

# NEUE STROMSPEICHER

## *Unnötig, ineffizient, unrentabel?*

Zürich - 21.10.2014

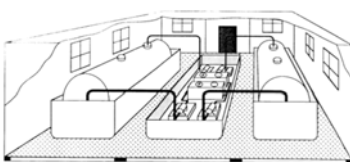
**Univ.-Prof. Dr. Dirk Uwe Sauer**

Institut für Stromrichtertechnik und Elektrische Antriebe (ISEA) und  
Institute for Power Generation and Storage Systems (PGS) @ E.ON ERC  
RWTH Aachen University

Contact: batteries@isea.rwth-aachen.de



## Speicher gibt es viele, aber welche werden gebraucht und welche kommen?



Redox-Flow Batterien



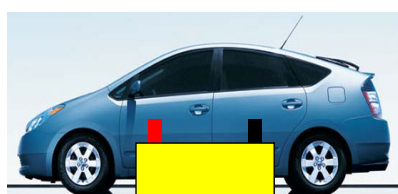
Wasserstoff



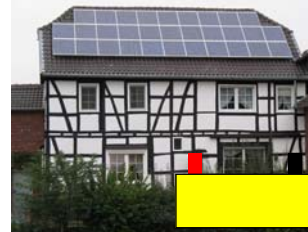
Pumpspeicher



Supraleitende  
Spulen



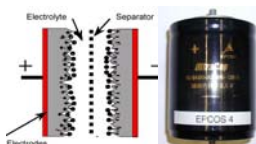
Elektromobilität



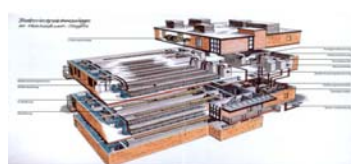
Eigenverbrauch  
in PV-Anlagen



Schwungrad



Doppelschicht-  
kondensatoren



Batterien - Blei, Lithium, NaNiCl, ...



Druckluft

1.

## Der Ausbau der Erneuerbaren Energien muss nicht auf Stromspeicher warten.

In den nächsten 10 bis 20 Jahren kann die benötigte Flexibilität im Stromsystem durch andere Flexibilitätsoptionen günstiger bereitgestellt werden als durch neue Stromspeicher. Erst bei sehr hohen Anteilen von Erneuerbaren Energien werden neue Stromspeicher wirklich benötigt.

2.

## Der Markt für neue Energiespeicher wird dynamisch wachsen.

Neue Märkte für Batterien und Power-to-X entstehen insbes. im Verkehrs- und Chemiesektor. Diese können Flexibilität im Stromsektor als Zusatznutzen anbieten. Forschung und Entwicklung sowie Marktanreizprogramme sind auf eine systemunterstützende Integration auszurichten.

3.

## Speicher müssen gleichberechtigten Zugang zu Märkten für Flexibilität erhalten.

Schon heute können Speicher einige Systemdienstleistungen kosteneffizient erbringen. Märkte für Flexibilität – wie der Regelleistungsmarkt oder ein zukünftiger Kapazitätsmarkt – müssen deshalb technologieoffen ausgestaltet werden.

4.

## Im Verteilnetz sollten Speicher ein Element im Baukasten der Netzbetreiber werden.

In speziellen Fällen können netzdienlich eingesetzte Speicher den Netzausbau in der Niederspannungsebene kosteneffizient vermeiden. Der regulatorische Rahmen sollte solche kosteneffizienten Entscheidungen grundsätzlich ermöglichen.

1.

Der Ausbau der Erneuerbaren Energien muss nicht auf Stromspeicher warten.

2.

Der Markt für neue Energiespeicher wird dynamisch wachsen

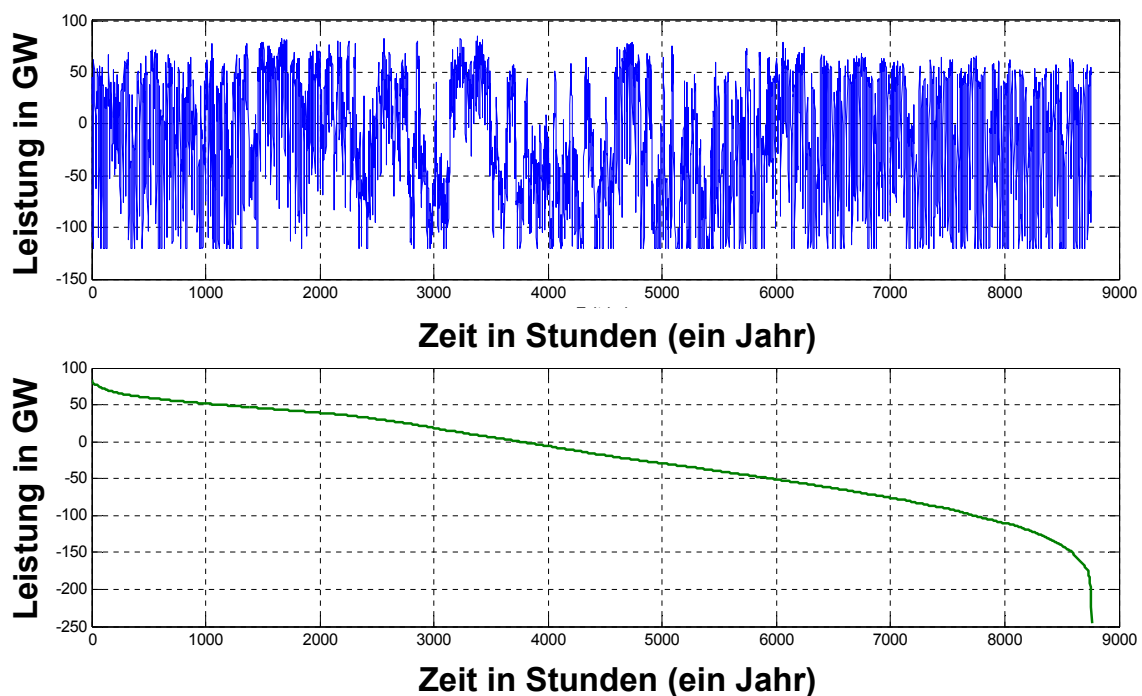
3.

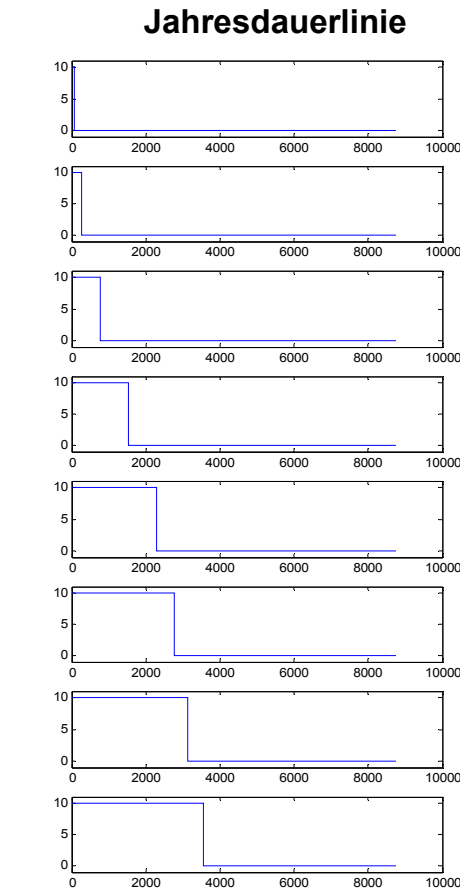
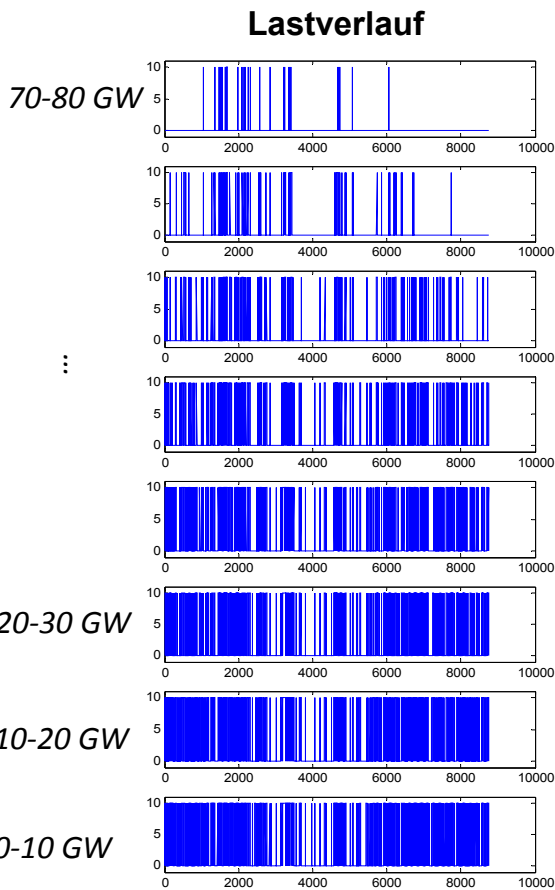
Speicher müssen gleichberechtigten Zugang zu Märkten für Flexibilität erhalten.

