



**HOCHSCHULE LANDSHUT**

HOCHSCHULE FÜR ANGEWANDTE WISSENSCHAFTEN

# Elektrochemische Energiespeicher

Sparkassen Fachforum:

Solarstrom intelligent nutzen

Landau, Straubing, Dingolfing,

11.3.2013, 12.3.2013, 13.3.2013

Prof. Dr. Karl-Heinz Pettinger





## Inhalt

- **Technologiezentrum Energie der Hochschule Landshut**
- **Notwendigkeit der Pufferung, Solare Bedingungen**
- **Technologien**
- **Kriterien für die Systemauswahl**



Prof. Dr. Karl-Heinz Pettinger

1962 geboren in Landshut

Chemie-Studium an der TU München

8 Jahre Elektrochemische Gassensoren- und  
Meßgerätebau bei Bayer Diagnostic /  
Compur Monitors

Gründung der Bullith Batteries AG basierend  
auf Lizenz der Fraunhofergesellschaft, Bau  
von Li-Ionen Akkumulatoren, Vorstand

Fusion der Bullith Batteries AG mit  
Leclanché, Ausbau zu einem der derzeit  
größten Produzenten von Lithium  
Akkumulatoren in Deutschland

Seit 1.12.2011: Professur für Elektrische  
Energiespeicher an der Hochschule Landshut

Wissenschaftliche Leitung des  
Technologiezentrums Energie der  
Hochschule Landshut

## Institution

- ... ist eine Forschungs- und Entwicklungseinrichtung der Hochschule Landshut
- ... wird gefördert mit Mitteln des Programms „Aufbruch Bayern“ der Bayer. Staatsregierung
- ... wird tatkräftig unterstützt durch den Markt Ruhstorf a. d. Rott und den Landkreis Passau
- ... wurde am 7.10.2011 durch Staatsminister Heubisch und Präsident Prof. Stoffel eröffnet

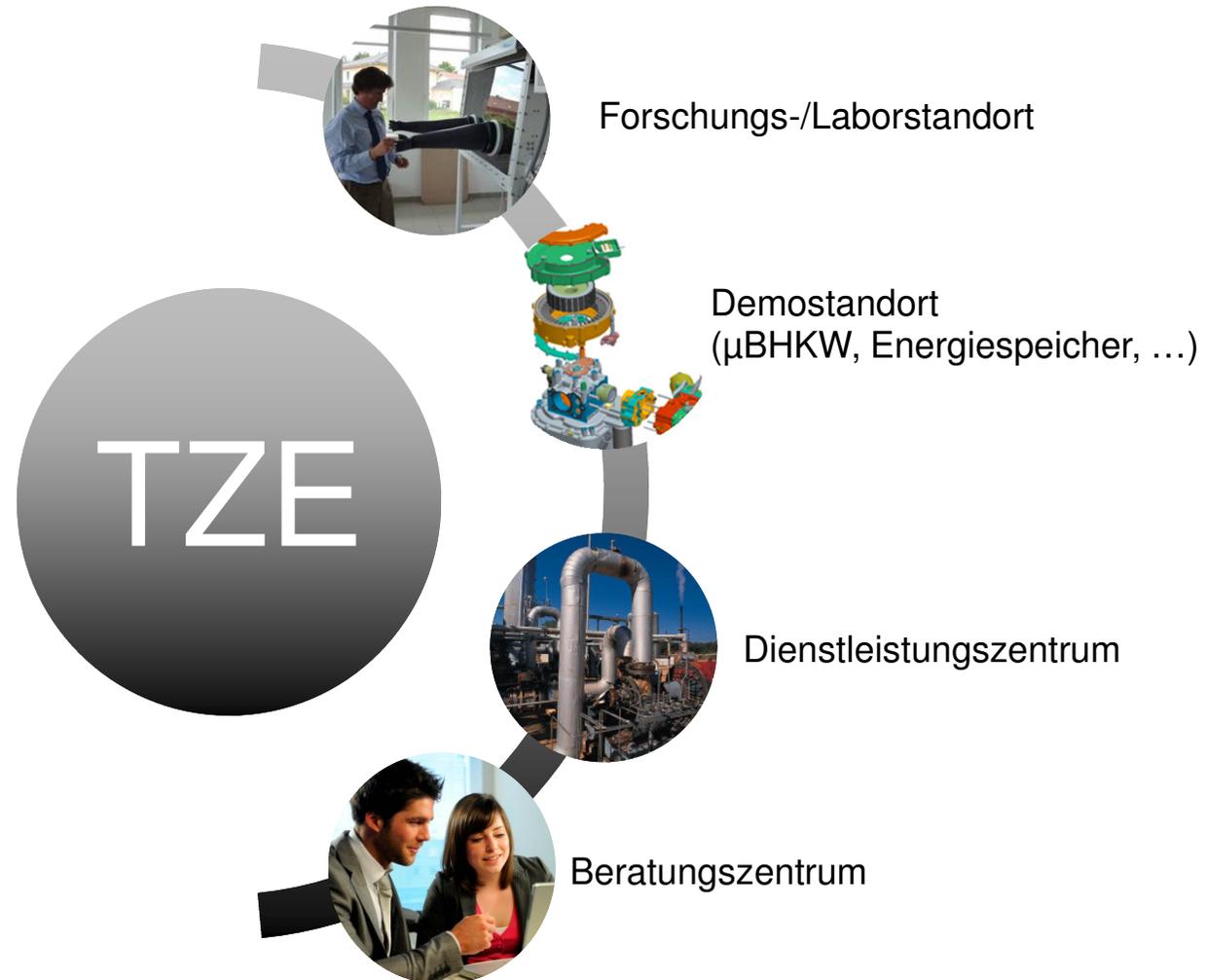


## Wissenschaftler am TZE:

- Prof. Dr. Karl-Heinz Pettinger (Professur Elektrische Energiespeicher, **Wissenschaftlicher Leiter des TZE**)
- Prof. Dr. Josef Hofmann (Professur Chemische Energiespeicher)
- Prof. Dr. Petra Denk (Professur für Energie- und Betriebswirtschaft)
- Prof. Dr. Stefan-Alexander Arlt (Professur für Energietechnik)
- Prof. Dr. Tim Rödiger (Professur für Strömungsmechanik, Wärmeübertragung und Energietechnik)



## Funktionen des TZE



## Forschungsthemen am TZE



Energiespeicher



Dezentrale  
Energiesysteme



Netzintegration



Energieeffizienz

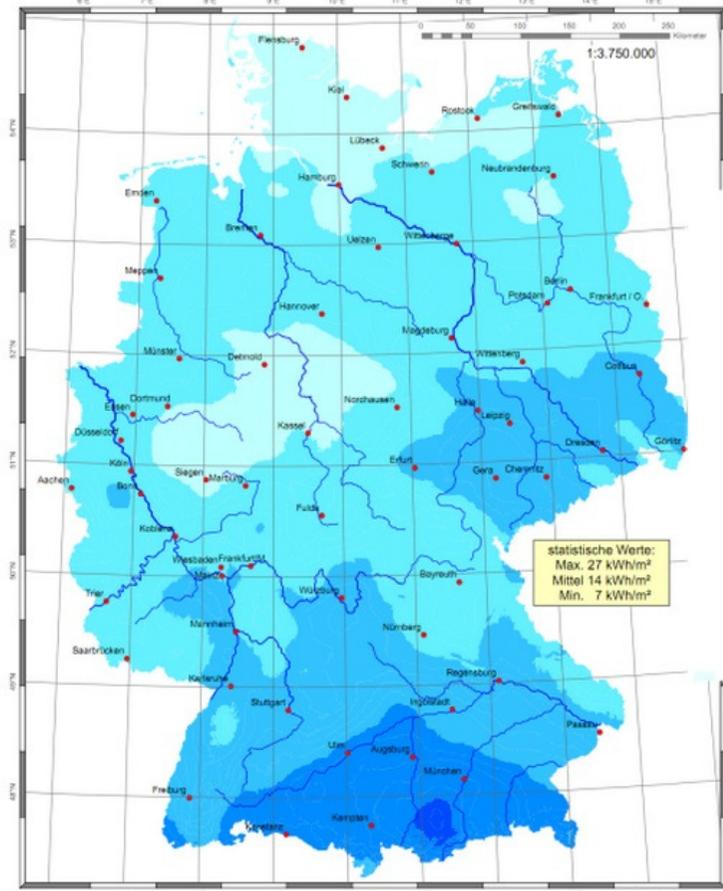


## Inhalt

- Technologiezentrum Energie der Hochschule Landshut
- **Notwendigkeit der Pufferung, Solare Bedingungen**
- Technologien
- Kriterien für die Systemauswahl

