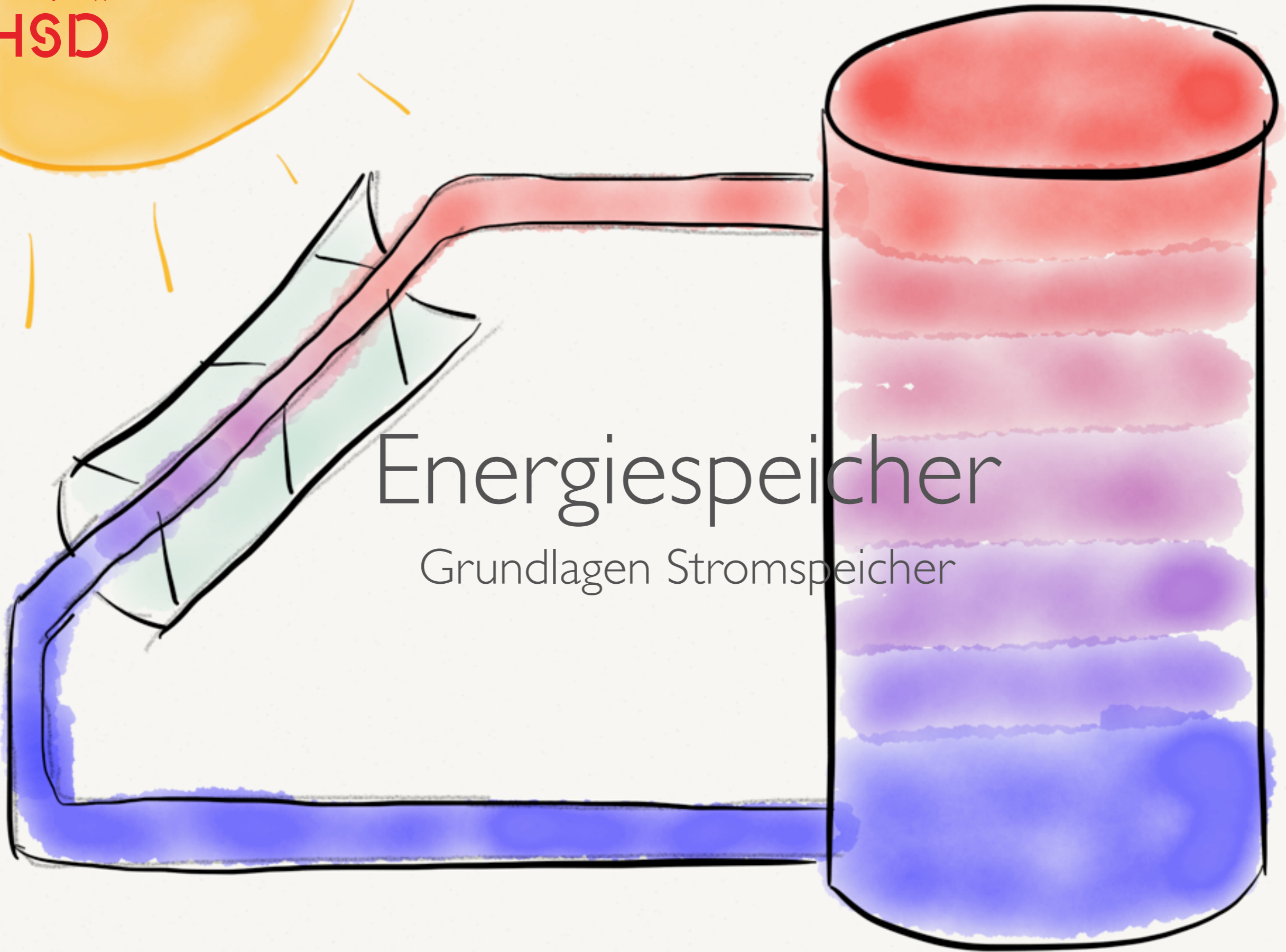


Energiespeicher

Grundlagen Stromspeicher



Überblick Stromspeicher

Mechanisch

Chemisch

Elektrisch

Vorlesung

Druckluftspeicher

Pumpspeicher

Schwungmassenspeicher

Batterien / Akkumulatoren

Stoffliche Speicherung

supraleitende Spulen

Kondensatoren

Anwendungen

Unterbrechungsfreie Stromversorgung

- Muss in 10ms (eine Halbwelle) auf Spannungsschwankungen reagieren.
- Schutz vor
 - ▶ Stromausfall
 - ▶ Über- und Unterspannung
 - ▶ Spannungsspitzen
- Kapazität typisch ausgelegt nur um den Dieselgenerator in Betrieb zu nehmen (insbesondere bei höheren Leistungen)

Netzstabilität

- Sekundenreserve normalerweise:
 - ▶ Gasüberschuss
 - ▶ Rotationsenergie
- Benötigt große Leistungen (Größenordnung Kraftwerk)
- Benötigt große Kapazität (Leistung mal Zeit)

Netzstabilität

- Speicher zum Puffern großer Leistungsschwankungen durch die Erneuerbaren.
- Zur Mittagszeit herrscht an sonnigen Tagen solch ein Energieüberschuss, dass die Netzbetreiber Probleme beim Lastausgleich haben.
- Durch lokale Netzspeicher wird der Netzausbau vermieden.

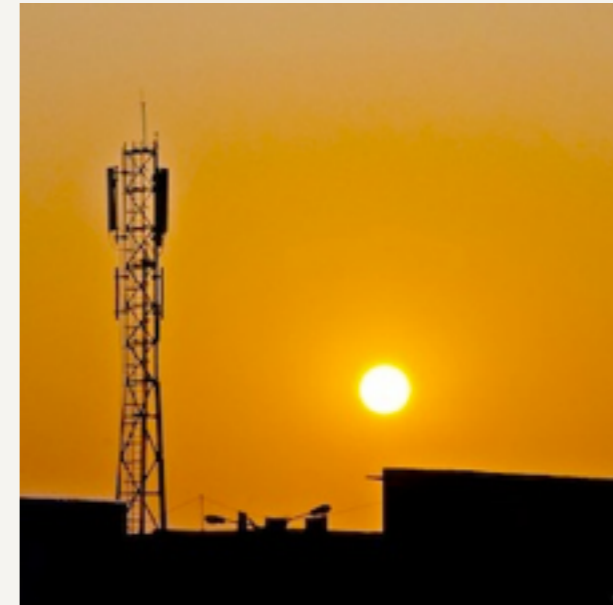


- 240kWh
- 45kW
- 72 Blei-Gel-Batterien

<http://www.swn-innovativ.de/innovationen/stromspeicher>

Inselbetrieb

- In Indien ist es nicht wirtschaftlich ein Stromnetz bis in die entlegenen Dschungel zu legen.
- Aber natürlich muss und will trotzdem jeder mobil telefonieren.
- Lösung: Solarbetriebene Funkmasten mit großen Batterien.
- Aktuell: teurerer Diesel.
- Kostenersparnis ca. 30%



- 400.000 Basisstationen
- 1 - 5 kW Leistung
- Umstellung auf erneuerbare Energien
- Bis 2015
 - 50% der ländlichen Stationen
- Bis 2020
 - 75% der ländlichen Stationen
 - 33% der städtischen Stationen

Quelle: <http://www.scientificamerican.com/article/cellular-towers-moving-to-solar-power/>

Inselbetrieb - El Hierro

- 100% regenerative Stromversorgung
- 11000 Einwohner
- 7 MW Spitzenbedarf
- Windkraftwerk
- „Batterie“: Stausee mit Pumpkraftwerk
- 82 Millionen Euro Kosten
- Strom wird 20 - 25% billiger
- Stromüberschuss: Meerwasser-Entsalzungsanlage + geplante Versorgung der Elektro-Fahrzeuge



Quelle: <http://www.publico.es/508780/el-hierro-primera- isla-autosuficiente-gracias-a-las-energias-renovables>

<http://www.heise.de/tr/artikel/Reif-fuer-die-Insel-2197963.html>

Aufgabe

- Berechnen Sie die Speicher-Kapazität des Stausees.

