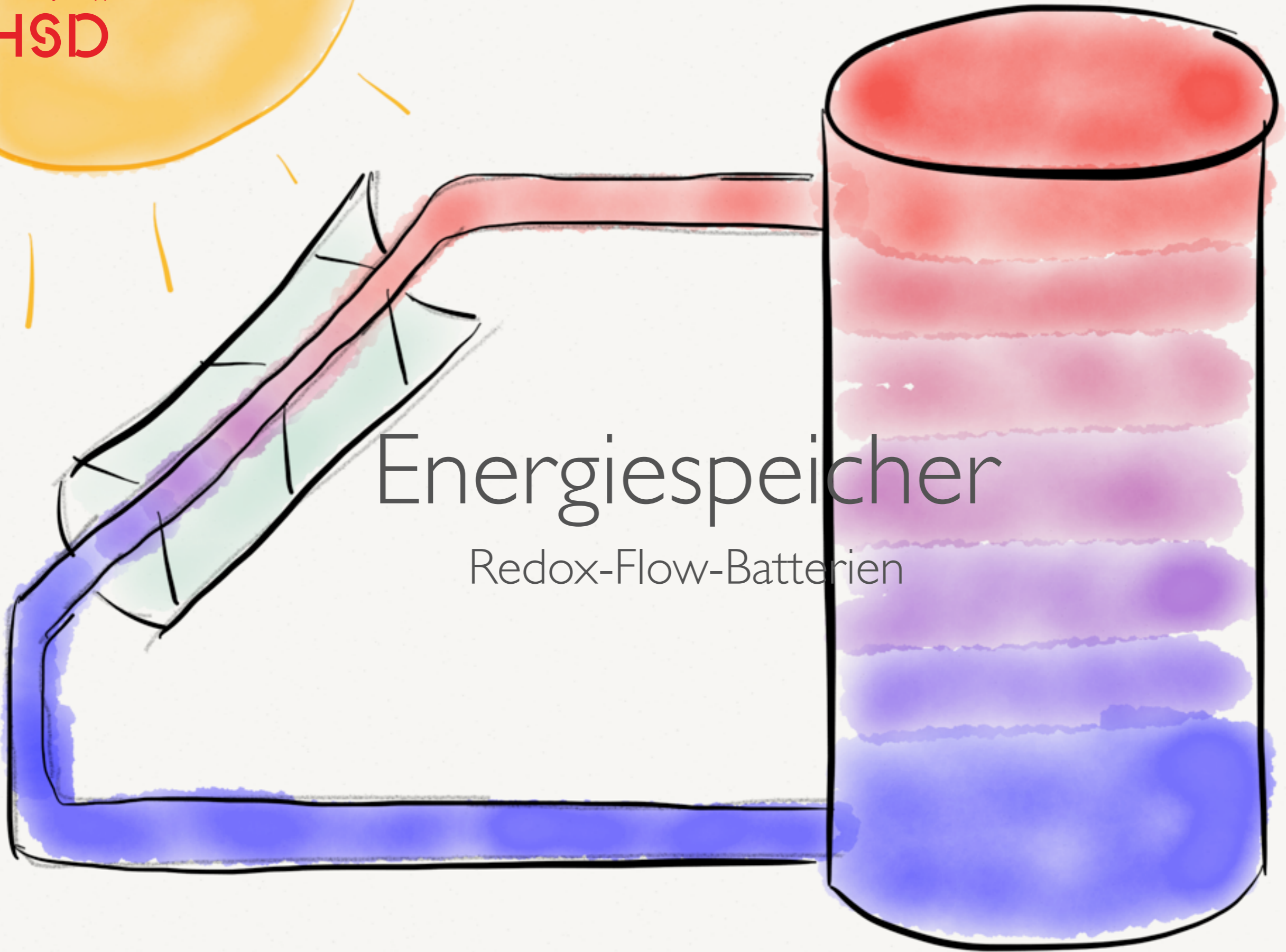


# Energiespeicher

## Redox-Flow-Batterien



# Einführung

# Überblick

## Interne Speicher

- Eine Batterie ist eine primäre galvanische Zelle.
- Ein Akkumulator ist eine wiederaufladbare Batterie, genannt Sekundärzelle.
- Batterie-Systeme:
  - ▶ Alkali-Mangan
  - ▶ Zink-Luft
- Akkumulator-Systeme
  - ▶ Blei-Säure
  - ▶ Lithium-Ionen
  - ▶ Nickel-Metall-Hydrid (NiMH)