4.

Im Verteilnetz sollten Speicher ein Element im Baukasten der Netzbetreiber werden.

## Residuallast





Netzausbau

Power-to-Heat

Demand Side  
Management (Industrie)

„Stromspeicher“

Stromgeführte KWK-Anlagen

## Speichertechnologien sind ein Element im Portfolio der Flexibilitätstechnologien.

Abschaltung von  
EE-Anlagen

Flexible konventionelle  
Kraftwerke

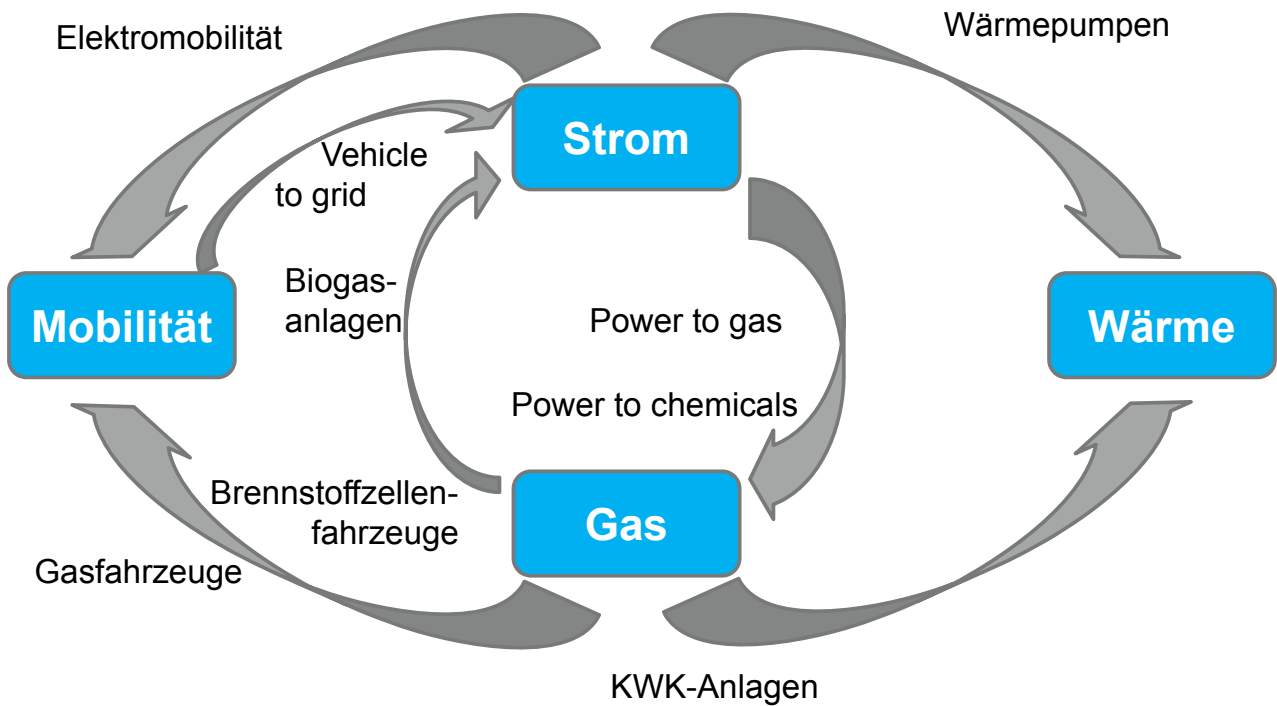
Bedarfsgesteuerte  
Biogasanlagen

Power-to-Gas (Chemicals)

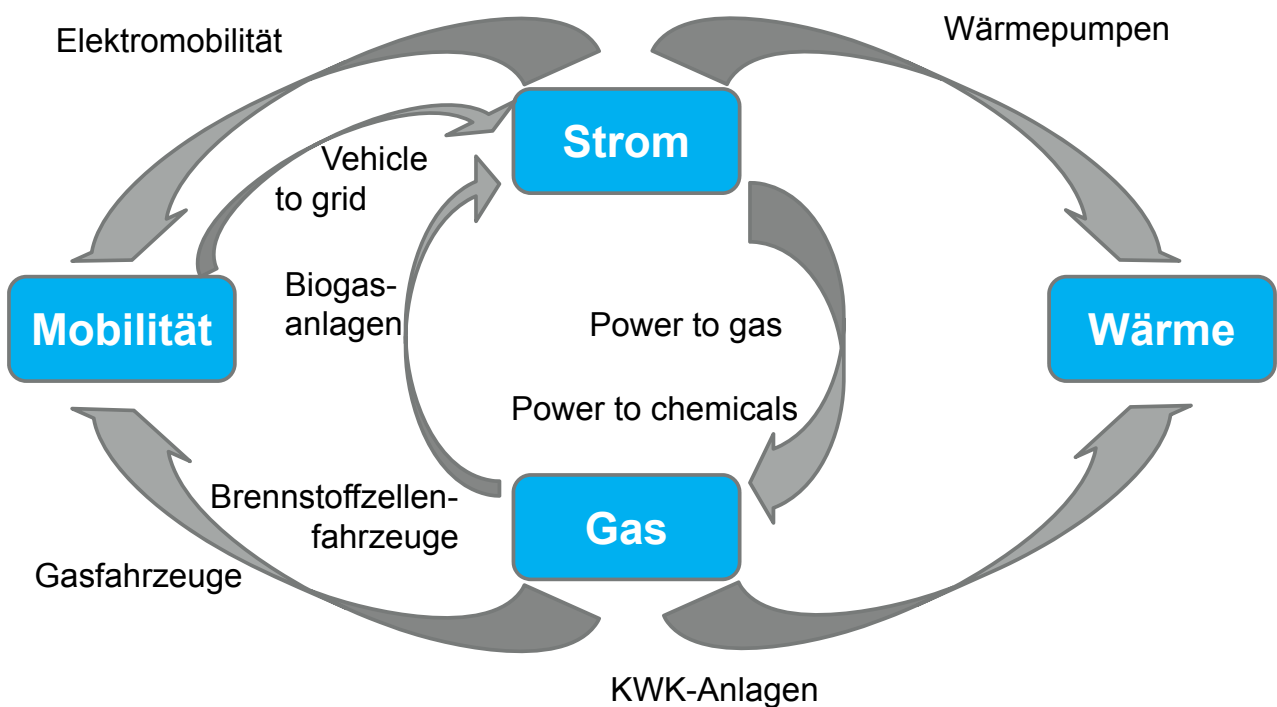
„Intelligente Netze“

Demand Side  
Management (Haushalte  
inkl. Elektromobilität)

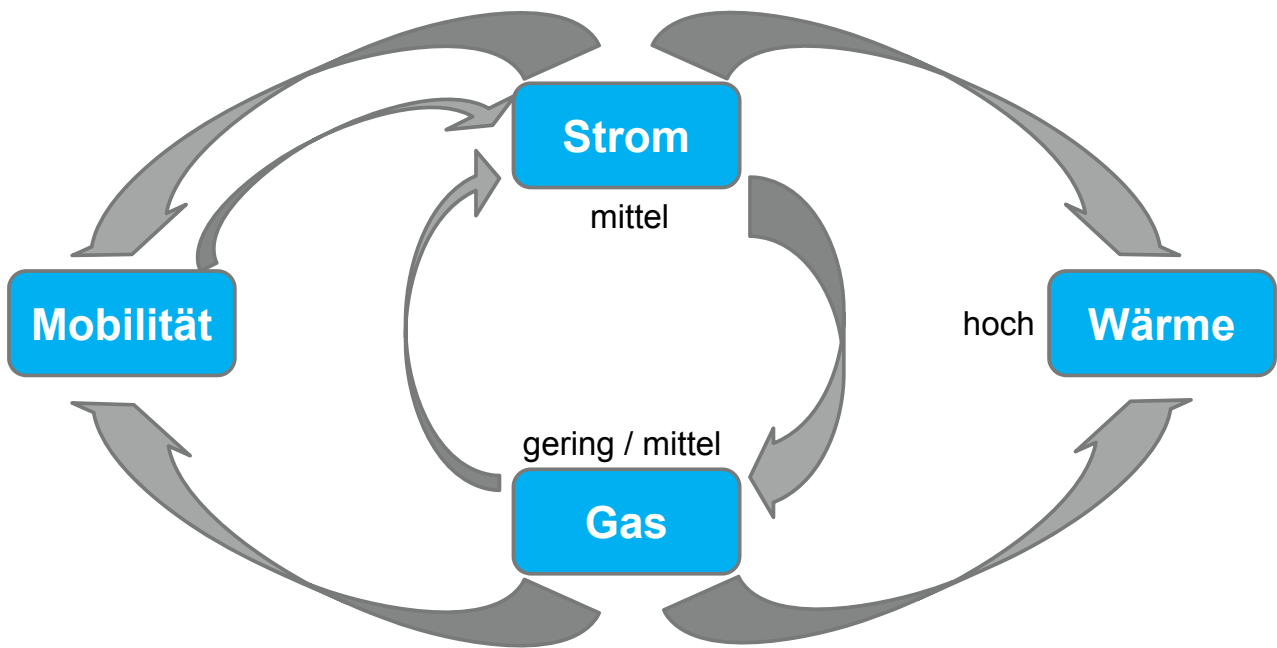
# Zentrale Herausforderung: Energiesysteme müssen verknüpft werden