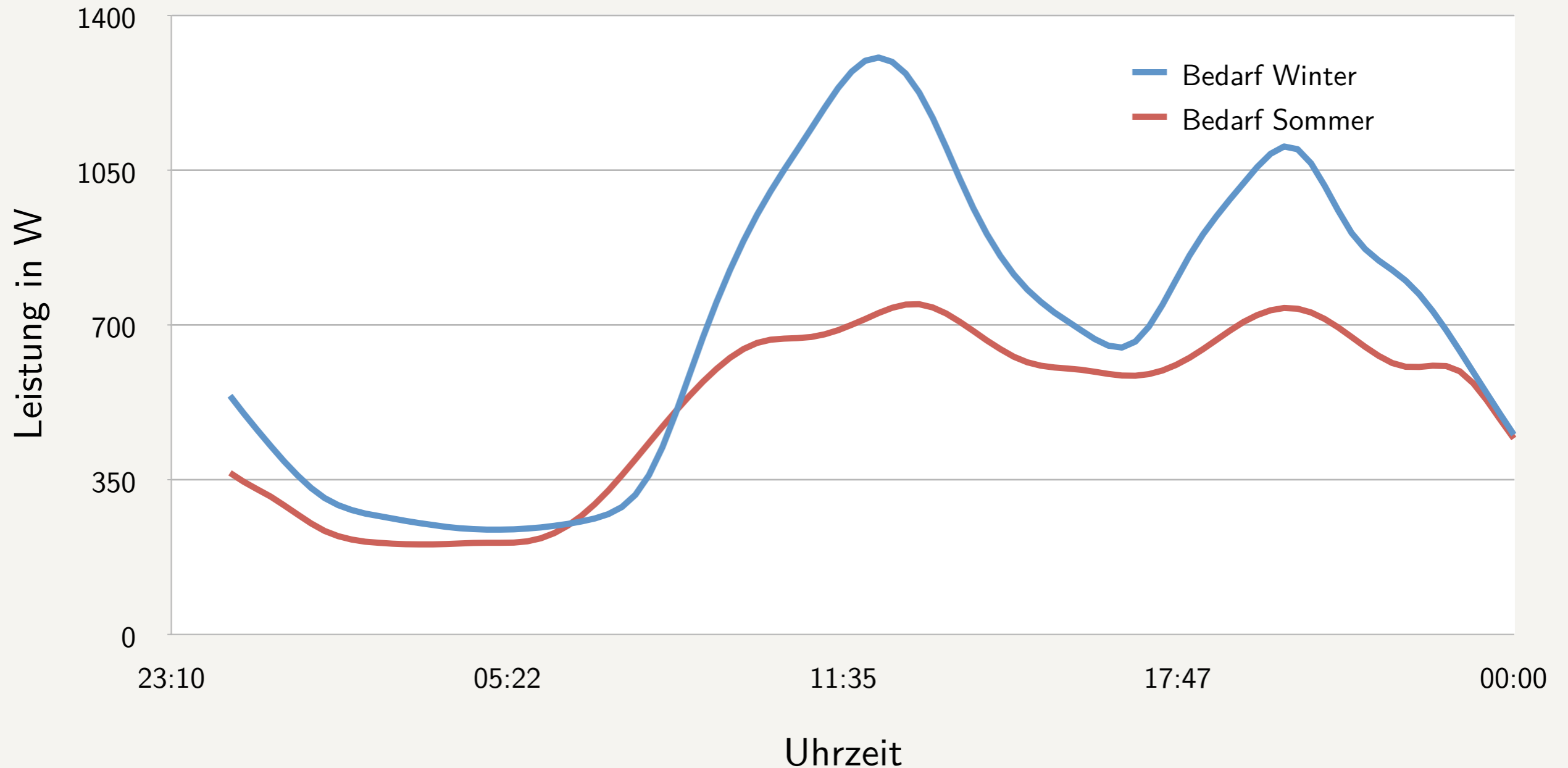
Eigenverbrauch

Standardlastprofil

- Wie bei der Heizkosten-Abrechnung gibt es für den Stromverbrauch vordefinierte Lastprofile.
- Diese werden von den Versorgern für die eigenen Prognosen gepflegt (s. Vortrag Strombörse)
- Ein Lastprofil erhält die abgerufene Energie in Wh für das gesamte Jahr in 15min-Intervallen ($8760 * 4 = 35040$ Einträge).

