



# Pufferspeicher für „grüne“ Energie - Potential der Flüssigmetallbatterie

Tom Weier

*Institut für Fluiddynamik*

Energy Saxony Summit, 22. Juni 2023

# Norsk Hydro ASA Sunndal



Norsk Hydro, 2010

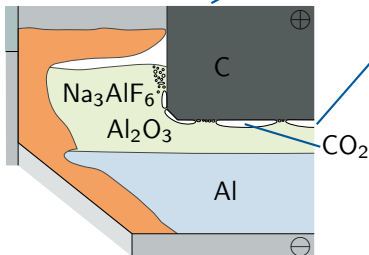
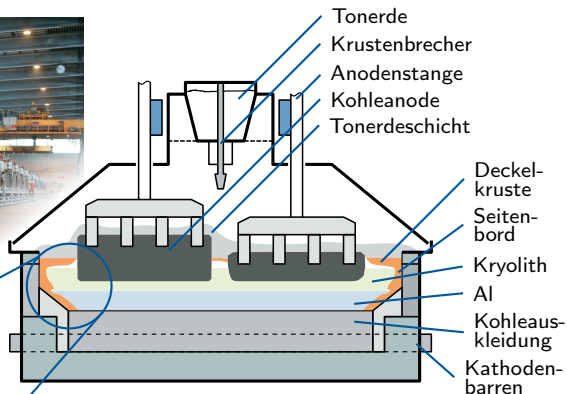
400 000 t Al/Jahr, 15.3 GWh/Tag

2 Energiespeicherung · 22.6.2023

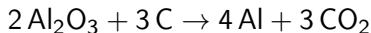


# Aluminiumelektrolyse

Norsk Hydro, 2010

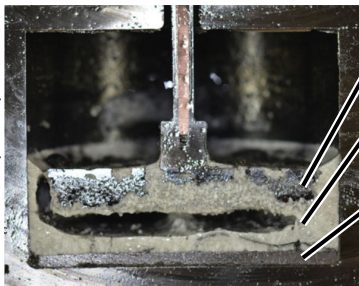


- Weltjahresproduktion 64 Mio t
- ➔ >3% Weltstromproduktion



- Zelle:
  - $T_{\text{op}} = 960^\circ \text{C}$
  - 300 ... 600 kA
  - 9 ... 18 m Länge
  - 3 ... 5 m Breite

# Flüssigmetallbatterien

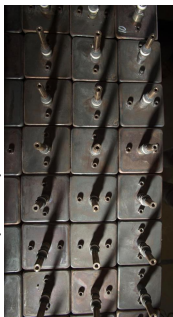
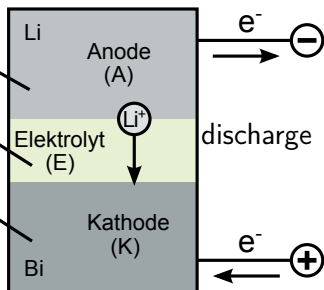


$$\rho^{(\text{Li})} = 491 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho^{(\text{El})} = 1648 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho^{(\text{Bi})} = 8576 \text{ kg/m}^3$$

@ 450 °C



## Vorteile

- einfache Konstruktion
- preiswerte Aktivmaterialien
- hohe Stromdichten
- gute Zyklenfestigkeit
- Skalierbarkeit

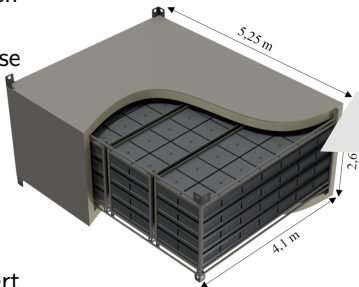
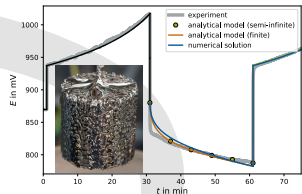
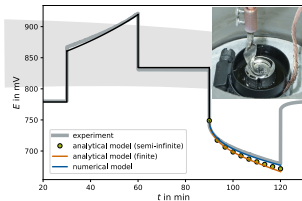
## Herausforderungen

- geringe Zellspannung
- hohe Temperatur
- reaktive Medien
- vielfältige Strömungsmechanik