# Energiesysteme werden verknüpft und schaffen dadurch Flexibilität

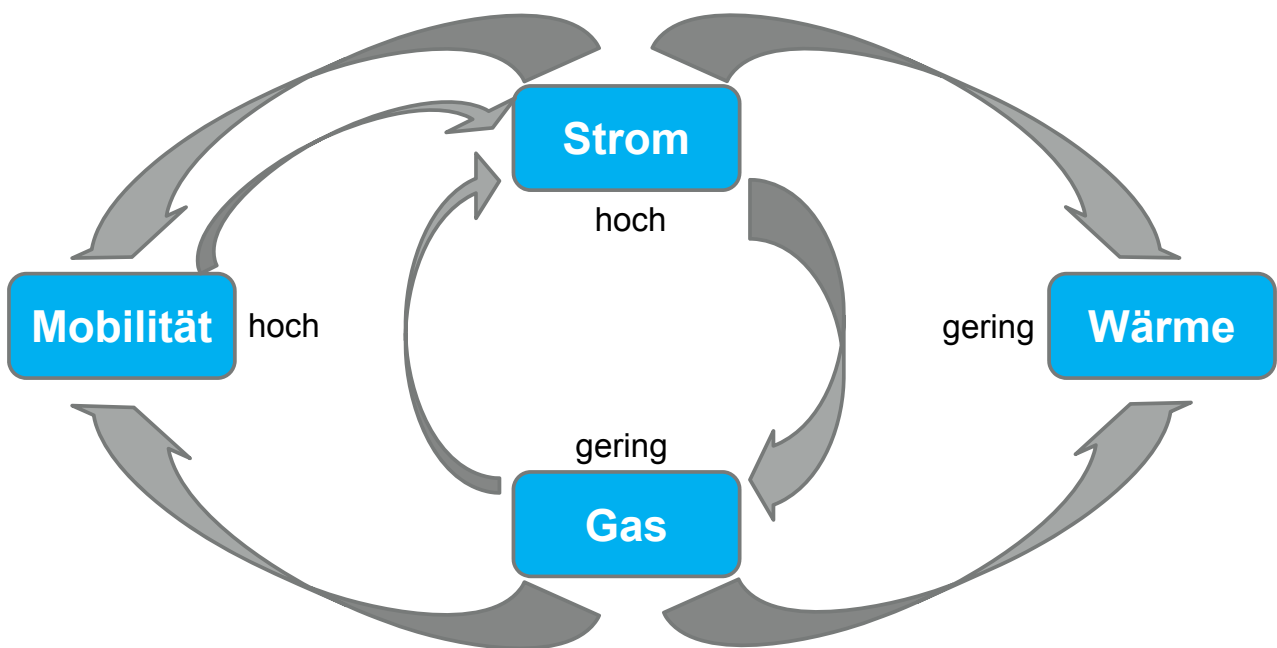


# Energiesysteme müssen verknüpft werden – Effizienz und Kosten beachten



## Transportkosten

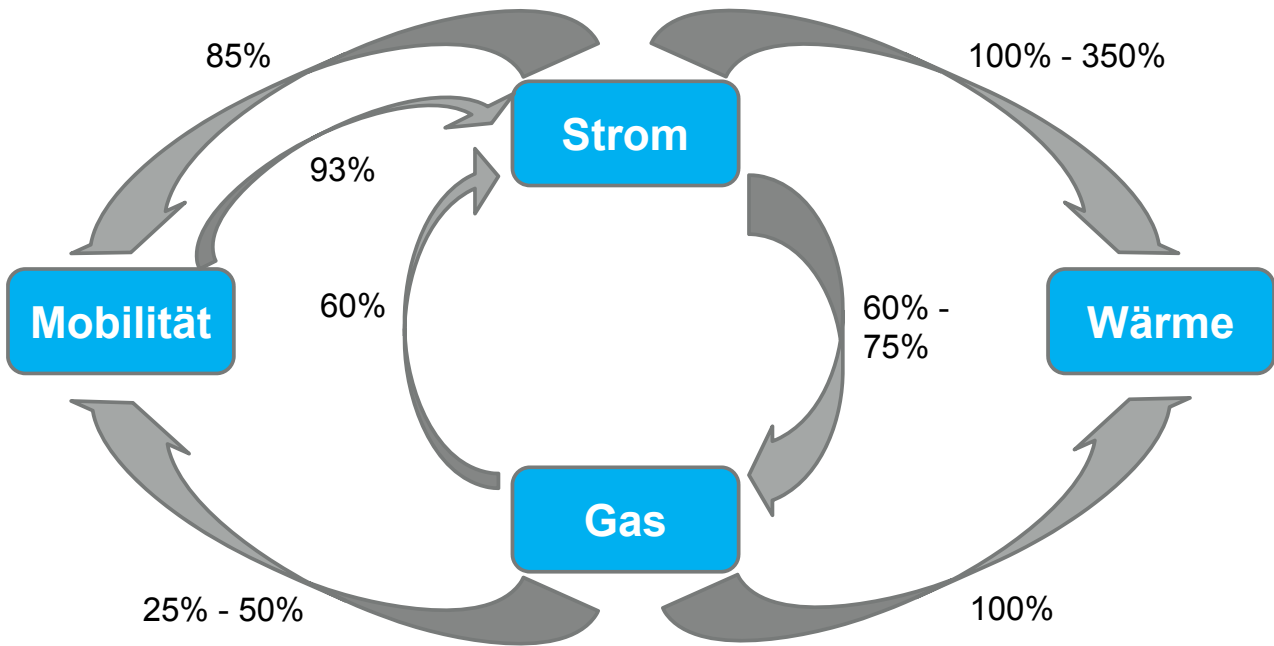
# Energiesysteme müssen verknüpft werden – Effizienz und Kosten beachten



## Speicherkosten



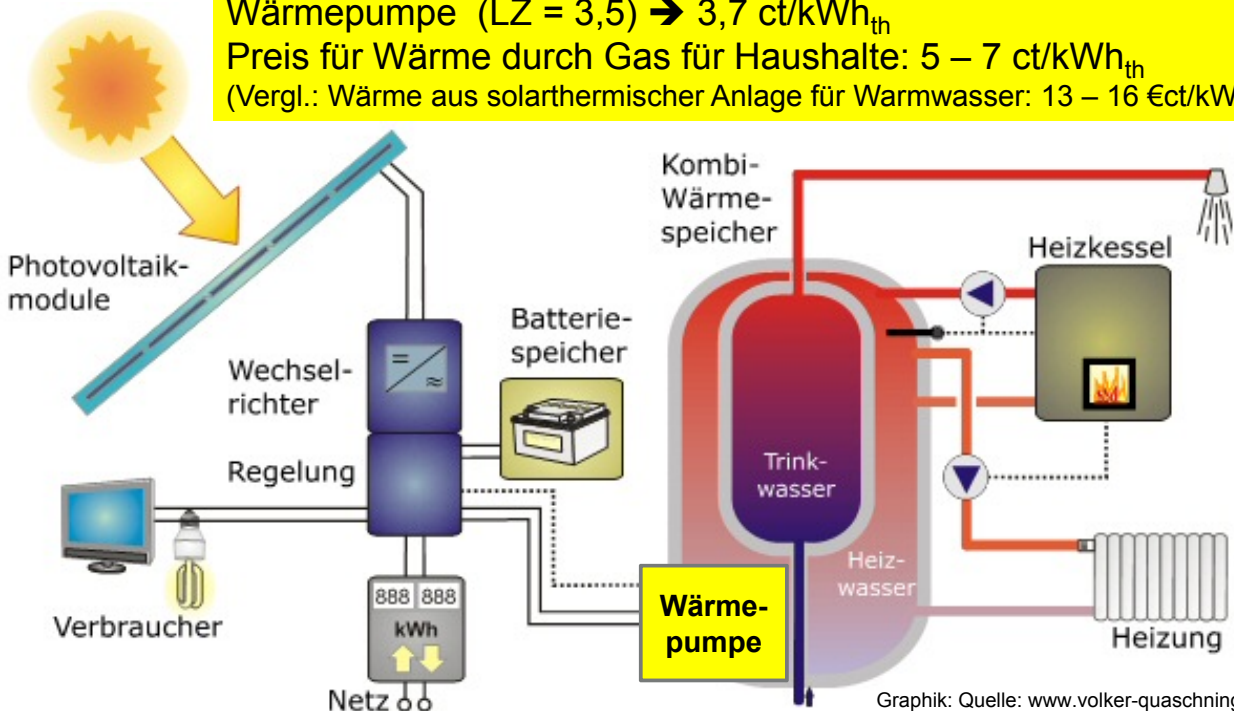
# Energiesysteme müssen verknüpft werden – Effizienz und Kosten beachten