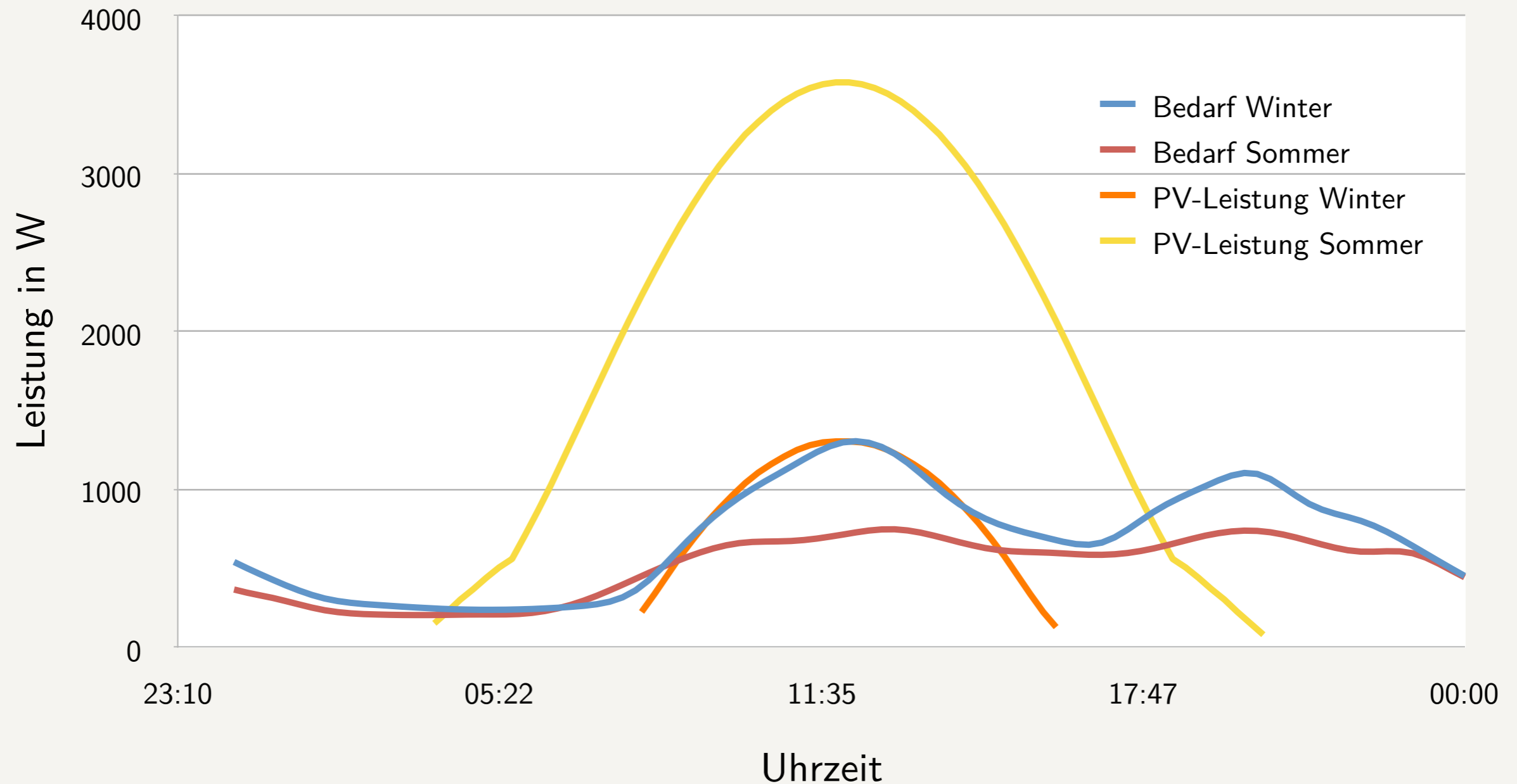
Lastprofile

Lastprofile H0



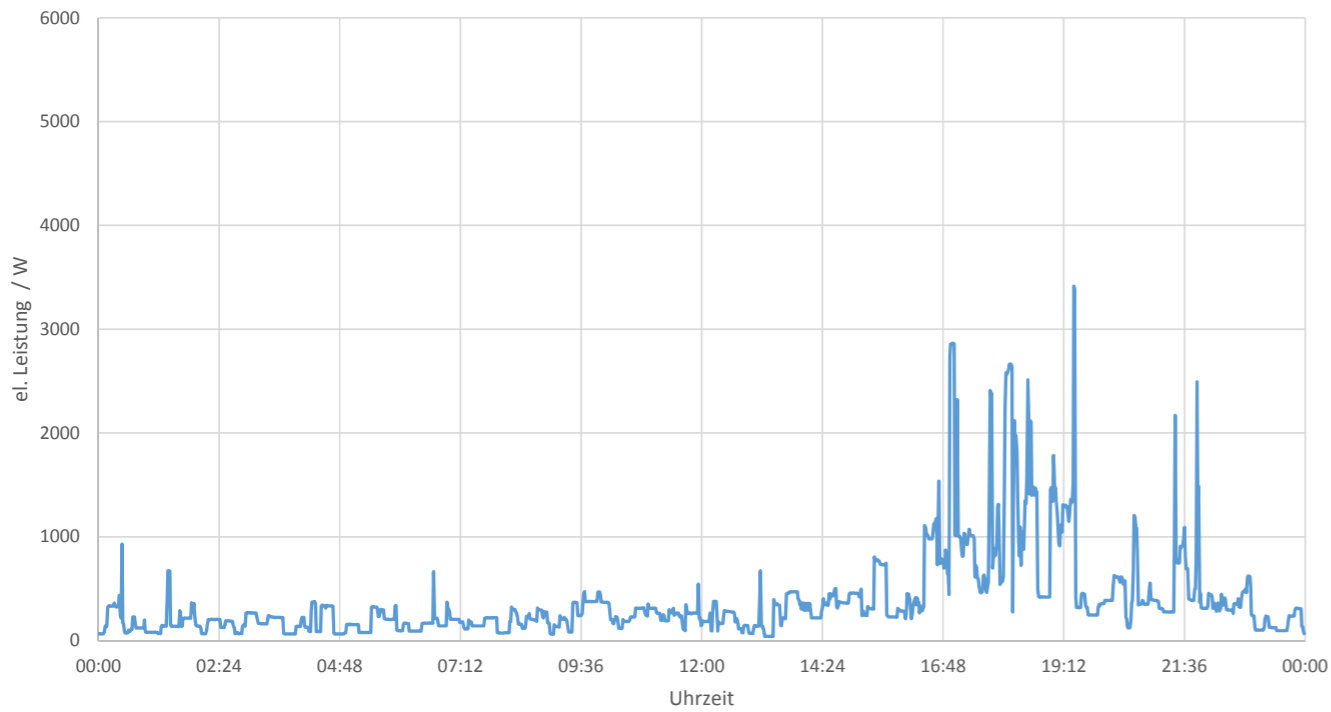
Last und Leistung

Lastprofile H0

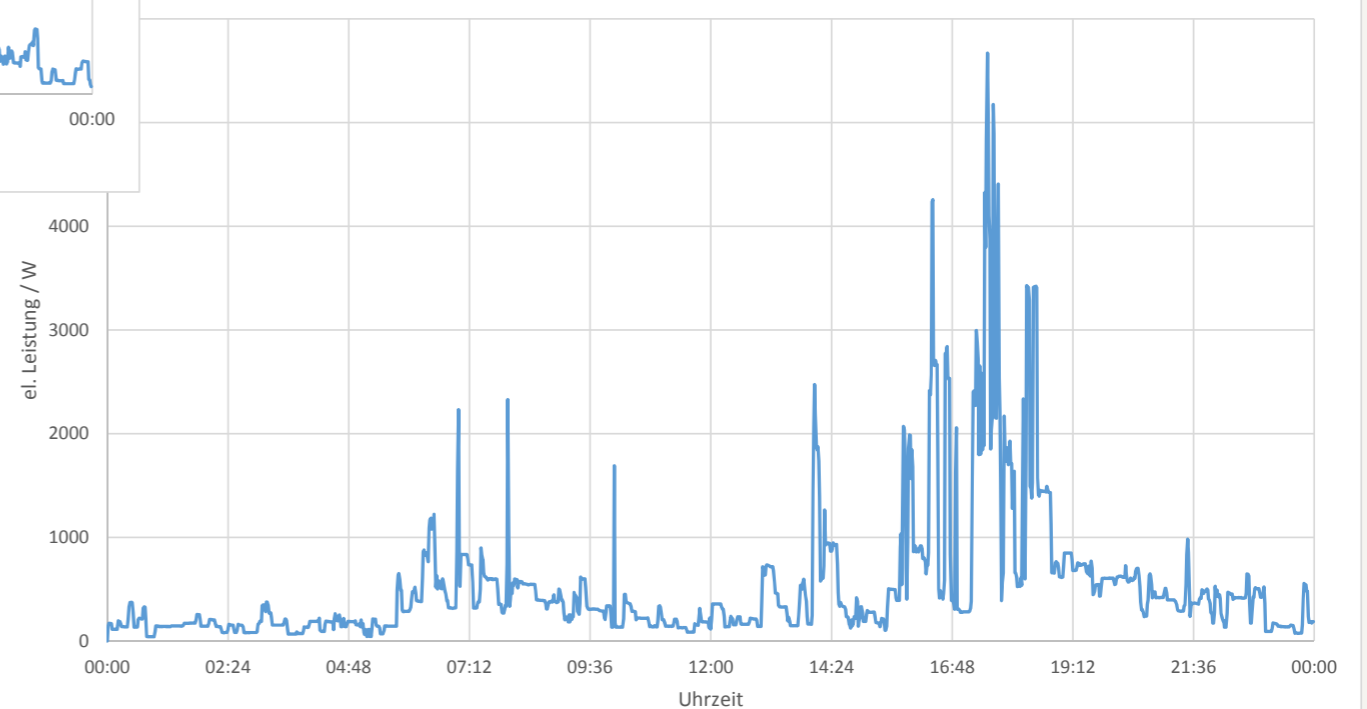


Lastprofile sekundengenau

Lastprofil - 20.06.2010



Lastprofil - 20.12.2010

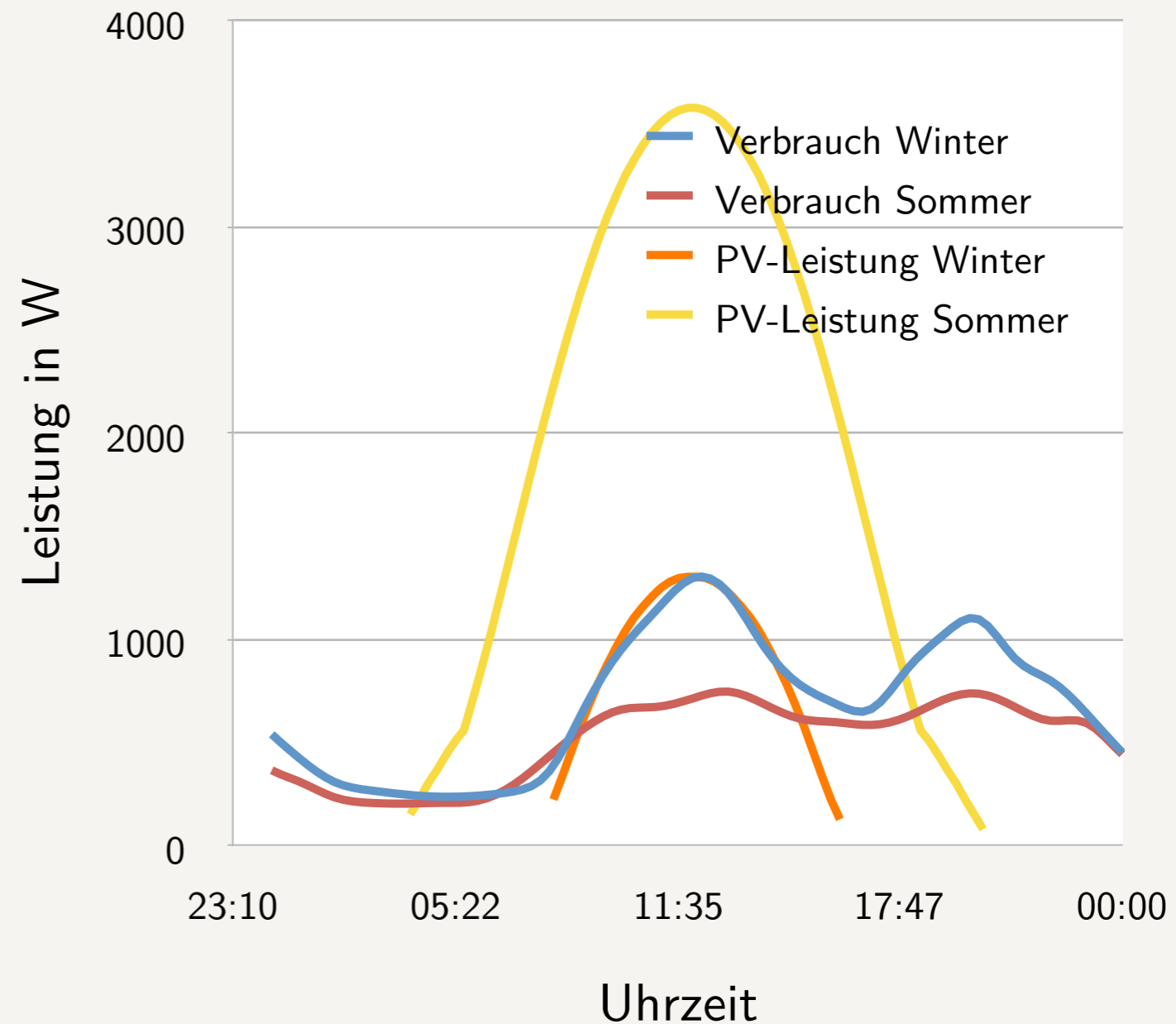


Last und Leistung

	Verbrauch in kWh	Ertrag in kWh
Winter	16.5	7.3
Sommer	12.3	32.2

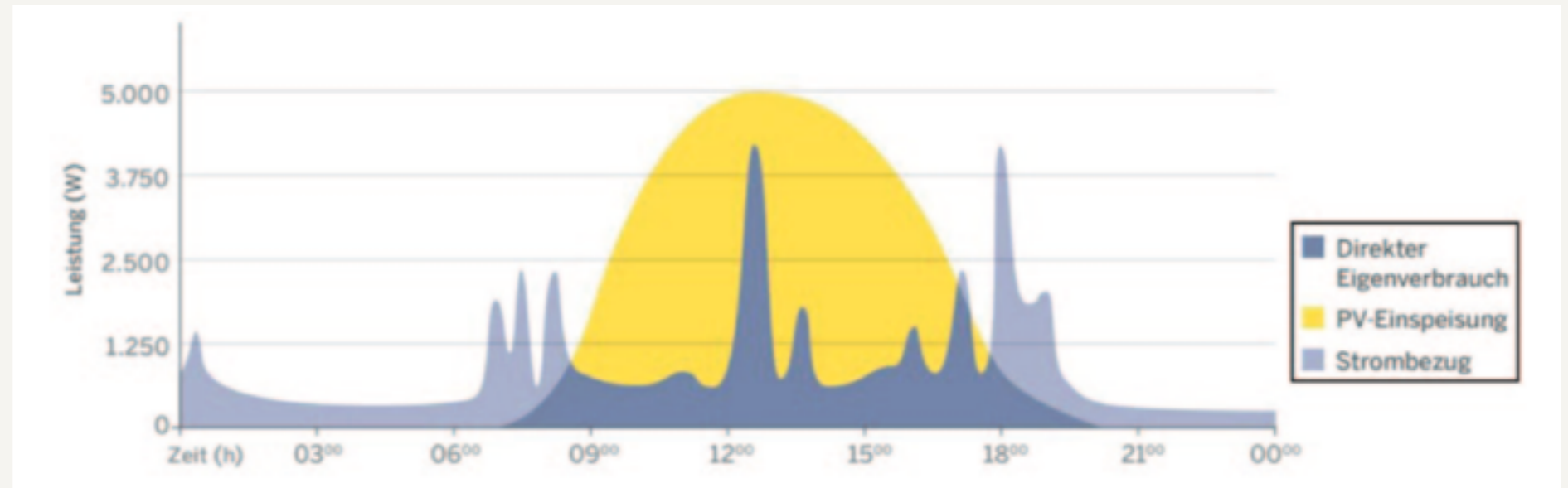
Die Werte entsprechen den Fläche unter den Kurven

