



Berner Fachhochschule  
Haute école spécialisée bernoise  
Bern University of Applied Sciences



# Für jedes Einfamilienhaus eine Batterie, ist das die Lösung?

BFH Zentrum Energiespeicherung

2018-03-20 Marktpartner Veranstaltung Säntis Energie

BFH-CSEM Zentrum Energiespeicherung / Prof. Dr. Andrea Vezzini

# Inhalt

- ▶ BFH Zentrum Energiespeicherung
- ▶ Was für eine Rolle übernehmen welche Speicher heute?
- ▶ Welche Speicher werden wichtiger, welche weniger?
- ▶ Wie funktionieren Solarheimspeicher und wie werden sie optimal betrieben
- ▶ Wie werden sich elektrische Speicher in Zukunft verändern?
- ▶ Wie werden Energiespeicher die Anforderungen an die Energieversorgung verändern?

# BFH Zentrum Energiespeicherung

## Overview

# Das BFH

## Energy Storage Research Center ESReC



Das BFH Zentrum Energiespeicherung (ESReC) ist ein interdisziplinäres Forschungs- und Entwicklungszentrum von mehreren Forschungsgruppen innerhalb des Departements Technik und Informatik der Berner Fachhochschule BFH. Als eine der grössten Forschungsplattformen für industrielle F&E-Projekte in der Schweiz ist das übergeordnete Ziel des ESReC die Entwicklung von Wissen und Technologien, die für den Übergang zu einem nachhaltigen und effizienten Schweizer Energiesystem unerlässlich sind.

# BFH Energy Storage Research Center (ESReC)

- ▶ One of the largest independent energy storage research centers for academic R&D activities available to the Swiss industry



Testing and characterization of large capacity cells and modules and development of hard- and software for complete battery and energy systems



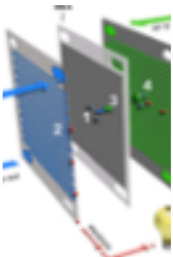
Use and test of energy storage systems for mobility applications to substitute non-renewable fuels and reduce CO2 emission for all mobility carriers (land, air, sea)



Manufacturing technologies for large lithium-ion cells and modules for a cost effective production of the key components of electrical storage systems



Use and test of PV integrated energy storage systems to enable the integration of new renewable energy sources and their impact on power quality and grid stability



Application, test and development of decentralized and mobile fuel cell systems as a basis for long term storage of electrical energy.



Integrated analysis of Innovation-ecosystems enabling the diffusion of battery storage systems as a means to manage the energy turn-around

# Embedded in three national Research Networks

- ▶ FUTURE SWISS ELECTRICAL INFRASTRUCTURE - SCCER-FURIES



- ▶ EFFICIENT TECHNOLOGIES AND SYSTEMS FOR MOBILITY – SCCER MOBILITY










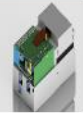


















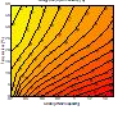

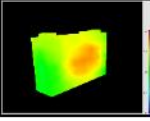
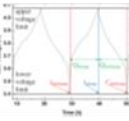

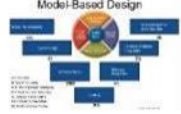









- ▶ HEAT AND ELECTRICAL STORAGE – SCCER STORAGE





# From Research to Products: SCCER Mobility and ESReC

Industry / Startups		 CH-9245 Oberbüren	 since 1882 CH-4512 Bellach	 CH-2560 Nidau	 CH-3000 Bern	 CH-3627 Heimberg	 CH-3401 Burgdorf	
Demonstrators P&D Program		 Suncar E-Bagger	 SBB On-Board Battery	 Swiss Trolley+	 Traction DC/DC	 votec evolaris	 110t eDumper	 EM1 - Electric Mower
Communication KTT	 Brochure	 Academia-Industry Dialogue Master Thesis Presentation	 Transportation Regulation Report	 Kompetenznetzwerk Li-Batterien	 armasuisse Report	 SCCER Seminar		
Funding / Investments	 EMPA Materials Science & Technology Initial invest in equipment	 NTB Interstaatliche Hochschule für Technik Buchs FHO Fachhochschule Ostschweiz Initial invest in equipment	 BAZL evolaris	 Schweizerische Eidgenossenschaft Confédération suisse Confederazione Svizzera Confederaziun svizra Bundesamt für Energie BFE Office fédéral de l'énergie OFEN SBB / Swiss Trolley+	 Schweizerische Eidgenossenschaft Confédération suisse Confederazione Svizzera Confederaziun svizra Bundesamt für Energie BFE Office fédéral de l'énergie OFEN evolaris	 Schweizerische Eidgenossenschaft Confédération suisse Confederazione Svizzera Confederaziun svizra Bundesamt für Energie BFE Office fédéral de l'énergie OFEN Invest	 Schweizerische Eidgenossenschaft Confédération suisse Confederazione Svizzera Confederaziun svizra Bundesamt für Energie BFE Office fédéral de l'énergie OFEN 110t eDumper	 Schweizerische Eidgenossenschaft Confédération suisse Confederazione Svizzera Confederaziun svizra Bundesamt für Energie BFE Office fédéral de l'énergie OFEN EM1 - Electric Mower
Applied Research	 Roadmap	 Performance Tests	 Testing Standardization	 Thermal testing	 Life Cycle testing	 Functional Safe BMS	 FuSi Programming	
Infrastructure	 High Power Testing (EMPA)	 40 Channels (10V/50A)	 +20 Channels (10V/50A)	 Thermal Test Bench (NTB)	 BMS HIL	 +2 Temperature Chambers	 50kVA Smart Building Emulation	
	2014	2015	2016	2017	2018			

# Batterien für die Energieversorgung

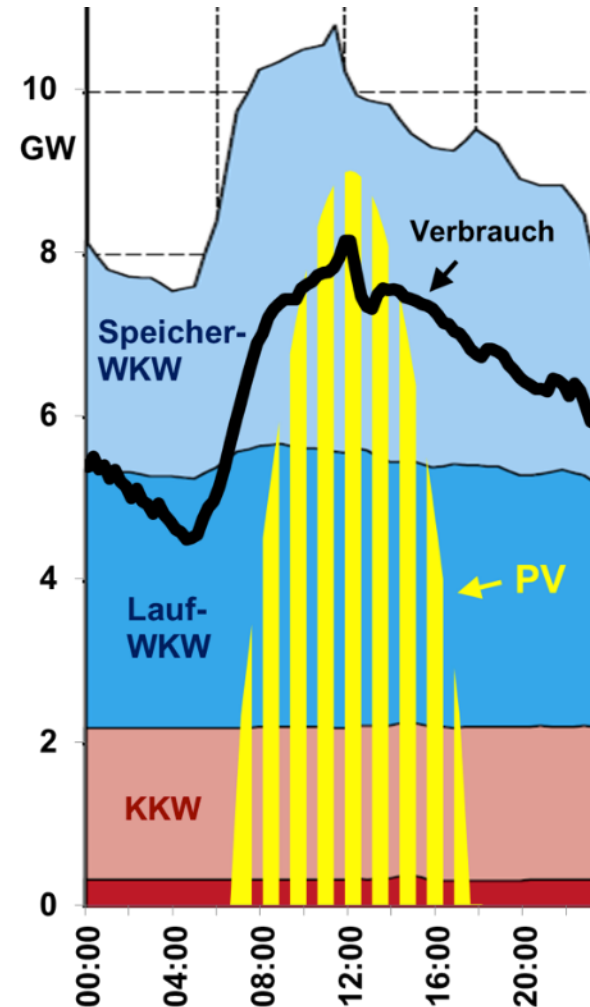
Speicher ermöglichen die Integration neuer erneuerbarer Energien



# Inländische Produktion

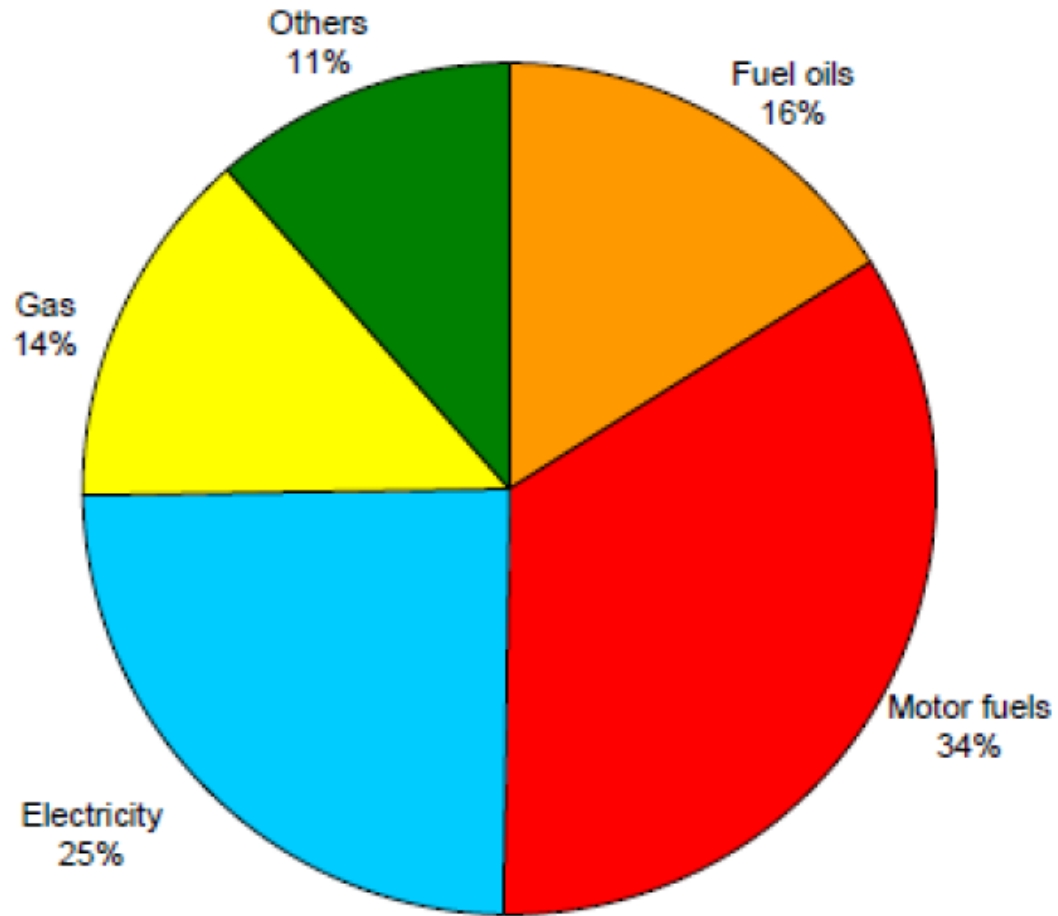
- ▶ Jahresverbrauch Schweiz betrug 2011 58'599 GWh
- ▶ Gemäss den bundesrätlichen Energieszenarios sollen Photovoltaikanlagen 2050 jährlich ca. 10 TWh Strom erzeugen (17% am Gesamtverbrauch).
- ▶ Hierfür müssen rund 10 GW Leistung in PV-Anlagen installiert werden (1'000 Vollaststunden).