## Umwandlungswirkungsgrade

## Strom zu Wärme – ein Tabu? Nein!

PV-Strom: 13 ct/kWh<sub>el</sub>  
 Wärmepumpe (LZ = 3,5) → 3,7 ct/kWh<sub>th</sub>  
 Preis für Wärme durch Gas für Haushalte: 5 – 7 ct/kWh<sub>th</sub>  
 (Vergl.: Wärme aus solarthermischer Anlage für Warmwasser: 13 – 16 €ct/kWh)

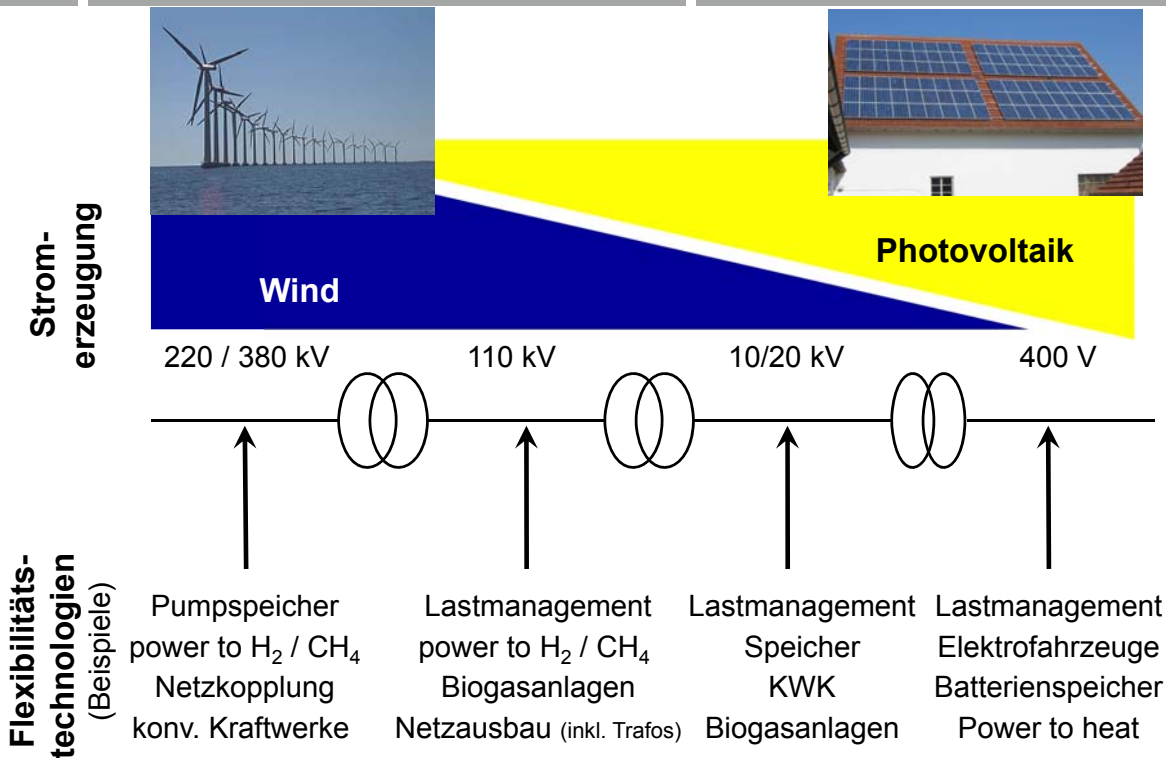


Graphik: Quelle: www.volker-quaschnig.de



# Lokalisierung bzgl. der Netzebenen

Netzüberlastungen müssen gelöst werden, wo sie auftreten



## Beispiel für Größe von Batteriespeichern

- 20 Fuss-Container mit 1 MWh / 1 MW
- Angebot auf HannoverMesse 2012 für ca. 600.000 € (inkl. Leistungselektronik, ohne MS-Anschluss)
- 600 solcher Container liefern die gesamte Primärregelenergie für Deutschland



Anzeige



Frankfurter Allgemeine  
Wirtschaft

Samstag, 11. Oktober 2014 VI

POLITIK WIRTSCHAFT FINANZEN FEUILLETON GESELLSCHAFT SPORT STIL TECHNIK & MOTOR W

„Gigafactory“

## Tesla baut riesige Batteriefabrik in Nevada

Um Elektroautos erschwinglicher für die Massen zu machen, treibt der kalifornische Hersteller Tesla den Bau einer riesigen Batteriefabrik voran. Nun steht offenbar auch der Standort fest: Die „Gigafactory“ soll in Nevada hochgezogen werden.

04.09.2014



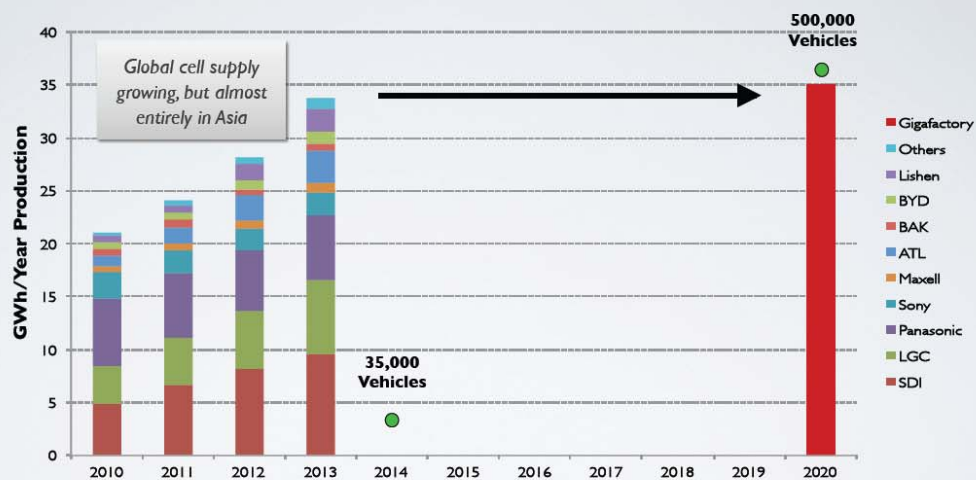
21.10.2014

Lehrstuhl Elektrochemische Energiewandlung und  
Speichersystemtechnik

19

## TESLA-Giga-Factory

Planned 2020 Gigafactory Production Exceeds 2013 Global Production



Battery pack cost/kWh reduced >30% by Gen III volume ramp in 2017

Source: IIT Takeshita 2013

21.10.2014

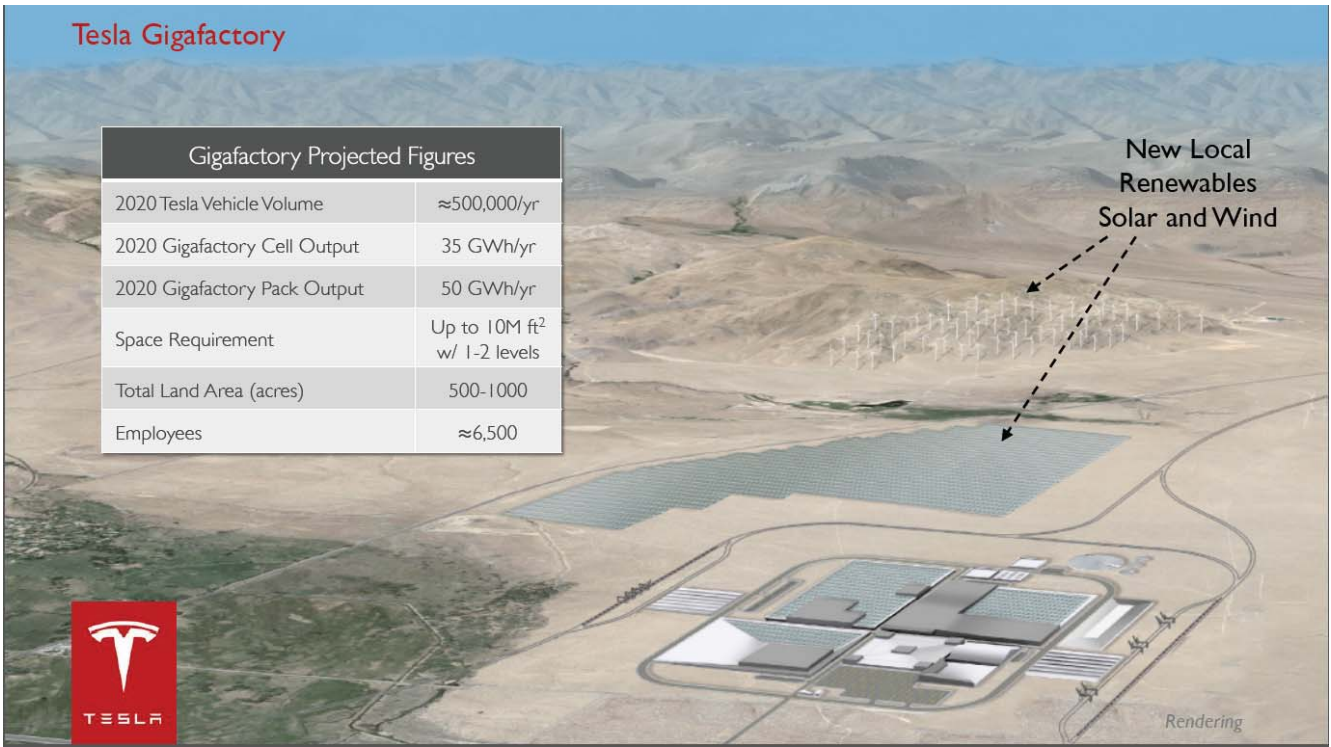
Lehrstuhl Elektrochemische Energiewandlung und  
Speichersystemtechnik