Lastprofile H0

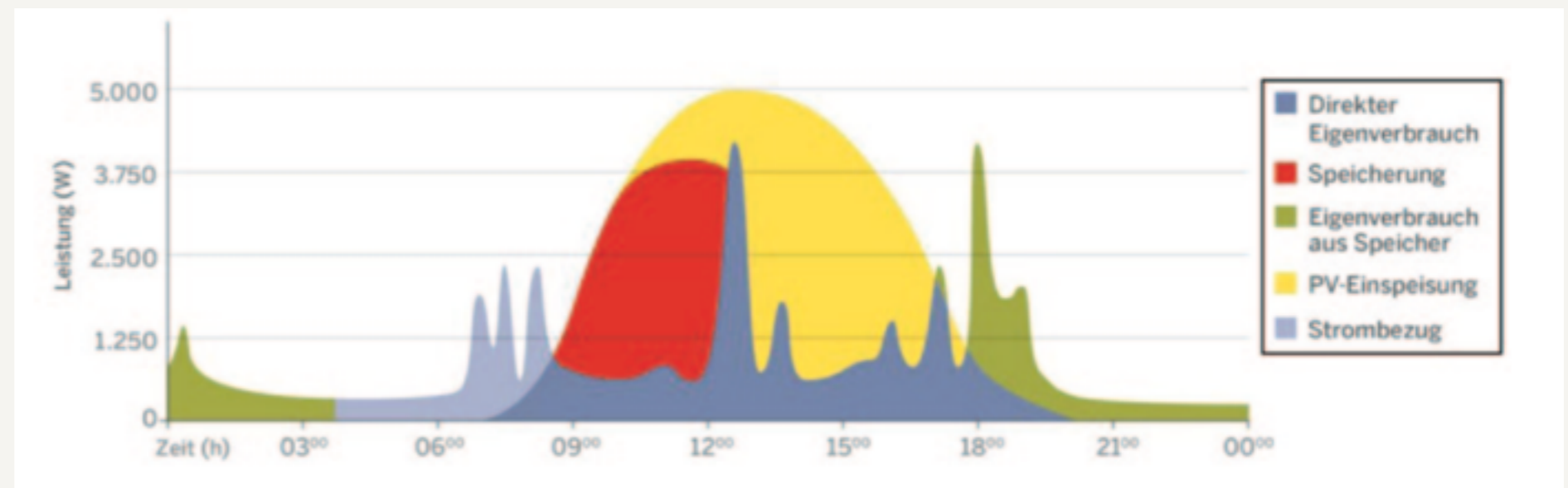


Eigenverbrauch

Ohne Speicher



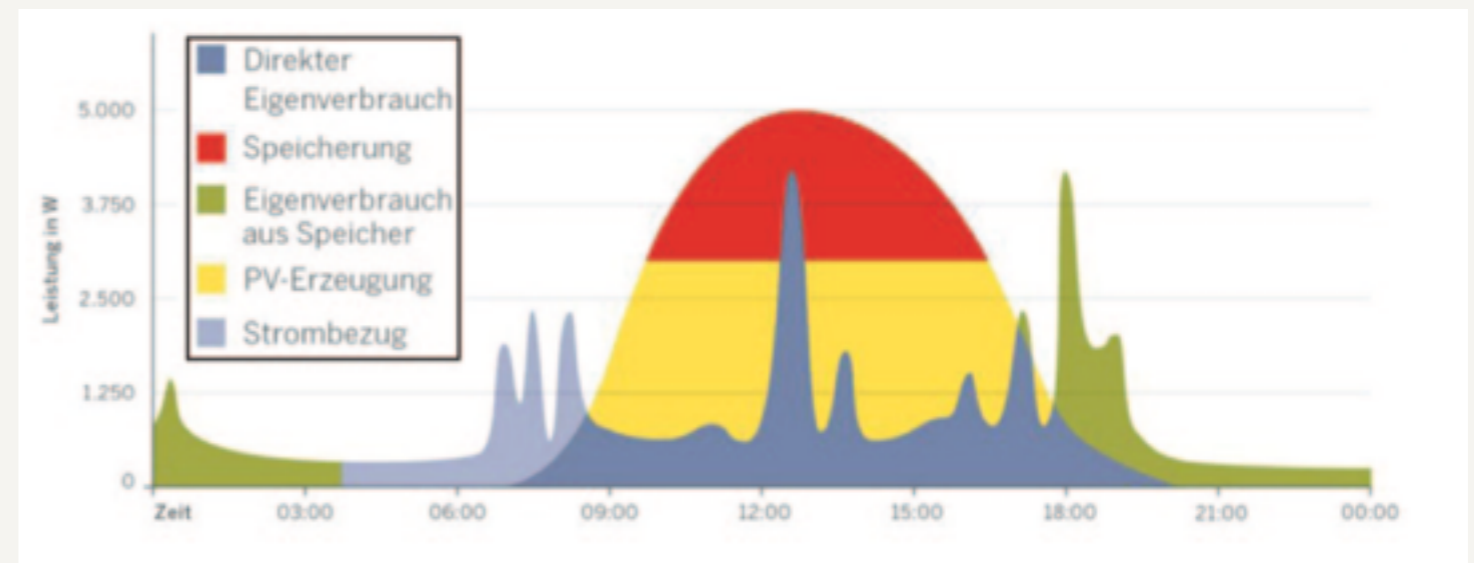
Mit Speicher



[Wagner & Siller 2013] <http://link.springer.com/article/10.1007/s00550-013-0295-y>

Netzdienlicher Eigenverbrauch

- Die maximale eingespeiste PV-Leistung wird bei (z.B.) 50% begrenzt.
- Dadurch wird die Mittagsspitze für die Netzbetreiber gedämpft.

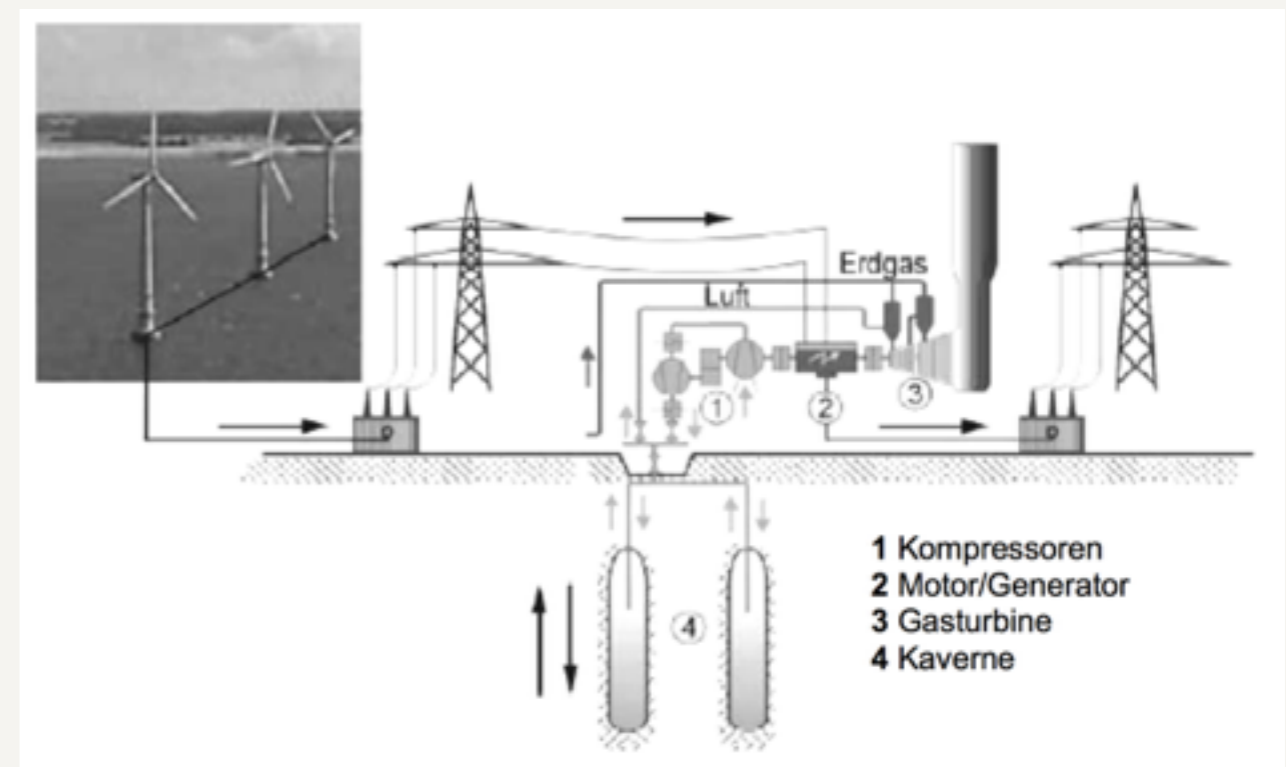


[Wagner & Siller 2013] <http://link.springer.com/article/10.1007/s00550-013-0295-y>

Druckluftspeicher

Druckluftspeicher

- Geringe Wirkungsgrade, da hohe Wärmeverluste auftreten.
- Selbst bei direkter Koppelung mit einer Gasturbine ist der maximale Wirkungsgrad ca. 55%, normalerweise viel weniger.
- Geringe Energiedichte (weil gasförmig) erfordert hohe Speicher-Volumina.



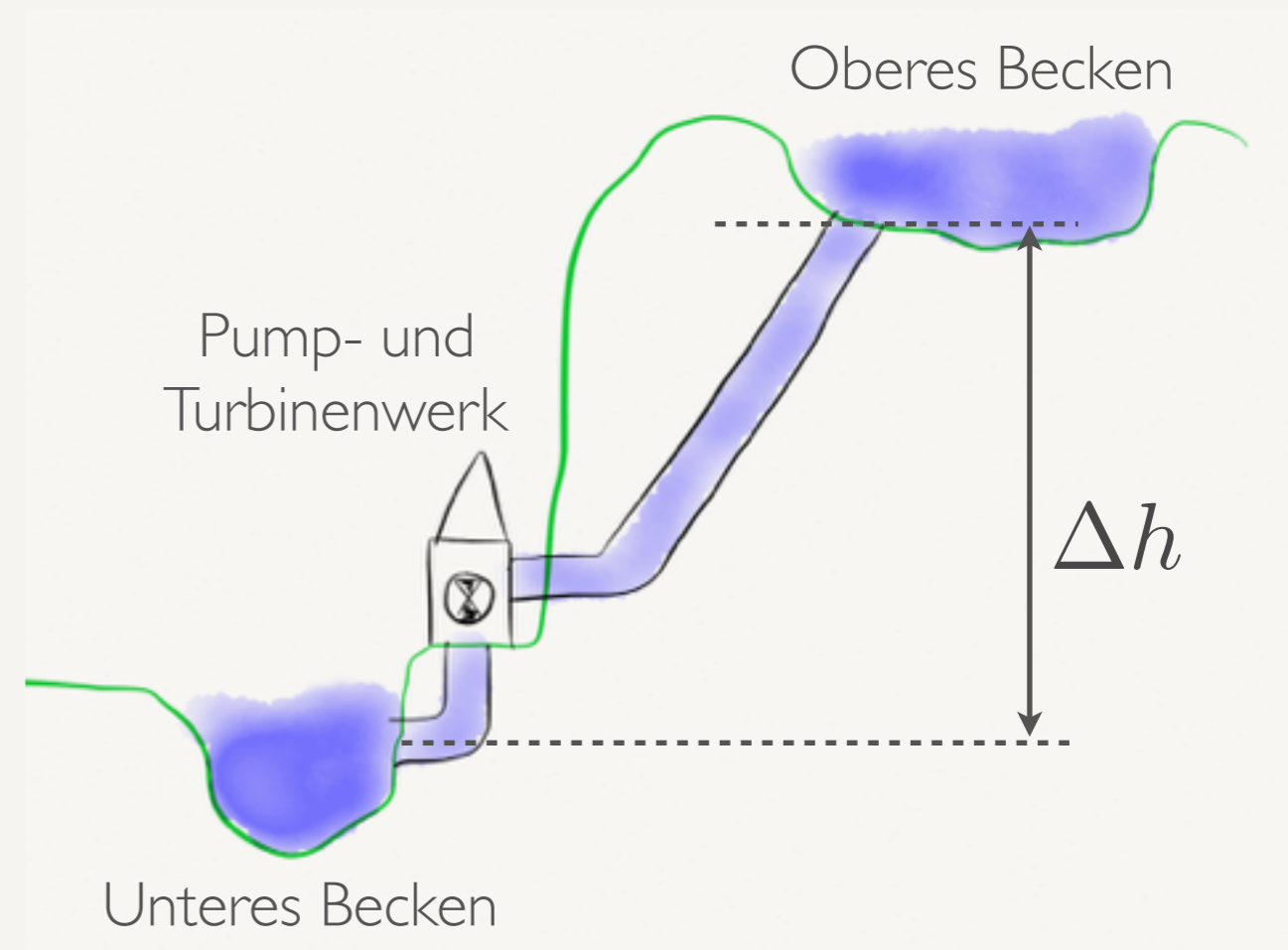
Konzept Kraftwerk mit Kavernenspeicher
[Sauer 2006]

Pumpspeicherwerk

Pumpspeicherwerke

- Potentielle Energie im Gravitationsfeld der Erde wird ausgenutzt.
- Zum Speichern wird Wasser vom Unter- ins Oberbecken gepumpt.
- Zum Entladen wird Wasser vom Ober- ins Unterbecken durch eine Turbine abgelassen.
- Wirkungsgrad von Pumpspeicherwerken ca. 80% [Popp, 2010]