# Modellierung und Skalierung

## Zellspannungsmodell für Systemauslegung

- Genauigkeit vergleichbar mit Direktsimulation
- konzentrationsabhängige Diffusionskoeffizienten
- Stromverteilung im Elektrolyten wahlweise analytisch oder über Regression
- Volumenänderung in Kathode berücksichtigt
- Skalierung an Experimenten validiert
- Open Source



# Terrascale: Energos Reno mit Ambri Speichern

TerraScale:

„Energos Reno project“

- Churchill County
- ca. 1500 Hektar
- 500 MW EE
- Mischnutzung, Rechenzentren



Ambri (2019)



Ambri (2020)

Speicher von Ambri

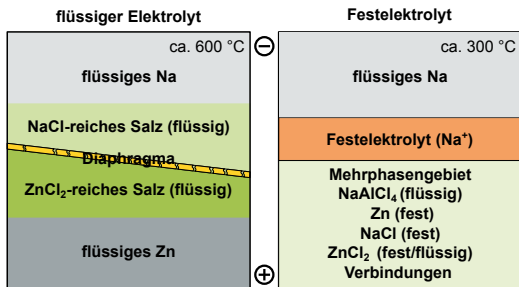
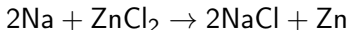
- 250 MWh
- 20 Jahre Lebensdauer bei 100% DOD
- 500 °C
- Ca-Sb

# Horizon 2020 Projekt SOLSTICE - Konzept

“Sodium-Zink molten salt batteries for low-cost stationary storage”

Eine Materialkombination (Na||Zn), zwei Systeme:

- 1 flüssige Elektroden, flüssiger Elektrolyt:  
 $T_{op} = 600\text{ °C}$ , auf Zellebene skalierbar
- 2 (halb-)flüssige Elektroden, Festelektrolyt:  
 $T_{op} = 300\text{ °C}$ , analog zu Na|NiCl<sub>2</sub>

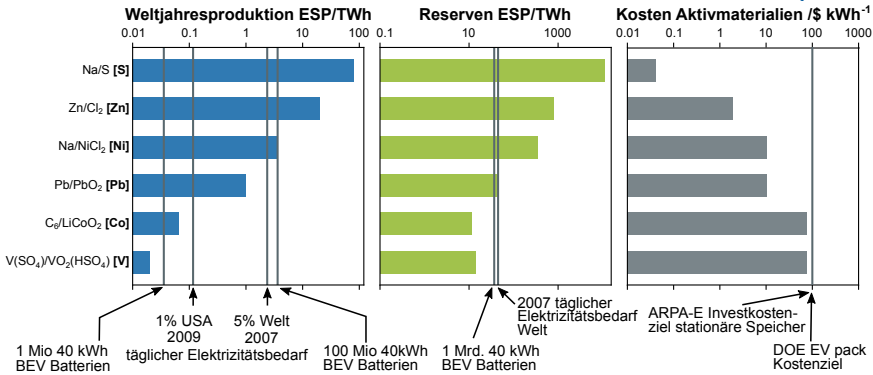


- 1.95 V (Standardbedingungen)
- 570 Wh/kg theor. Kapazität
- ~4 €/kWh (Aktivmaterialien)
- Konversions- vs. Legierungszellen

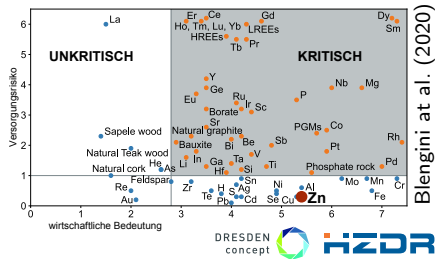
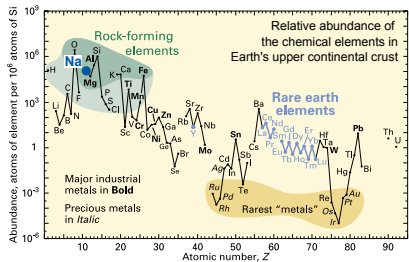
[www.solstice-battery.eu](http://www.solstice-battery.eu)

# Verfügbarkeit und Energiespeicherpotential (ESP)

adaptiert von Wadia et al. (2011)



Haxel et al. (2002)