20

## Tesla Gigafactory

Gigafactory Projected Figures	
2020 Tesla Vehicle Volume	≈500,000/yr
2020 Gigafactory Cell Output	35 GWh/yr
2020 Gigafactory Pack Output	50 GWh/yr
Space Requirement	Up to 10M ft <sup>2</sup> w/ 1-2 levels
Total Land Area (acres)	500-1000
Employees	≈6,500

New Local  
Renewables  
Solar and Wind



21.10.2014

Lehrstuhl Elektrochemische Energiewandlung und  
Speichersystemtechnik

21

## Beispiel für Größe von Batteriespeichern

- Modernste Klasse von Containerschiffen haben Platz für rund 15.000 Container (Grundfläche rund 400 m x 56 m)



- 15.000 Container mit je 1 MWh entsprechen etwa 40% der Jahresproduktion der Tesla Giga Factory
- Zielpreis: ca. 100 €/kWh (Zellen)



# Beispiel für Größe von Batteriespeichern

- Modernste Klasse von Containerschiffen haben Platz für rund 15.000 Container (Grundfläche rund 400 m x 56 m)
- Gefüllt mit Batteriecontainern entspricht dies einer Kapazität von 15 GWh / 15 GW (alle deutschen PSK haben zusammen 40 GWh / 6 GW)



Energie



# Beispiel für Größe von Batteriespeichern

- Modernste Klasse von Containerschiffen haben Platz für rund 15.000 Container (Grundfläche rund 400 m x 56 m)
- Gefüllt mit Batteriecontainern entspricht dies einer Kapazität von 15 GWh / 15 GW (alle deutschen PSK haben zusammen 40 GWh / 6 GW)

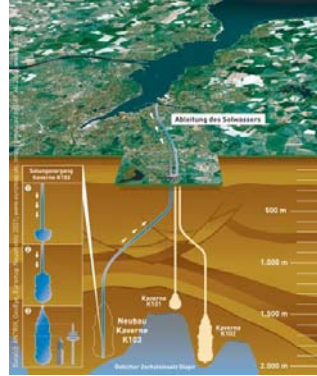
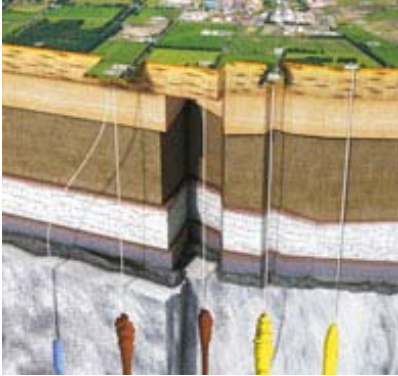


Leistung



# Alternativen für Langzeitspeicher: Wasserstoff- der Methanspeicher in Kavernen

- Heute vorhandene Kavernenspeicherkapazität in Deutschland für Erdgas: ca. 20 Mrd. m<sup>3</sup>
- Mit Wasserstoff gefüllt kann daraus 3 Wochen (bei Methanfüllung 9 Wochen) Strom für Deutschland produziert werden (Rückverstromung mit 60% Wirkungsgrad über GuD-Kraftwerke oder Brennstoffzellen)



- Elektrolyseur und Methanisierung heute noch teuer, werden aber günstiger
- Kreislaufwirkungsgrad maximal 40% (H<sub>2</sub>) bzw. 32% (CH<sub>4</sub>)
- Kosten für Speicherkaverne ~0,30 €/kWh (H<sub>2</sub>) bzw. ~0,10 €/kWh (CH<sub>4</sub>)

# Alternativen für Langzeitspeicher: Sehr große Wasserspeicher

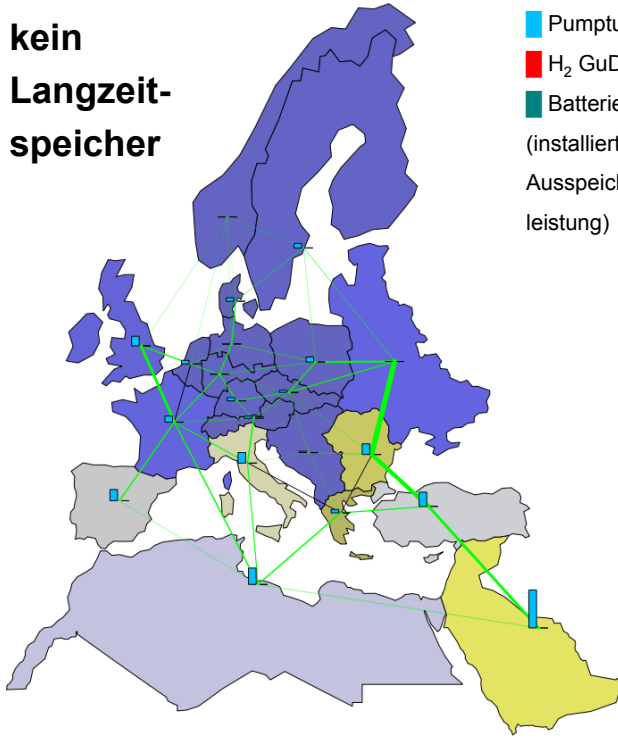
- Skandinavien mit großem Potential
- Alpenraum mit Potential
  - hohe Netzleistungen notwendig
  - Investitionskosten müssen sehr gering sein, weil Kosten vor allem durch Kapitalkosten dominiert sind



Wasserkraftanlage Harspranget / Schweden  
939 MW, 2 TWh/Jahr

# Sensitivität einer europäischen Energieversorgung mit 100% Erneuerbaren Energien

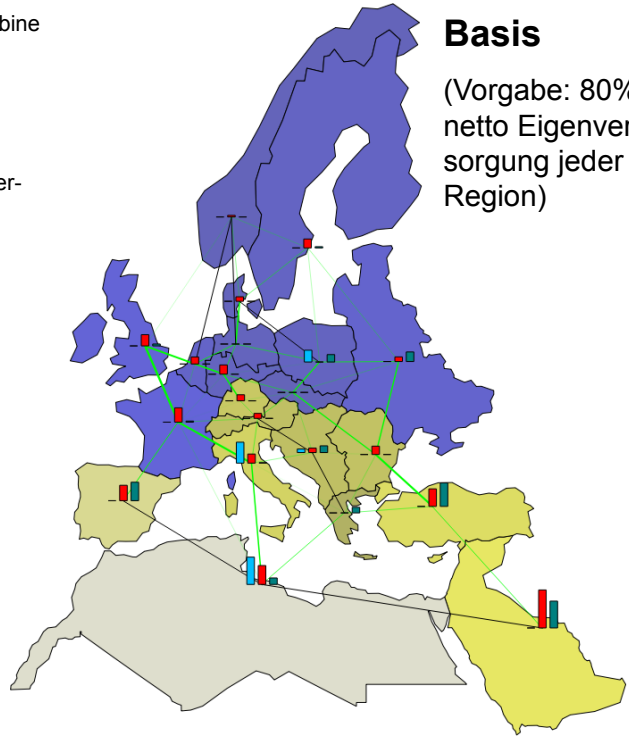
kein  
Langzeit-  
speicher



■ Pumpturbine  
■ H<sub>2</sub> GuD  
■ Batterie  
 (installierte  
Ausspeicher-  
leistung)