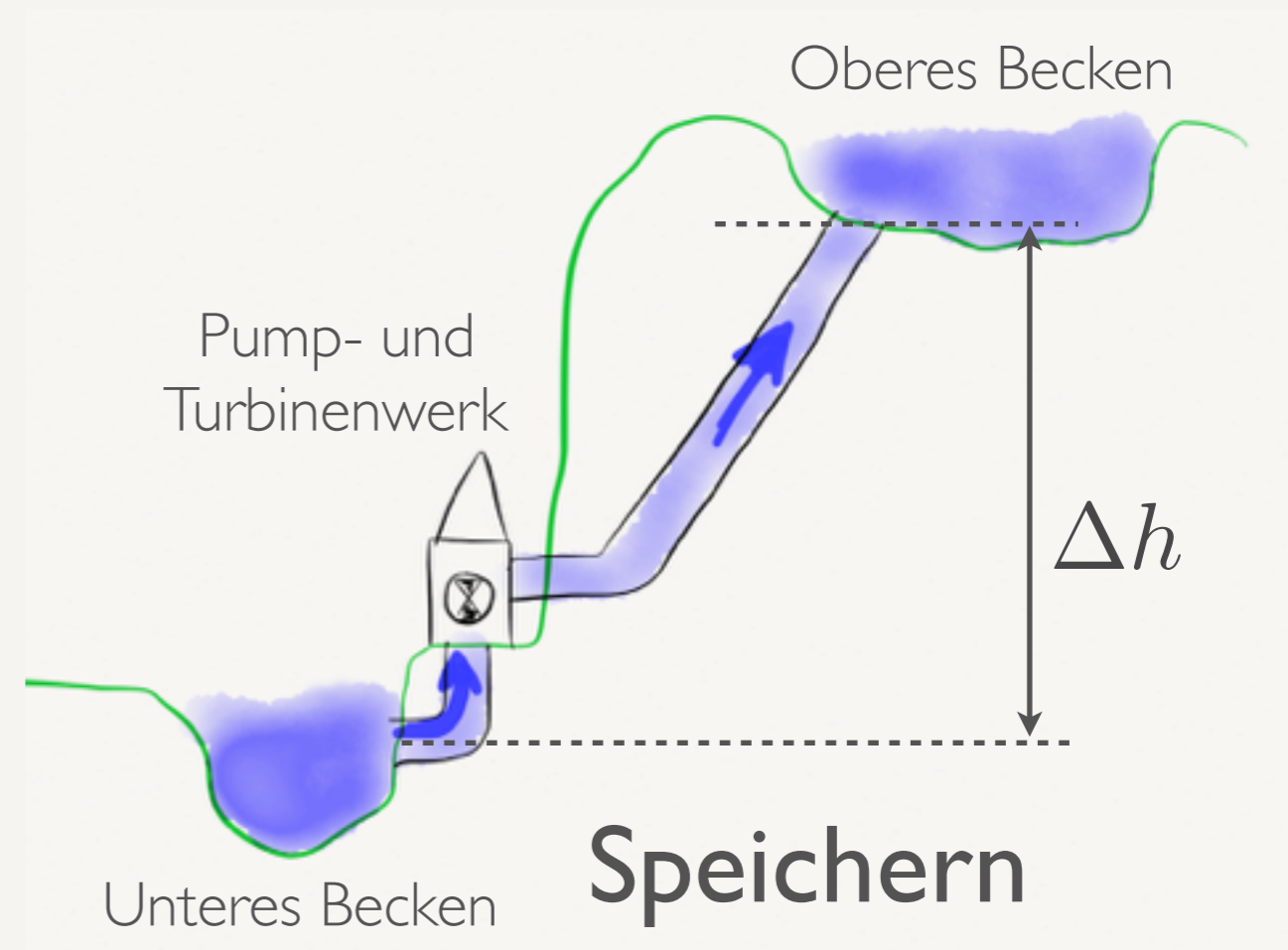
$$\Delta E = m \cdot g \cdot \Delta h$$



Pumpspeicherwerke

- Potentielle Energie im Gravitationsfeld der Erde wird ausgenutzt.
- Zum Speichern wird Wasser vom Unter- ins Oberbecken gepumpt.
- Zum Entladen wird Wasser vom Ober- ins Unterbecken durch eine Turbine abgelassen.
- Wirkungsgrad von Pumpspeicherwerken ca. 80% [Popp, 2010]

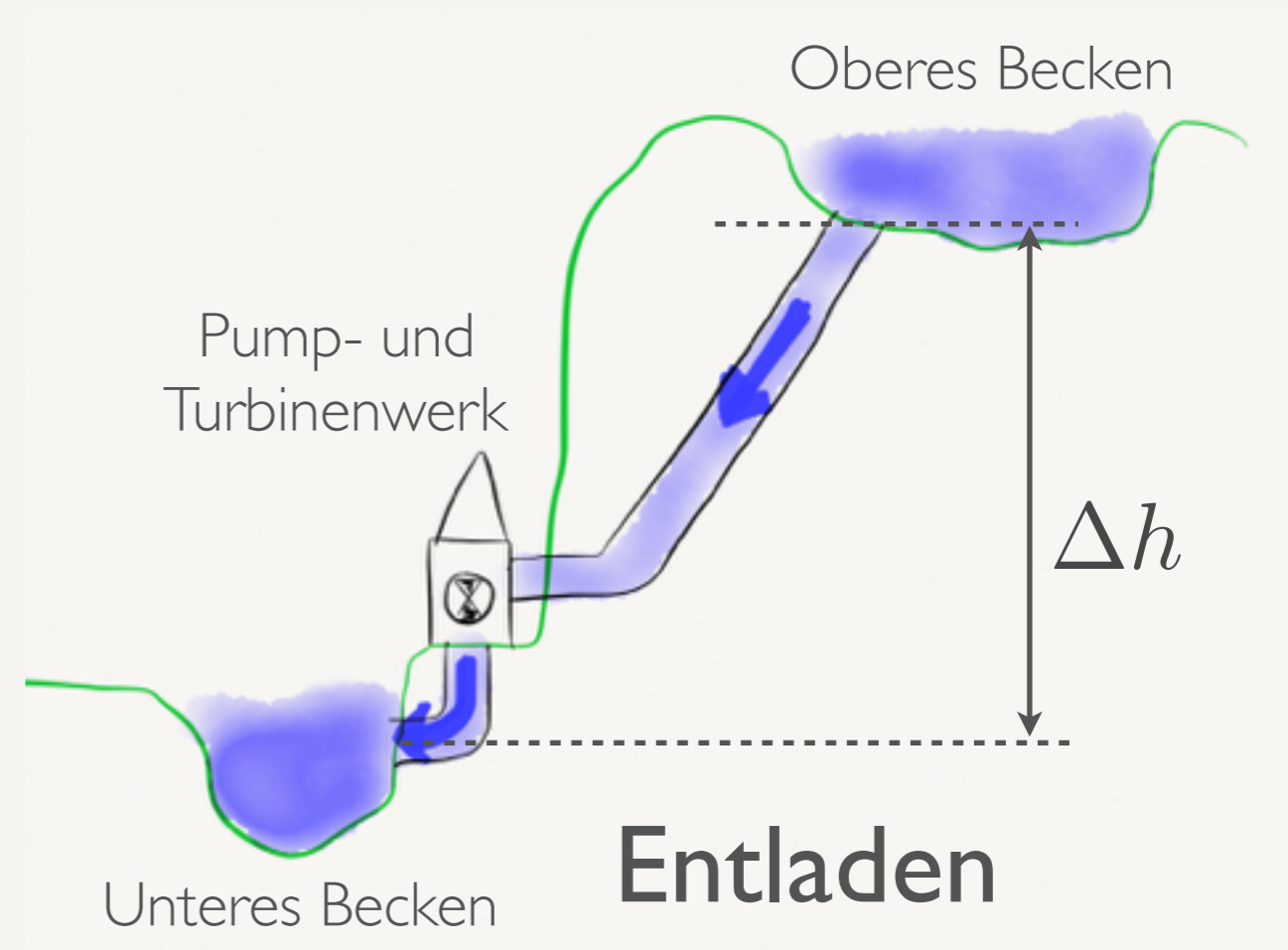
$$\Delta E = m \cdot g \cdot \Delta h$$



Pumpspeicherwerke

- Potentielle Energie im Gravitationsfeld der Erde wird ausgenutzt.
- Zum Speichern wird Wasser vom Unter- ins Oberbecken gepumpt.
- Zum Entladen wird Wasser vom Ober- ins Unterbecken durch eine Turbine abgelassen.
- Wirkungsgrad von Pumpspeicherwerken ca. 80% [Popp, 2010]

