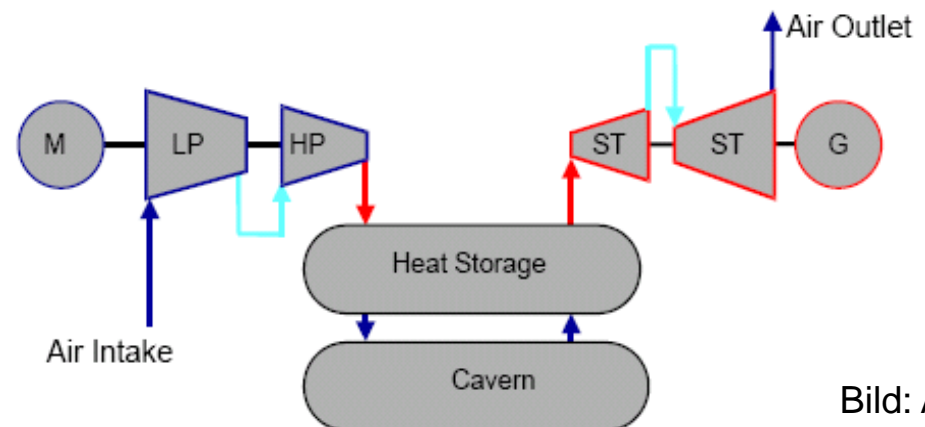
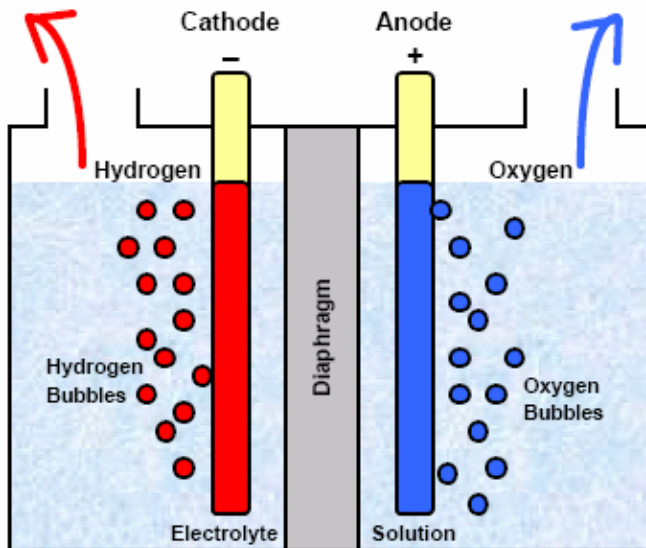


