



Energiespeicher - eine Schlüsselkomponente der Zukunft

Rolf Clasen

● Übersicht Energiespeicher

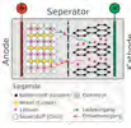
● Wasserstoff

● Batterien

● Wärmespeicher

● Zusammenfassung

www.uni-saarland.de/fak8/powdertechn ⇒ Lehre



Energieformen

		Umformung	Transport		Speicherung
1	mechanisch	begrenzt	Rollen	+	pot./kinet. Energie +
2	elektrisch	sehr gut	Kabel	++	Kondensator -
3	thermisch	schlecht	Fernwärme	o	Isoliergefäß +
4	chemisch	gut	Rohre	++	Behälter ++
5	Kernenergie	nur über 3	Risiko	--	Risiko --
6	Strahlung	begrenzt	Transmission	+	schlecht --

Maßeinheiten

1 Ws = 1 J (1 cal = 4,166 Ws)
ab 1. 1. 1978 verboten

1 kWh = 3,6 MJ

1 kg StkE = 29,3 MJ (Steinkohleeinheiten)

1 kg Rohöleinheit (RÖE) = 41 868 kJ

1 m³ Erdgas = 31 736 kJ = 8,816 kWh

1 barrel Öl = 159 L

Faktor Abkürzung

10³ k kilo

10⁶ M mega

10⁹ G giga

10¹² T tera

10¹⁵ P peta

Speicherbecken (Fiesch, Schweiz)



Pumpspeicherkraftwerk Koepchenwerk bei Herdecke



Leistung 153 MW, $\eta = 75\%$
Fallhöhe 145-165 m
Becken 1 600 000 m³

Quelle: Wikipedia

Pumpspeicherkraftwerk Koepchenwerk, Oberbecken



Quelle: Wikipedia

Chemische Energiespeicher

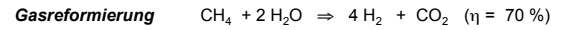
Es gibt vielfältige Formen der chemischen Energiespeicher:

- Biomasse (Holz, Ölsaaten, Getreide,....)
- Öl, Gas
- Wasserstoff
- Elektrochemische Systeme (Batterien, Akkus)

Die bekannten Stromspeicher erfordern eine Umwandlung von chemischer \Leftrightarrow elektrische Energie

Herstellung Wasserstoff

Verfahren zur Herstellung von Wasserstoff:



Wasserspaltung elektrolytisch ($\eta = 60\text{...}80\%$)



thermisch (800...1000 °C)

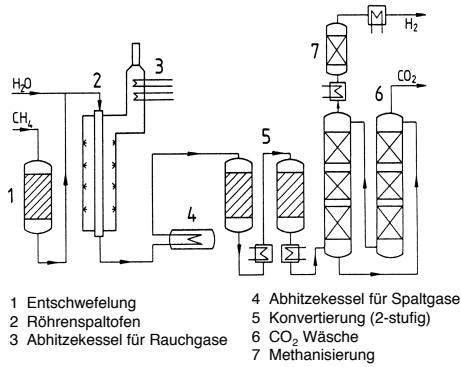
Bakterien

Umsetzung von Biomasse (typ. Wirkungsgrad 1 %)

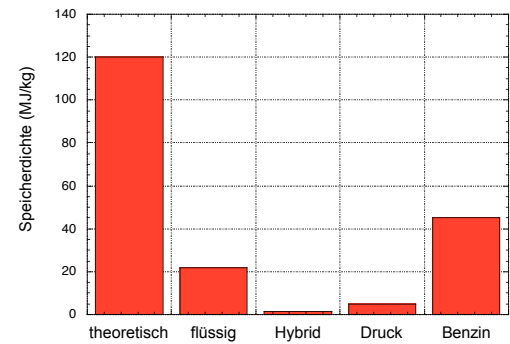
Algen

Unter Sonneneinstrahlung können Algen Wasserstoff abspalten, jedoch schlechter Wirkungsgrad ($\ll 10\%$)