$$\Delta E = m \cdot g \cdot \Delta h$$



Goldisthal, Thüringen

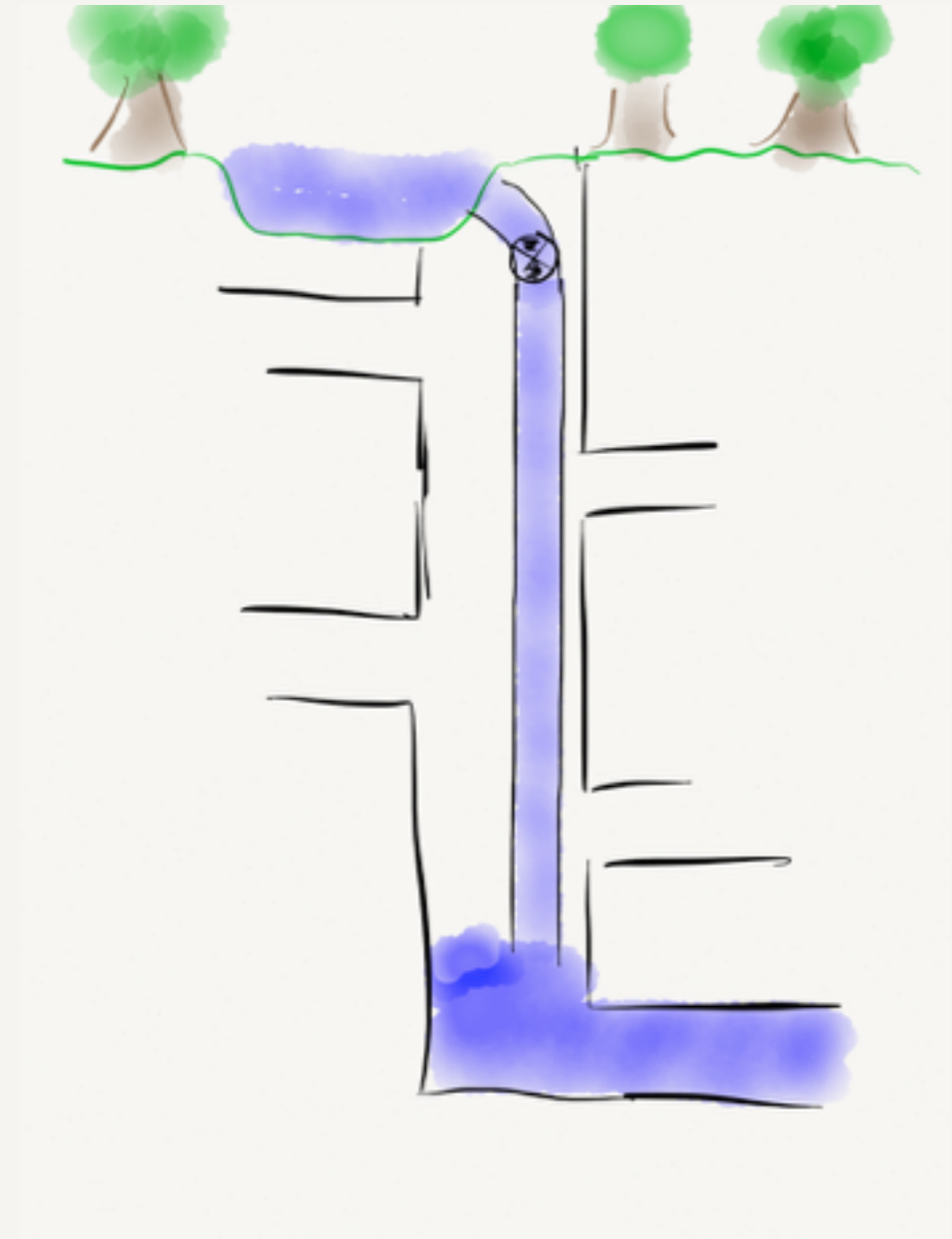
- Goldisthal:
 - ▶ 1 GW Leistung
 - ▶ 8h Speicher Vollast (!)
 - ▶ 12 Mio. m³ Nutzvolumen
 - ▶ Förderhöhe 300m



Quelle: <http://www.goldisthal.de/pumpspeicherwerk/>

Pumpspeicherwerk Untertage

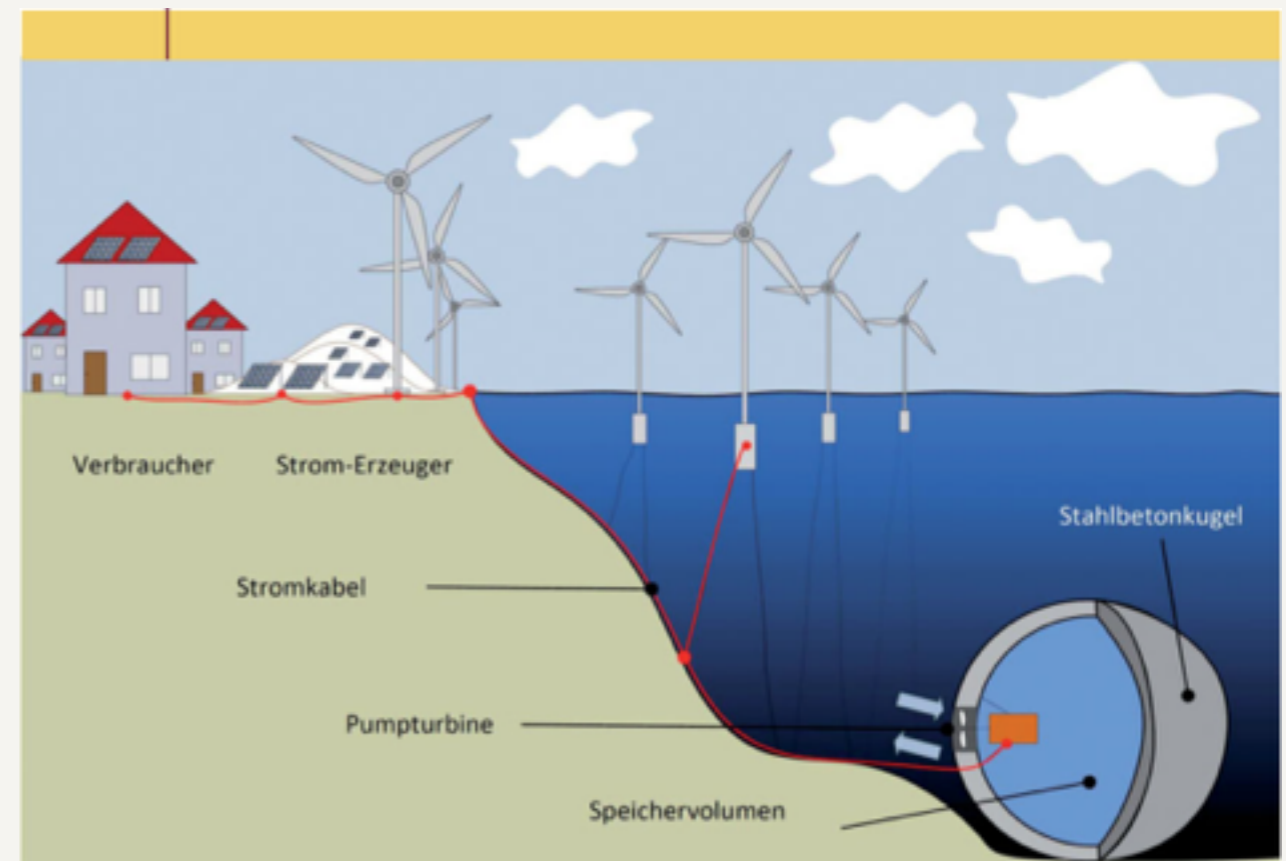
- Vorschlag zur Nutzung alter Bergwerke.
- Große Höhenunterschiede vorhanden ($> 1000\text{m}$!)
- Risiko: Stabilität der alten Stollen gewährleistet?



<http://www.spektrum.de/alias/unterirdische-pumpspeicher/das-kraftwerk-im-bergwerk/1224962>

Pumpspeicherwerk ‚unter Meer‘

- Ein Pumpspeicherwerk benötigt nur einen Druckunterschied.
- Vorschlag: große Betonkugeln in großer Tiefe versenken.
- 100m Innendurchmesser in 4000m Tiefe: 5GWh (!)



http://www.deutschlandradiokultur.de/meeresdruck-soll-turbinen-antreiben.1382.de.html?dram:article_id=197644

<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/piuz.201301330/abstract>

http://www.uni-saarland.de/fak7/fze/AKE_Archiv/AKE2011F/AKE2011F_Vortraege/AKE2011F_07SchmB_DasMeerei_PhiuZ2013nr4_5p.pdf

Speicherinsel

- Idee der belgischen Regierung, weil Belgien keine Berge hat.
- 10 m über Wasserspiegel
- 1.5 km x 2.5 km
- Kapazität 2 GWh



<http://www.spiegel.de/wissenschaft/technik/belgien-plant-kuenstliche-nordsee-insel-als-pumpspeicher-a-1041411.html>

Batterien

Elektrochemische Speicher

Interne
Speicher

Externe
Speicher

Primärzellen

Sekundärzellen
(Akkumulator)

Hochtemperatur-
Akkumulator

Brennstoff-Zelle

Alkali-Mangan

Blei-Säure

NaNiCl

Flow-Batterien

Zink-Luft

Lithium-Ionen

NaS

NiMH

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.

