Redox-Flow-Batterien als stationäre Energiespeicher Ë Stand und Perspektiven

Dr. Jens Tübke, Dr. Peter Fischer, Jens Noack Fraunhofer Institut für Chemische Technologie (ICT), Pfinztal (Berghausen)





Übersicht Speicher





Typischer Leistungs- und Energieeinsatz von Speichern





Technologien für Energiespeicher

Pumpspeicherkraftwerke (PH) (effizient, aber problematischer PH Druckluftspeicherkraftwerk (CAES) (bisher wenig effizient, CAES 477 MW_{el} geologische Anforderungen) Natrium-Schwefel-Batterie (NaS) 150 MW . NaS (Einsatz kritischer Materialien bzw. Temperaturen) LA 125 MW_ **Bleibatterie (LA)** (Stand der Technik, wenig

Weltweit installierte Energiespeicherkapazität

>110.000 MWel (d.h. über 99% der gesamten Kapazität)



Lithium-Ionen-Batterie (LiB) (Stand der Technik mobil, Entwicklungspotenzial, teuer)

Entwicklungspotenzial)

Ausbau)

- **Redoxflow-Batterien (Redox)** (hoher Entwicklungsbedarf; hohes Entwicklungspotenzial)
- **Wasserstoff** (BZ / Elektrolyse), power to grid
- Wärme / Kältespeicher

Wirtschaftlich und effizient stellen sich im MWh-Bereich nur Redox-Flow-Batterien und Druckluftspeicher dar



Investitionskosten für stationäre Speicher

Speichertyp		elektrisch	magnetisch	kinetisch	potentiell		chemisch				
		Supercap	SMES	Schwungrad	Pump- spei- cher	CAES	Blei- batterie	NaS	Li- Ionen	Redox Flow	PEM- BZ
Investitions-	Eur/kW	10.000	35.000	150 - 200	600	600	200-500	1.800	2.000	700	1.200
kosten incl. Umrichter	Eur∕kWh	35.000	35.000	30.000 - 50.000	75	150	300-500	600	900	400	

Quelle: Canders, Psola



Redox-Flow-Batterien

Funktionsprinzip











Redox-Flow-Batterien

Motivation

- hoher Wirkungsgrad (>75 % Gesamtsystem)
- lange Lebensdauer, hohe Zyklenfestigkeit
 (> 10.000)
- flexibler Aufbau (Trennung von Energiespeicher und . wandler)
- leicht skalierbar
- schnelle Ansprechzeit (µs. ms)
- Überlade- und Tiefentladetoleranz
- geringer Wartungsaufwand
- keine Selbstentladung





Einsatzgebiete der Redox-Flow-Batterie (1)





Bild: Sumitomo Electric

Pufferspeicher für die Stromerzeugung aus fluktuierenden Quellen

- Links: Tomari Wind Hills of Hokkaido, 275 kW / 1020 kWh
- Rechs: Fotomontage des geplanten Windrades auf dem ICT-Gelände, 2 MW / 20 MWh



Einsatzgebiete der Redox-Flow-Batterie (2)



Alle Bilder: N. Tokuda et al. : Development of a redox flow battery system; SEI TECH REV, 1998

Pufferspeicher für Großverbraucher bei unsicherer Stromversorgung

- Links: RFB für ein Kansai-Stahlwerk, 450 kW / 900 kWh
- Mitte: Bürogebäude, 50 kW / 175 kWh
- Rechts: zusammenfaltbarer Tank f
 ür die Geb
 äudenachr
 üstung



Einsatzgebiete der Redox-Flow-Batterie (3)



Bild links: http://www.ceic.unsw.edu.au/centers/vrb/vanart2a.htm, abgerufen am 01.09.2011

Pufferspeicher für Kleinverbraucher, Insellösungen und Notstromversorgung

- Links: Demonstrationshaus in Thailand mit Solarpanelen und RFB, 1 kW / 12 kWh
- Mitte: ICT-Demonstrator f
 ür Insellösungen, 17 kW / 30 kWh
- Rechts: ICT-Demonstrator einer USV f
 ür eine EDV-Anlage, 1 kW / 10 kWh, RFB kombiniert mit Super Capacitors



Materialtests





Redox-Flow-Batterie Ë Vanadium basiert





Kosten Vanadium

- Today's vanadium demand depends on steel market
- High fluctuations in the last decade



J. Oberschmidt, M. Klobasa (2008) " Economical and Technical Evaluation of Energy Storage Systems", 3rd IRES, Berlin, November 24, 2008



Redox-Flow-Batterie Ë Zellenkonstruktion







Beispiel für gekoppelte physiko-chemische Phänomene: Ladevorgang der Redox-Flow-Batterie



Erstellung der Zellgeometrie

Halbzelle in SolidWorks



Halbzelle in COMSOL



Tatsächlich von Elektrolyt durchströmtes Volumen



Gekoppelte 3D-Simulation von freier Strömung und poröser Durchströmung



2D-Schnitt: lokale Geschwindigkeit in [m/s] für einen vorgegebenen Druckverlust in der Halbzelle