Bild: Alstom

Wasserstoffspeicher im Druckkaverne

- Einzig realistische Technologie für Speichersysteme im 100 GWh Bereich



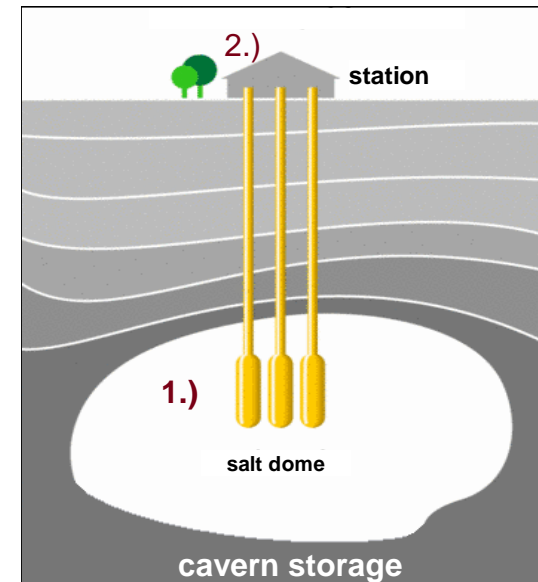
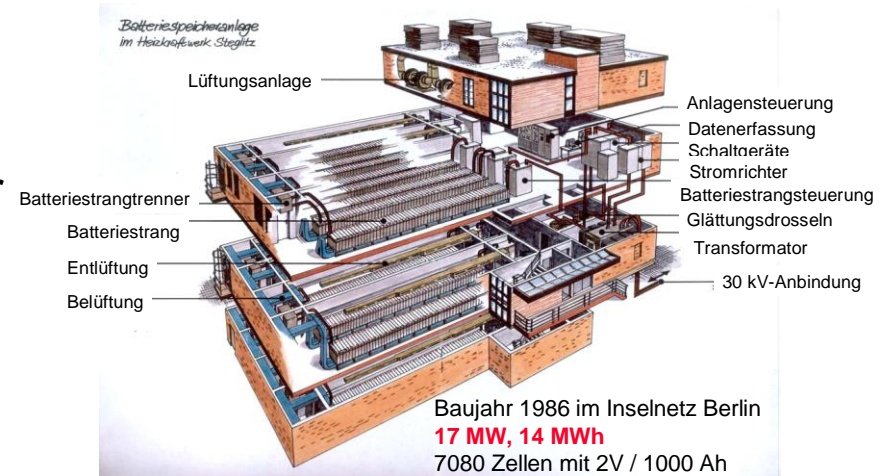
Standard Electrolysis

- Wasserstoffderivate wie Methan oder Methanol können für andere Energiemarktbereich verwendet werden (Verkehr, Heizung)
- Wirkungsgrad bei Systemen zur Rückverstromung gering
- Bedarf erst in 15 bis 20 Jahren
- Dringender F&E-Bedarf für Elektrolysetechnik

Bild: <http://www.greencarcongress.com>

Warum ist Wasserstoff die einzige Alternative als Langzeitspeicher?

- Wirtschaftlicher Betrieb nur bei häufigem Energiedurchsatz oder sehr geringen Investitionskosten
- Langzeitspeicherung bedeutet weniger als einen Zyklus pro Woche
- Typische Investitionskosten bei Batterien zwischen 100 und 500 €/kWh
- Komprimierter Wasserstoff in Salzkavernen liegt im Bereich von 0,25 € / kWh
($\Delta p = 100 \text{ bar}$, $\eta = 50\%$)
- Wasserstoff ist für Kurzzeitspeicherung wg. des geringen Wirkungsgrad uninteressant



Vorhersage des Speicherbedarfs

Die wirtschaftlich betreibbare Kapazität an Speichern (und damit auch deren Bedarf), hängt sehr sensibel ab von ...

- ... Kraftwerksmix (Anteil fluktuierender EE, nicht-fluktuierender EE, konventionelle Kraftwerke, z.B. Gaskraftwerke m/o CCS)
- ... Netzausbau, insbesondere transnationaler Netzausbau
- ... Kosten der Speichertechnologien
- ... Menge an Speichern mit Doppelnutzen
- ... langfristiger energiewirtschaftliche Planbarkeit (z.B. Leitplanken wie Ausbauziele Elektromobilität sind dringend notwendig)

Speicher sind kein Selbstzweck, d.h. es geht nicht um eine Maximierung der Speicherkapazitäten.

Es gibt immer auch technische Alternativen zu Speichern.

Eine gesamtwirtschaftliches Optimum muss gefunden werden.

Überblick über die Speichertechnologien

Fachgespräch der Bundestagesfraktion BÜNDNIS 90/ DIE GRÜNEN
Die Speicherfrage – Stolperstein für die Energiewende?
Berlin, 09.11.2011

Prof. Dr. Dirk Uwe Sauer
email: sr@isea.rwth-aachen.de

Lehr- und Forschungsgebiet Elektrochemische Energiewandlung
& Speichersystemtechnik
Institut für Stromrichtertechnik und Elektrische Antriebe (ISEA)
RWTH Aachen