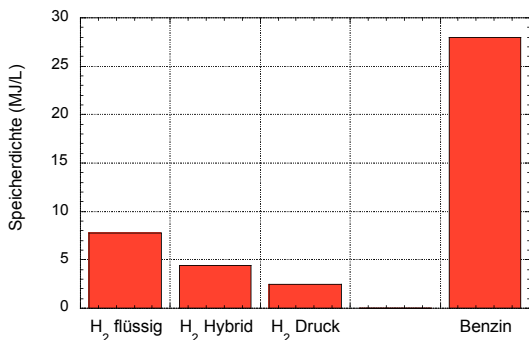
Schema der Dampfreformierung von Erdgas



Speicherdichte Wasserstoff (Masse)



Speicherdichte Wasserstoff (Volumen)



H₂ Tankstelle in Reykjavik



Batterien - Akkus

Batterien sind im Zeitalter der Elektronik zum unverzichtbaren Bestandteil bei allen mobilen Anwendungen geworden.

Akkus sind wiederaufladbar (⇒ geregelte Ladegeräte).

- sehr guter Wirkungsgrad

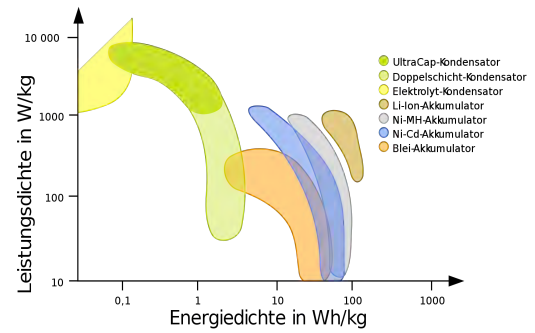
aber

- begrenzte Anzahl von Ladezyklen
- Abfall Kapazität und Selbstentladung

Beispiele für Akkus:

- Blei
- NiCd
- NiMH
- Li-Ionen/Polymer

Leistungsdichten

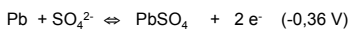


Quelle: Wikipedia

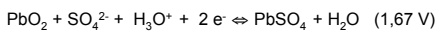
Blei-Akku

Der Bleiakku ist seit 1850 bekannt und heute die klassische „Fahrzeug-batterie“, weitere Einsatzgebiete sind Notstromversorgungen, Solar-speicherbatterien und Elektrofahrzeuge.

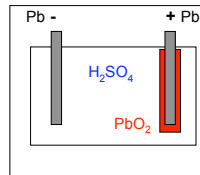
Negativer Pol (-):



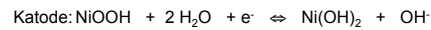
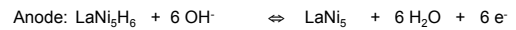
Positiver Pol (+):



Der Bleiakku wird heute in geschlossener Form (mit Sicherheitsventil) hergestellt. Bei Blei-Gel Akku wird die Schwefelsäure durch Kieselsäure gebunden (Innenwiderstand höher).



NiH Akku

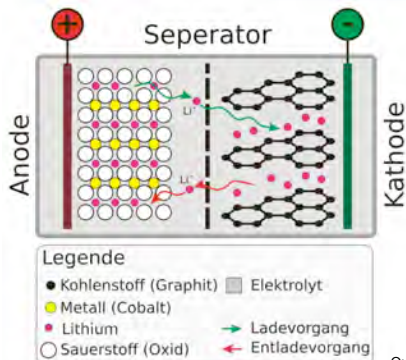


Typische Leistungsdaten und Verwendung

- . Zellen-Klemmenspannung: 1,2 - 1,3 Volt
- . Lebensdauer in Ladezyklen: 1.000 bis 1.500 (2.000)
- . Verwendbar in Umgebungstemperaturen: -15°C bis +40°C
- . Typische Energiedichte: 50 - 60 (70) Wh/kg (theoretisch ca. 300 Wh/kg)
- . Typische volumetrische Energiedichte: 170 - 250 Wh/l
- . Typische Leistungsdichte: 100 - 200 W/kg
- . Typische Selbstentladung: innerhalb 1 Monat ca. 20 - 50%