Quellen:  
Landesverbrauch 2010/11 (Quelle: BfE/Swissgrid /  
Bruttolastgangsumme)

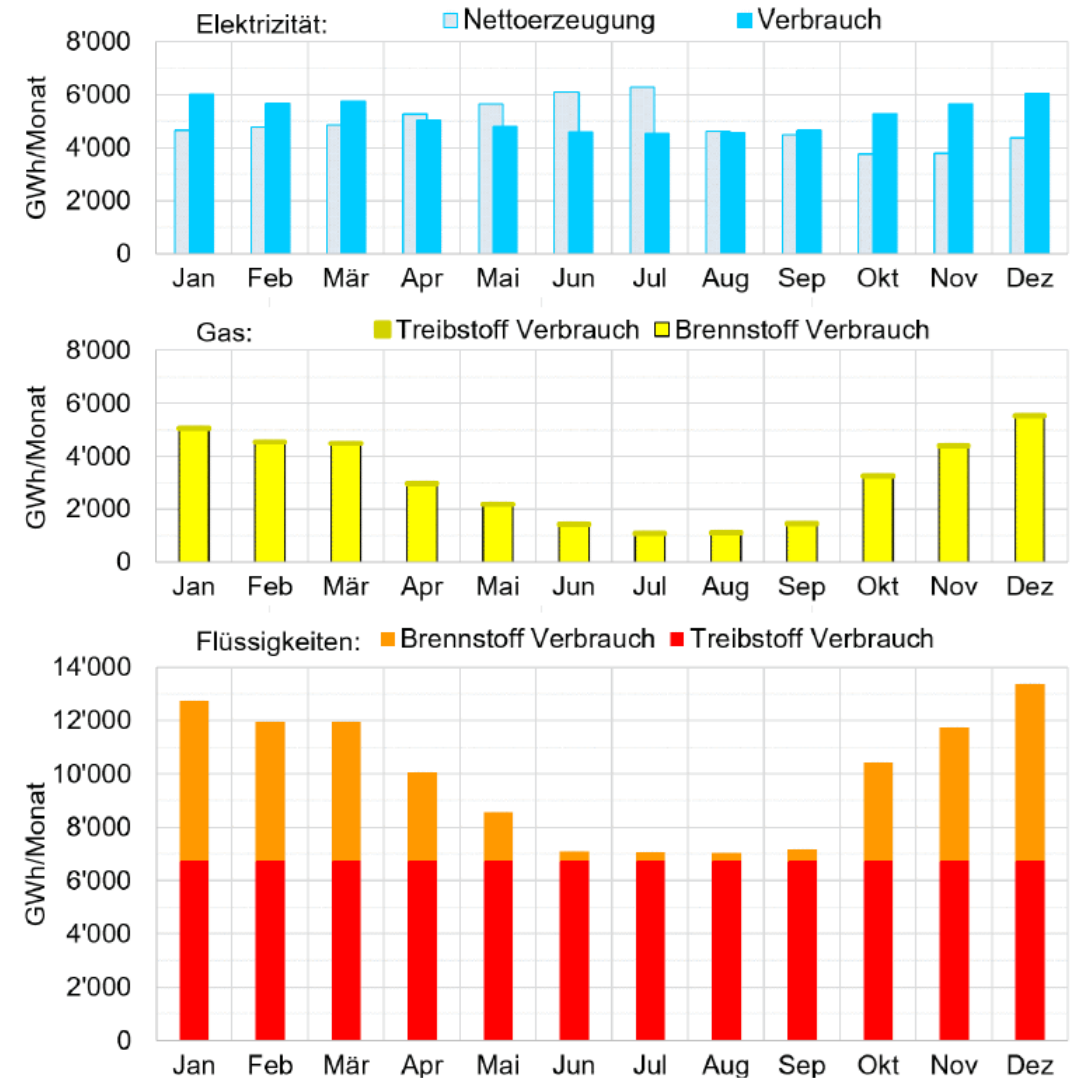


Inländische Produktion am 16.6.2010 und möglicher Produktionsverlauf von PV bei einer installierten Leistung von 10GW an einem schönen Sommertag.

# Endenergieverbrauch in 2016 und saisonale Verteilung



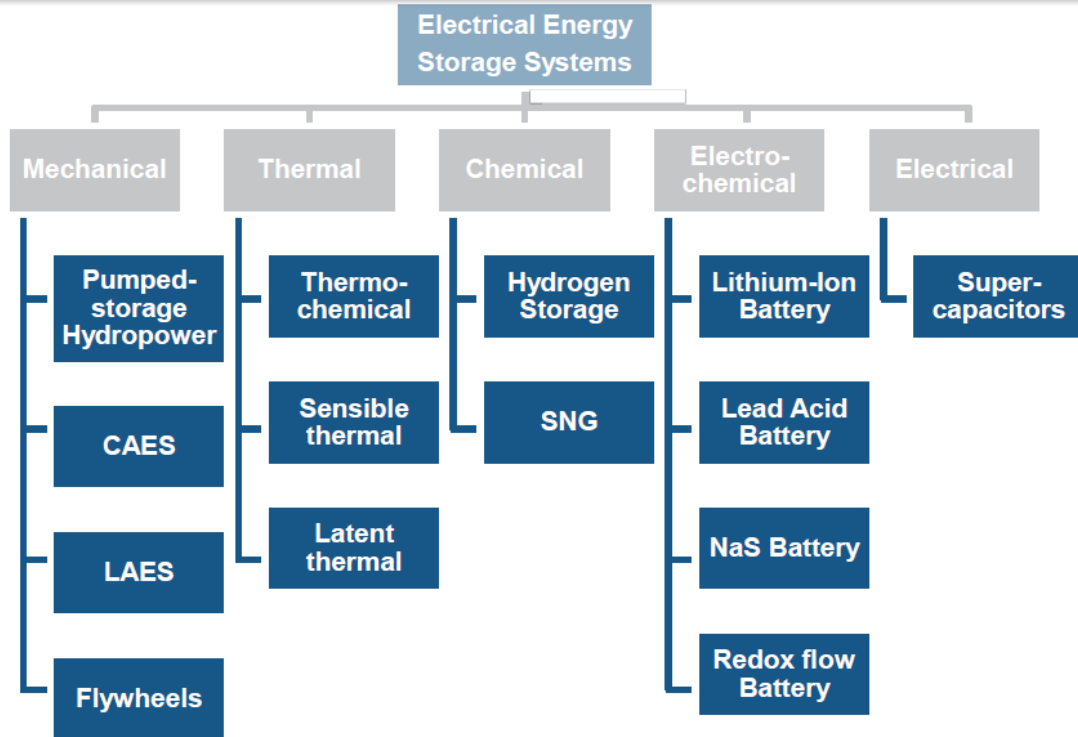
Quellen: Bundesamt für Energie «Elektrizitätsstatistik 2016» und «Gesamtenergiestatistik 2016», VSG Jahresstatistik Ausgabe 2017



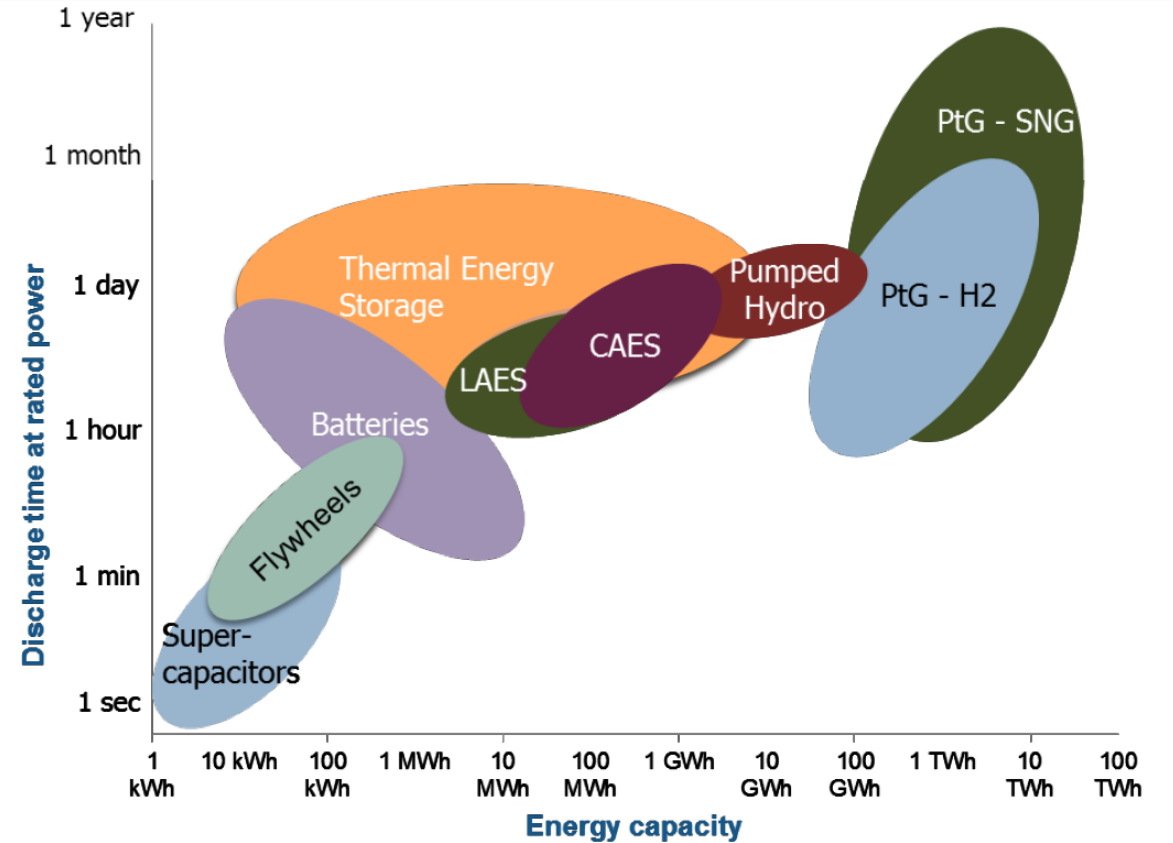
# Speichertechnologien nach Leistungsmerkmalen

Source: PwC, 2015.

CAES is Compressed Air Energy Storage; LAES is Liquid Air Energy Storage; SNG is Synthetic Natural Gas.



