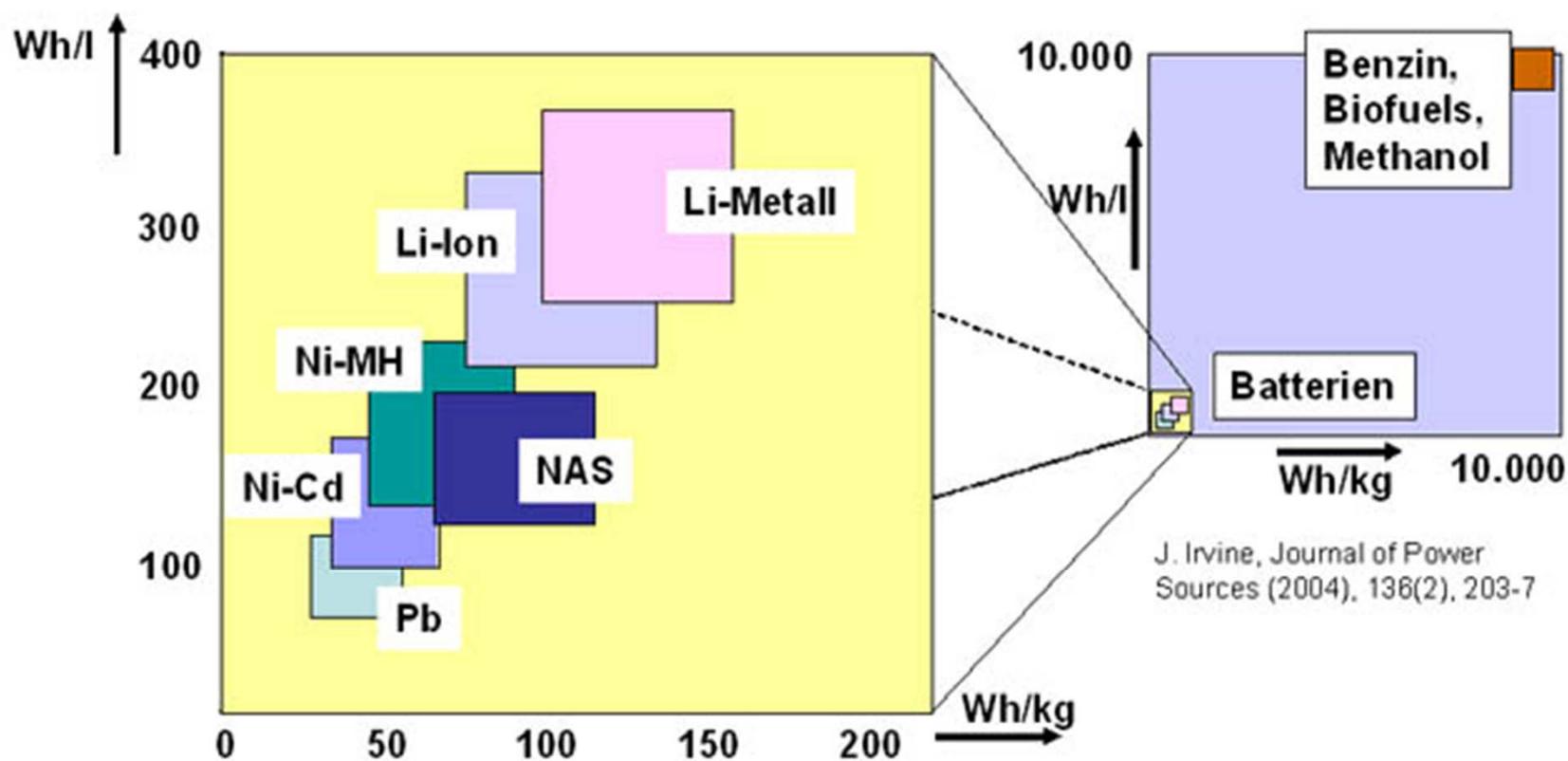


Energiedichten im Vergleich



J. Irvine, Journal of Power Sources (2004), 136(2), 203-7

J. Garche, A. Jossen, H. Döring, VDI-Berichte Reihe 12, Verkehrstechnik/Fahrzeugtechnik (2002) Band 484, Hybridfahrzeuge und Energiemanagement, 101-118