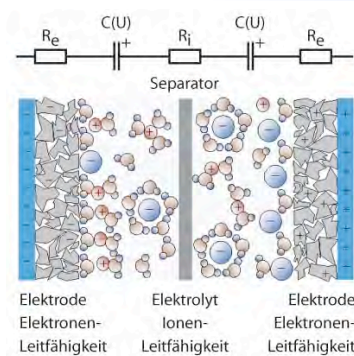
Quelle: Akku-Lexikon

Li-Ionen Akku



Quelle: Wikipedia

Ultrakondensator



Anforderungen Batterien

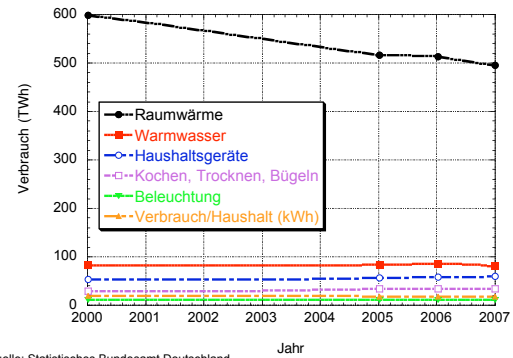
Die Anforderungen an die Batterien

- Lade/entladezyklen
- Lade/Entladezeit
- Sicherheit

sind je nach Anforderungen sehr unterschiedlich:

- mobile elektrische Verbraucher (Laptop, Handy,...)
- Elektroauto
- stationäre Speicher: Netzpuffer, Wärmepumpen Haus, Ladespeicher Batterie Elektroauto

Anwendungsbereiche Haushalte



Quelle: Statistisches Bundesamt Deutschland

Energieautarkes Haus Philips Forschungslabor Aachen 1975



Quelle: Philips Forschungslaboratorium Aachen GmbH

Wärmespeicher

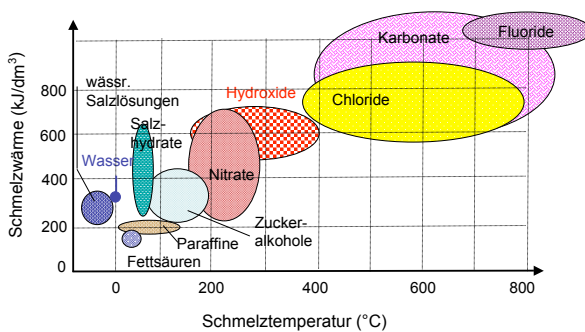
Methoden der Wärmespeicherung:

- feste oder flüssige Materialien mit hoher spezifischer Wärme (z. B. Granit mit 0,89 kJ/kg K)
- Materialien mit einem Phasenübergang im Einsatzbereich (PCM – Phase Change Materials)

Zwei Systemprinzipien:

- aktive Systeme \rightarrow Speichermedium oder ein Trägermedium übernehmen den Wärmetransport
- passive Systeme \rightarrow Speichermedium wird nur von der Umgebung be- und entladen

Schmelzwärmen von Materialien



Latentspeicher mit Umwandlungen von fest - fest

Material	Formel	Übergangstemperatur (°C)	Übergangswärme (kJ/dm³)
Vanadium-tetraoxyd	V ₂ O ₄	72	208,6
Silberselenid	Ag ₂ Se	133	193,7
Eisensulfid	FeS	138	231

Latentspeicher mit Umwandlungen von fest - flüssig

Material	Formel	Schmelzpunkt (°C)	Schmelzwärme	
			(kJ/kg)	(kJ/dm ³)
Wasser	H ₂ O	0	334,9	305,5
Calciumnitratetetrahydrat	Ca(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O	42	152,8	288,7
Natriumhydroxyoctalhydrat	NaOH·8 H ₂ O	64	272,1	472
Natrium	Na	98	116,3	117,4
Ammoniumthiocyanat	NH ₄ CNS	146	260,5	337,2
Natriumhydroxyd	NaOH	300	225,6	465,7
Natriumchlorid	NaCl	810	493,1	763,8