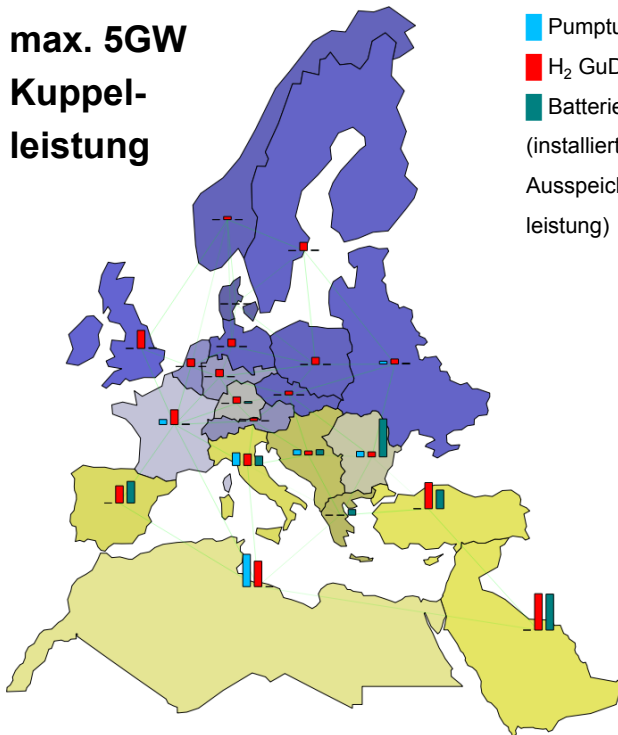
**Basis**

(Vorgabe: 80%  
netto Eigenver-  
sorgung jeder  
Region)



# Vergleich „Basisszenario“ ↔ Szenario „max. 5GW Kuppelleistung 5 GW“

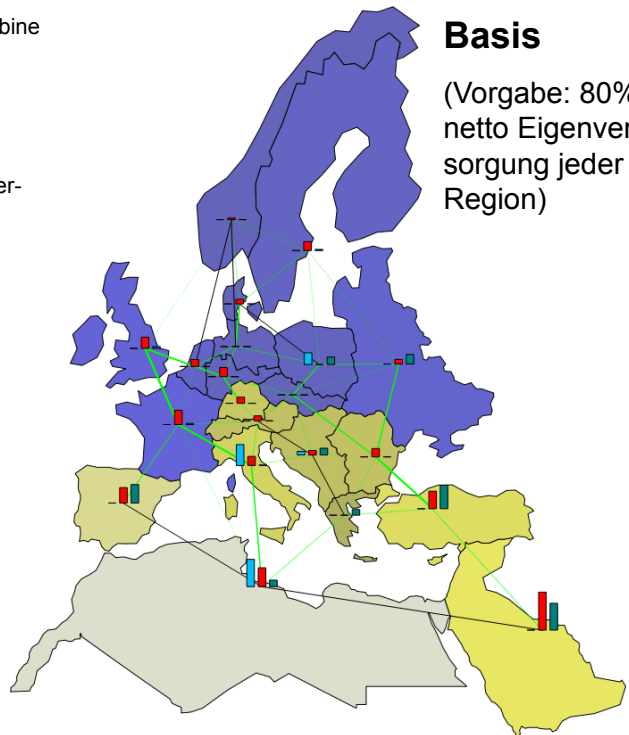
max. 5GW  
Kuppel-  
leistung



■ Pumpturbine  
■ H<sub>2</sub> GuD  
■ Batterie  
 (installierte  
Ausspeicher-  
leistung)

**Basis**

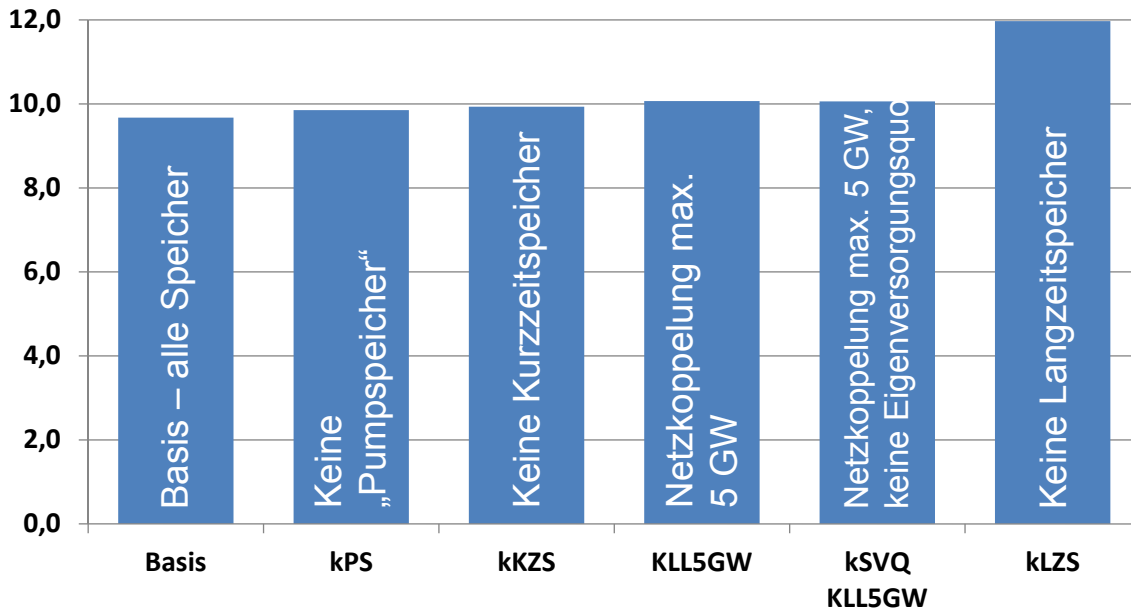
(Vorgabe: 80%  
netto Eigenver-  
sorgung jeder  
Region)







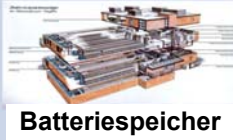



# Vergleich der Stromgestehungskosten bei verschiedenen Szenarienrestriktionen

Kosten (€/kWh)



Langzeitspeicher: ca. 4 bis 6 Wochen Volllast, 2 äquiv. Vollzyklen pro Jahr

## Klassifizierung der Speichieranwendungen ist notwendig

Elektr. Speicher- technologien nur als Beispiele		Kurzzeit- speicher	Tages- speicher	Langzeit- speicher
		bis 15 min	1 – 5 Stunden	Tage bis Wochen
Zentrale Speichersysteme	100 MW – 1 GW		 Pumpspeicher	 Gasspeicher
Modulare Speichersysteme	1 kW – 100 MW	 Batteriespeicher	 Redox-flow-Batt.	
Modulare Speicher mit Doppelnutzen	1 kW – 1 MW	 Elektromobilität	 Eigenverbrauch in PV-Anlagen.	



# Speicher, die sowieso da sind und zusätzlich Netzdienstleistungen liefern können

- Speichersysteme werden für einen anderen Primärnutzen angeschafft
- Netzserviceleistungen bieten eine zusätzliche Einnahmequelle
- Sehr hohes Potential



Vehicle to grid



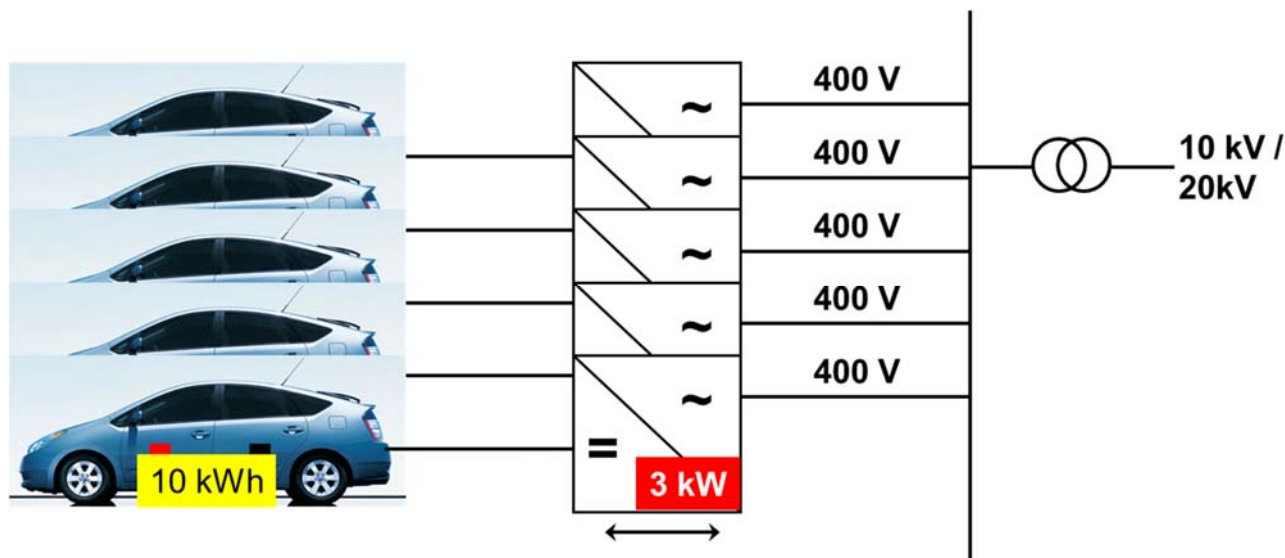
Eigenverbrauch  
in PV-Anlagen



Unterbrechungsfreie  
Stromversorgung  
(USV)