Source: PwC, 2015, following Sterner et al. 2014







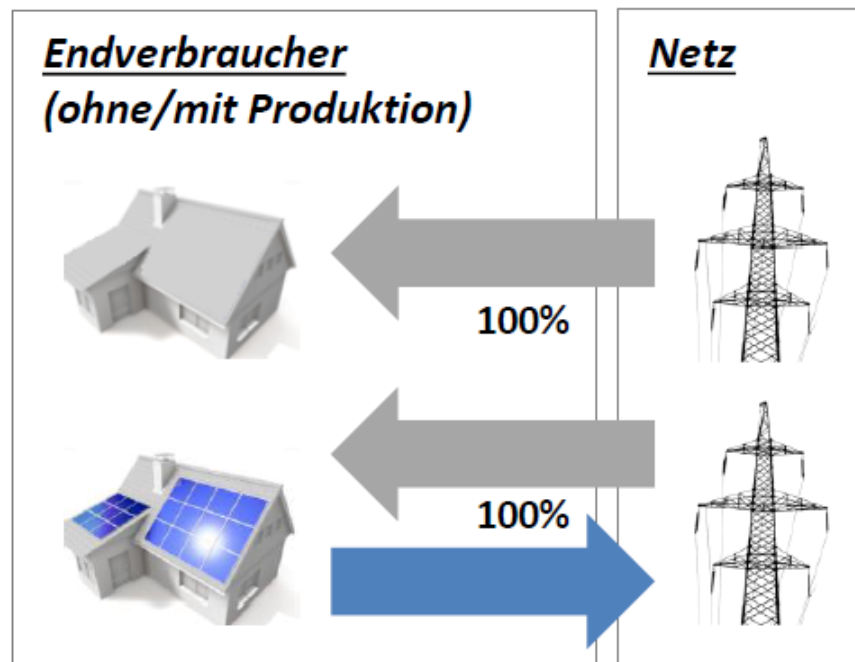
Die Energiewende findet im Verteilnetz statt



# Getrennte Welten bisher: Produzenten und Konsumenten

Netzparität der Speicherung wird den Markt für die EVU grundlegend verändern

## Stufe 1: Keine Netzparität



- Endverbraucher ohne Produktion bezieht Strom zu 100% aus Netz
- Endverbraucher mit Produktion liefert bzw. bezieht Strom zu 100% ins/aus Netz

- Nur aufgrund Förderungen attraktiv, Wachstum über Förderung steuerbar

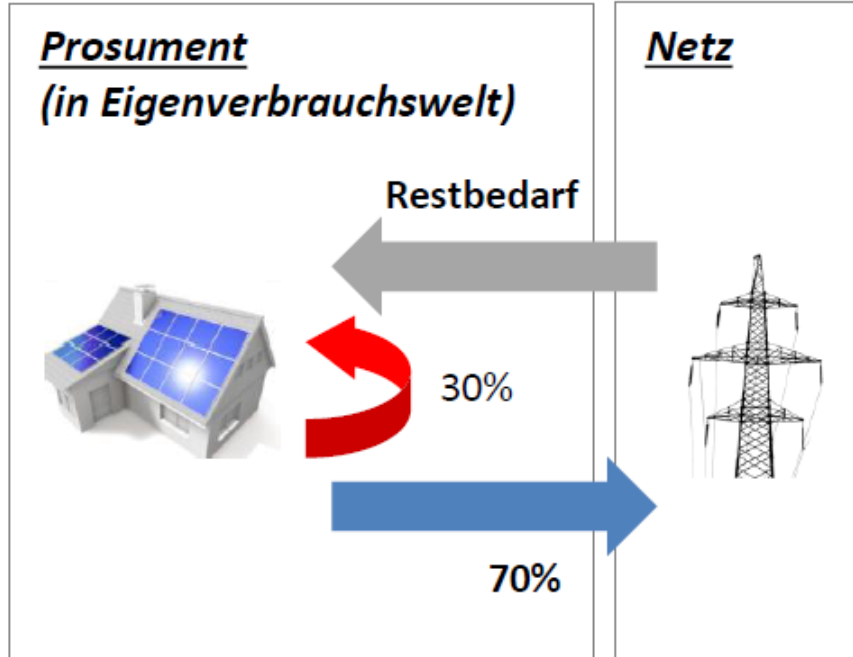
Source: swiss utility solutions, Präsentation an der 13. Nationalen PV-Tagung, 2015



# Prosumenten – Besserstellung des Solarproduzenten

Netzparität der Speicherung wird den Markt für die EVU grundlegend verändern

## Stufe 2: Netzparität der Produktion



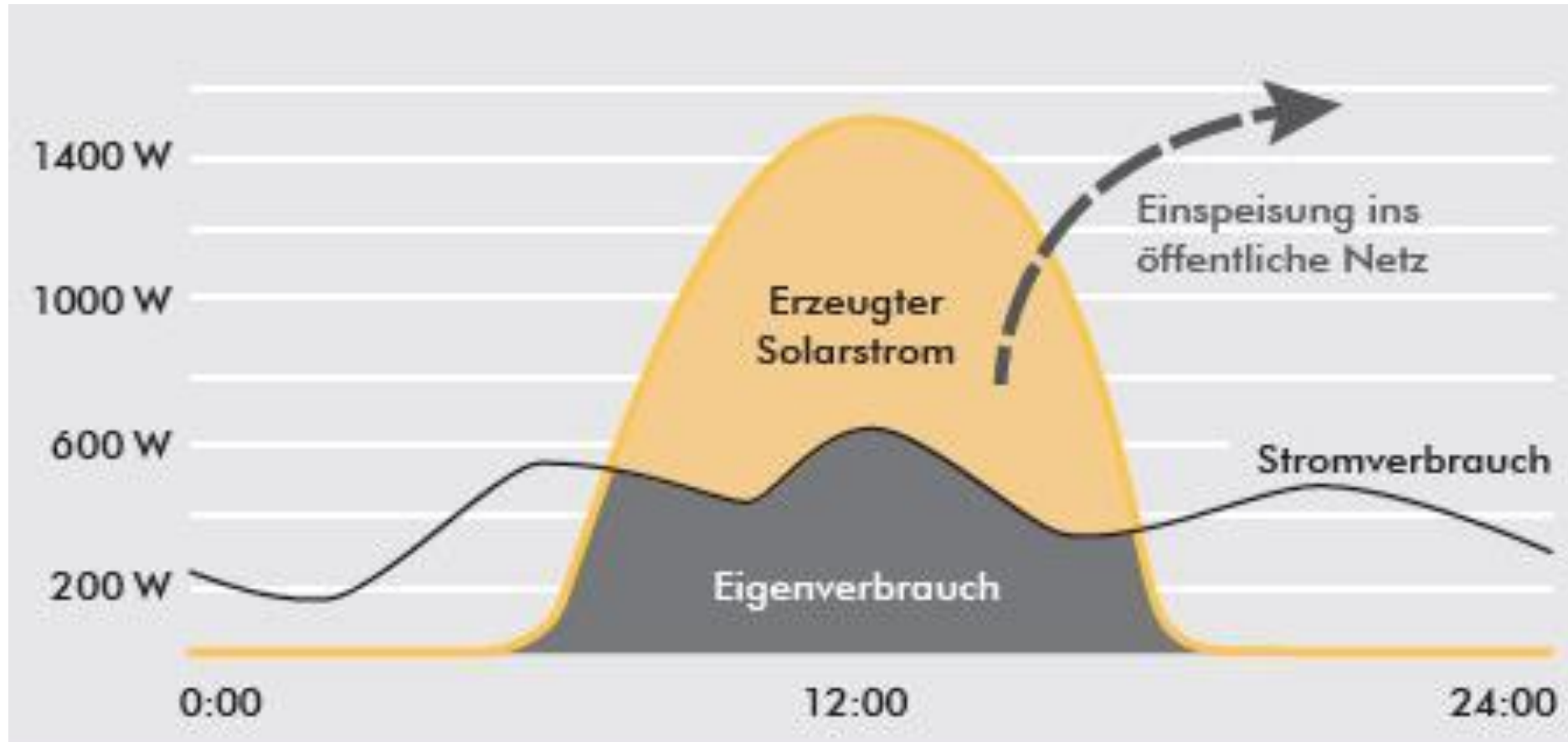
- Prosument deckt Strombedarf – soweit möglich – aus zeitgleicher Produktion
- Differenz wird in das Netz geliefert bzw. aus diesem bezogen

- Dezentralisierung wirtschaftlich, Wachstum nicht mehr steuerbar

Source: swiss utility solutions, Präsentation an der 13. Nationalen PV-Tagung, 2015