## Externe Speicher

- Wasserstoff mit Brennstoff-Zelle.
- Redox-Flow-Batterien
  - ▶ Vanadium
  - ▶ Eisen-Chrom
- Power-to-XX

# Überblick

## Interne Speicher

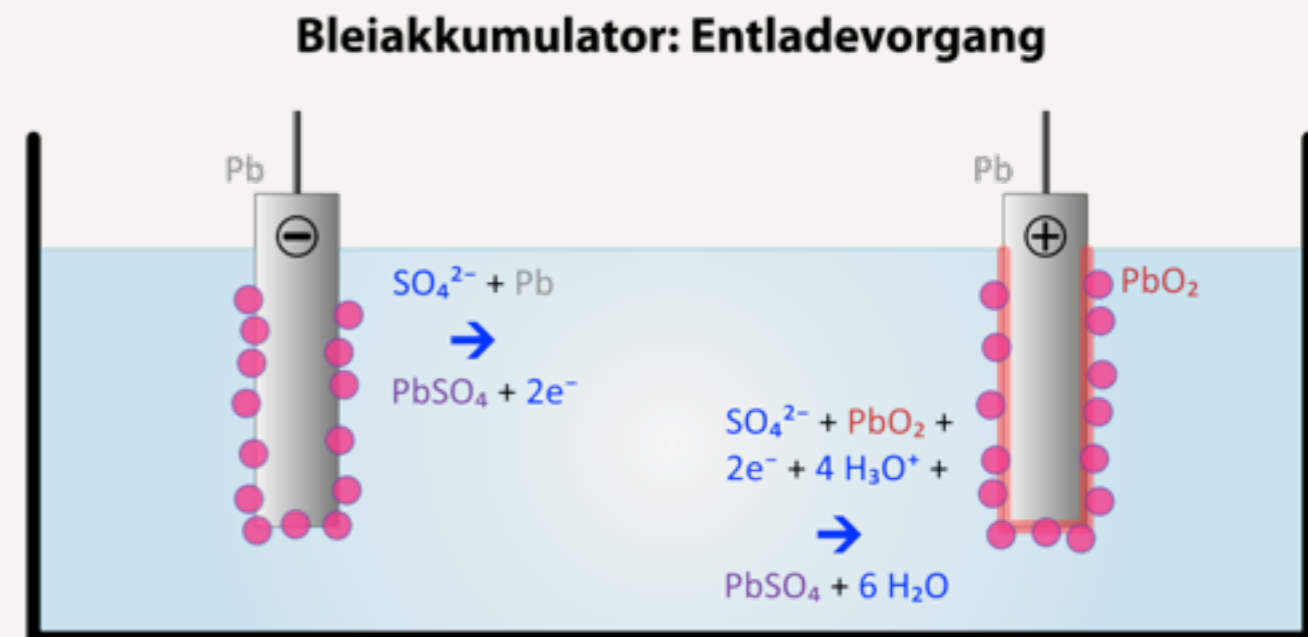
- Der Ort für die Speicherung und die Wandlung der Energie ist gleich.
- Speicherbare Energiemenge und Leistung sind dadurch sind verknüpft.
- Das sind die ‚normalen‘ Batterien.

## Externe Speicher

- Der Ort für die Speicherung und die Wandlung der Energie ist getrennt.
- Speicherbare Energiemenge und Leistung sind dadurch unabhängig voneinander.
- Speichermenge und Leistung können unabhängig ausgelegt werden.

# Blei-Säure-Akkumulator

- Blei und Bleioxid als Elektroden
- Schwefelsäure als Elektrolyt
- Relativ günstig herzustellen (100 - 300€ / kWh)
- Robust und haltbar (typische Zyklenzahl ca. 2000)
- Geringe Energiedichte (ca. 30 Wh/kg)