- Typischerweise in Szenariountersuchungen gar nicht oder nur mit begrenztem Potential enthalten

## Virtuelle Großspeicher durch verteilte Speicher in Fahrzeugen (Plug-in Hybride)



- Hohes Potential mit bi-direktionalen Ladegeräten bei intelligenter Steuerung
- Besonders geeignet für schnelle Regelung über kurze Zeiten
- Kapazität: 10 Mill. Fahrzeuge → 20 GW, 30 GWh  
(Annahme: 2/3 zeitliche Verfügbarkeit, 3 kW Anschlussleistung, 20% Kapazitätsnutzung von 15 kWh)

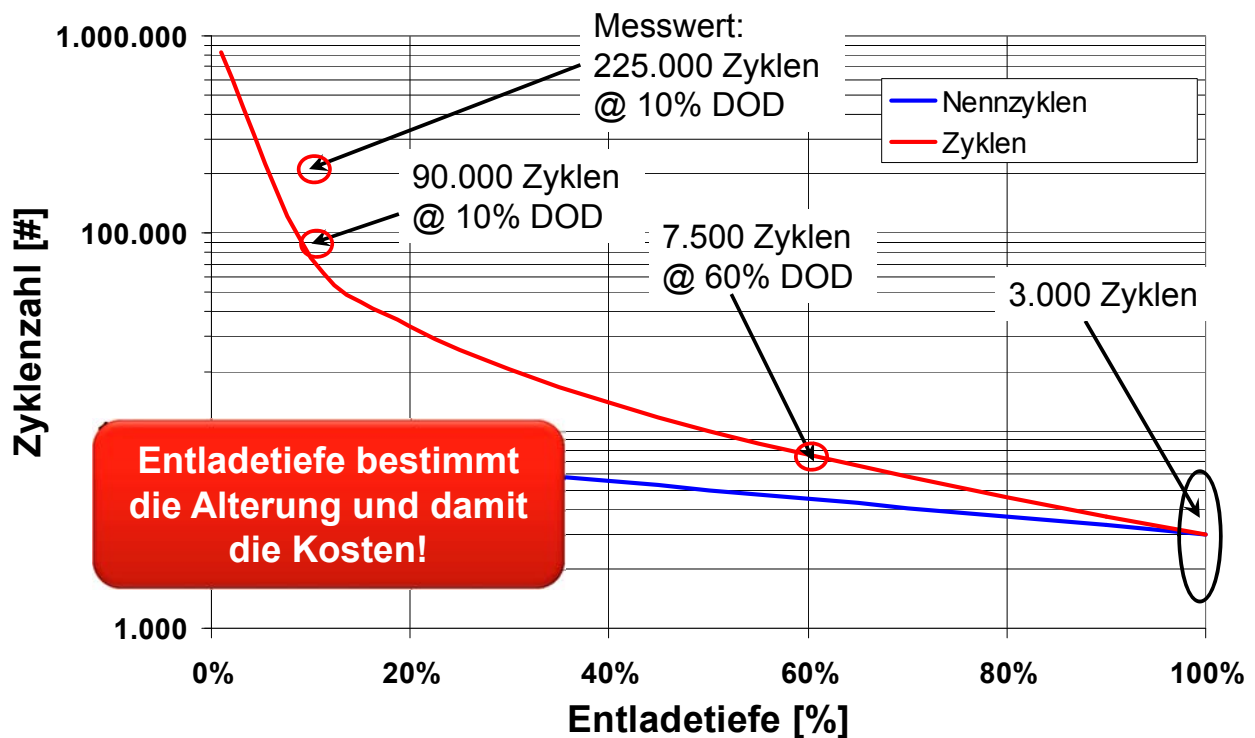
# Speicher in netzgekoppelten PV-Anlagen – Persönliche Optimierung des Strombezugs

- Einsatz von Speichern zur Optimierung des Eigenbedarfs
- Persönlicher Nutzen
  - Strombezugspreis für Endkunden: ~28 ct/kWh
  - Stromgestehungskosten neue PV-Anlagen: ~ 13 ct/kWh
  - Stromgestehungskosten nach 20 Jahren EEG-Förderung: nahe 0 ct/kWh
- Doppelnutzen für zusätzliche  
Netzdienstleistungen im Kurzzeit-  
speicherbereich möglich
- Wirtschaftlich attraktiv für Betreiber
- Start Marktanreizprogramm der  
Bundesregierung im Mai 2013
- Zahl der verkauften Hausspeicher  
in 2013 geschätzt etwa 7000



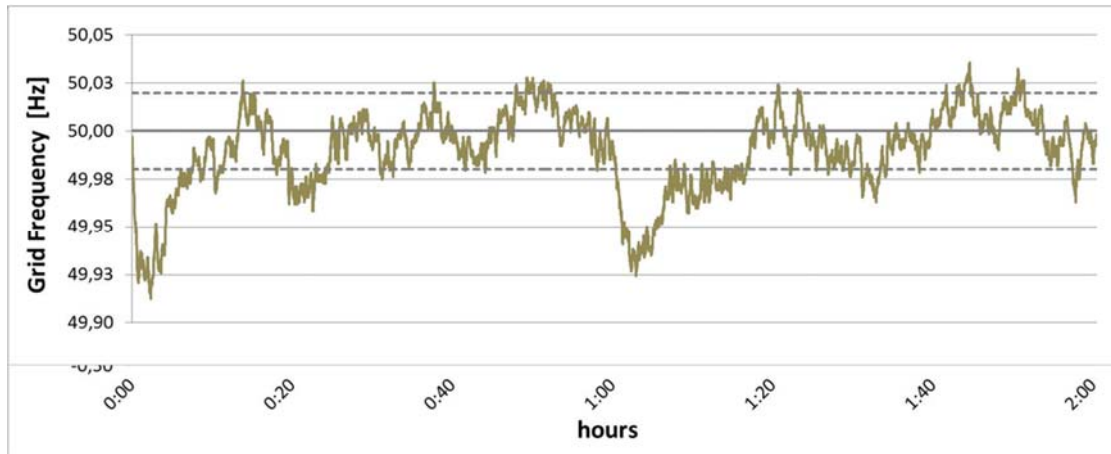
Bild: Wikimedia Commons

## Einfluss der Entladetiefe auf die Lebensdauer und damit Lebenszykluskosten



# Markt für Primärregelleistung

- Primärregelleistung wird eingesetzt in Abhängigkeit der Abweichung der Netzfrequenz von 50 Hz (Maximalleistung bei  $\pm 200$  mHz)
- Aktueller Marktpreis etwa 3000 €/MW  
→ ca. 150.000 €/MW per year
- Maximalleistung muss in beide Richtungen für 30 min garantiert werden



# Unterbrechungsfreie Stromversorgungen (USV) für Netzdienstleistungen?



Quelle: [www.kausch.de](http://www.kausch.de)  
E.ON Thüringer Energie AG; Spichra bei Eisenach



Quelle: [www.allmystery.de](http://www.allmystery.de)

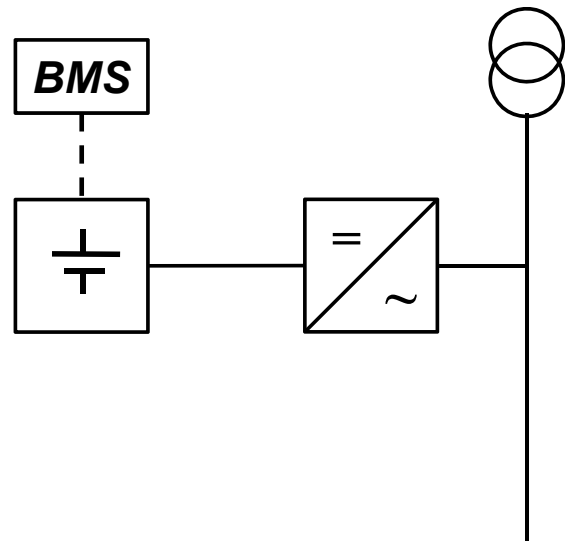


Quelle: [www.xpirio.com](http://www.xpirio.com)