Große Speicher für elektrische Energie

- physikalische Energiespeicher
 - Gas unter Druck
 - Schwungrad
 - Wasser im Hochspeicher (Pumpspeicherkraftwerk)
- chemische Energiespeicher
 - Brennstoffzelle
 - Redox-Flow-Batterie

Brennstoffzellen

- kontinuierliche Redoxreaktion zwischen Brennstoff und O_2 (Luft) als Oxidationsmittel
- Brennstoff: H_2 , CH_3OH , CH_4 , etc.
- gespeicherte Energiemenge hängt von der nur von der Größe des Tanks ab
- elektrischer Wirkungsgrad: 35-70%

Pumpspeicherkraftwerk Goldisthal in Thüringen



Oberbecken (Winter)
Unterbecken (Sommer)



Ein paar Daten

Nennleistung: 4x265 MW

Fallhöhe: ca. 300 m

Fassungsvermögen*: 12 Mio m³

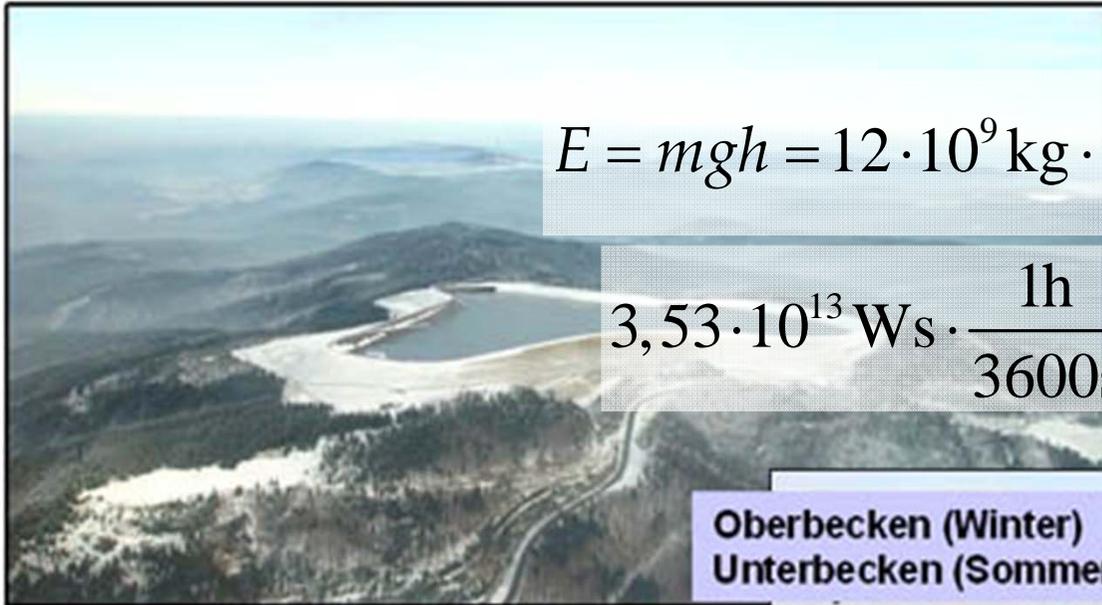
Beckenradius*: 1000-1500m

*) Oberbecken

Photos mit freundlicher Genehmigung von
T. Rosenbaum, www.goldisthal.de

Pumpspeicherkraftwerk Goldisthal in Thüringen

$$E = mgh$$



$$E = mgh = 12 \cdot 10^9 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 300\text{m} = 3,53 \cdot 10^{13} \text{ J}$$

$$3,53 \cdot 10^{13} \text{ Ws} \cdot \frac{1\text{h}}{3600\text{s}} = 9,81 \cdot 10^6 \text{ kWh}$$

Oberbecken (Winter)
Unterbecken (Sommer)