Feststoffe als Energiespeicher

Stoff	C_p (kJ/kg K)	ρ (kg/m ³)	l (W/m K)	b (W $\sqrt{s/K m^2}$)	a (m ² /s)
Kupfer	0,419	8300	370	36.000	107
Stahl	0,502	7800	14,7	7590	3,75
Granit	0,89	2750	2,9	2700	1,18
Schamott	0,84	1700...2000	0,5...1,2	1100	0,35...0,7

Materialien: Sinnvolle Einsatzformen

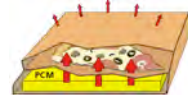
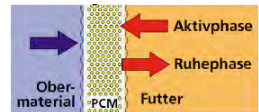
Schlicker:

- Suspension mikroverkapselter PCM in Wasser
- pumpfähiges Fluid
- Wärmespeicherkapazität durch Mischungsverhältnis einstellbar



Einsatzgebiete: Alltag

- Taschenwärmer
- Kleidungsstücke mit integrierten mikroverkapselten PCM
- Wärmespeicher für Lebensmitteltransport



Mittelwerte für die globale Sonneneinstrahlung (kWh/m²·a)

Ort	Globalstrahlung	direkter Strahl
Albuquerque	3250	2630
Almeria	3107	2580
Nizza	2405	1790
Rom	2280	1664
Athen	2268	1622
Stuttgart	1729	1167
Zürich	1653	1089
Hamburg	1497	970

Anforderungen

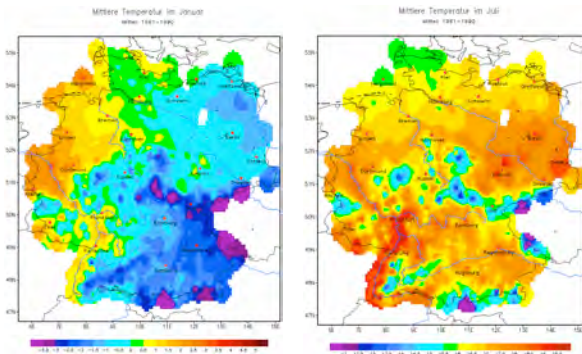
Typischer Energieverbrauch Haushalt pro Jahr 20 000 kWh
 Wärme 17 500 kWh
 Strom 2 500 kWh

Energieverbrauch Auto:
 20 000 km/a, 5 L/100 km \Rightarrow 1000 L Dieseldiesel \approx 12 200 kWh

Sonne	AM 1,5	1 000 kWh/m ² ·a
\Rightarrow Strom ($\eta > 15\%$)		17 m ²
\Rightarrow Wärme \Rightarrow Strom ($\eta > 30\%$)		9 m ²
\Rightarrow Wärme ($\eta = 80\%$)		22 m ²
\Rightarrow Biodiesel ($\eta = 1\%$)		1 200 m ²
\Rightarrow Elektroauto (4 000 kWh, $\eta > 30\%$)		13 m ²

52 m² reichen (theoretisch) aus, wenn das Speicherproblem gelöst werden kann.