# Systemdesign einer USV-Anlage

Komponenten einer USV-Anlage zur  
Versorgung von Wechselstromlasten

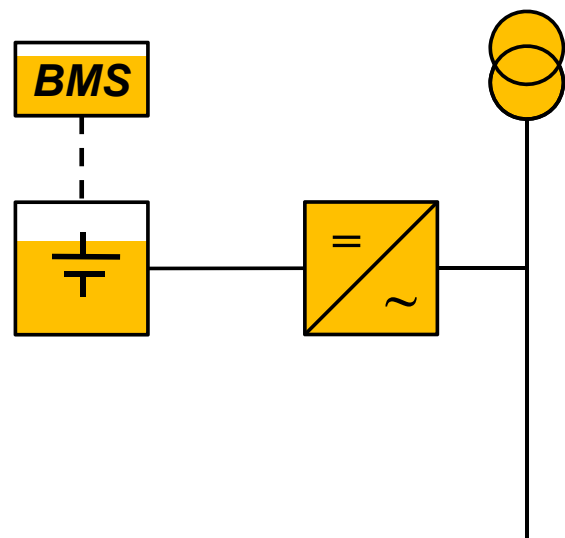
- Vorhandene und notwendige  
Komponenten



# Systemdesign einer USV-Anlage mit Netzdienstleistungen

Komponenten einer USV-Anlage zur  
Versorgung von Wechselstromlasten

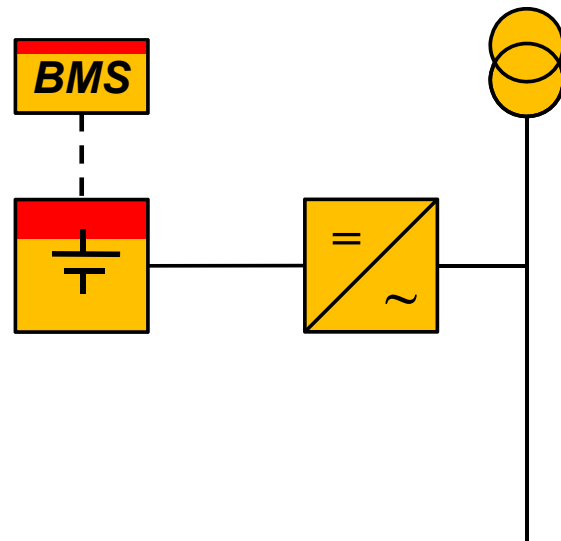
- Komponenten, die unverändert  
bleiben, wenn zusätzlich  
Regelleistung geliefert werden  
soll



# Systemdesign einer USV-Anlage mit Netzdienstleistungen

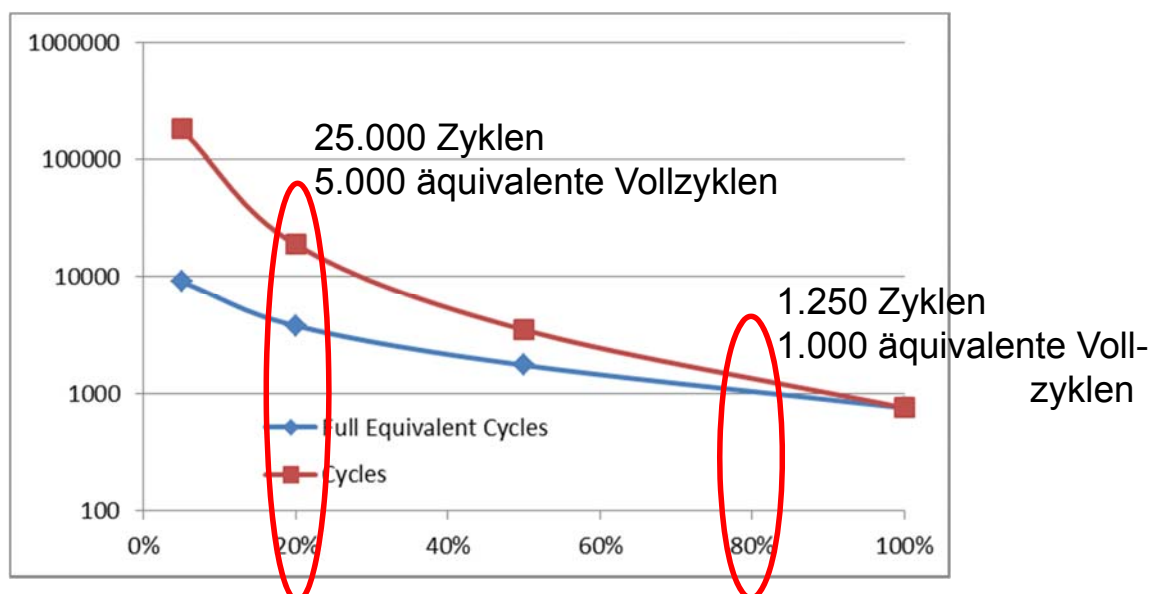
Komponenten einer USV-Anlage zur Versorgung von Wechselstromlasten

- Zusätzliche Investitionen



## Warum macht Doppelnutzen bei USV-Anlagen Sinn?

- Zyklenlebensdauer von Sanyo Lithium-ionen Batteriezellen (Typ 18650, NMC, Konsumer) – hochwertige Batterien erreichen 3 bis 5x mehr Zyklen



# Netzserviceleistungen aus Doppelnutzungsanlagen sind viel günstiger

## 1 kWh Energiebereitstellung für Regelleistung

Investitionskosten:  
150 €/kWh

Investitionskosten :  
5 x 150 €/kWh

Investitionskosten:  
+ 150 €/kWh  
(USV-Anteil ist bezahlt)

Zykluslebensdauer:  
1.000 Zyklen

Zykluslebensdauer:  
25.000 Zyklen (20% DOD)

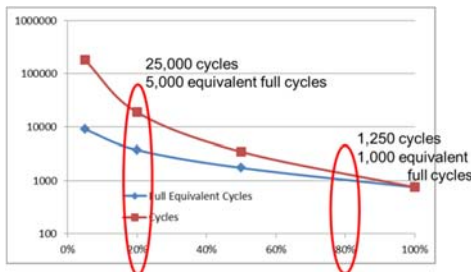
Zykluslebensdauer:  
25.000 Zyklen (20% DOD)

→ 15 ct/kWh

→ 3 ct/kWh

→ 0.6 ct/kWh

**Regel-  
leistung**



**Regel-  
leistung**



**Regel-  
leistung**



# Kapazitätsbezogene Investkosten steigen für dezentrale Speicher, aber auch deren Nutzen

Zentralspeicher

Regionalspeicher

Lokalspeicher

Energiehandel, Ausgleich Angebot und Nachfrage

Reserveleistungen, Blindleistung

⋮

Spitzenlastmanagement

Netzentlastung

⋮

Eigennutzung von EE




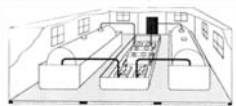


USV (Unterbrechungsfreie Stromversorgung)

⋮

(unvollständige Liste)



# Klassifizierung der Speichieranwendungen ist notwendig

Elektr. Speichertechnologien nur als Beispiele		Kurzzeit-speicher	Tages-speicher	Langzeit-speicher
		bis 15 min	1 – 5 Stunden	Tage bis Wochen
Zentrale Speichersysteme	100 MW – 1 GW		 Pumpspeicher	 Gasspeicher
Modulare Speichersysteme	1 kW – 100 MW	 Batteriespeicher	 Redox-flow-Batt.	
Modulare Speicher mit Doppelnutzen	1 kW – 1 MW	 Elektromobilität	 Eigenverbrauch in PV-Anlagen.	

↑ Direkter Wettbewerb im Energiemarkt ↓

## Zusammenfassung

- Es gibt reichlich Flexibilität → zentrale Speicher mit < 24 Stunden Zeitkonstante werden kaum gebraucht
- Zusätzliche Speicher werden dezentral kommen, finanziert aus einer Primäranwendung → extrem kompetitiv im Stromsystem
- Langzeitspeicher notwendig bei Anteil Erneuerbarer Energien > 80% → Gasspeicher und Jahrespumpspeicher absehbar die einzigen Technologien
- Insgesamt ist die Weiterentwicklung des Energieversorgungssystems über dezentrale, kommunale Ebene sehr wahrscheinlich, weil sichere Großinvestitionen kaum möglich sind.  
Das ist nicht notwendigerweise der kostengünstigste Weg, aber das Resultat eines wettbewerblich organisierten Energiesystems.



# NEUE STROMSPEICHER

## *Unnötig, ineffizient, unrentabel?*

Zürich - 21.10.2014

**Univ.-Prof. Dr. Dirk Uwe Sauer**

Institut für Stromrichtertechnik und Elektrische Antriebe (ISEA) und  
Institute for Power Generation and Storage Systems (PGS) @ E.ON ERC  
RWTH Aachen University

Contact: [batteries@isea.rwth-aachen.de](mailto:batteries@isea.rwth-aachen.de)