Sonneneinstrahlung Dezember 2011

Globalstrahlung in der Bundesrepublik Deutschland  
Monatssummen - Dezember 2011



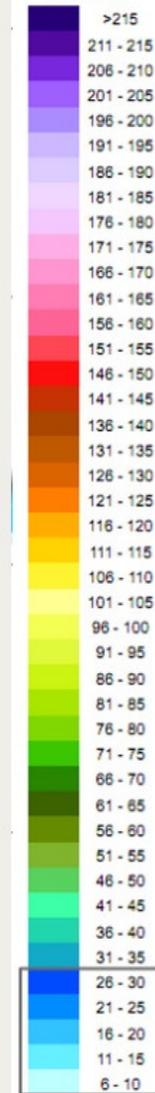
statistische Werte:  
Max. 27 kWh/m<sup>2</sup>  
Mittel 14 kWh/m<sup>2</sup>  
Min. 7 kWh/m<sup>2</sup>

Wissenschaftliche Bearbeitung:  
DWD, Abt. Klima- und Umweltberatung, Pf 30 11 90, 20304 Hamburg  
Tel.: 040 / 66 90-19 22; eMail: klima.hamburg@dwd.de

Deutscher Wetterdienst  
Wetter und Klima aus einer Hand

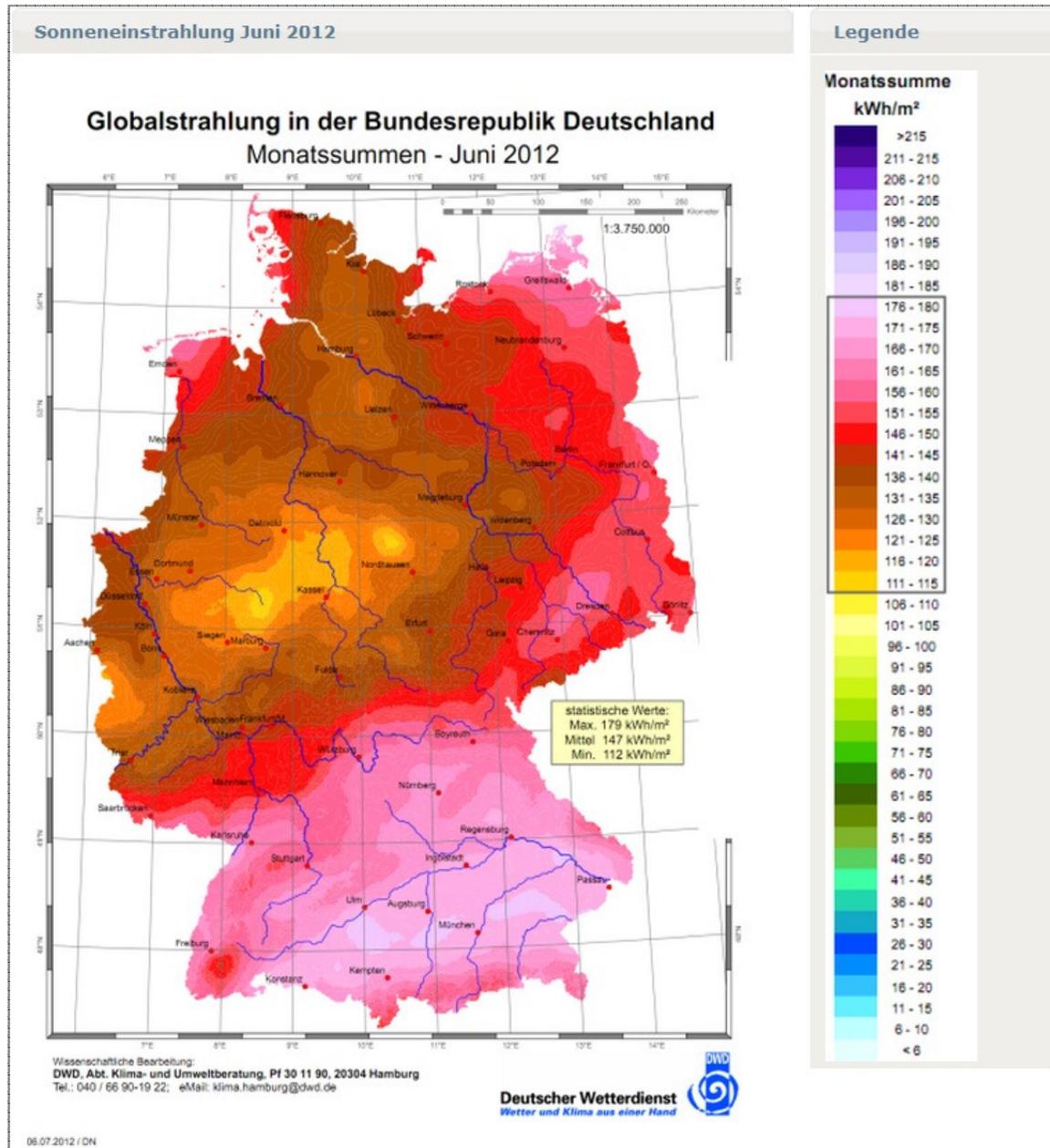
Legende

Monatssumme  
kWh/m<sup>2</sup>



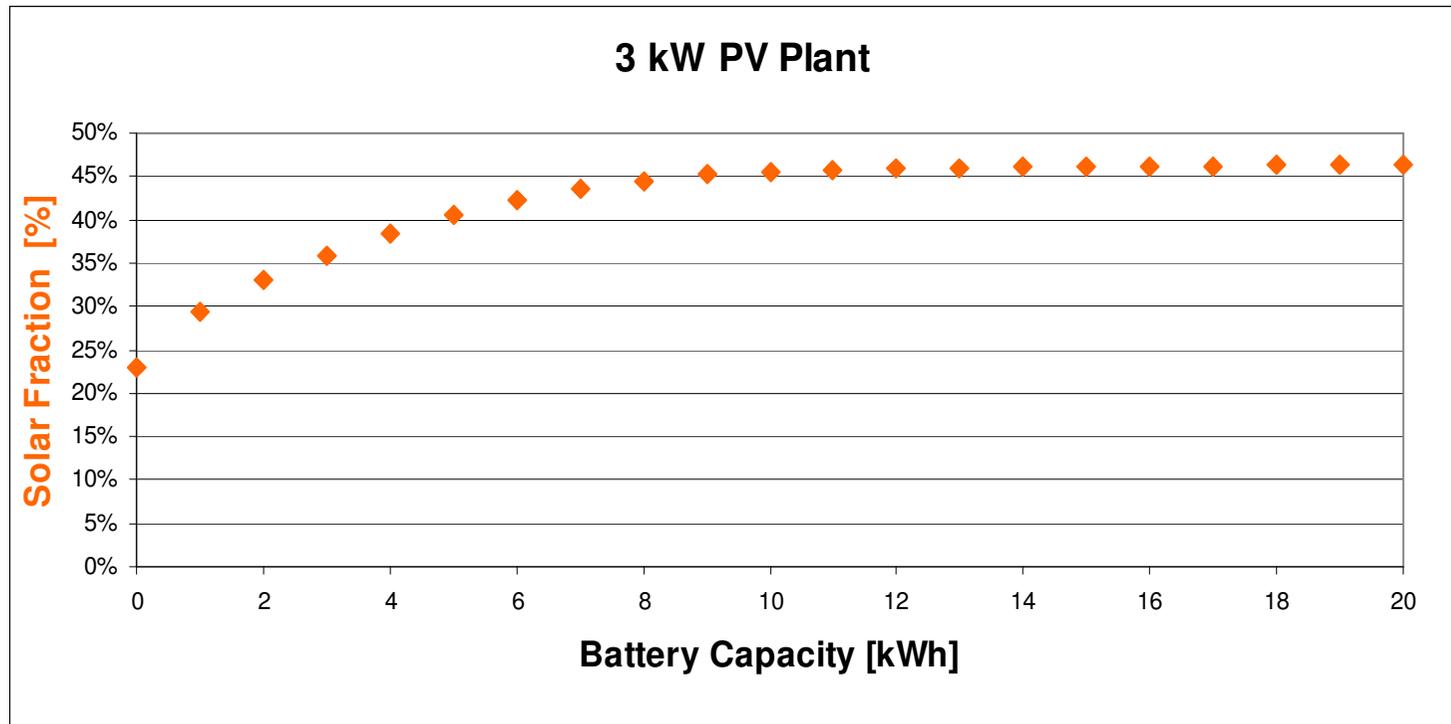
Quelle:

<http://www.solarserver.de/service-tools/strahlungsdaten/deutschland/juni-2012.html>



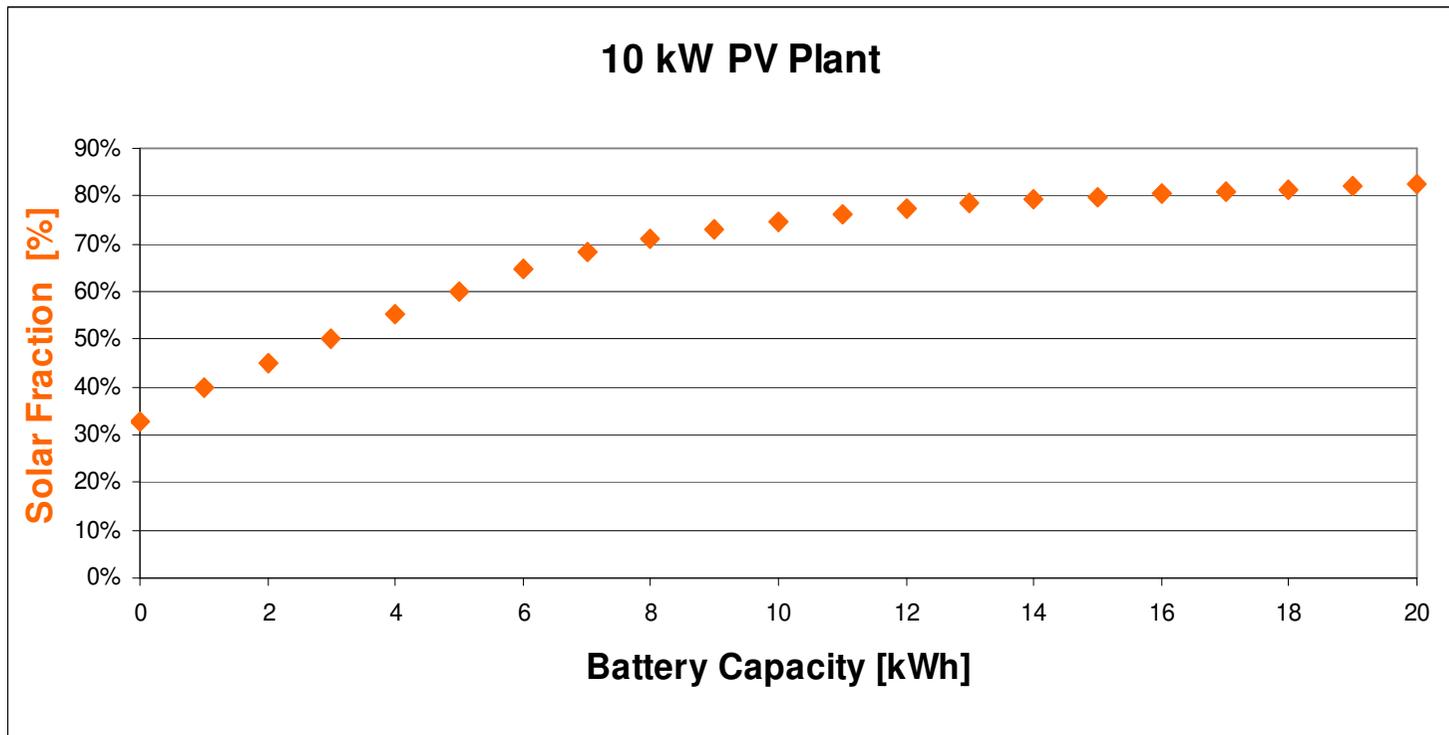
Quelle:  
<http://www.solarserver.de/service-tools/strahlungsdaten/deutschland/juni-2012.html>

# Solare Deckung eines Haushalts durch eine 3 kW PV Anlage\* mit Speicher

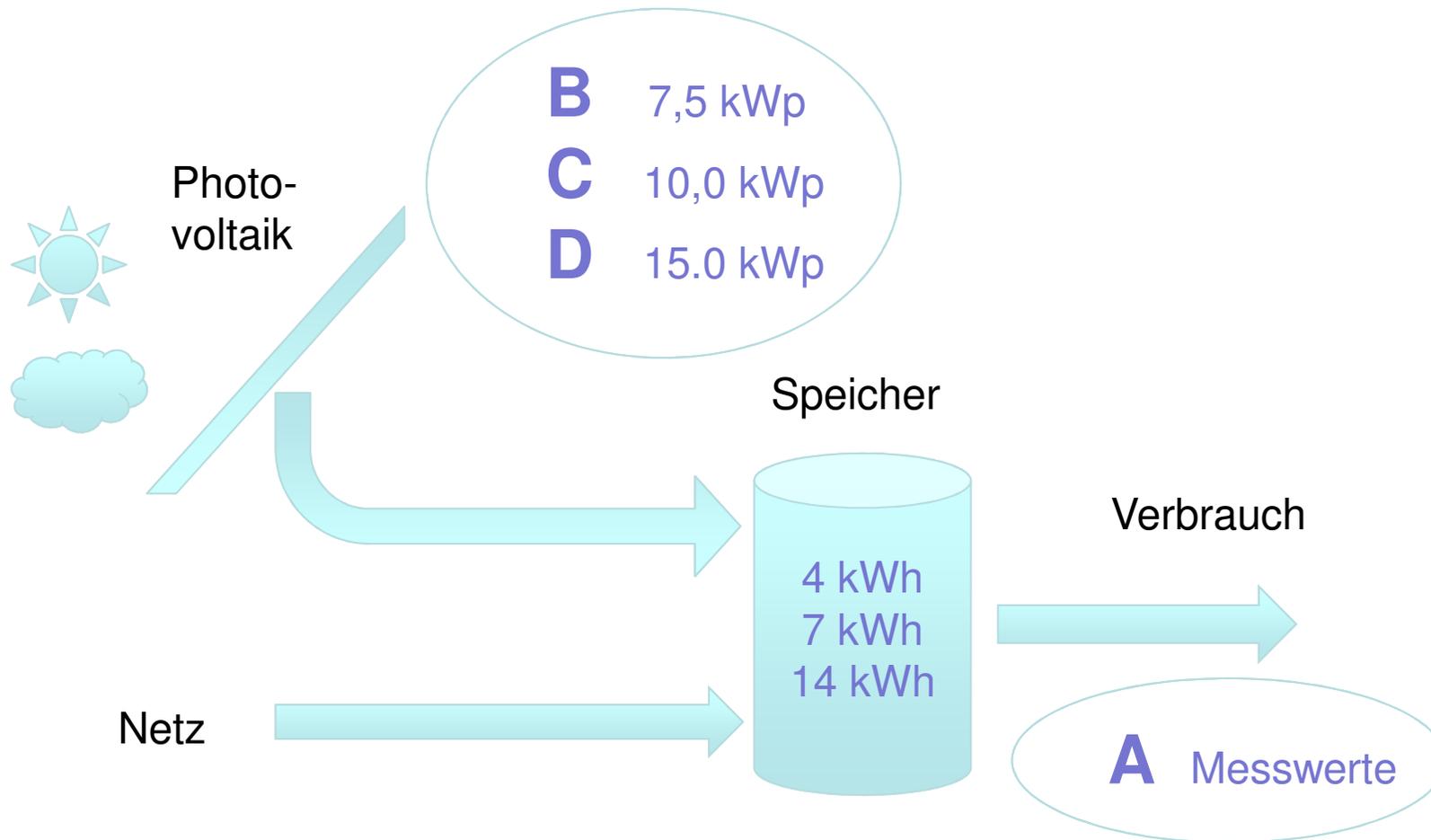


\* Durchschnittlich installierte PV Anlage in Deutschland  
[www.energy20.net/pi/index.php?StoryID=317&articleID=122617](http://www.energy20.net/pi/index.php?StoryID=317&articleID=122617)