Ein paar Daten

Nennleistung: 4x265 MW
 Fallhöhe: ca. 300 m
 Fassungsvermögen*: 12 Mio m³
 Beckenradius*: 1000-1500m
 *) Oberbecken

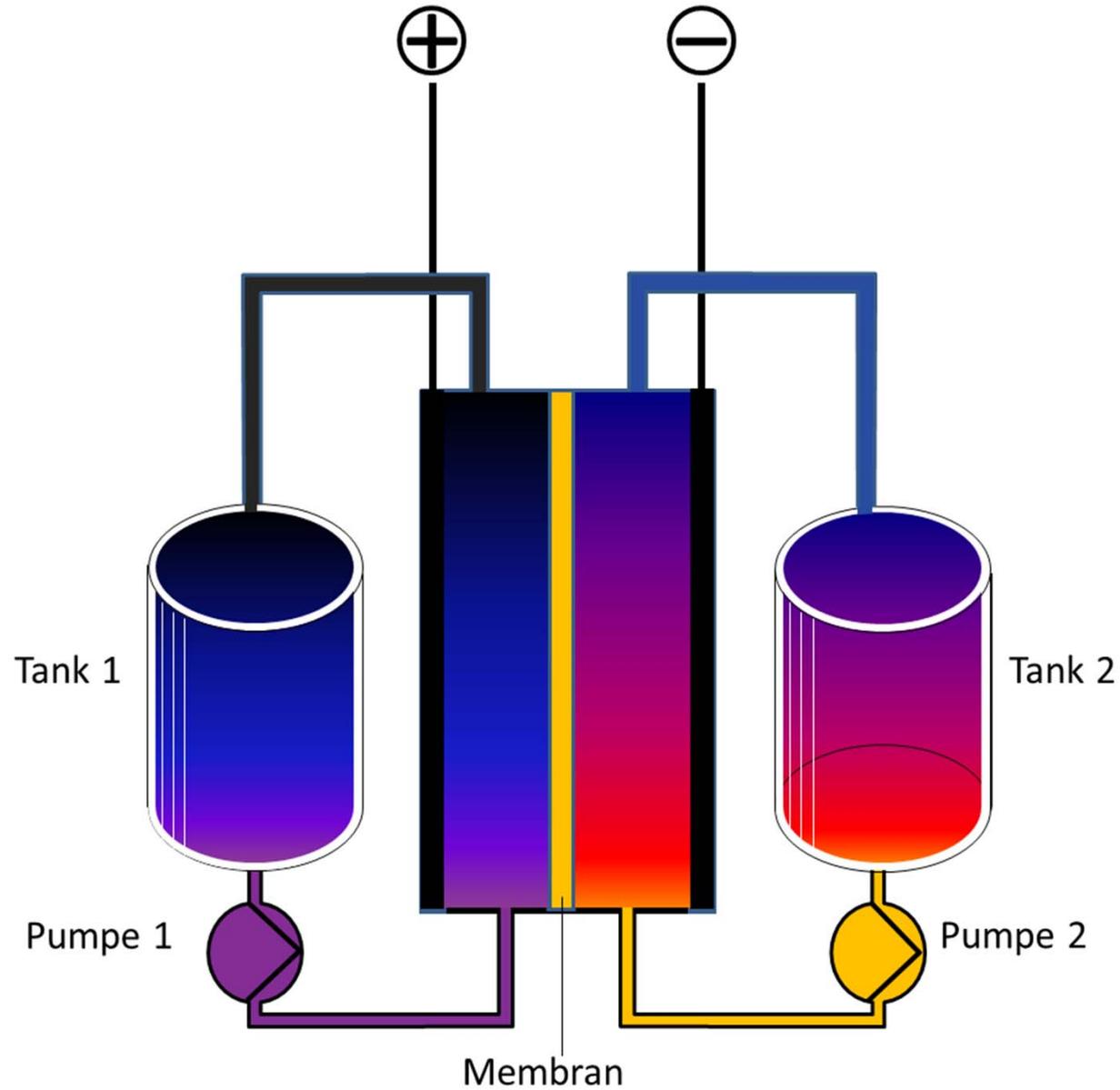
Laufzeit bei Vollast und vollem Speicherbecken:

$$\frac{9,81 \cdot 10^6 \text{ kWh}}{1,06 \cdot 10^6 \text{ kW}} = 9,25\text{h}$$

Photos mit freundlicher Genehmigung von
 T. Rosenbaum, www.goldisthal.de

Wirkungsgrad als 100% angenommen...