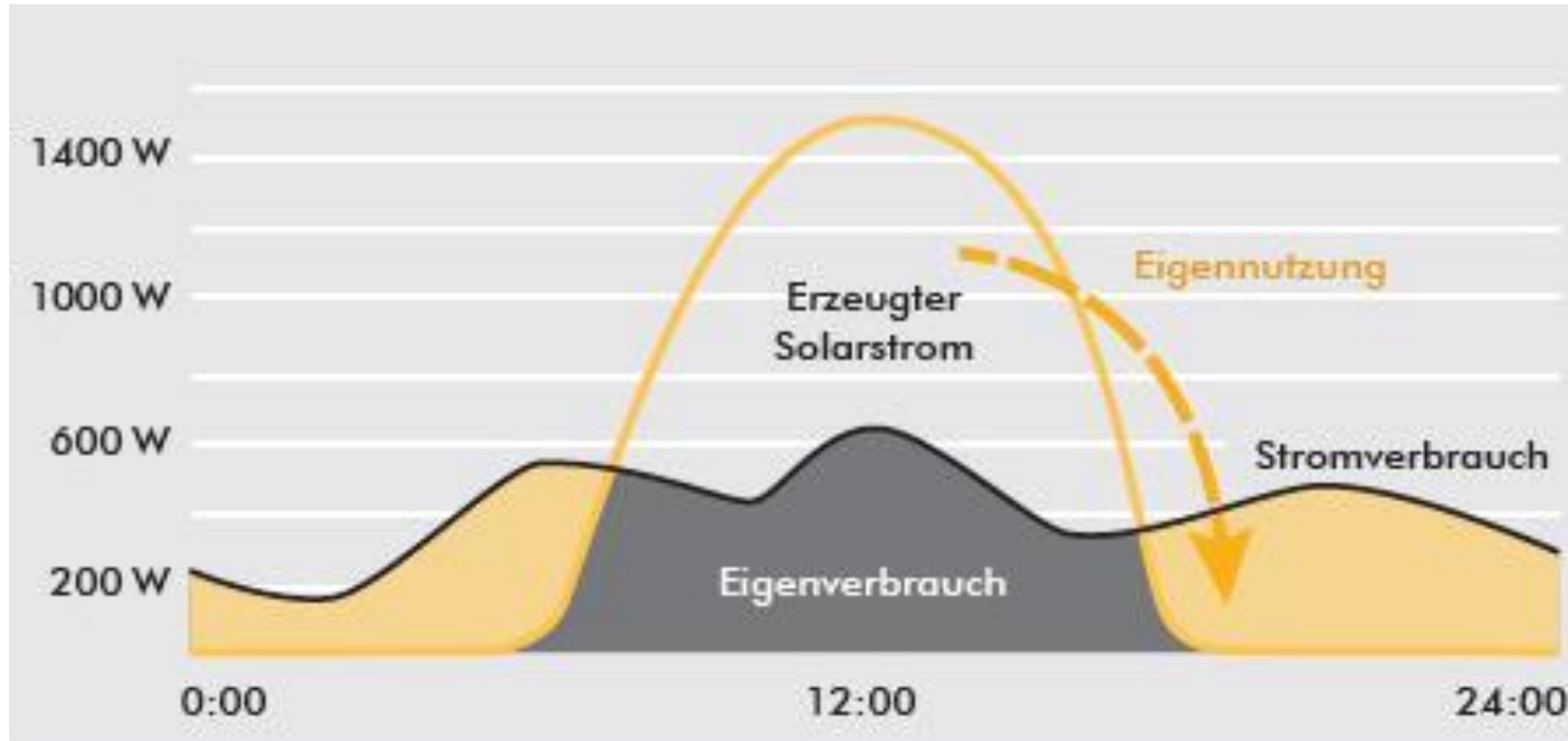
# Ohne Speichersystem

Nicht genutzter Solarstrom wird ins öffentliche Netz eingespeist



# Mit Speichersystem

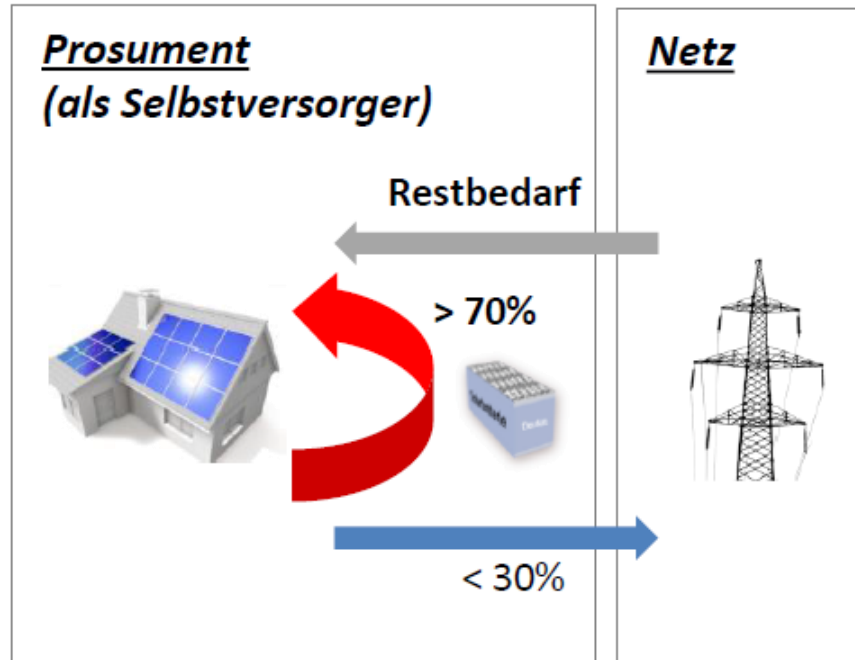
Erzeugter Solarstrom wird gespeichert und später selbst genutzt



# «Sonnenaufbewahrer»

Netzparität der Speicherung wird den Markt für die EVU grundlegend verändern

## Stufe 3: Netzparität der Speicherung



- Prosumert deckt Strombedarf möglichst aus zeitgleicher Produktion und aus Speicher
- Differenz der Lastgänge über den Tag wird in das Netz geliefert bzw. aus diesem bezogen

- Dezentralisierung wirtschaftlich, Wachstum nicht mehr steuerbar

# Wie gross sollte der Speicher sein?

## FAUSTREGEL 1:

Batteriegrösse auf PV-Anlage anpassen

Leistung PV-Anlage (kWp) x 1.5  $\hat{=}$   
nutzbare Speicherkapazität (kWh)

Beispiel:  
Für eine 6 kWp Photovoltaikanlage wird ein 9 kWh Speicher installiert.

Die Batterie sollte so gross sein, dass diese den typischen Überschuss der Solaranlage vom Tag in die Nacht verlagern kann.

Leistung  
PV-Anlage



6 kWp

x 1.5  $\hat{=}$

Kapazität des  
Speicher



9 kWh

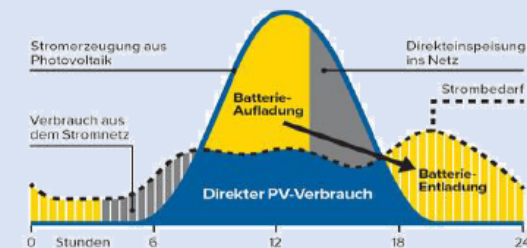
## FAUSTREGEL 2:

Batterie an Stromverbrauch anpassen

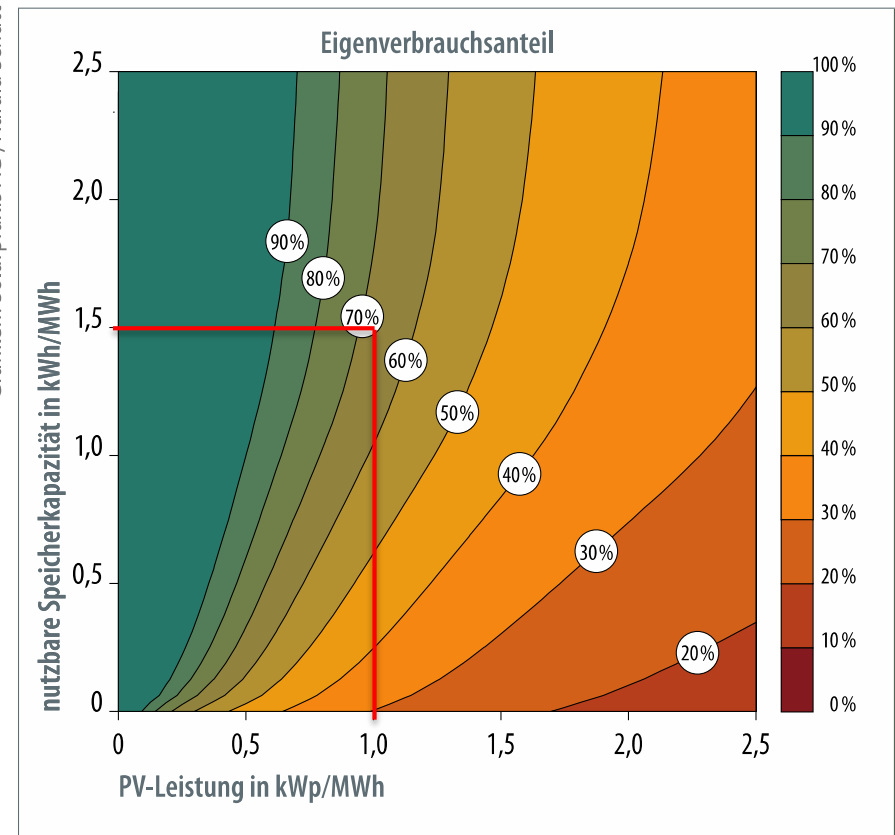
Jahresstromverbrauch (kWh) / (2\*365)  $\hat{=}$   
nutzbare Speicherkapazität (kWh)

Beispiel:  
Haushalt mit 6000 kWh Jahresstromverbrauch geteilt durch (2\*365) ergibt einen Speicher mit 8.2kWh Kapazität.

Der Speicher sollte in etwa so gross sein, dass dieser einen halben Tagesstrombedarf (abends und in der Nacht) abdecken kann.