# Solare Deckung eines Haushalts durch eine 10 kW PV Anlage mit Speicher



# Welcher Speicher passt zur PV-Anlage ? Betrachtung zur Speichernutzung



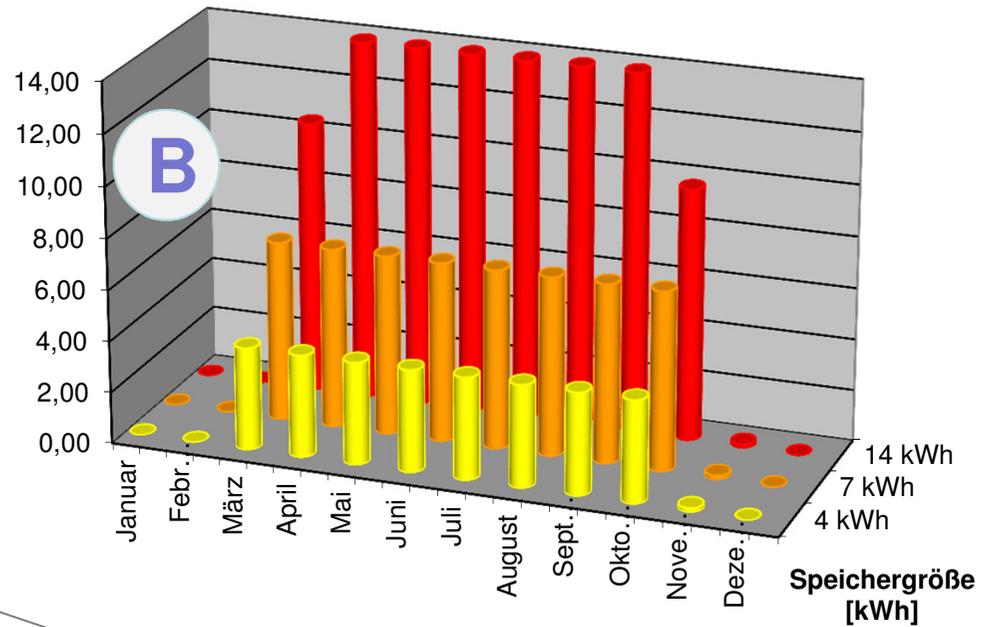
4 Personenhaushalt:  
typ. 4.000 kWh Strom

## Regionale Fallstudie:

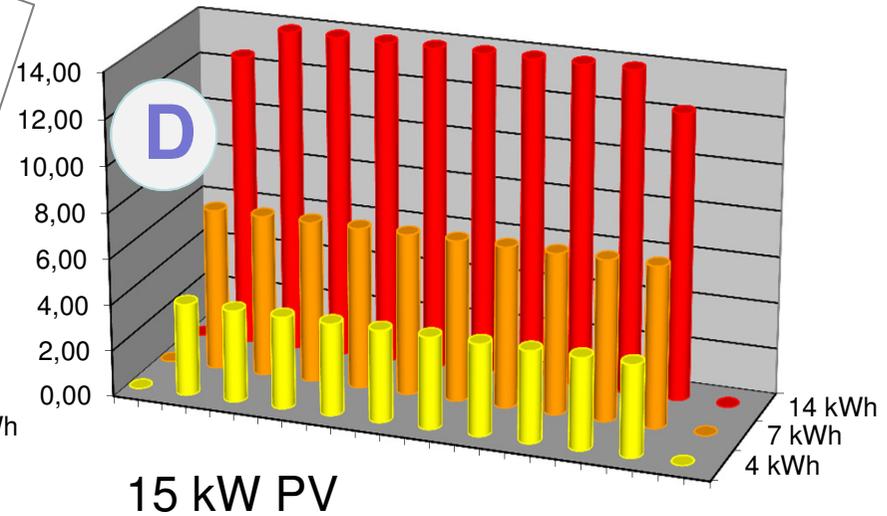
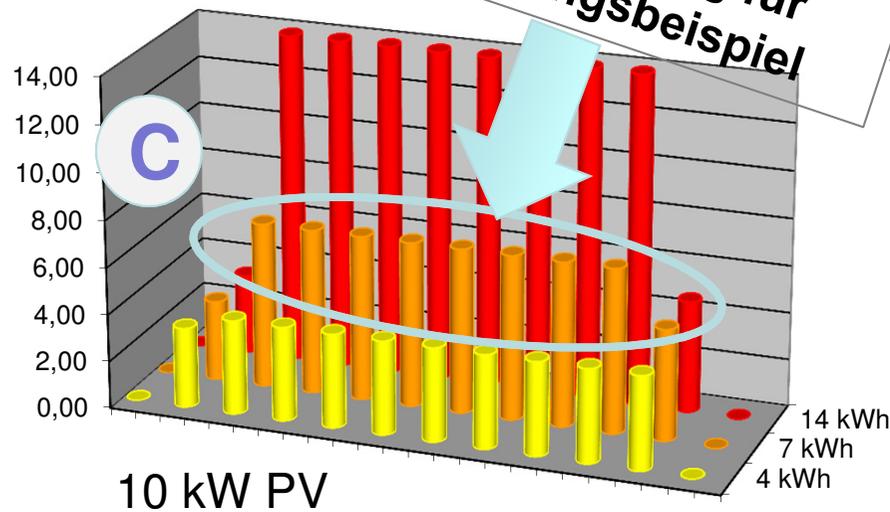
Speicherauslastung  
(Tagesbasis) bei  
unterschiedlichen  
Photovoltaikinstallationen

tägl. Speicher-  
nutzung [kWh]

7,5 kW PV



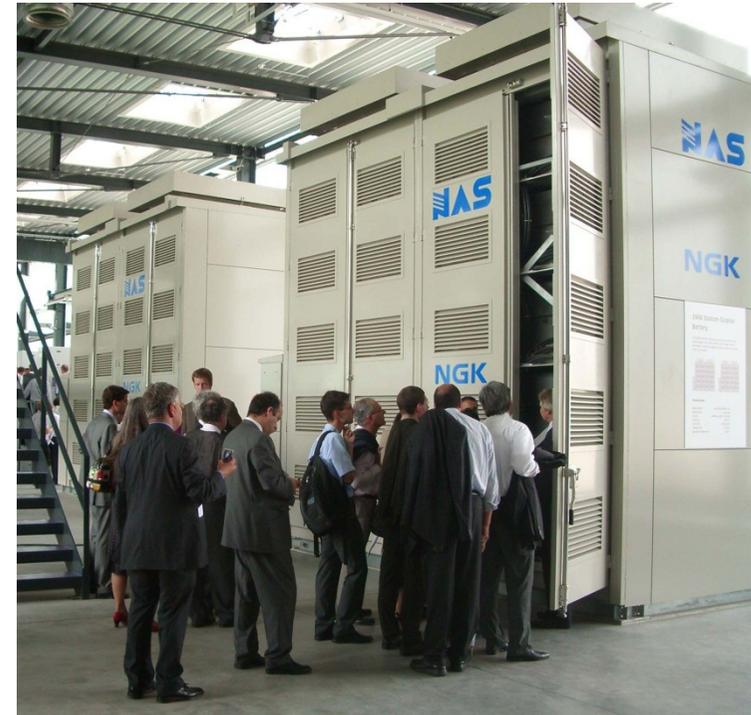
Dimensionierung für  
Berechnungsbeispiel





## Inhalt

- Technologiezentrum Energie der Hochschule Landshut
- Notwendigkeit der Pufferung, Solare Bedingungen
- **Technologien**
- Kriterien für die Speicherauswahl



7 MWh-Batterie zur Netzpufferung

Technologie: Natrium Schwefel, Betriebstemperatur 300 °C,

Installiert im Testfeld bei Younicos AG, Berlin

Ziel: Erkenntnisgewinn zur autarken Energieversorgung der Insel La Graciosa

# Typische Speicherausführungen für den Heimbereich



Wandler mit Batteriemodul:  
Teststand am Technologiezentrum Energie mit  
Speichermodule 1,8 kWh, Titanat-Technologie