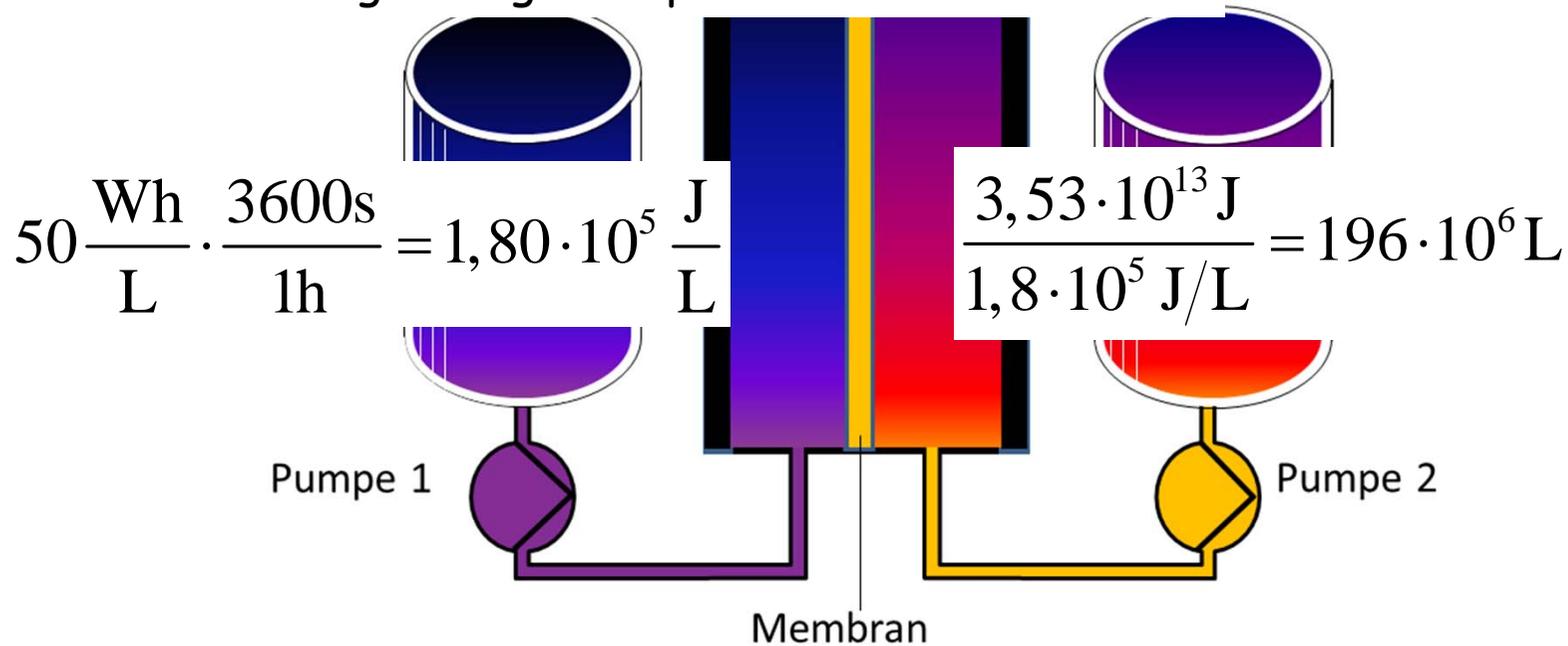
Redox-Flow-Zellen



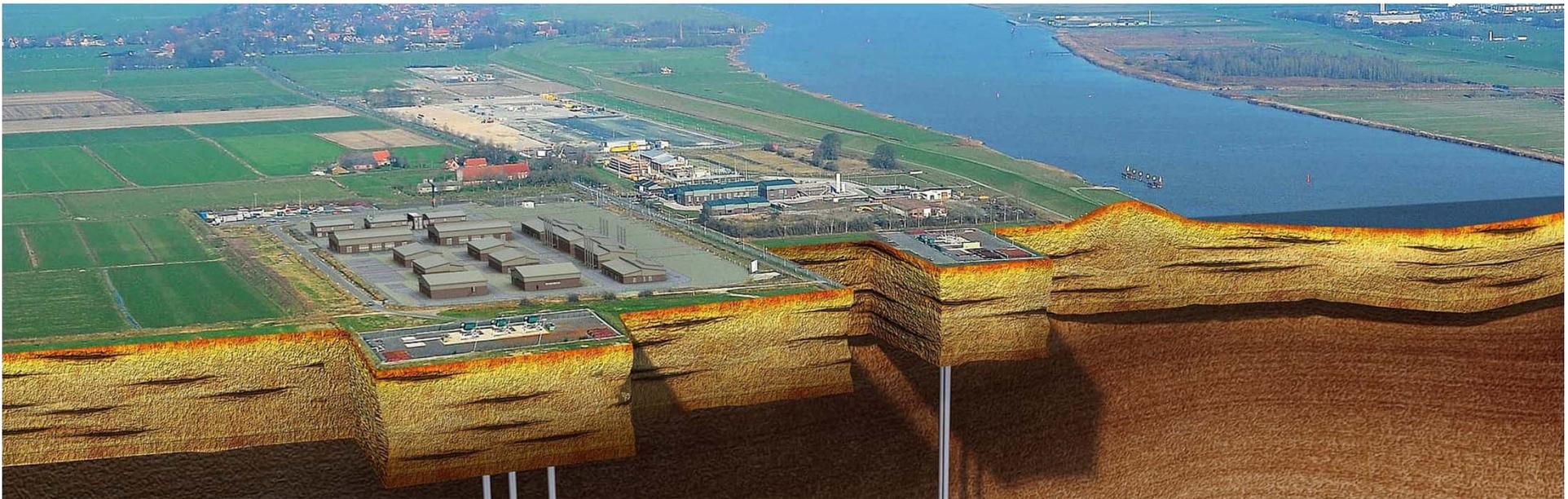
Redox-Flow-Zellen

Typ	Energiedichte (Wh/L)
Vanadium-Redox-Akkumulator	15 - 25
NaBr-Redox-Akkumulator	25 - 50
Zn-Br-Akkumulator	50 - 80
Diesekraftstoff	10000

benötigtes Volumen, um die gleiche Energiemenge zu speichern wie Goldisthal:



Geplanter (2018) Rexdox-Flow-Speicher in Jengum (Ostfriesland)



Speicherkapazität: Im optimalen Szenario wären es
700 Megawattstunden (MWh).
Das produziert ein Großkraftwerk mit 1GW in 42 Minuten.
Die Inbetriebnahme wurde auf 2025 verschoben.



In jede dieser Kavernen passt ein Eiffelturm locker rein.



Brennstoff	Spezifische Energiedichte
Uran 235	90 Millionen MJ/kg = 25 GWh/kg
Kernreaktorabbrand	3.8 Millionen MJ/kg = 1 GWh/kg
Natur-Uran	648 Tausend MJ/kg = 0.18 GWh/kg
Erdgas	40 MJ/kg = $1.1 \cdot 10^{-5}$ GWh/kg
Reiner Kohlenstoff	32.8 MJ/kg = $9 \cdot 10^{-6}$ GWh/kg
Braunkohle	25 MJ/kg = $7 \cdot 10^{-6}$ GWh/kg
Die besten Batterien	3 MJ/kg = $8 \cdot 10^{-7}$ GWh/kg
Blei-Akkus (Autobatterien)	0.1 MJ/kg = $2.8 \cdot 10^{-8}$ GWh/kg
Schwungrad	0.2 MJ/kg = $5.6 \cdot 10^{-8}$ GWh/kg
ATP	0.06 MJ/kg = $1.7 \cdot 10^{-8}$ GWh/kg