Grafiken: Solarpraxis AG /Harald Schütt



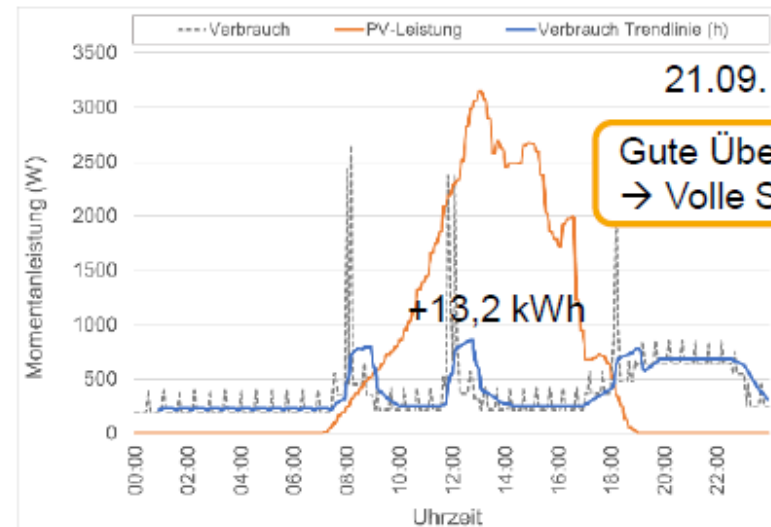
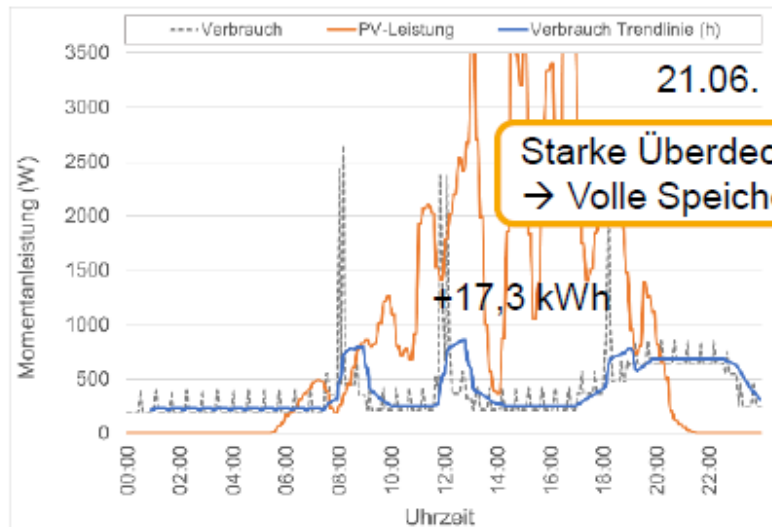
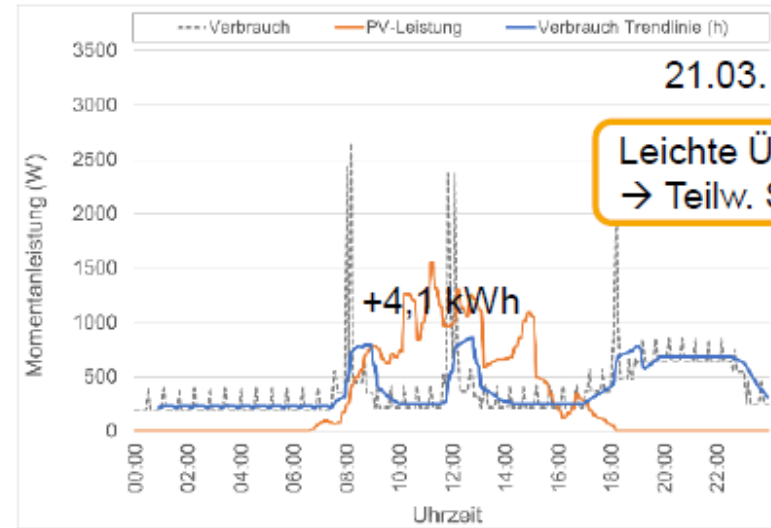
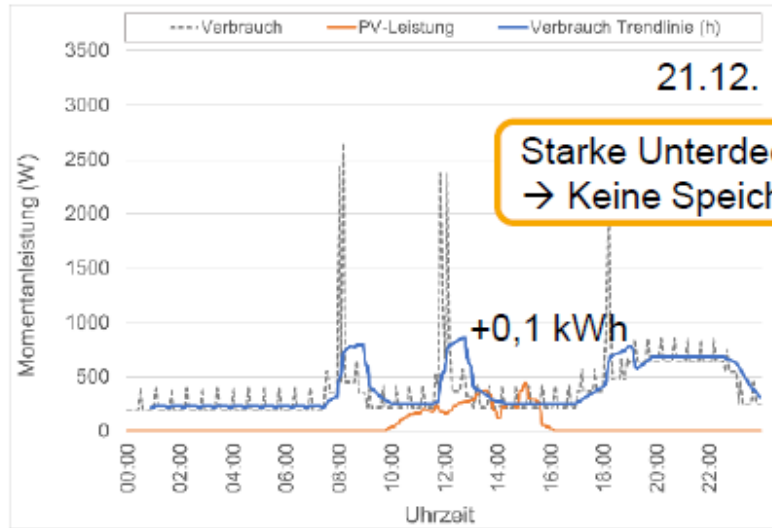
Quelle: [www.pv-magazine.de](http://www.pv-magazine.de) / pv magazine 01/2013

Quelle: Swissolar, Stationäre Batteriespeicher in Gebäuden

Wählen Sie die kleinere Speicherkapazität aus den beiden Faustregeln.



# PV Erzeugung im Jahresverlauf (Tageslastgang)



Messungen:

- ▶ EFH mit Aufdachanlage
- ▶ Westausrichtung

PV-Erzeugung:

- ▶ 7 kW Generatorleistung
- ▶ 30-40 m<sup>2</sup> Modulfläche

Lastkurve:

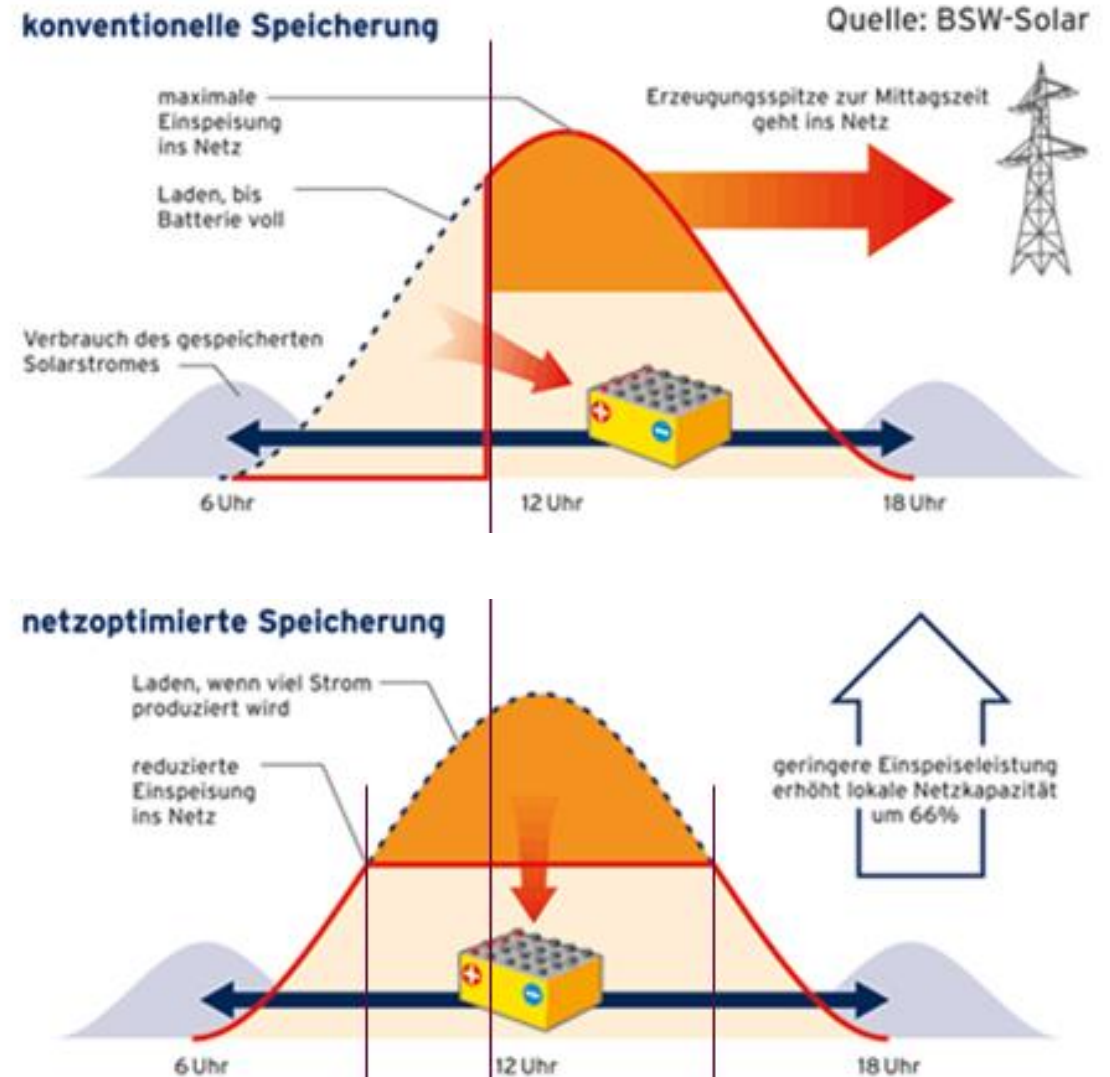
- ▶ Strom: 3500-4000 kWh/a
- ▶ keine Wärmepumpe

© 2018 Energy Depot Swiss GmbH

# Probleme für den Netzbetreiber

- ▶ Nutzerorientierte Funktionen
  - ▶ Verschieben der ungenutzten PV-Erzeugung in die Abendstunden
  - ▶ Erhöhung des Eigenverbrauchs
  - ▶ Reduktion des Strombezugs vom Netz
  - ▶ Kostenvorteile in Nutzungsphase
- ▶ Netzdienliche Funktionen
  - ▶ Glättung der Netzlast
  - ▶ Vermeidung von Überspeisung des Mittelspannungsnetzes
  - ▶ Spannungshaltung
  - ▶ Erhöhung der lokalen Netzkapazität (um 66 %)

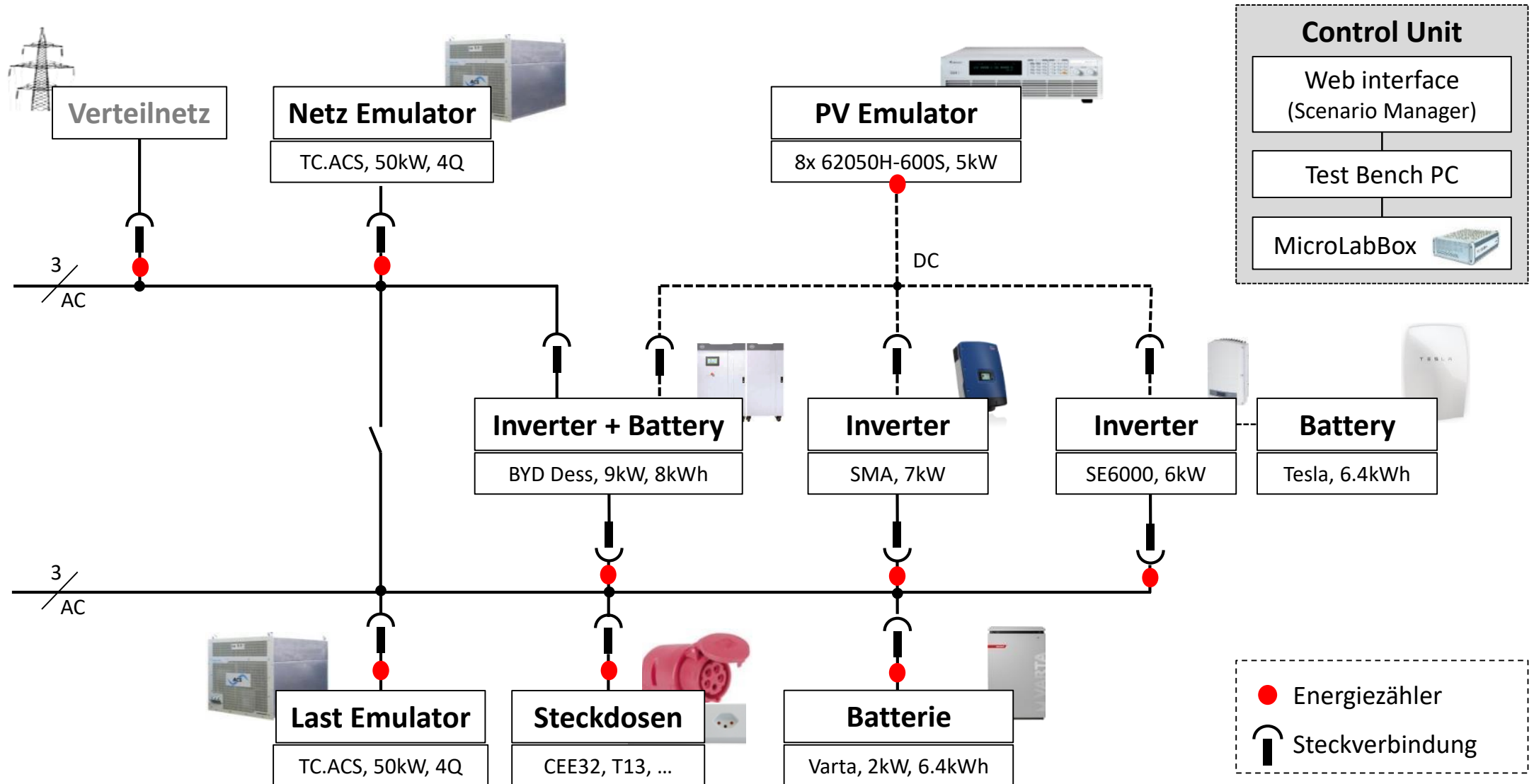
Quelle: Arbeitskreis Energieberatung - 49. Tagung |  
Elektrische Energiespeicher in Gebäuden | Lukas Quurck |