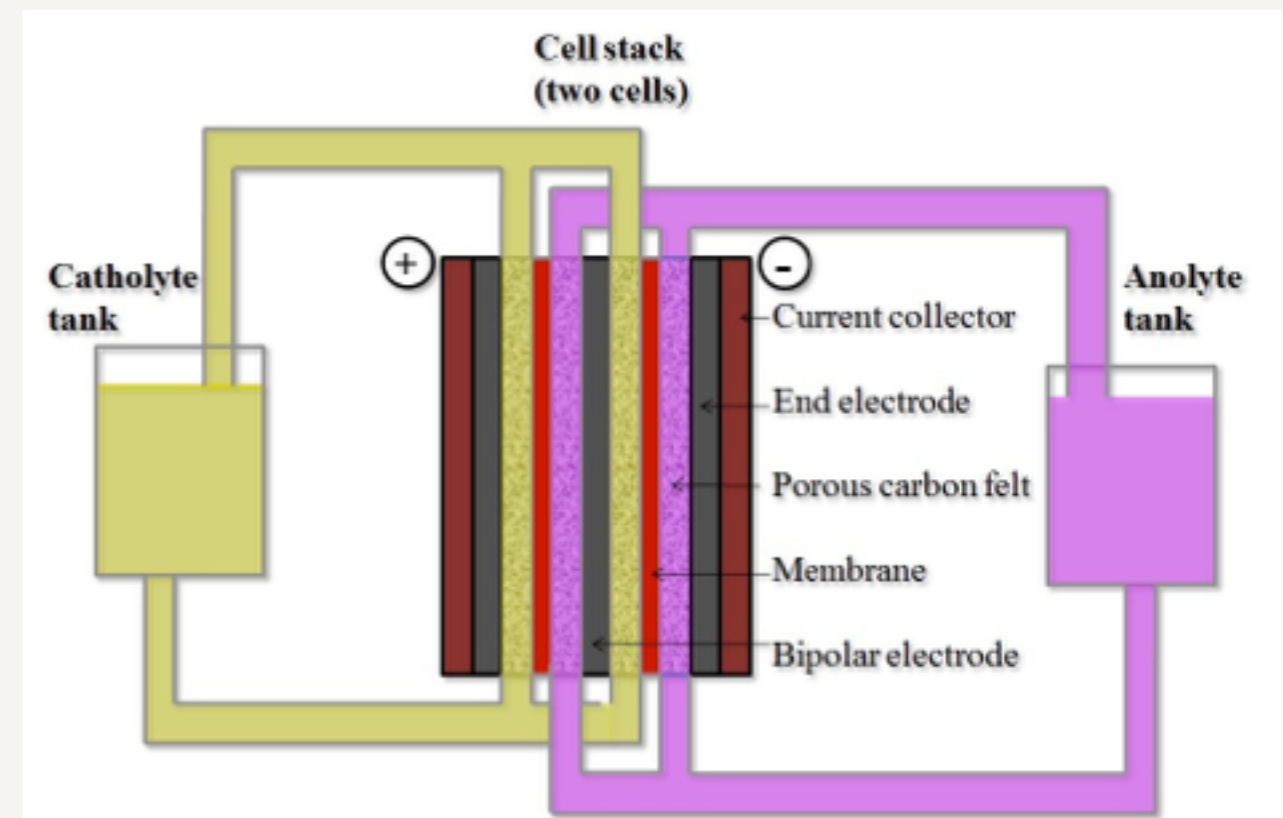
[http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Bleiakkumulator\\_Entladevorgang.svg](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Bleiakkumulator_Entladevorgang.svg)

Daten: [Sauer 2006]