# Typische Speicherausführungen für den Heimbereich



Beispiel:  
Speicher 10,2 kWh

Bilder mit Genehmigung Fa. Lokavis GmbH, Eggenfelden



Beispiel:  
Speicher 9,6 kWh

Bilder mit Genehmigung FENECON GmbH, Deggendorf

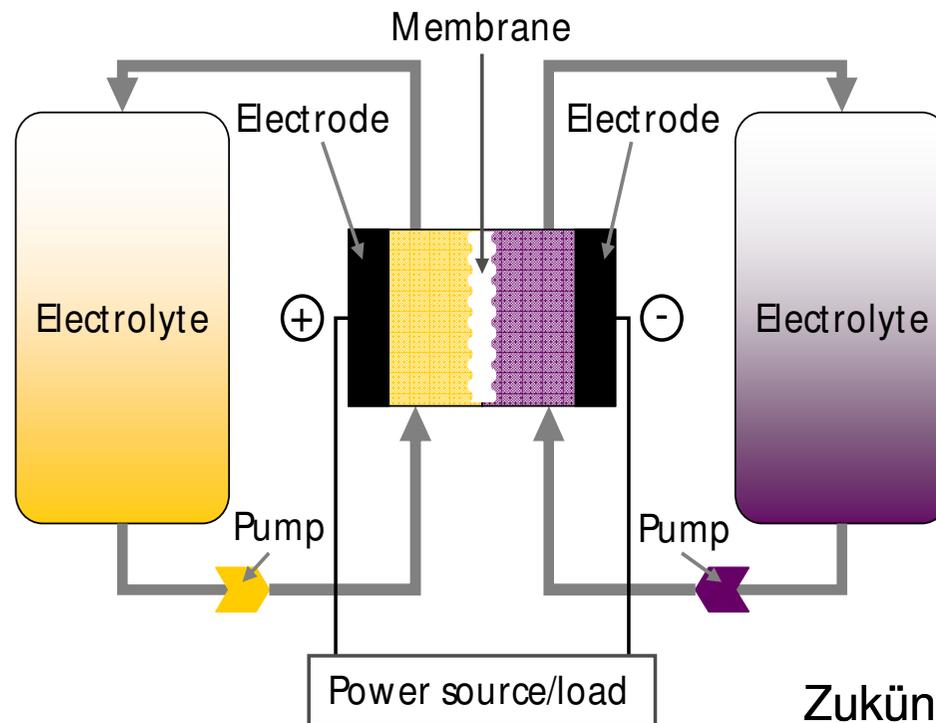


# Technologien: Redox Flow-Systeme



Redox-Flow Batterie (100 kWh / 10 kW) mit drehbarer Photovoltaik, Fa. Cellstrom und Younicos AG

# Technologien: Redox Flow-Systeme



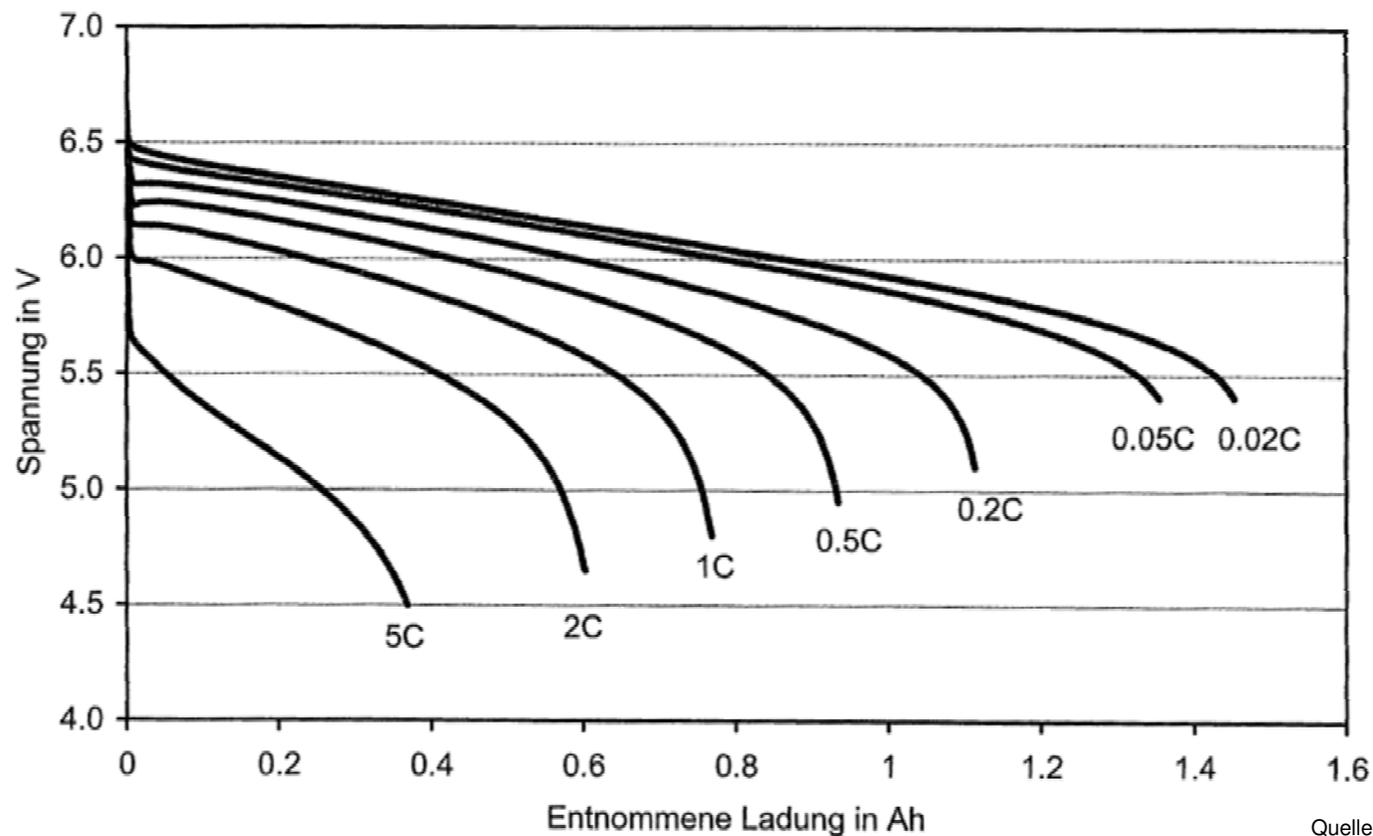
Zukünftige neue  
Speichertechnologie für  
Eigenheime → größere  
Energienmengen

W. Kangro, „Verfahren zur Speicherung von elektrischer Energie“, German Patent 914264, 1949  
W. Kangro, H. Pieper, „Zur Frage der Speicherung von elektrischer Energie in Flüssigkeiten“,  
Electrochimica Acta Vol. 7, 435 – 448, 1962