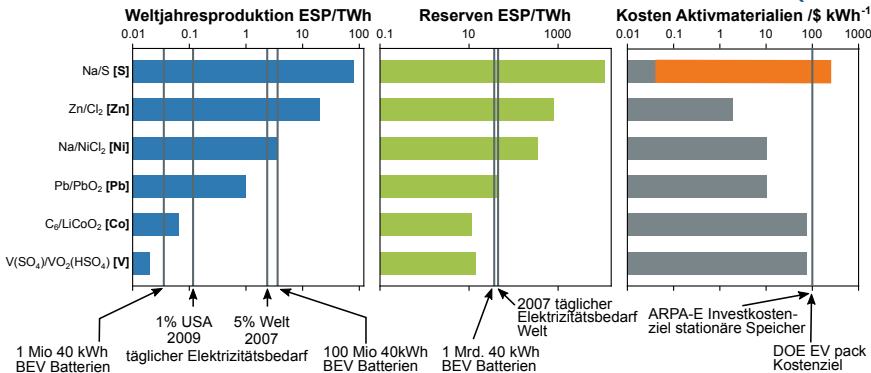


Blengini et al. (2020)

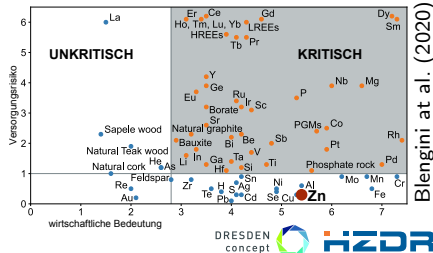
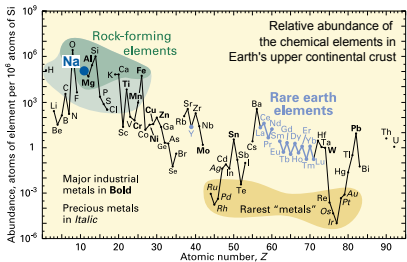


# Verfügbarkeit und Energiespeicherpotential (ESP)

adaptiert von Wadia et al. (2011)

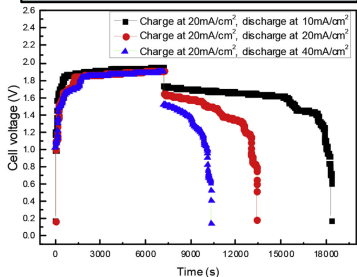
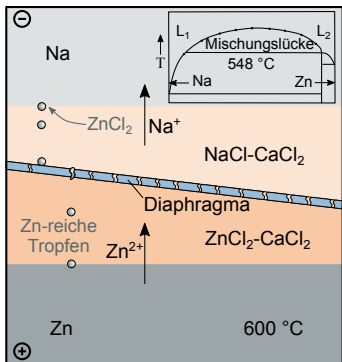


Haxel at al. (2002)



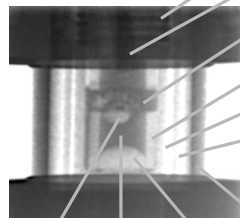
Blengini at al. (2020)

# Hochtemperaturzelle mit Flüssigelektrolyt



Xu et al. (2016)

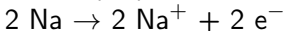
Neutronen-  
radiographie am  
NEUTRA  
Strahlrohr des  
Paul Scherrer  
Instituts  
 $T_{\text{op}} = 600 \text{ °C}$



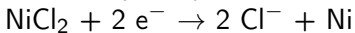
# Festelektrolytzelle - ZEBRA als Vorbild

Na|NiCl<sub>2</sub> (Zero Emission Battery Research Activities)

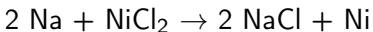
Anode (Na):



Kathode (NiCl<sub>2</sub>):



Summenreaktion:

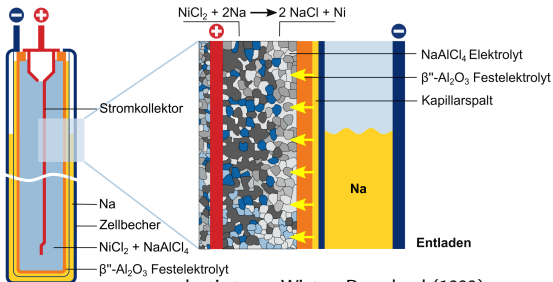


2.58 V Zellspannung

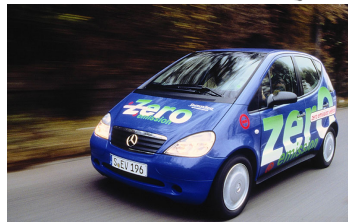
790 Wh/kg theoretische spez. Energie



FZSoNick (2023)