# BFH Prosumer-Lab: Smart-Home Emulationsumgebung

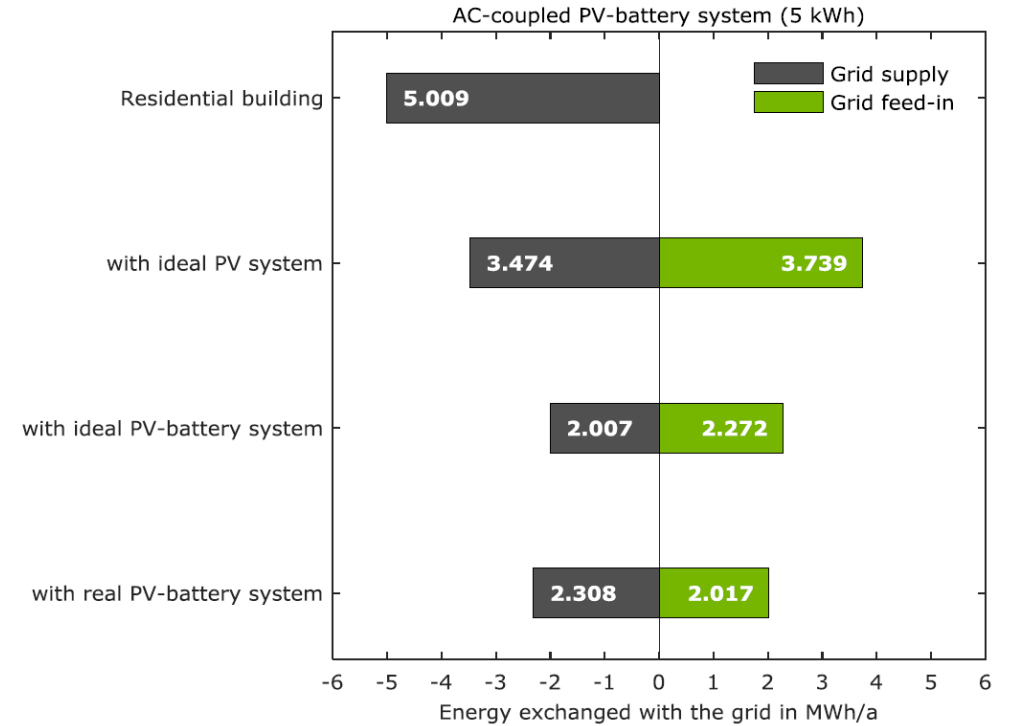
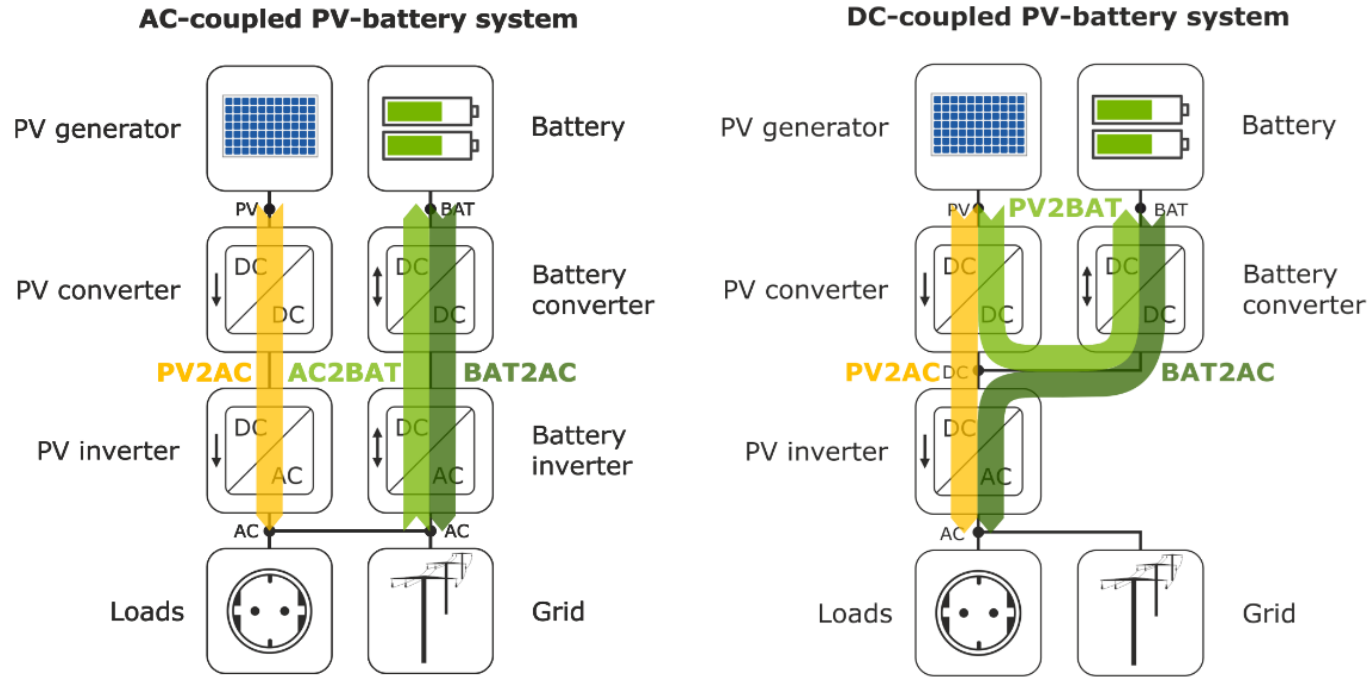


# Smart-Home Emulationsumgebung





# Guideline for Performance Measurements

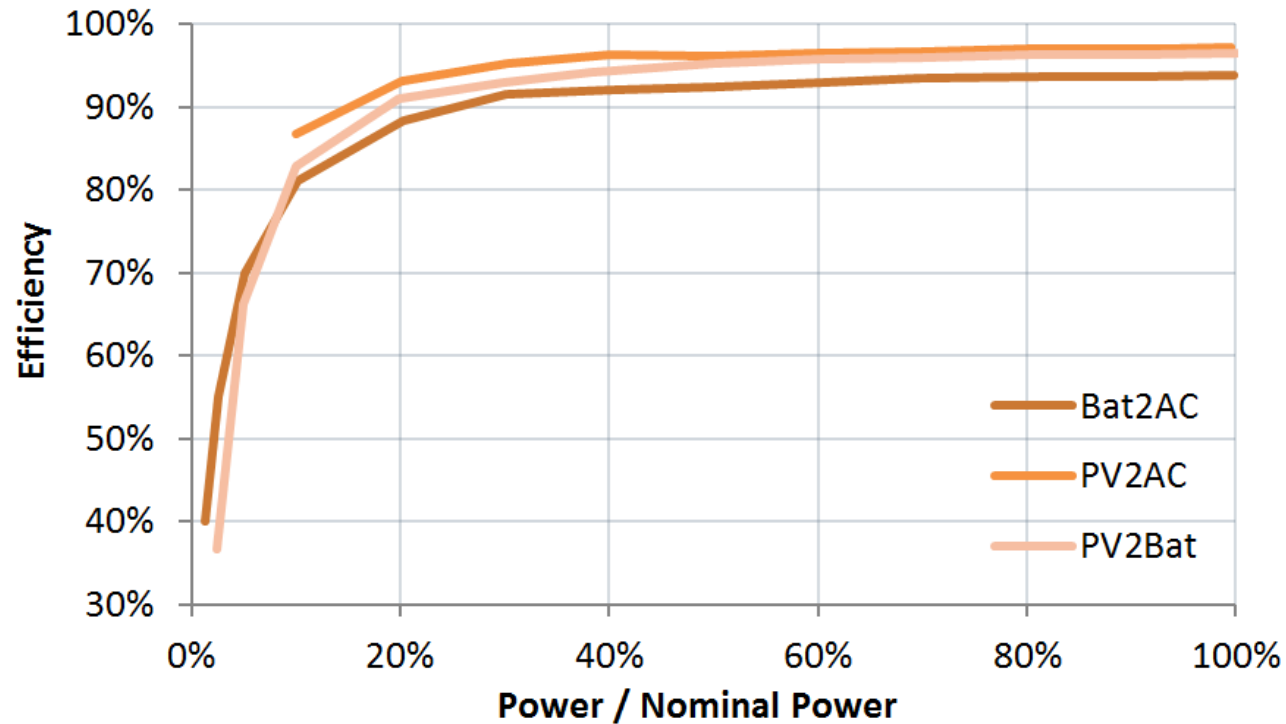


- ▶ Isolated treatment of the energy flow paths efficiencies
- ▶ PV2AC, PV2Bat, Bat2AC
- ▶ Battery Round-Trip-Efficiency
- ▶ Standby-Consumption
- ▶ Dynamics and precision of the system regulation

