



Stationäre Batterien in Photovoltaikanlagen: Energieanalysen und Kostenbetrachtungen

Prof. Dr. Heinrich Häberlin

Berner Fachhochschule

Technik und Informatik

Fachbereich Elektro- und Kommunikationstechnik

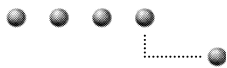
Photovoltaik-Labor

Tel. 034 426 68 11, Fax 034 426 68 13

CH-3400 Burgdorf / SCHWEIZ

Internet: www.pvtest.ch

e-Mail: heinrich.haeberlin@bfh.ch



Wieviel Solarstrom erträgt das Stromnetz ?

**Prinzip des
Netzverbund-
betriebs von
Photovoltaik-
Anlagen**
**(Pfeile = Energie-
flussrichtungen).**

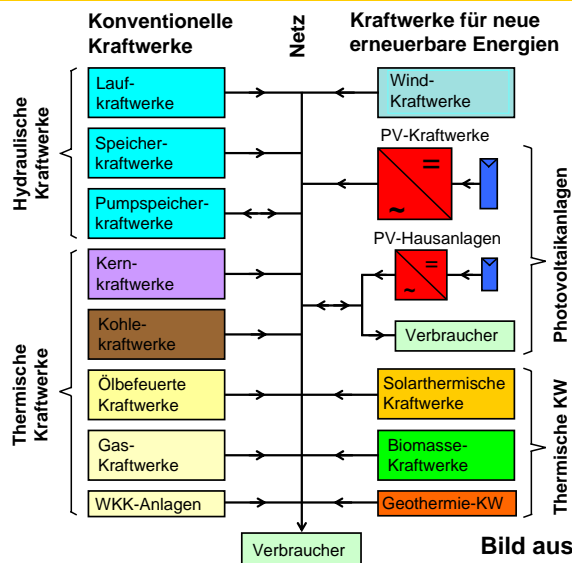
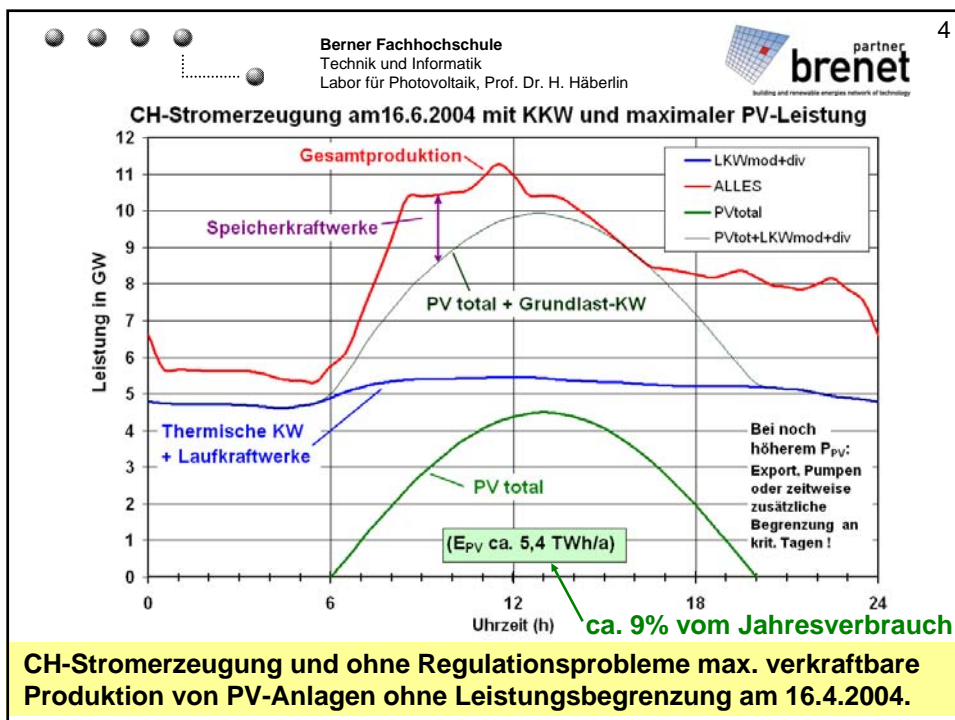
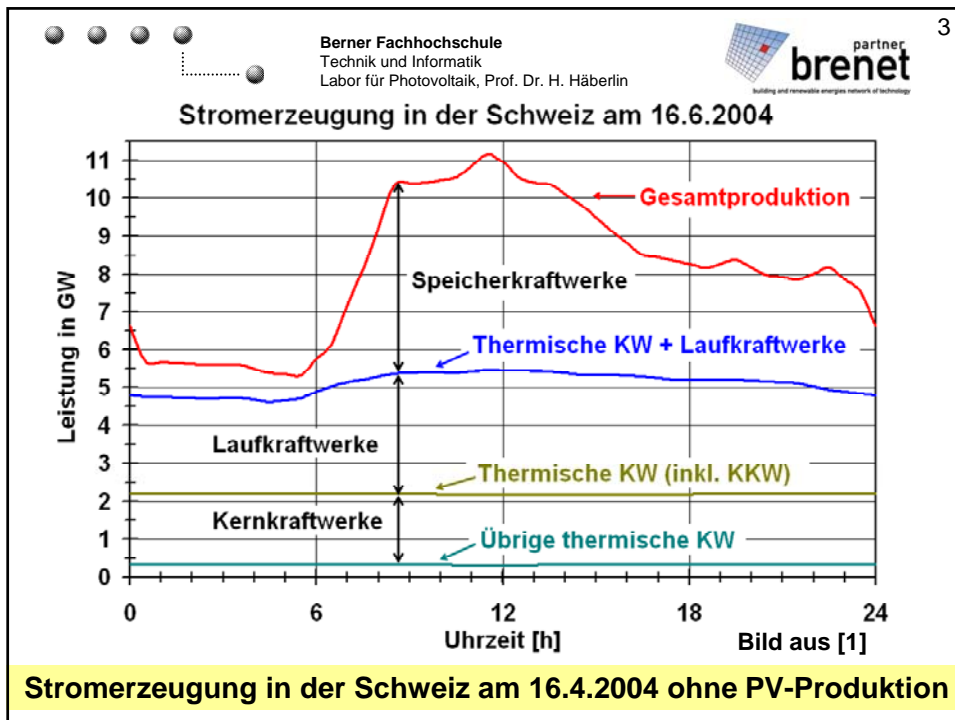