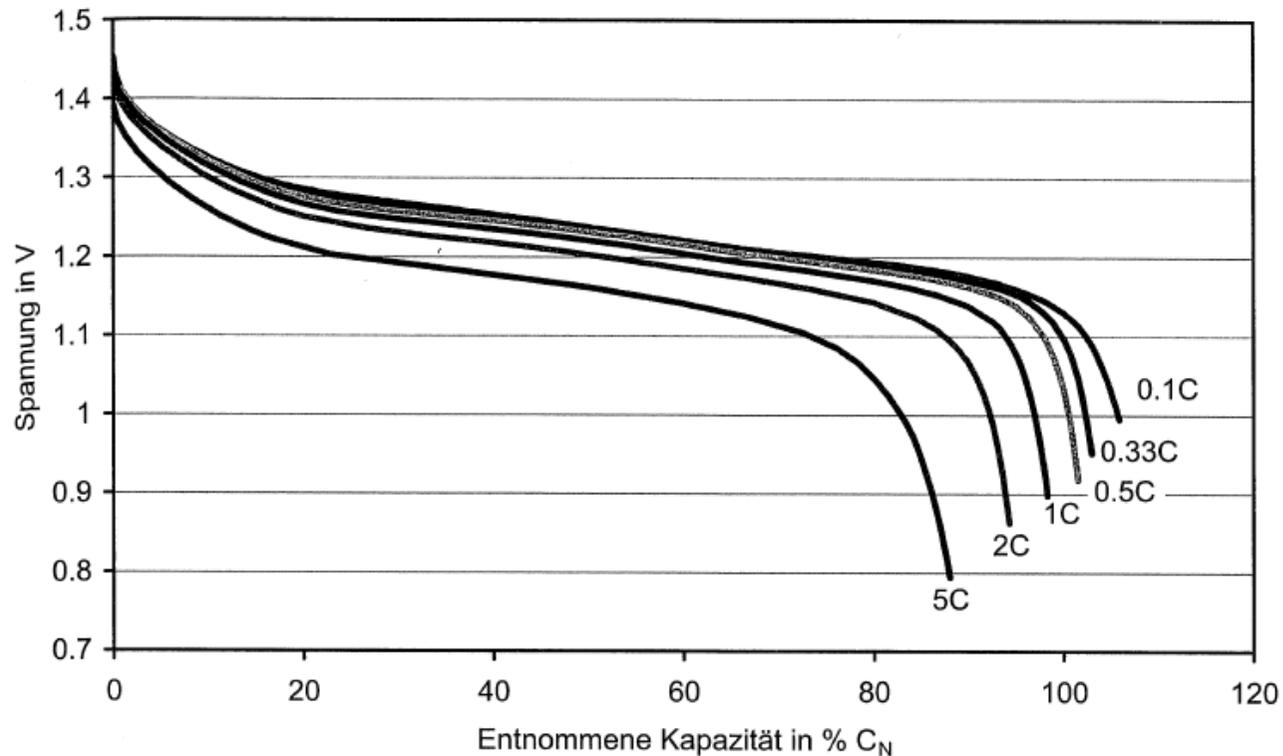
Quelle:  
Fraunhofer ICT

## Technologien: Blei-Säure-Systeme

- Nachteile: Geringe Belastbarkeit, Alterung, Ventilation, Pflegebedürftigkeit
- Vorteil: Preis



# Technologien: NiMH / NiCd-Systeme



Entladekurven, wesentlich höhere Belastbarkeit

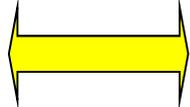
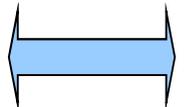
NiCd ist für den Privatanwender verboten  
Nur noch bei Industriesystemen erlaubt

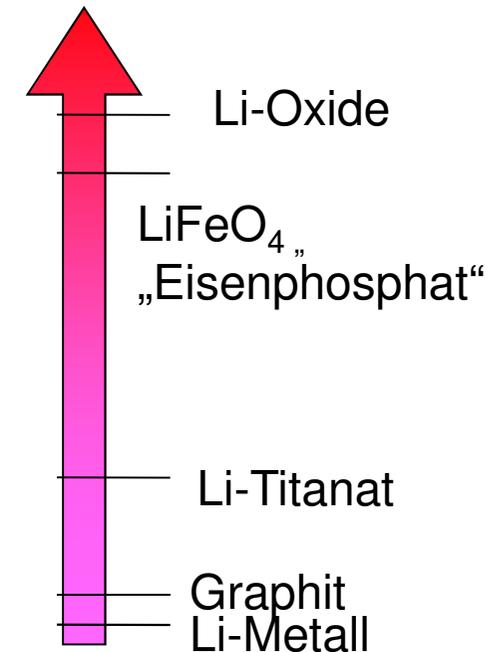
Quelle:

Jossen, Weydanz, Moderne  
Akkumulatoren richtig  
einsetzen, 2006

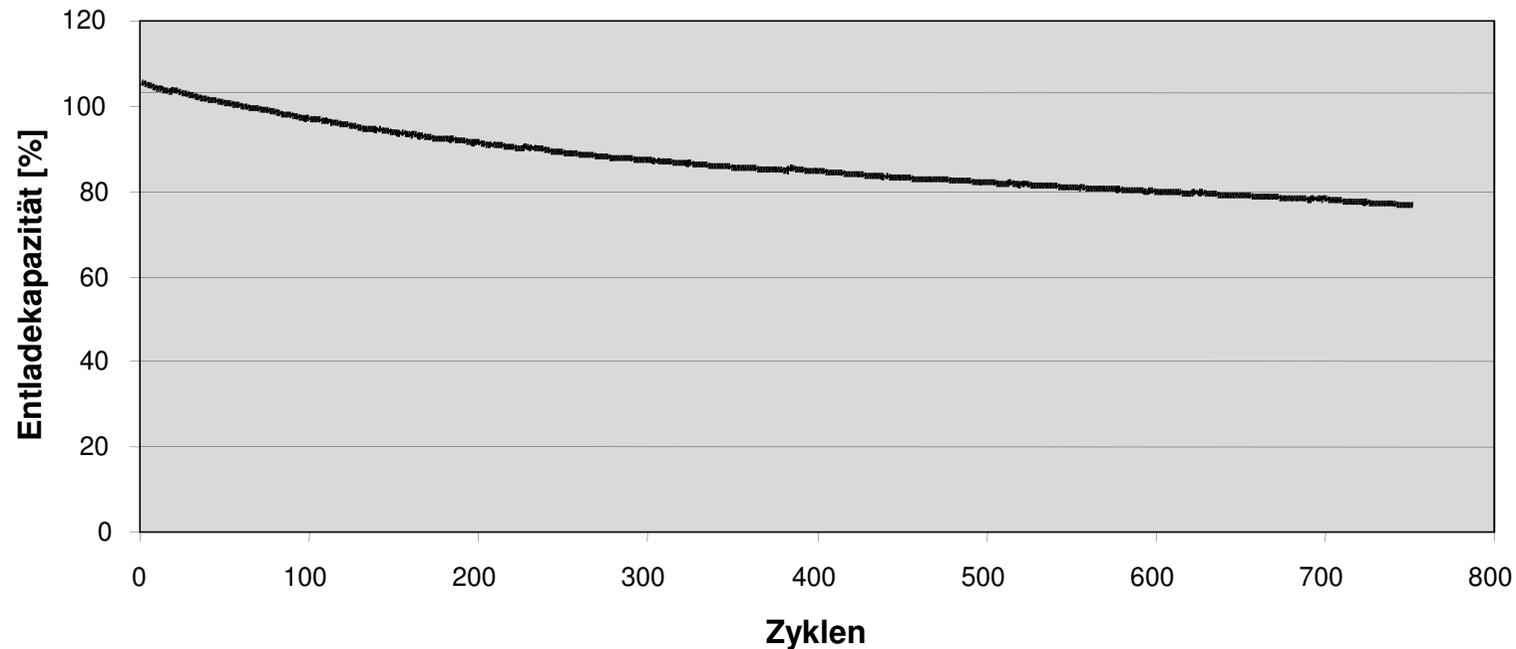
# Technologien: Lithium Systeme

Li-Technologie in verschiedenen Spannungslagen bald erhältlich

Li-Oxide / Graphit	3,7 V		Standard Li-Ionen System, Portable Elektronik
Lithium- Eisenphosphat / Graphit	3,3 V		Kein Explosion des Kathodenmaterials (Erhöhte Sicherheit)
Li-Oxide / Titanat	2,3 V		Extreme Zyklusstabilität ( > 10.000 volle Lade- / Entladezyklen)
Lithium- Eisenphosphat / Titanat	1,8 V		Erhöhte Sicherheit + Extreme Zyklusstabilität