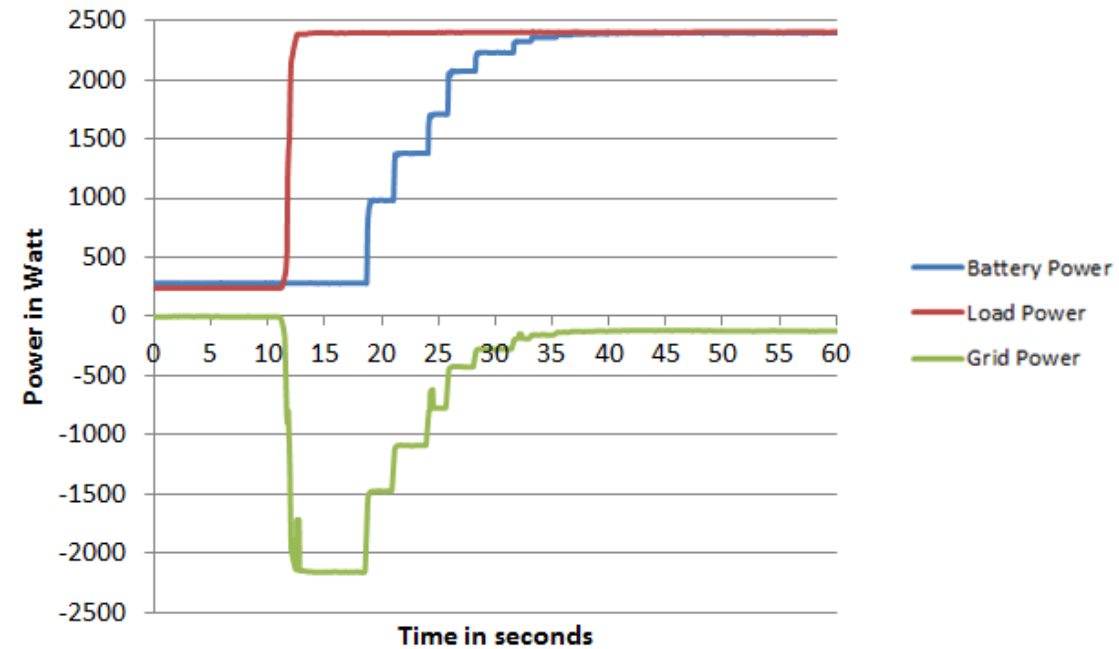
<https://pvspeicher.htw-berlin.de/wp-content/uploads/2014/04/WENIGER-2016-Emerging-Performance-Issues-of-Photovoltaic-Battery-Systems.pdf>



# Efficiency of the energy flow paths



- ▶ **Efficiency** for each energy path independently



- ▶ **Load step** from **10%** of the nominal Power to **100%**
- ▶ **Dead time:** 5-7 seconds
- ▶ **Regulation time:** 23-35 seconds

# Possible Performance Information in a Datasheet

## System Information

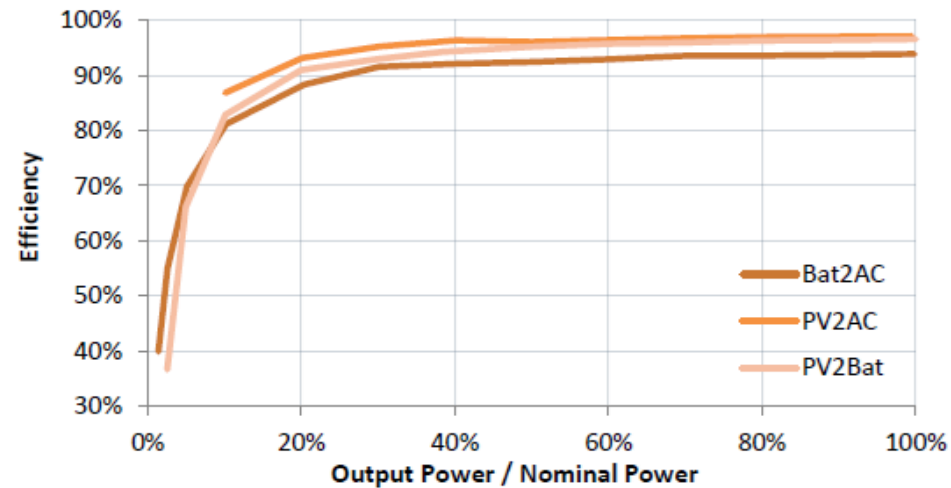
<b>Inverter</b>	Fronius Symo Hybrid 3.0-3-S
<b>Battery</b>	Fronius Batteriespeicher 4.5

## System Characterization

	PV2AC	PV2Bat	AC2Bat	Bat	Bat2AC	Bat2PV
<b>Path of Energy Flow</b>	✓	✓		✓	✓	

## Energy Conversion

	Nominal Power	max. Efficiency
<b>PV- Feeding (PV2AC)</b>	3000 W	97.1%
<b>Battery Charging (PV2Bat)</b>	2400 W	96.6%
<b>Battery (Bat)</b>	2400 W	88.5%
<b>Battery Discharging (Bat2AC)</b>	2400 W	93.9%



## Self Consumption

<b>Normal Mode</b>	38 W
<b>Standby</b>	14 W

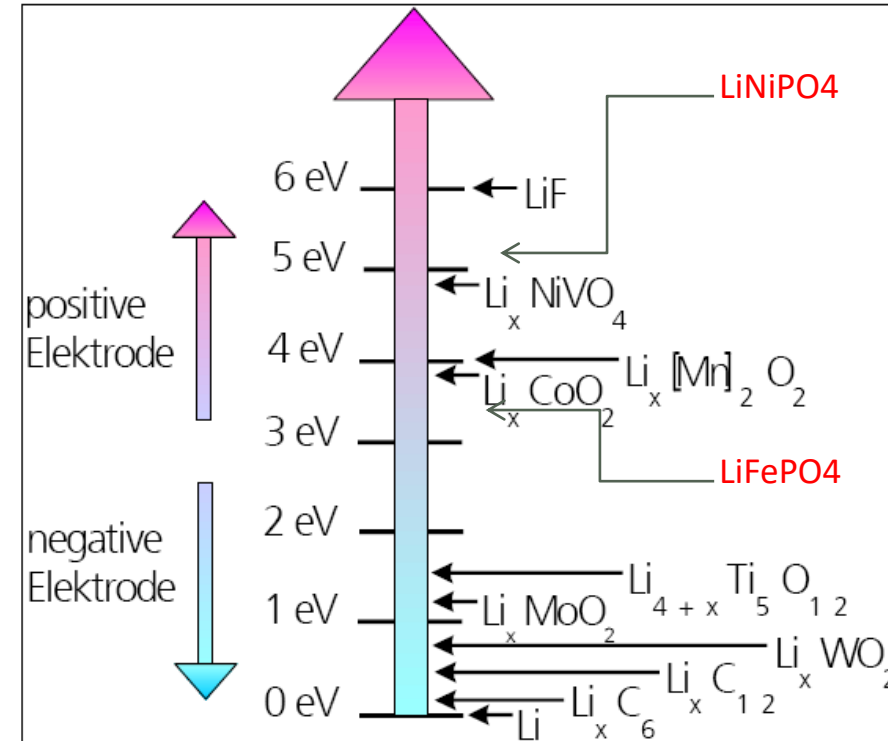
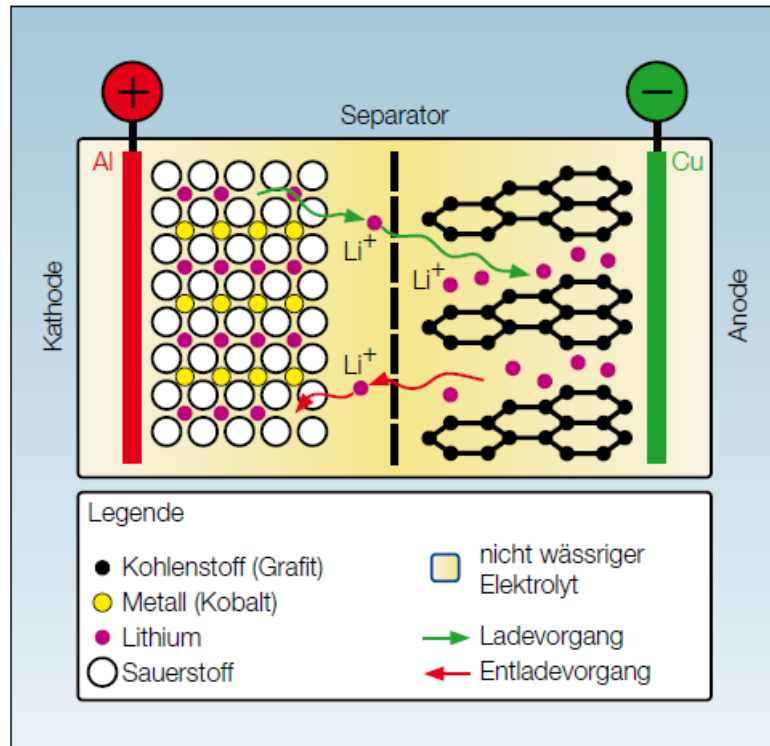
## System Regulation

<b>Dead Time</b>	2.5 - 5s
<b>Regulation Time</b>	22 - 35s

# Technologie

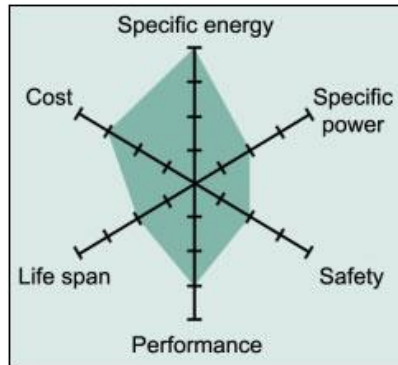
Wie werden sich elektrische Speicher in Zukunft verändern?

# Focus on Lithium Based Technologies

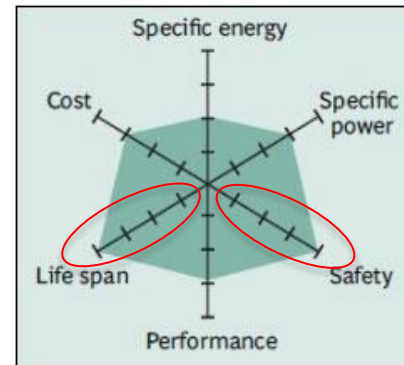


- ▶ The anode of a conventional Li-ion cell is made from carbon, the cathode is a metal oxide, and the electrolyte is a lithium salt in an organic solvent.
- ▶ The Voltage of the cell depends on the difference on the reduction scale.