Überblick

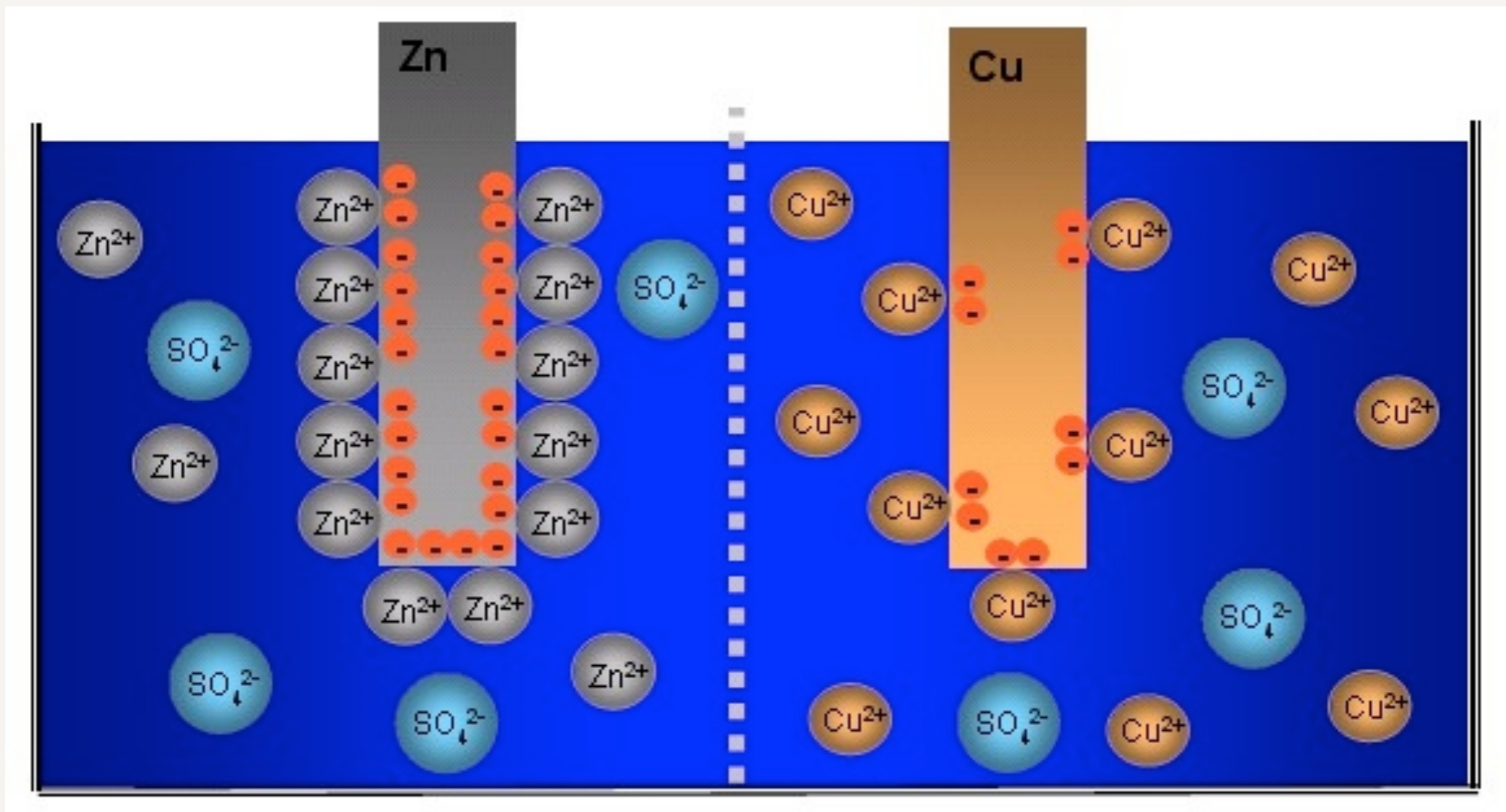
Interne Speicher

- 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

Galvanische Zelle

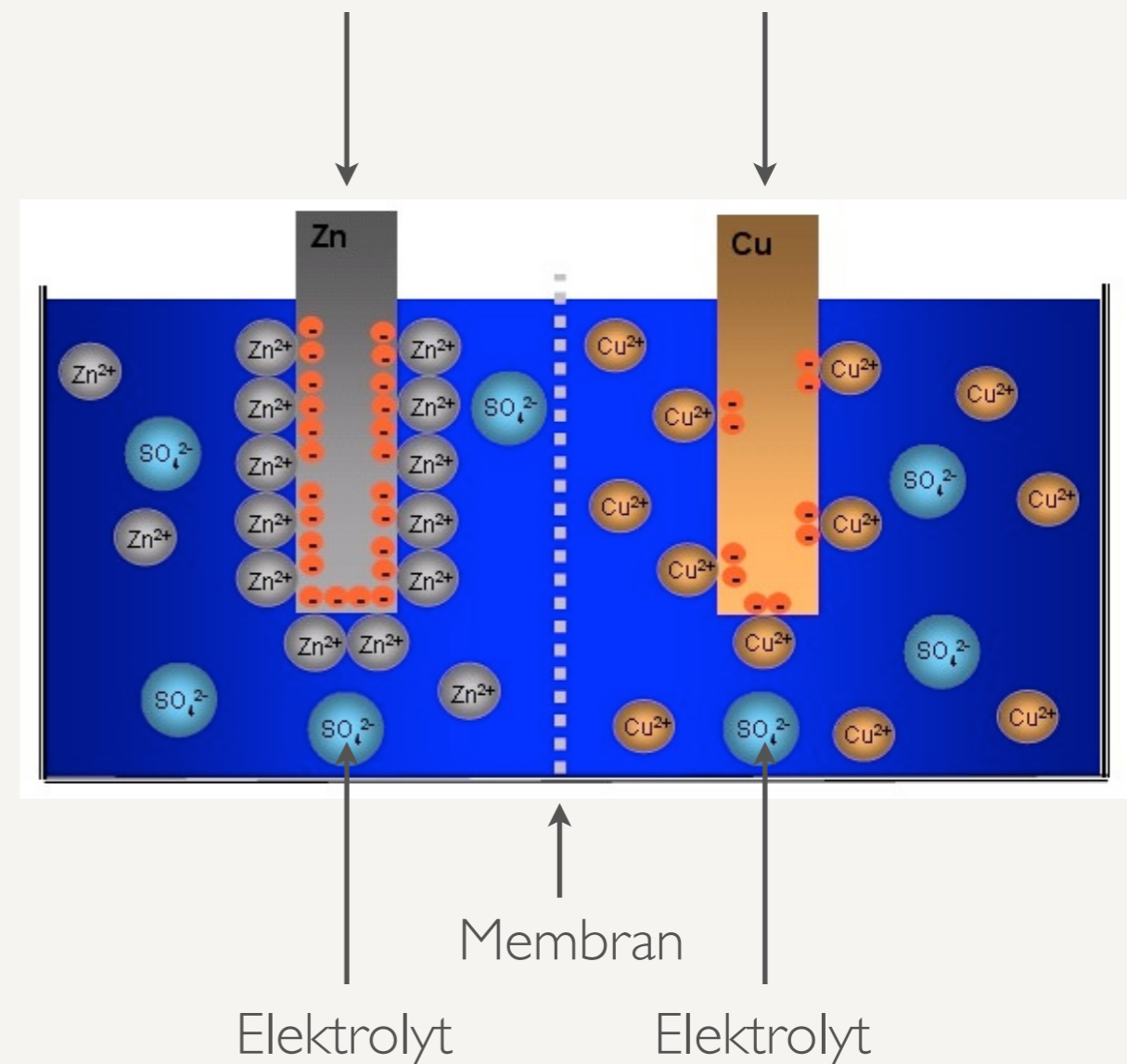


Quelle: <http://www.chempage.de/theorie/galvanischezelle.htm>

Galvanische Zelle

- Wandelt chemische Energie in elektrische um und umgekehrt.
- Redoxreaktion: ein Reaktionspartner gibt Elektronen an ein den anderen ab, d.h. ein Strom fließt.
 - ▶ Oxidation: Elektron abgeben
 - ▶ Reduktion: Elektron aufnehmen.
- In der galvanische Zelle laufen die beiden Reaktionen getrennt in zwei Halbzellen ab.
- Die Spannung zwischen den beiden Halbzellen hängt von den verwendeten Materialien ab.

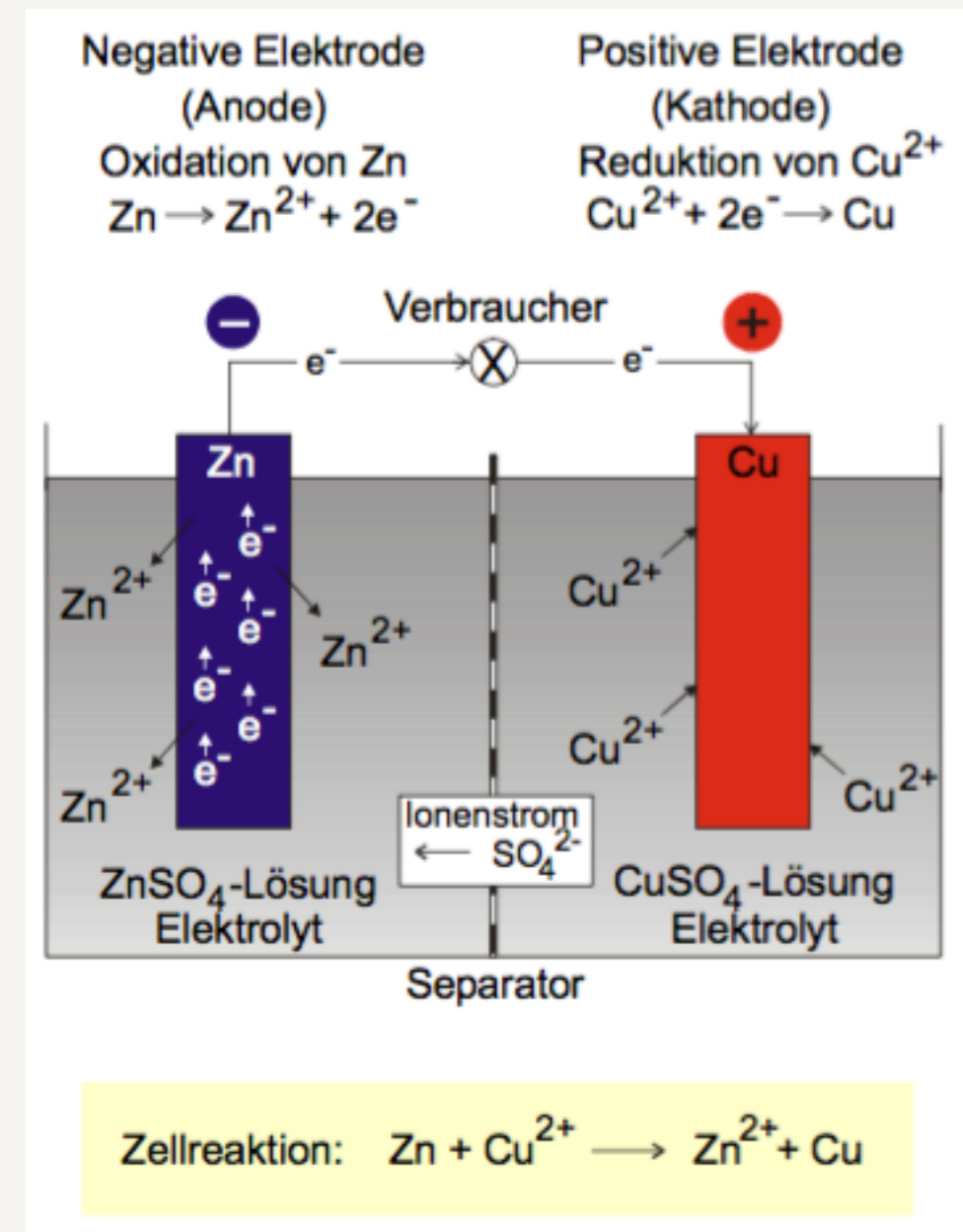
Zwei Elektroden aus unterschiedlichem Material



Quelle: <http://www.chempage.de/theorie/galvanischezelle.htm>

Literatur

- Sehr gutes Skript der TU Graz
- Praktikumsversuch Li-Ionen-Akku selber bauen
- Chemisches Praktikum

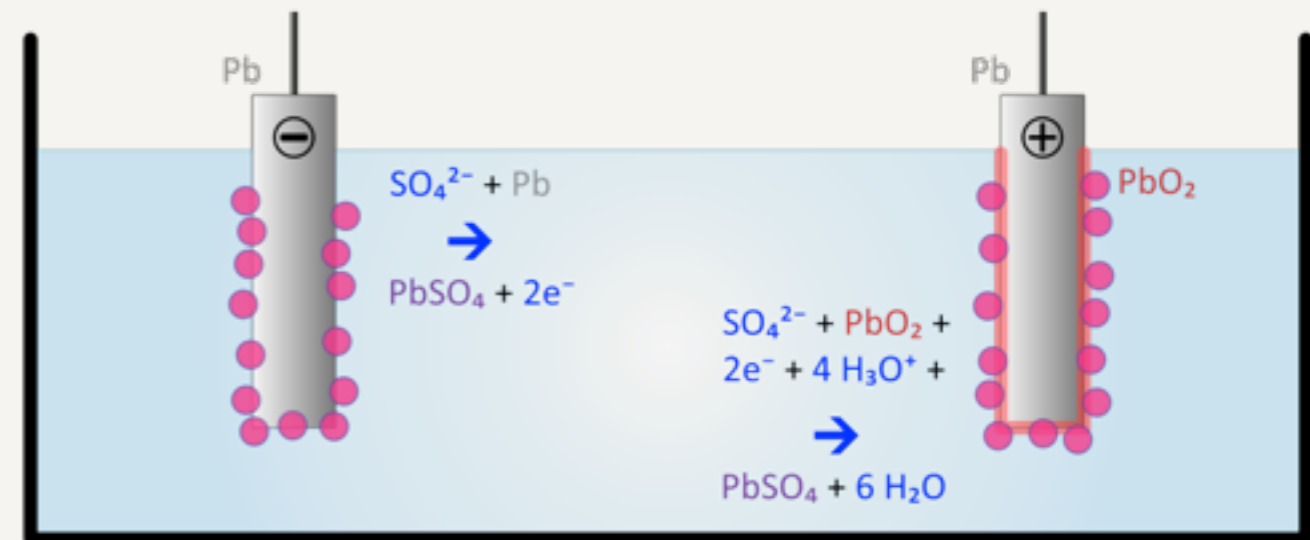


<http://www.ak-tremel.chemie.uni-mainz.de/ChiuZ/Script%20TU%20Graz%20Lithium-Batterien.pdf>