# Flussbatterie

# Redox-Flow-Batterien

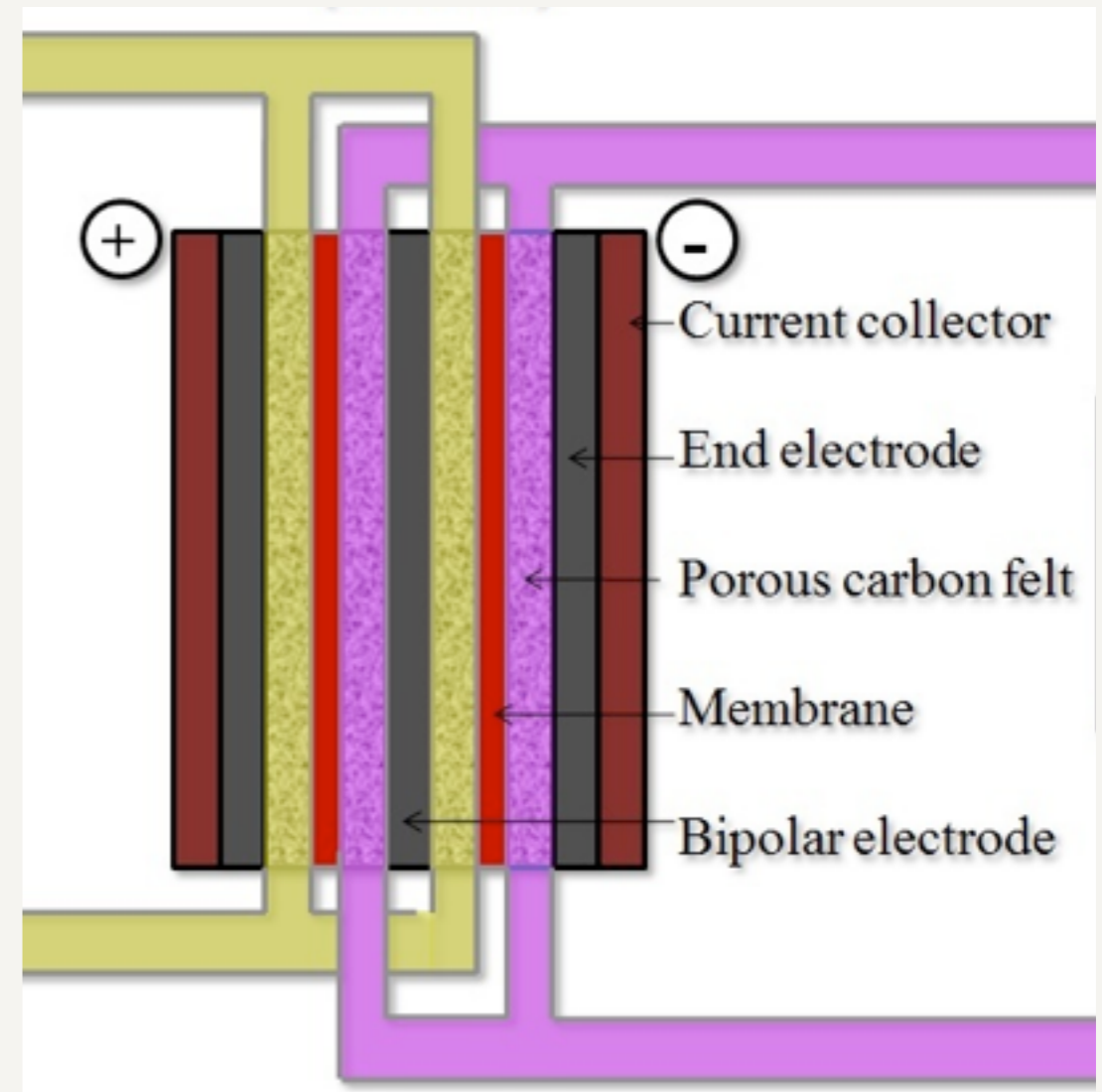
- Auf Deutsch Flussbatterien
- Vom Prinzip wie ‚normale‘ Batterien mit zwei Elektrolyten und einer trennenden Membran.
- Die Ionen gehen nicht von der Elektrode in Lösung, sondern befinden sich bereits in der Lösung.
- Die Elektrolyte werden durch die Halbzellen hindurch gepumpt.



<http://www.vrb.unsw.edu.au/technology-services/vanadium-redox-flow-batteries.html>

# Leistungselement *cell stack*

- Das Leistungselement ist eine Batterie mit mindestens zwei Halbzellen.
- Entsprechend wird dieses Modul zum Laden und Entladen der Elektrolyte gebraucht.
- Die Leistungseigenschaften werden hauptsächlich durch die elektrische Auslegung dieses Moduls festgelegt.