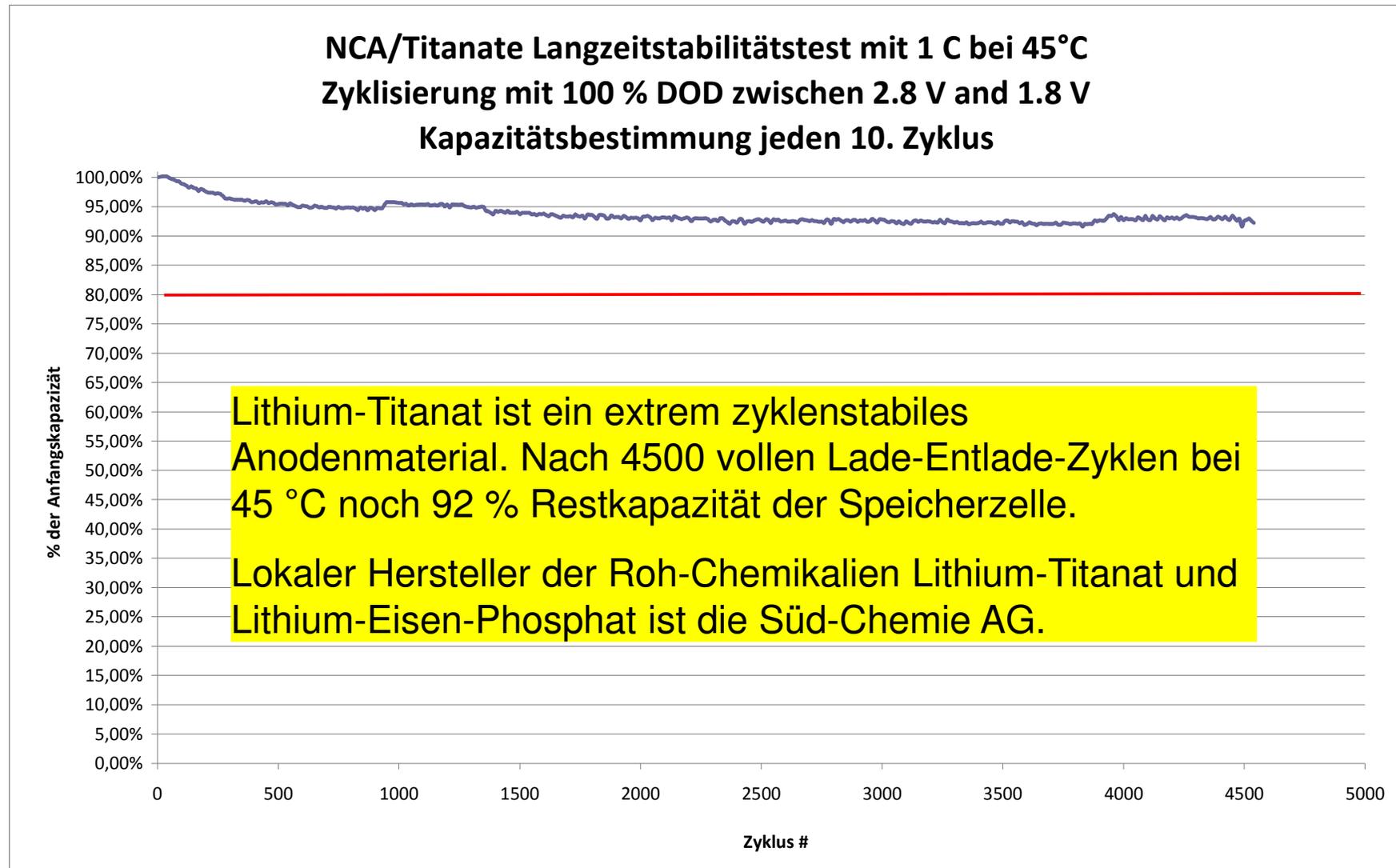


# Problem der Zyklenstabilität



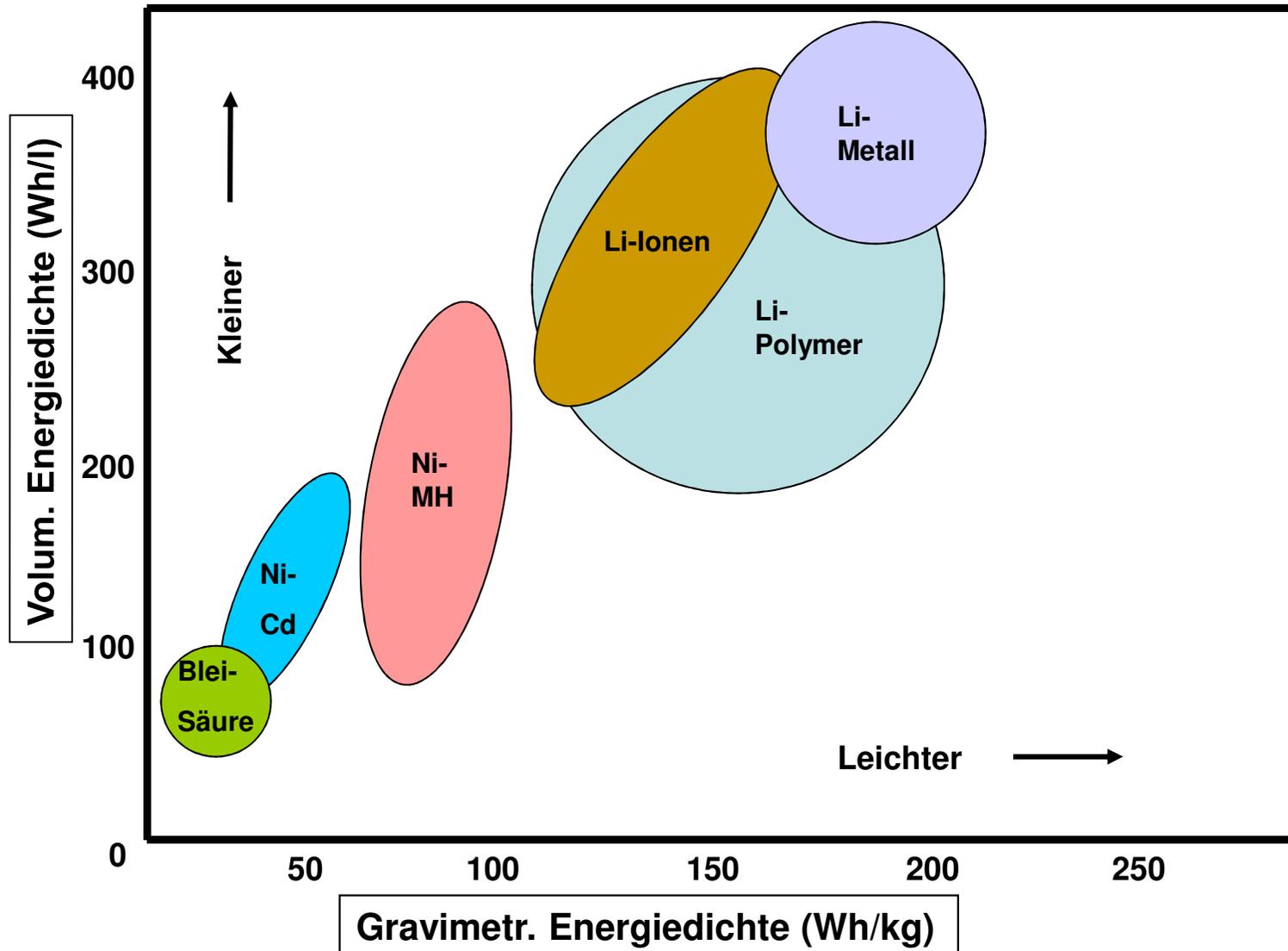
Darstellung am Beispiel einer nicht ausgereiften Zelltechnologie,  
100% Lade-Entladezyklen, bei 1-stündiger Ladung/Entladung