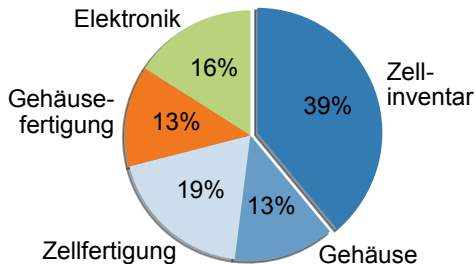
adaptiert von Winter, Besenhard (1999)



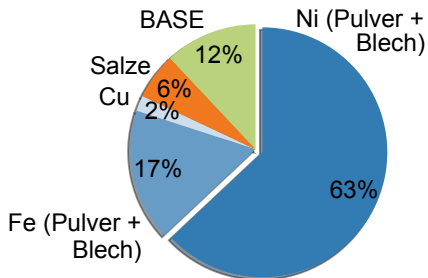
Daimler AG (2009)

# ZEBRA Zelle - Kostenanteile

## Kostenanteile Komponenten



## Kostenanteile Inventar



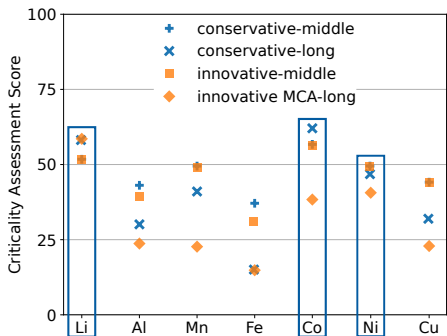
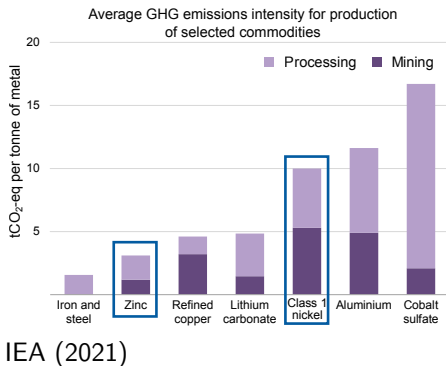
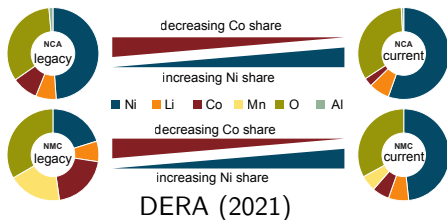
nach Lu et al. (2013)

→  $\text{NiCl}_2$  durch  $\text{ZnCl}_2$  ersetzen kann die energiespezifischen Kosten um etwa 20% reduzieren

# Ni ersetzen - jenseits des Kostenarguments

## Trends bei Li-ion Batterien

## Folgewirkungen Metallgewinnung



Umweltbeeinträchtigung/mol

Ni	0.62
Zn	0.28

Graedel et al. (2015)

# Recycling

Materialien sind makroskopisch getrennt

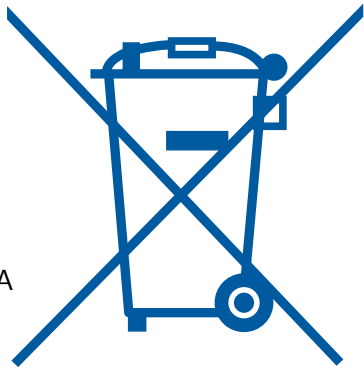
→ Recycling stark vereinfacht

## Zelle mit Flüssigelektrolyt

- nach Entladen:  $\text{Zn} + \text{NaCl}$
- dicke Schichten  $\mathcal{O}(\text{cm})$
- große Zellen

## Zelle mit Festelektrolyt

- etabliertes Recyclingverfahren für ZEBRA
- bereits als „Zero Impact Battery“ klassifiziert
- Recycling wird durch Wechsel von  $\text{NiCl}_2$  auf  $\text{ZnCl}_2$  nicht beeinträchtigt



# Herzlichen Dank für Ihr Interesse!

Das Projekt SOLSTICE wird im Rahmen des Horizon 2020 Programms der Europäischen Union unter der Finanzhilfvereinbarung Nr. 963599 gefördert.