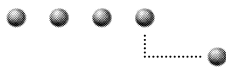
Bild aus [1]





Für noch höhere Energiemengen aus Photovoltaik und Wind:

- Speicherung (**Pumpspeicherwerke** (einige h bis einige 100h), **Kurzzeitspeicherung (einige h) in Akkus**, Druckluftkraftwerke)
- Produktion von Wasserstoff, bei Bedarf mit Brennstoffzellen wieder in Strom umwandelbar (Energiewirkungsgrad relativ tief!)
- Intelligentes Lastmanagement:
Lastverschiebung bei Lasten, die im Energiebezug flexibel sind (z.B. Kühlanlagen, Wärmepumpen mit Speichern, **Elektromobile**)
- Verstärkter internationaler Energieaustausch in Europa (irgendwo in Europa scheint die Sonne tagsüber immer!)
⇒ Netzausbau und mehr Hochspannungsleitungen nötig.
- Globales elektrisches Verbundnetz mit Hochspannungs-Gleichstromübertragung HGÜ (irgendwo scheint die Sonne immer!) (Tag-Nacht-Ausgleich West-Ost, saisonaler Ausgleich Nord-Süd)
⇒ Netzausbau und mehr Hochspannungsleitungen nötig.
- **Projekt Desertec:** PV, CSP, Wind, Biomasse, Geothermie



Kurzzeitspeicher (einige h) auf Akkumulatorenbasis

(z.B. Pb, NiCd, NaS, Li-Ionen, Vanadium-Redox-Flow)

Leistungsbereich bis einige 10 MW,
Energiespeicherkapazität bis 200 MWh

Energetischer Zykluswirkungsgrad des Speichersystems
(AC-Energie ⇒ Akku ⇒ AC-Energie) etwa 70% bis 80%.