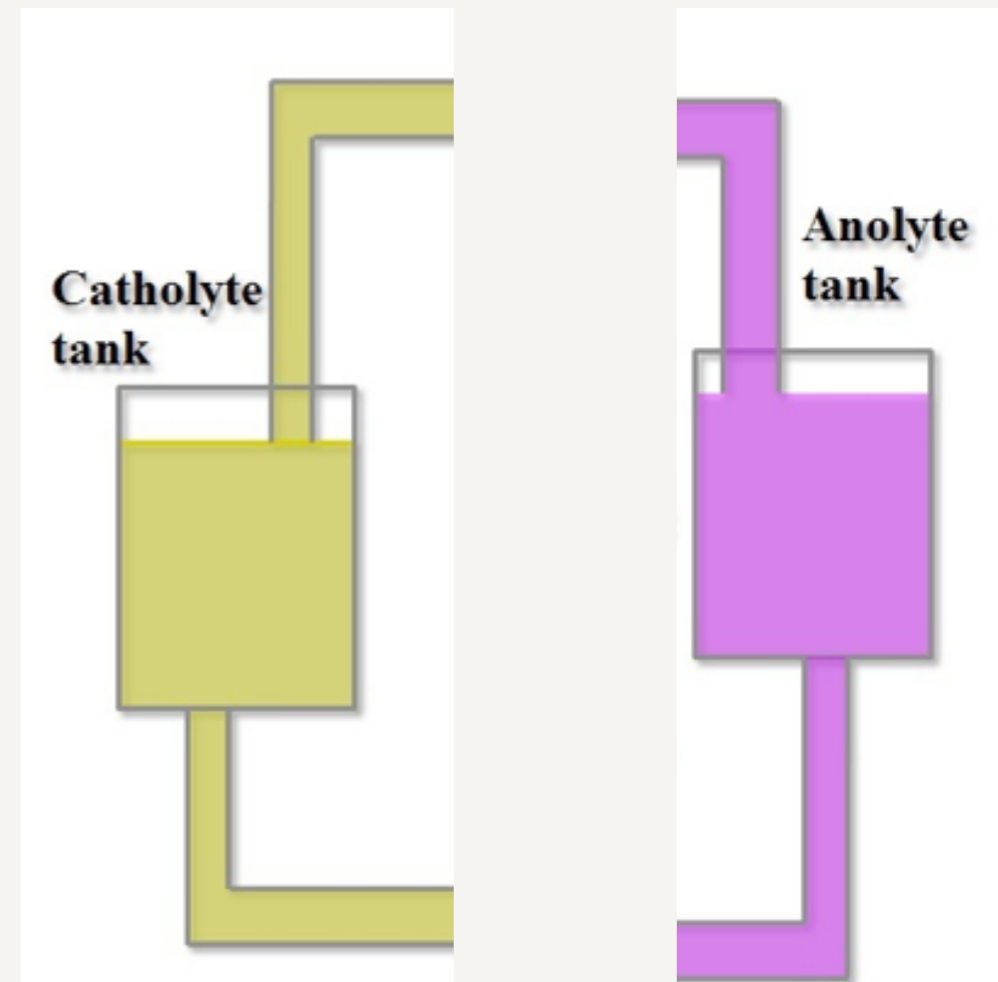


<http://www.vrb.unsw.edu.au/technology-services/vanadium-redox-flow-batteries.html>



# Speicher

- Die Speicher-Kapazität des Systems wird durch die Größe der Tanks festgelegt.
- Dadurch ist die Kapazität unabhängig von der Leistung des Systems skalierbar.



# Beispiel: Vanadium-Redox

- Beide Elektrolyte enthalten Vanadium-Ionen.
- In der positiven Halbzelle  $\text{VO}_2^+$  und  $\text{VO}^{2+}$ .
- In der negativen Halbzelle  $\text{V}^{3+}$  und  $\text{V}^{2+}$ .



# Eigenschaften

# Leistungsdichte

- Geringe Leistungsdichte
- Ähnlich Blei-Akkumulatoren

	Vanadium	Zink-Bromid	Li-Ionen
Leistung	kW - MW	kW - MW	bis 50 MW
Gravimetrisch Wh/kg	10 - 75	60 - 85	75 - 250
Volumetrisch Wh/l	15 - 30	30 - 60	200 - 600

Quelle: [Lopes Ferreira 2013]

# Wirkungsgrad

Batterie	Wirkungsgrad (%)
Vanadium-Redox	65 - 85
Blei-Säure	70 - 92
NiMH	60 - 66
Li-Ionen	85 - 90