Gleiche Simulation: Stromlinien durch offene Zu- und Abführung und porösen Graphitfilz



Modellierung der Elektrochemie und Validierung im Experiment



Gekoppelte Modellierung von Strömung, Stromfluß und Stoffumsatz



Überprüfung der Modellergebnisse an segmentierter Testzelle



Unterbrechungsfreie Stromversorgung



Ziele

- Entwicklung und Test einer hochverfügbaren USV als Backup für Telekommunikationsanlagen
- Relevante Leistungsdaten
 - Speicherprogrammierbare Steuerung
 - Ethercat, Fernüberwachung
 - 1 kW Vanadium-Redox-Flow-Batterie
 - 1,5 kW Supercap-Bank (45 s)
 - Zugriffszeit < 3 ms</p>
 - 230 V Netzanschluss
 - Automatisierte Abläufe





Stacktest

Ziele

- System zur Entwicklung und Charakterisierung von Stacks
 - Drücke, Durchfluss, Temperaturen, Durchflussverteilung, Alterung
- Untersuchung der Bedingungen f
 ür autonomen Betrieb
 - Softwareentwicklung, Datenkommunikation, Upscaling, Steuerung- und Regelung
- Relevante Leistungsdaten
 - Speicherprogrammierbare Steuerung
 - Ethercat, Fernüberwachung
 - Batterietestsystem 2 x 5kW (300A, 60 V)
 - Automatisierte Abläufe
 - Impedanzspektroskopie (Stack und Einzelzellen)





17 kW Technologiedemonstrator

Ziele

- Entwicklung eines Technologiedemonstrators unter Berücksichtigung wehrtechnischer Bedingungen
- Relevante Leistungsdaten
 - Teststand mit 60 kW Batterietestsystem
 - Batterie 17 kW / 30 kWh
 - 24 Stacks, 1 Reservestack
- Speicherprogrammierbare Steuerung
- Ethercat, Fernüberwachung
- Automatisierte Abläufe





Redox-Flow-Batterien Ë 2 MW / 20 MWh



P = 2 MW; W = 20 MWh; U = 1960 V; I = 1008 A A = 3600 cm², 2 x 300 m³ electrolyte 100 Cells / Stack; 7 Stacks serial / module; 8 modules)





Batterien und Akkumulatoren Redox-Flow-Batterien

Stationäre Anwendung

- Entwicklung und Aufbau einer RFB in Verbindung mit einem Windrad
 - Nutzung von Synergien / gemeinsamen Komponenten beider Anlagenteile
 - Entwicklung einer kostengünstigen Produktionstechnologie für die Redox-Flow-Batterie
 - Untersuchung Betriebsführung der Gesamtanlage









Gefördert durch das Land Baden Württemberg

Projekt ÞRedoxWindÍ Aufbau der Anlage

Geplanter Aufbau aus 6 Modulen zu je 330 kW = 2 MW Spitzenleistung

- 1 Modul besteht aus 2 x 14 Stacks à 12 kW in el. Reihenschaltung
- 2 Tanks pro Modul (Anolyt + Katholyt)
- Sukzessiver Aufbau der Module anhand von Lernprozessen im Betrieb





Gefördert durch das Land Baden Württemberg



Projekt ÞRedoxWindÍ Aufbau der Anlage











Gefördert durch das Land Baden Württemberg



Redox-Flow-Batterien für mobile Anwendungen?

Funktionsprinzip (Vanadium-Sauerstoff basiert) für mobile Systeme









Gefördert durch das Land Baden Württemberg

Electrolytes / active species for redox flow batteries

- Metal suspension in aqueous electrolyte (high energy density, R&D state, first start up companies)
- Organic electrolytes with active species (R&D state)
- Aqueous electrolytes with organic redox molecules (e.g. quinone/hydroquinone couple with Br₂/Br, R&D state) (Huskinson et.al. Nature 505, 195. 198 (09 January 2014)





Resümee / Ausblick

- Der geplante Ausbau erneuerbarer Energien auf bis zu 40 % der gesamten Stromerzeugung in Deutschland bis 2020 fordert die Bereitstellung großer Speicherkapazitäten als eine der erforderlichen Maßnahmen zur Sicherung eines stabilen Netzbetriebs.
- Die dazu notwendigen Speichertechnologien f
 ür alle Aufgaben in einer Stromversorgung mit hohem Anteil erneuerbarer Energien sind grunds
 ätzlich verf
 ügbar.
- Speicherung elektrischer Energie ist mit signifikanten Kosten von g
 ünstigstenfalls 3 " ct/kWh bei Stundenspeicherung und 10 " ct/kWh bei Langzeitspeichern (sWochenspeicherung%verbunden
- Elektrochemische Speicher (Batterien) haben relativ kurze Abschreibungszeiträume, lassen sich schnell und flexibel errichten und sind daher eine mögliche Lösung für den in den kommenden Jahren auftretenden Speicherbedarf, insbesondere im Zusammenhang mit dezentralen Energieversorgungskonzepten. Redox-Flow-Batterien können für stationäre Anwendungen eine wirtschaftliche Variante darstellen.