Probleme bei Akkuspeichern:

- Akkus altern bei jedem Zyklus
 - Anzahl Zyklen und Entladetiefe beschränkt
 - Viel Energie (graue Energie) für Akkuherstellung nötig
- ⇒ **Für nachhaltiges System muss die durch Zyklisierung verlorene graue Energie mitberücksichtigt werden!**

Entsprechende Angaben von Akkuherstellern fehlen meist.



Aus einer Studie von Rydh (1999) für Pb-Akkus [2]:

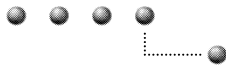
Speichervermögen 450 kWh, pro Tag mit 150 kWh zyklert, 5 Jahre so betrieben, energetischer Zyklenwirkungsgrad 75%.

Bei Berücksichtigung der durch diese Zyklierung vernichteten grauen Energie beträgt der energetische Zyklenwirkungsgrad:

Bei Verwendung von 50% rezykliertem Blei: 66%

Bei Verwendung von 99% rezykliertem Blei: 68%

**Dies bedeutet, dass effektiv für die Ladung und Akku-
produktion zusammen etwa 50% mehr Energie erforderlich
ist, als später entnommen werden kann!**



Mögliches Szenario für die Schweiz [1]:

**2'000'000 Fahrzeugen mit (teilweisem) Elektroantrieb
durchschnittliche Speicherkapazität 10 kWh**

Anschlussleistung 4 kW pro Fahrzeug

Für Netzregulation verfügbare Speicherkapazität 4 kWh

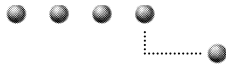
⇒ Bei Bedarf ins Netz abgebbare Energie ca. 8 GWh

**(z.B. maximal 8 GW während 1 Stunde oder auch
1 GW während 8 Stunden).**

Für die Aufladung während des Tages nötig \approx 10 GWh
(Energetischer Zyklenwirkungsgrades der dabei wahrscheinlich
verwendeten neuen Li-Ionen-Akkus etwas höher)

**Sicher nützlicher Beitrag, kann aber die Nachtproduktion
thermischer Kraftwerke nicht ersetzen!**

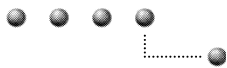
Mit Akku-Speichersystemen nur Kurzzeitspeicherung!



Kosten von durch Batteriespeichern veredeltem Strom [1]:

$$k_E = \frac{k_{A+E} \cdot a}{365 \cdot t_z} + k_{PV} \frac{1}{\eta_E}$$

- k_E Kosten pro kWh erzeugte Energie.
 k_{A+E} spezifische Anlagekosten für die Akku-Speicheranlage (für Pb ca. 780 - 1050 Fr./kWh [3]).
 a Abschreibungssatz für die vorgesehene Akkuliebensdauer (z.B. 11,7% bei $p = 3\%$ / 10 Jahren)
 t_z Pro Tag durchlaufene Akku-Zyklentiefe
 k_{PV} Kosten des PV-Stromes
 η_E Zyklenwirkungsgrad (enthält Verluste im Akku, Gleich- und Wechselrichter, $< \eta_{Wh}$ des Akkus allein)



Beispiel 1 : Anlage mit Bleiakku heutiger Technologie [1] :

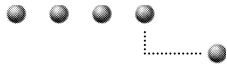
Bleiakku mit $k_{A+E} = 780$ Fr./kWh [3], Akku-Lebensdauer 10 Jahre, $p = 3\%$, $k_{PV} = 25$ Rp./kWh, Zyklentiefe $t_z = 0,3$ und $\eta_E = 75\%$:

Damit wird $a = 11,72\%$ und es ergeben sich **Stromkosten von 1,17 Fr. /kWh!** Die Zusatzkosten für die Energieveredelung durch Akkuspeicherung betragen somit 92 Rp./kWh.