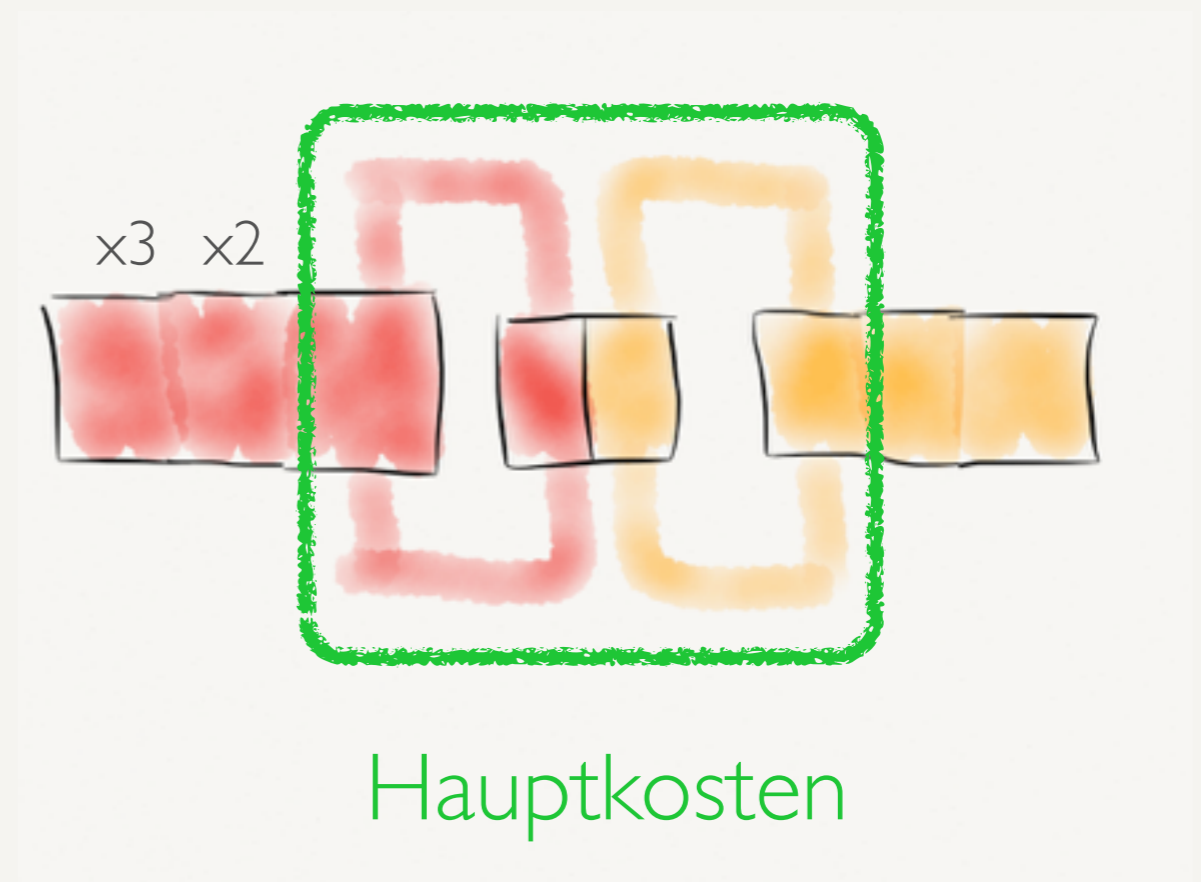
Quelle: [Lopes Ferreira 2013]

# Selbstentladung

- Die Lagerfähigkeit des Elektrolyts bestimmt die Selbstentladungsrate.
- Selbstentladung kann de facto fast komplett vermieden werden.
- Lagerung über Wochen bis Monate möglich!

# Wirtschaftlichkeit

- Das Leistungselement sind Einmalkosten.
- Für größere Kapazität müssen nur die Tanks vergrößert oder hinzugefügt werden.
- Deswegen: Je größer die Kapazität desto günstiger das System wenn € / kWh betrachtet werden.
- Bei Flussbatterien wird deswegen auch das Verhältnis Leistung-zu-Kapazität betrachtet.



# Forschung



# Eisen-Chrom

- Firma EnerVault
- System basiert auf Eisen und Chrom
- Testaufbau: 250kW \* 4h
- Integration mit Solaranlage
- Behauptung: Ein Fünftel der Kosten von Vanadium RF Batterien
- Nur ca. 70% Effizienz



Bildquelle ist Artikel bei MIT TR: <http://www.technologyreview.com/news/527516/a-battery-made-of-iron-could-improve-the-economics-of-solar-and-wind-power/>

Artikel bei Forbes: <http://www.forbes.com/sites/peterdetwiler/2014/05/30/enervault-unveils-first-of-its-kind-iron-chromium-megawatt-scale-flow-battery/>

Webseite der Firma: <http://enervault.com/>

# Rhabarber

- Arbeitsgruppe an der Harvard University
- System basiert auf Chinonen (*quinones*), welche z.B. in Rhabarber vorkommen.
- Zweite Halbzelle besteht aus Brom.
- Chinone können sehr preisgünstig synthetisiert werden.
- Ein Drittel der Materialkosten im Vergleich zu Vanadium.