# Technologien: Lithium Systeme

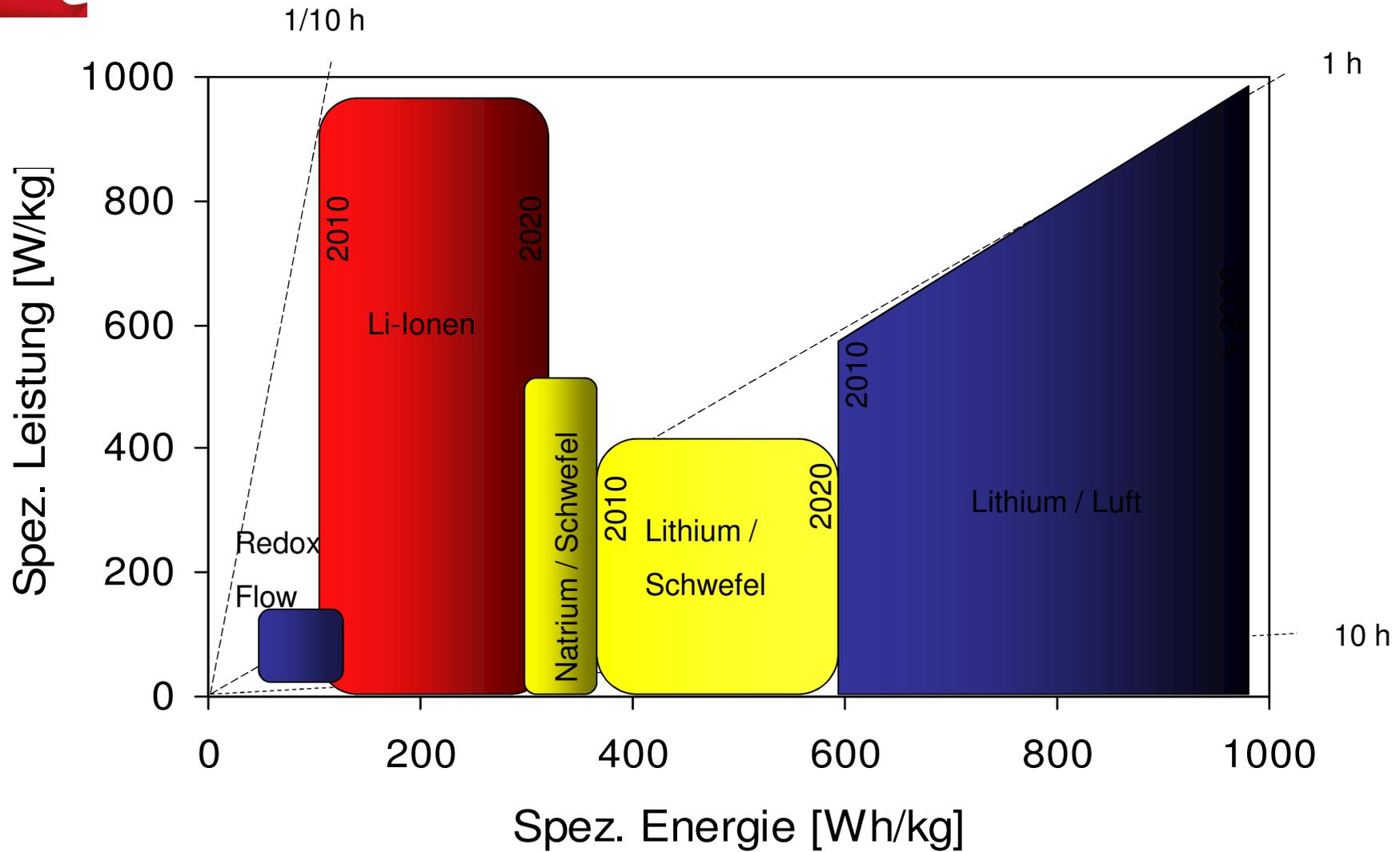


Quelle: Leclanché GmbH

# Einordnung der Akkumulatortechnologien



# Entwicklungstrend Energiedichten





## Inhalt

- Technologiezentrum Energie der Hochschule Landshut
- Notwendigkeit der Pufferung, Solare Bedingungen
- Technologien
- **Kriterien für die Systemauswahl**

# Wichtige Kriterien für die Systemauswahl

**Feinde der Lebensdauer (= Nutzbare Speicherkapazität) sind:**

- **Kalendarische Alterung**

(Systemabhängig, Kenngröße: % irreversibler Kapazitätsverlust / Monat)

- **Permanente Vollladung**

(wichtig ist die korrekte Dimensionierung des Betriebsbereiches des Speichers, empfohlener Standard-Nutzbereich 20 – 80 % Nutzungstiefe)

- **Erhöhte Temperaturen in der Zelle**

( ab 40 °C, vor allem bei Pulsbetrieb)



# Was kostet die Speicherung ?

## Relevante Größe:

Kosten pro gespeicherter und genutzter Kilowattstunde Strom.

$$\text{Kosten / kWh} = \frac{\text{Anschaffung [€] + Wartung [€]}}{\text{Effizienz [\%] x Nutzungstiefe [\%] x Nutzungszyklen x Speicherkapazität [kWh]}}$$

# Was kostet die Speicherung ?

## Anschaffung [€] + Wartung [€]

Kosten / kWh =

-----  
Effizienz [%] x Nutztiefe [%] x Nutzungszyklen x Speicherkapazität [kWh]

### Anschaffung [€]:

Preise der Technologien **auf Zellebene:**

Blei-Säure	~ 200 €/kWh
Natrium-Schwefel	~ 300 €/kWh
Redox-Flow	~ 500 €/kWh
Lithium	~ 1.000 €/kWh

### **Auf Systemebene:**

Lithium: 1.200 bis 3.600 €/kWh  
(7.000 bis 18.000 € für 5kWh-Modul, Preise auf der Intersolar 2012)

### Wartung [€]:

Lithium-Speicher sind wartungsfrei  
Blei-Speicher: einige Technologien Wartungsbedarf

# Was kostet die Speicherung ?

Anschaffung [€] + Wartung [€]

Kosten / kWh =

-----  
**Effizienz [%]** x Nutzungstiefe [%] x Nutzungszyklen x Speicherkapazität [kWh]

System Parameter	Bleibatterie	NiCd-Batterie	NiMH-Batterie	Li-Ionen-Batterie
Ladefaktor	1,1	1,3	1,3	1,01
Coulometrischer Wirkungsgrad (Ah)	90 %	75 %	75 %	99,9 %
<b>Effizienz [%]</b>	80 %	65 %	65 %	85 – 95 %

Quelle: Jossen, Weydanz, Moderne Akkumulatoren richtig einsetzen, 2006

## Was kostet die Speicherung ?

Anschaffung [€] + Wartung [€]

Kosten / kWh =

-----  
Effizienz [%] x **Nutzungstiefe [%]** x Nutzungszyklen x Speicherkapazität [kWh]

---

- Nutzungstiefe:**
- genutzte Kapazität oft ungleich Nominalkapazität
  - bei Li-Speichern 100 % Nutzungstiefe möglich
  - bei Pb-Speichern nur 50 % Nutzungstiefe möglich

Geringere Belastung verlängert die Lebensdauer.

# Was kostet die Speicherung ?

Anschaffung [€] + Wartung [€]

Kosten / kWh =

-----  
Effizienz [%] x Nutzungstiefe [%] x **Nutzungszyklen** x Speicherkapazität [kWh]

---

- Lebensdauer: Garantie für die Zellen ?  
→ wichtiges Kriterium für die Rentabilität
- Wie kann die Speicherkapazität bestimmt werden und Abweichungen ggf. beim Hersteller reklamiert werden?
- Bietet der Hersteller Lösungen für diesen Konfliktfall ?  
  
→ Sprechen Sie den Lieferanten auf diese Themen an!

## Beispielrechnung für die Kosten des gespeicherten Stroms in der Eigennutzung

- Beispiel: 7 kWh Lithium-Ionen Speicher (passend zu 10 kW PV-Anlage), Systempreis 1.300 €/kWh
- Nutzungsdauer 20 Jahre, 1 x tägliche Aufladung / Entladung (7200 Zyklen), wartungsfreie Technologie
- 90 % Effizienz, 80 % Nutzungstiefe

$$\text{Kosten / kWh} = \frac{(7 \text{ kWh} \times 1300 \text{ €/kWh}) \text{ (Anschaffungskosten)} + 0 \text{ € (Wartung)}}{90 \% \text{ (Effizienz)} \times 80 \% \text{ (Nutzung) [\%]} \times 7200 \text{ (Zyklen)} \times 7 \text{ kWh (Kapazität)}} = 0,25 \text{ € / kWh}$$

Förderung: 30 % der Anschaffungskosten:  
 → 30 % x 9.100 € = 2.730 € Förderung

Eigenkosten reduzieren sich von 0,25 ct/kWh zu 17,5 ct/kWh



**HOCHSCHULE LANDSHUT**

HOCHSCHULE FÜR ANGEWANDTE WISSENSCHAFTEN

**Prof. Dr. Karl-Heinz Pettinger**  
**Hochschule Landshut**  
**Technologiezentrum Energie**  
Wiesenweg 1 · D-94099 Ruhstorf a. d. Rott

Tel.: +49 8531 914044-0  
Fax: +49 8531 914044-48  
[Karl-heinz.pettinger@fh-landshut.de](mailto:Karl-heinz.pettinger@fh-landshut.de)  
[www.fh-landshut.de/tze](http://www.fh-landshut.de/tze)