Vergleich mittlere Temperaturen Januar - Juli



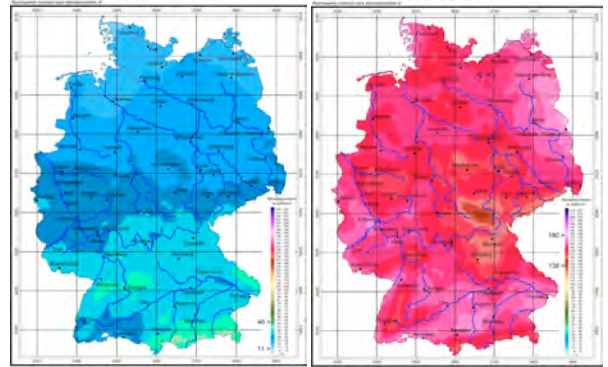
Quelle: www.klimadiagramme.de



Universität des Saarlandes

Lehrstuhl für Pulvertechnologie von Glas und Keramik

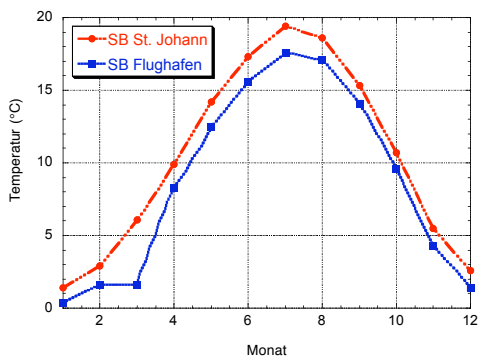
Globalstrahlung Deutschland 2009, Januar und Juli



Saarland University
D-66123 Saarbrücken, Germany

Department of Powder Technology

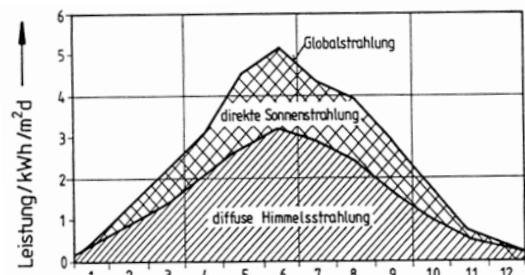
Mittlere Monatstemperaturen 1961-1990



Universität des Saarlandes

Lehrstuhl für Pulvertechnologie von Glas und Keramik

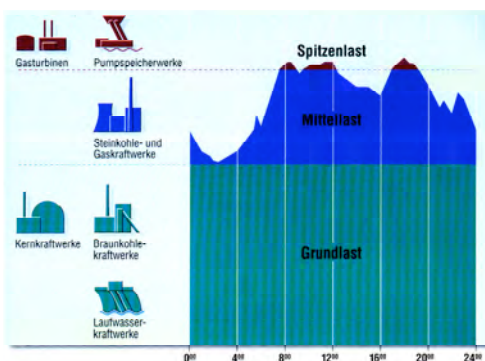
Tagesverlauf Solarstrahlung



Universität des Saarlandes

Lehrstuhl für Pulvertechnologie von Glas und Keramik

Netzbelastungskurve (Beispiel)



Universität des Saarlandes

Lehrstuhl für Pulvertechnologie von Glas und Keramik

Speicher für regenerative Energien

Verfügbarkeit Energie ⇔ Verbraucher Anforderung

Das Energiemanagement mit dem Abgleich der Verfügbarkeit und der Anforderung der Verbraucher ist entscheidend.

⇒ keine back-up Kraftwerke für regenerative Energiequellen

Mobile und stationäre Speicher

- kurze Zyklen
- Tageszyklen

Stationäre Speicher

- Jahreszyklen



Universität des Saarlandes

Lehrstuhl für Pulvertechnologie von Glas und Keramik

Parabolrinnen-Solarkollektor Almeria DLR



Bild: DLR, Stuttgart



Universität des Saarlandes

Lehrstuhl für Pulvertechnologie von Glas und Keramik

Latentwärmespeicher Almeria DLR



Bild: DLR, Stuttgart



Universität des Saarlandes

Lehrstuhl für Pulvertechnologie von Glas und Keramik

Windenergie



Quelle: Siemens

Offshore:

- Transport
- Speicherung



Universität des Saarlandes

Lehrstuhl für Pulvertechnologie von Glas und Keramik

Zusammenfassung

Energiespeicher sind für regenerative Energien eine Schlüsselkomponente

Was sollte man tun?

- Energieverbrauch senken
- Energiemanagement an Verbraucherverhalten bzw. Randbedingungen koppeln
- Forschung, insbesondere im Bereich Elektrochemie
- Bei Amortisationsrechnungen von einem stetig steigenden Energiepreis ausgehen



Universität des Saarlandes

Lehrstuhl für Pulvertechnologie von Glas und Keramik