Bildquelle: <http://www.technologyreview.com/news/523251/new-battery-material-could-help-wind-and-solar-power-go-big/>

Original-Artikel: <http://www.nature.com/nature/journal/v505/n7482/full/nature12909.html>

# Anwendungen

# Getrenntes Laden und Entladen

- Laden und Entladen muss nicht in der selben Batterie erfolgen!
- Überlegung das Elektrolyt für Elektro-Autos einzusetzen, weil es einfach nachgetankt werden kann.
- Aktuell zu geringe Speicherdichte

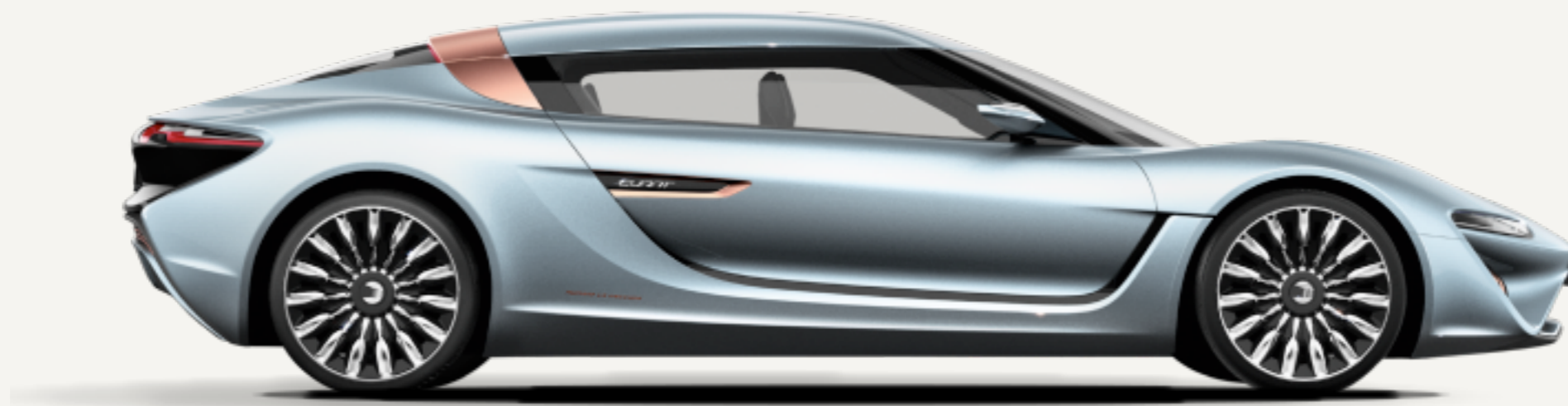
# Quant

Sehr reißerische Werbung mit James-Bond-Charakter:

<http://www.youtube.com/watch?v=RqLpqR0SPnQ>

<http://www.heise.de/autos/artikel/Quantenelektrik-2136017.html>

Mit ein paar technischen Daten: <http://motorzeitung.de/news.php?newsid=218893>



# Quellen

- [Sauer 2006] D. U. Sauer, *Optionen zur Speicherung elektrischer Energie in Energieversorgungssystemen mit regenerativer Stromerzeugung*, Eurosolar e.V. Bonn (2006), [www](#)
- [Popp 2010] M. Popp, *Speicherbedarf bei einer Stromversorgung mit erneuerbaren Energien*, Springer (2010), [www](#)
- [Wagner & Siller 2013] R. Wagner, M. Siller, *Zwischenspeicherung von Solarenergie durch Batterien zur Eigenverbrauchserhöhung und Netzstabilisierung*, Springer (2013), [www](#)
- [Lopes Ferreira 2013] Lopes Ferreira et al., *Characterisation of electrical energy storage technologies*, *Energie* **53**, 288-298 (2013), [www](#)