Wenn der **PV-Strom gratis** wäre, verbleiben immer noch Kosten von 83 Rp./kWh!

Zum Vergleich [1]:

Zusatzkosten für die Energieveredelung bei einem Pumpspeicherwerk (Amortisationsdauer 40 Jahre) unter vergleichbaren Annahmen 10 Rp./kWh bei PV-Stromkosten von 25 Rp. resp. bei PV-Grtisstrom 2,5 Rp./kWh!

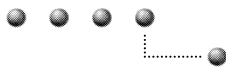


**Beispiel 2 : Li-Ionen-Akku zukünftiger Technologie
(Annahmen, ungewiss ob so realisierbar) [1] :**

Li-Akku mit $k_{A+E} = 600 \text{ Fr./kWh}$, Akku-Lebensdauer 10 Jahre,
 $p = 3\%$, $k_{PV} = 25 \text{ Rp./kWh}$, Zyklentiefe $t_z = 0,8$ und $\eta_E = 89\%$:

Damit wird $a = 11,72\%$ und es ergeben sich **Stromkosten von
52 Rp. /kWh!** Die Zusatzkosten für die Energieveredelung
durch Akkuspeicherung betragen somit noch 27 Rp./kWh.

Wenn der **PV-Strom gratis** wäre, verbleiben noch Kosten
von 24 Rp./kWh!



Normierte Dauerlinie einer PV-Anlage in Burgdorf für 1997

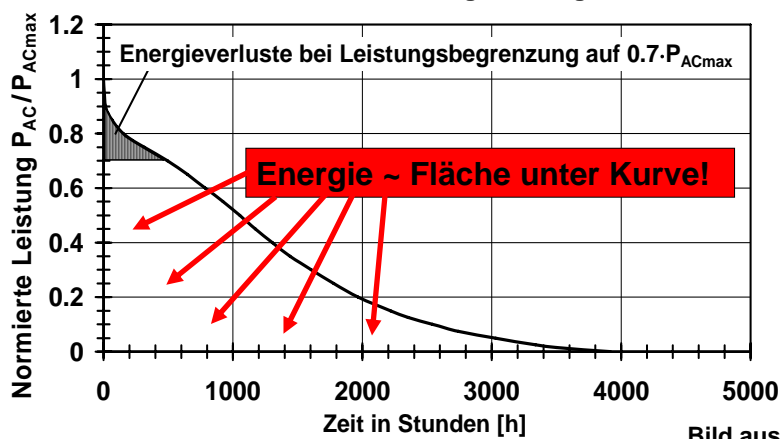
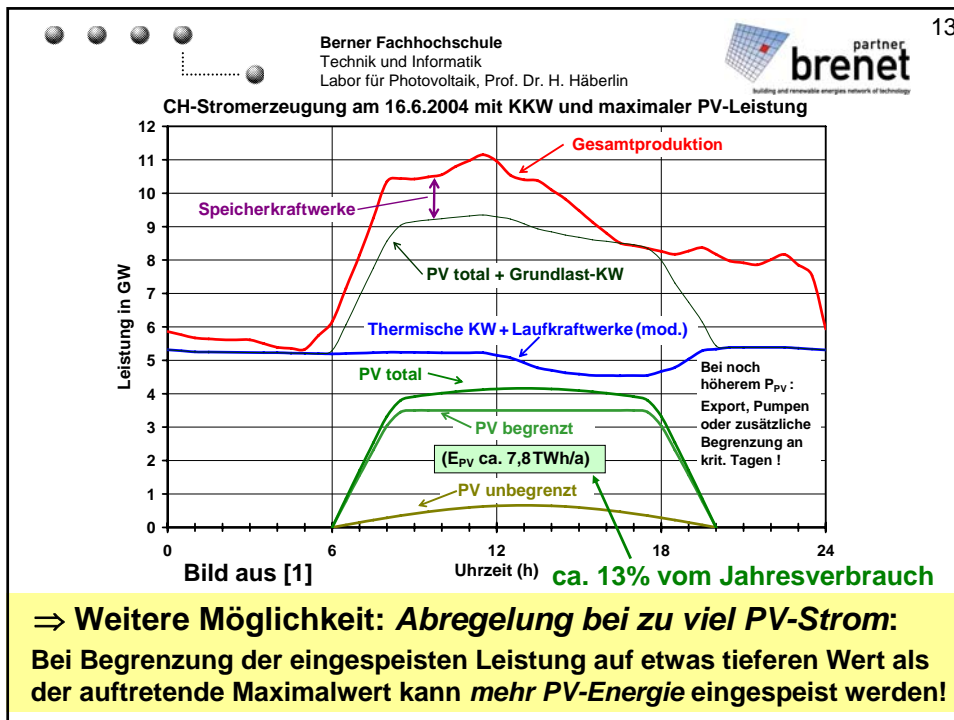