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)

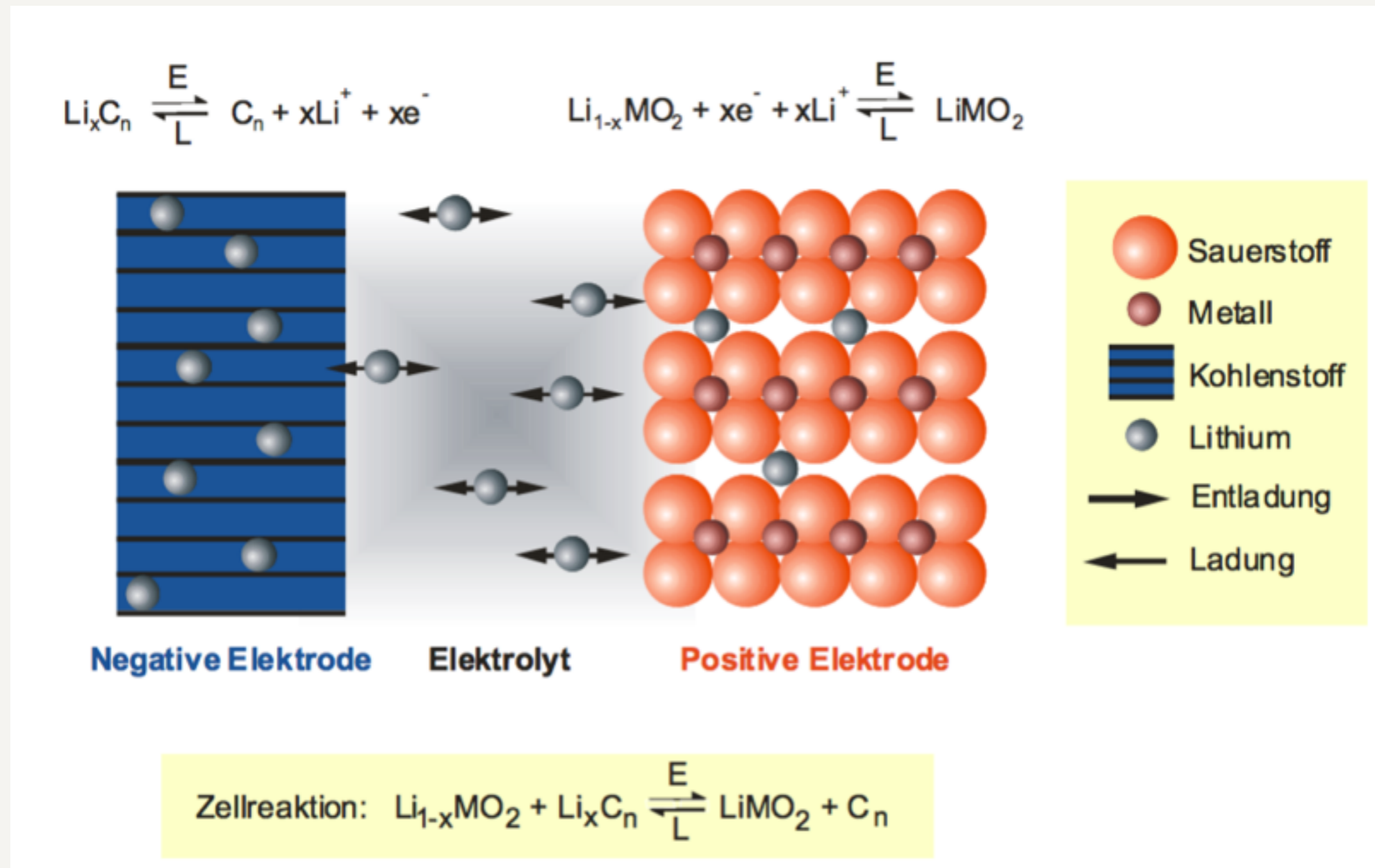
Bleiakkumulator: Entladevorgang



http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Bleiakkumulator_Entladevorgang.svg

Daten: [Sauer 2006]

Lithium-Ionen-Akkumulator



Lithium-Ionen-Akkumulator

- Sehr hohe Energiedichte (ca. 150 Wh/kg)
- Viele verschiedene Elektrolyte und Elektrodenkonfigurationen
- Hohe Zyklenzahl (5000 Zyklen)
- Reaktive Chemie benötigt sehr gute elektronische Regelung und Absicherung.
- Hohe Kosten, aber sehr dynamische Preisentwicklung
 - ▶ 2010 €500 / kWh
 - ▶ Jetzt ca. €200 / kWh (Quelle s. Link nächste Seite)

Spannende Links zum Lithium-Ionen-Speicher

Kostenvergleich mit Benzinern: ab wann gewinnt das Elektroauto?

<http://www.ingenieur.de/Themen/Elektromobilitaet/Lithium-Ionen-Akkus-bringen-Bewegung-in-Automobilmarkt>

<http://www.wiwo.de/unternehmen/auto/dramatischer-preisverfall-e-auto-batterien-daimler-und-evonik-suchen-partner-fuer-li-tec/8350860.html>

Neue Produktionstechnik:

<http://www.elektromobilitaet-praxis.de/akkutechnik/technologie-und-forschung/articles/429104/>

http://www.sekisuichemical.com/about/whatsnew/2013/1239025_17313.html

Gigafactory von Elon Musk (Tesla):

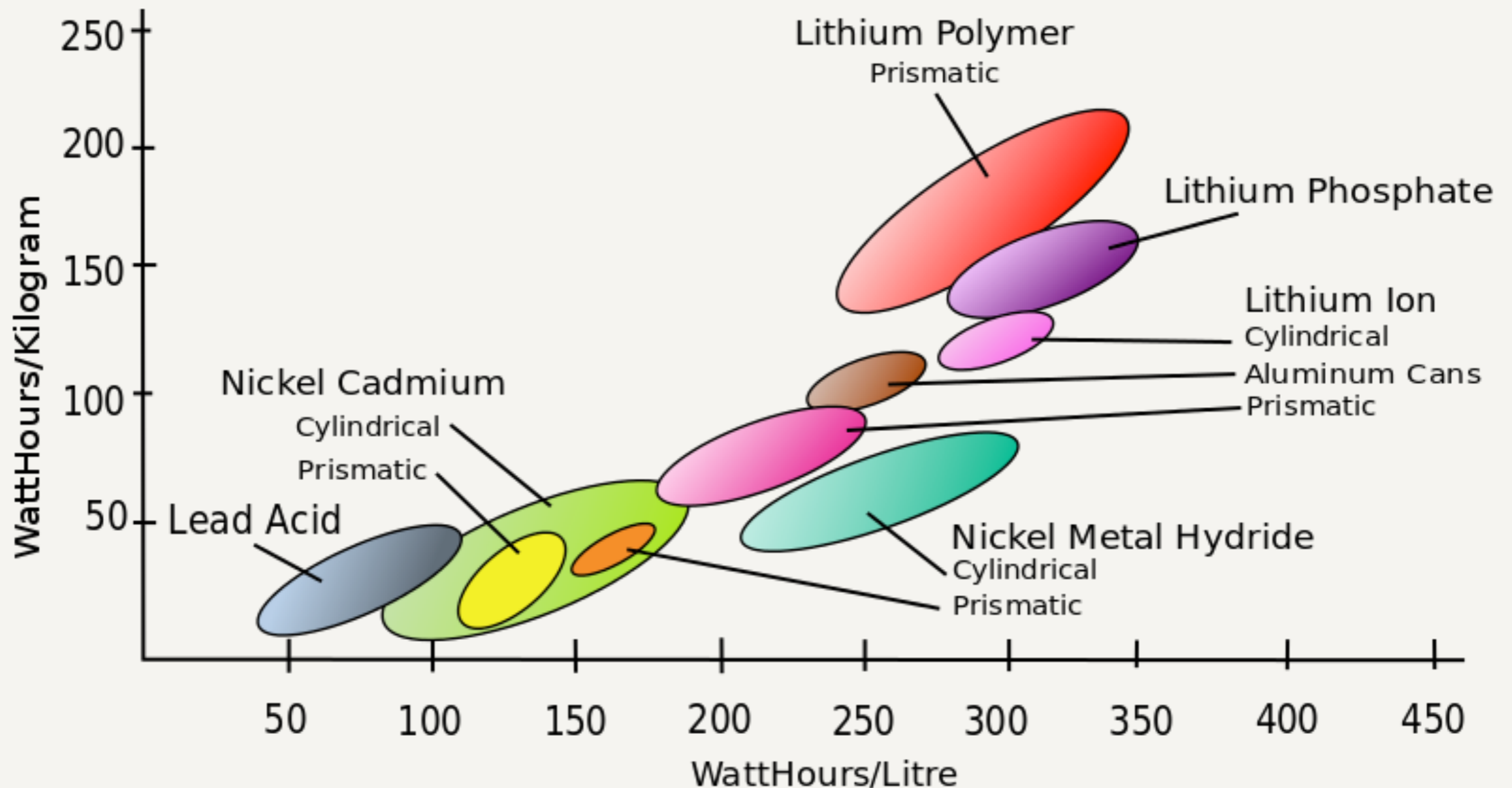
<http://www.zeit.de/mobilitaet/2014-02/tesla-fabrik-akku-batterien-aktien>

http://www.teslamotors.com/sites/default/files/blog_attachments/gigafactory.pdf

<http://www.heise.de/tr/artikel/Elon-Musks-Vision-von-der-Gigafactory-2171530.html>

Akkumulatoren

Energiedichte gravimetrisch und volumetrisch



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](#)