Bild aus [1]

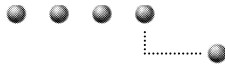
Idee: Abregelung bei Bedarf:

Bei Leistungsbegrenzung auf etwas tieferen Wert als auftretender Maxi-
malwert nur geringer Energieverlust, aber höhere Volllaststundenzahl!



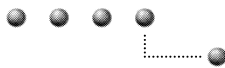
- 14
- Berner Fachhochschule
 Technik und Informatik
 Labor für Photovoltaik, Prof. Dr. H. Häberlin
- 

 partner
 building and renewable energies network of technology
- Fazit:**
- Akku-Speichersysteme können im Netzverbundbetrieb nur als Kurzzeitspeicher verwendet werden (nur einige Volllaststunden möglich bis Speicher leer)
 - Die Speicherkosten sind bei Akku-Speichersystemen um ein Vielfaches höher als bei Pumpspeicherwerken
 - Pumpspeicherwerke können wesentlich grössere Energiemengen speichern und haben deutlich längere Volllaststunden bis zur Speicherentleerung als Akku-Speichersysteme in Elektrofahrzeugen, gute Anlagen sind aber aus topografischen Gründen nicht überall möglich
 - Sehr viele Akku-Speichersysteme können kurzzeitig sehr grosse Leistungsspitzen absorbieren und abgeben
 - Für grosse Mengen an PV- und Windenergie kann zeitweise Abregelung bei Leistungsüberangebot auch sinnvoll sein



Literatur:

- [1] H. Häberlin: "Photovoltaik – Strom aus Sonnenlicht für Verbundnetz und Inselanlagen". Electrosuisse-Verlag, 8320 Fehraltorf, 2010, ISBN 978-3-905214-62-8 (erscheint April 2010).
- [2] C.J.Rydh: "Environmental assessment of vanadium-redox and lead-acid batteries for stationary energy storage". Journal of power sources 80 (1999), p. 21 ff.
- [3] A. Oudalov, T. Buehler, D. Chartouni: "Utility Scale Applications of Energy Storage". IEEE Energy Conf., Atlanta, Georgia, USA, Nov. 2008.



Heinrich Häberlin

Photovoltaik

Strom aus Sonnenlicht
für Verbundnetz und Inselanlagen



electrosuisse
Verlag

Weitere Informationen
über die Forschung auf
dem Gebiet Photovoltaik
an der BFH-TI:

www.pvtest.ch