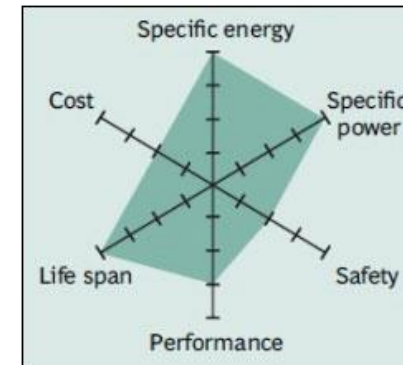
# Lithium-Ionen-Technologien



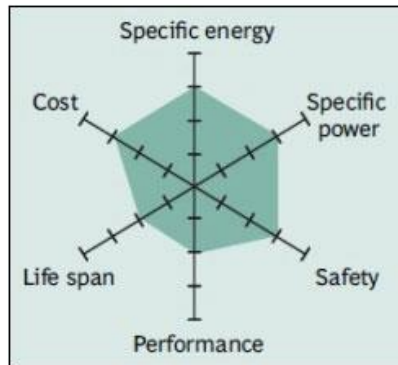
**Lithium Cobalt Oxide**  
Li-cobalt (LiCoO<sub>2</sub>)



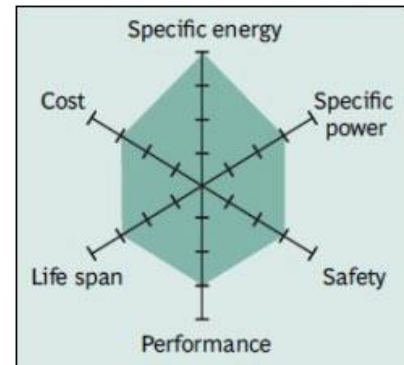
**Lithium Iron Phosphate**  
Li-phosphate (LiFePO<sub>4</sub>)



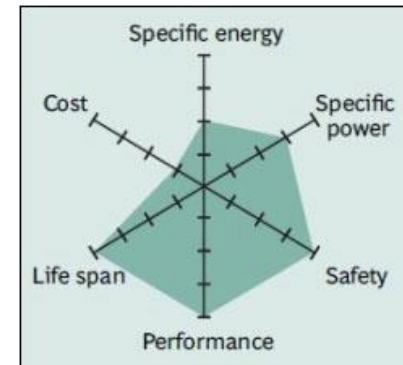
**Lithium Nickel Cobalt Aluminum Oxide**  
NCA (LiNiCoAlO<sub>2</sub>)



**Lithium Manganese Oxide**  
Li-manganese (LiMn<sub>2</sub>O<sub>4</sub>)



**Lithium Nickel Manganese Cobalt Oxide**  
NMC (LiNiMnCoO<sub>2</sub>)



**Lithium Titanate**  
Li-titanate (Li<sub>4</sub>Ti<sub>5</sub>O<sub>12</sub>)

Quelle: Battery University



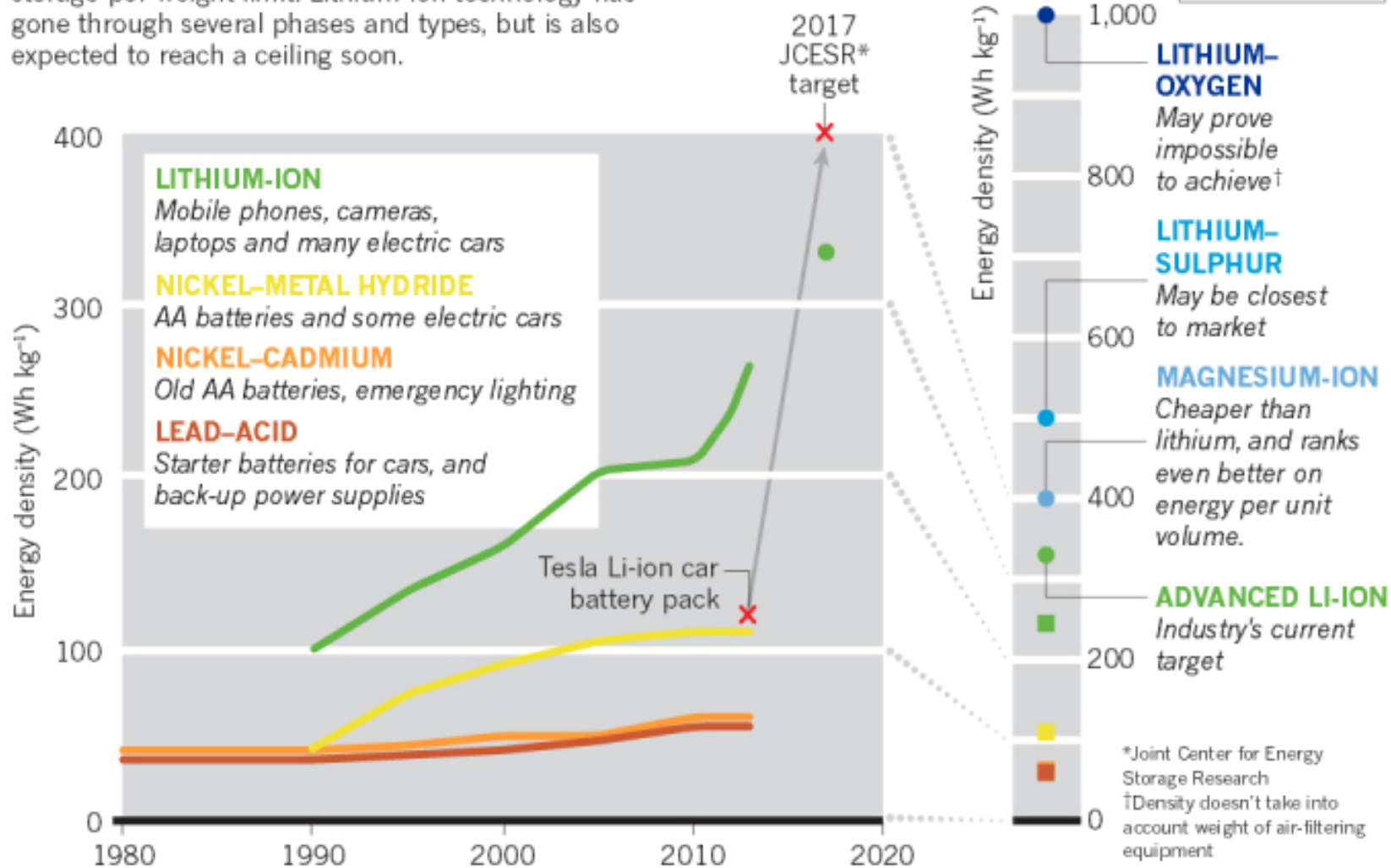
# Study: Technology assessment of lithium containing batteries (LIB)



- ▶ Study was carried out on behalf of the armasuisse (2016/17)
- ▶ Attended by a scientific accompanying group
- ▶ Content:
  - Introduction to the basic principles of Li-ion batteries
  - Overview about actual LIB technologies
  - Key chapters about "laws, norms and regulations", "safety aspects" and "experience reports" (e.g. transport regulation ADR 2017)
  - Recommendations about the five life phases of Li-ion batteries we considered: "procurement", "storage", "transport", "application" and "disposal"
  - Out conclusion: With a good choice and a careful handling of the safe use of LIB is possible without any reservations - according to the listed recommendations
- ▶ Written in German, 124 pages
- ▶ More than 40 illustrations, 100 references, 55 norm references, ...
- ▶ PDF version can be soon downloaded: [bfh.ch/energy/publikationen](http://bfh.ch/energy/publikationen)

# Advanced and Post Lithium-ion

Portable rechargeable batteries tend to hit an energy-storage-per-weight limit. Lithium-ion technology has gone through several phases and types, but is also expected to reach a ceiling soon.

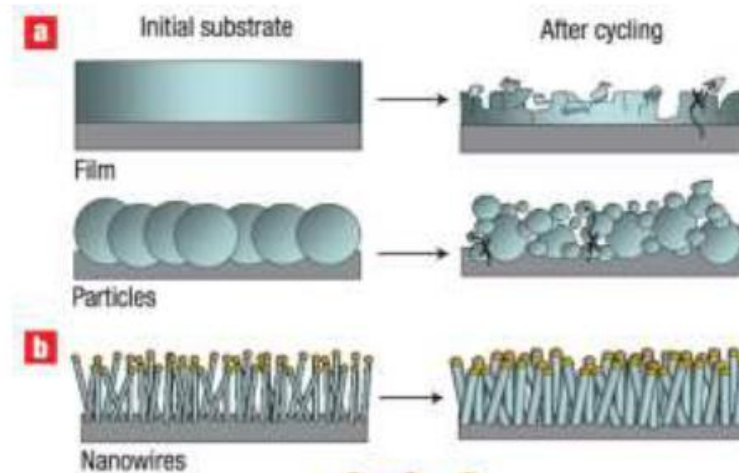


Source: IDTechEX, Advanced and Post Lithium-ion Batteries 2016-2026: Technologies, Markets, Forecasts, 2015

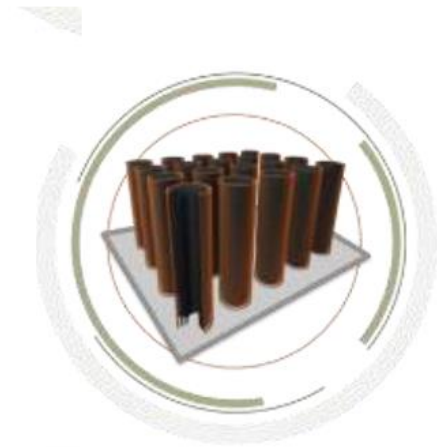
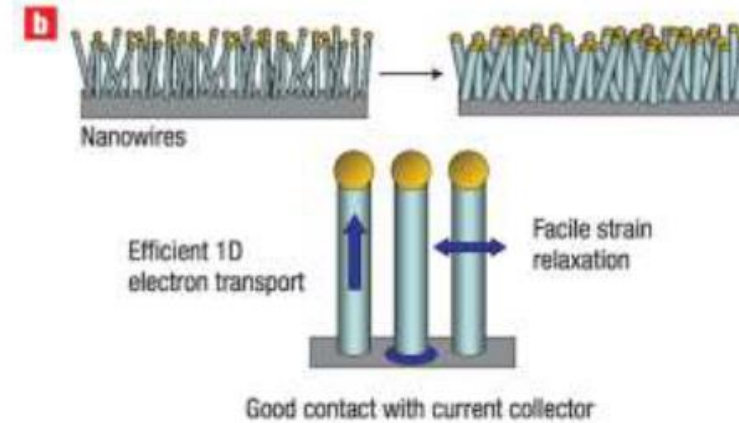
# Neue Anoden für Lithium Batterien

- ▶ Carbon Nano Tubes (CNT)
- ▶ Silicon Nano Structure

Standard →



Amprius →



# Vorteile der Nano Tube / Wire Struktur

- ▶ **Geringe Ausdehnung bei Ladung**
- ▶ **Hohe Energiedichte**
- ▶ **Sicher**
- ▶ **Geringe Thermische Erwärmung**
- ▶ **Schnelle Ladezyklen**

CNT **NAWA** Technologie optimal für Superkondensatoren:

Extrem schnelle Ladung in ms bis s Bereich möglich

Erhöhung der Ladekapazität um Faktor 2.5 gegenüber

bisheriger Superkondensatoren Technik

**Amprius** Silizium Nano wire optimal für hohe Energiedichten

1 Si Ion kann 4 Li Ionen aufnehmen im Gegensatz zu C wo 4 C

für ein Li+ benötigt werden.



# Kostenentwicklung

Wie werden sich die Preise für Lithium-Ionen-Batterien entwickeln



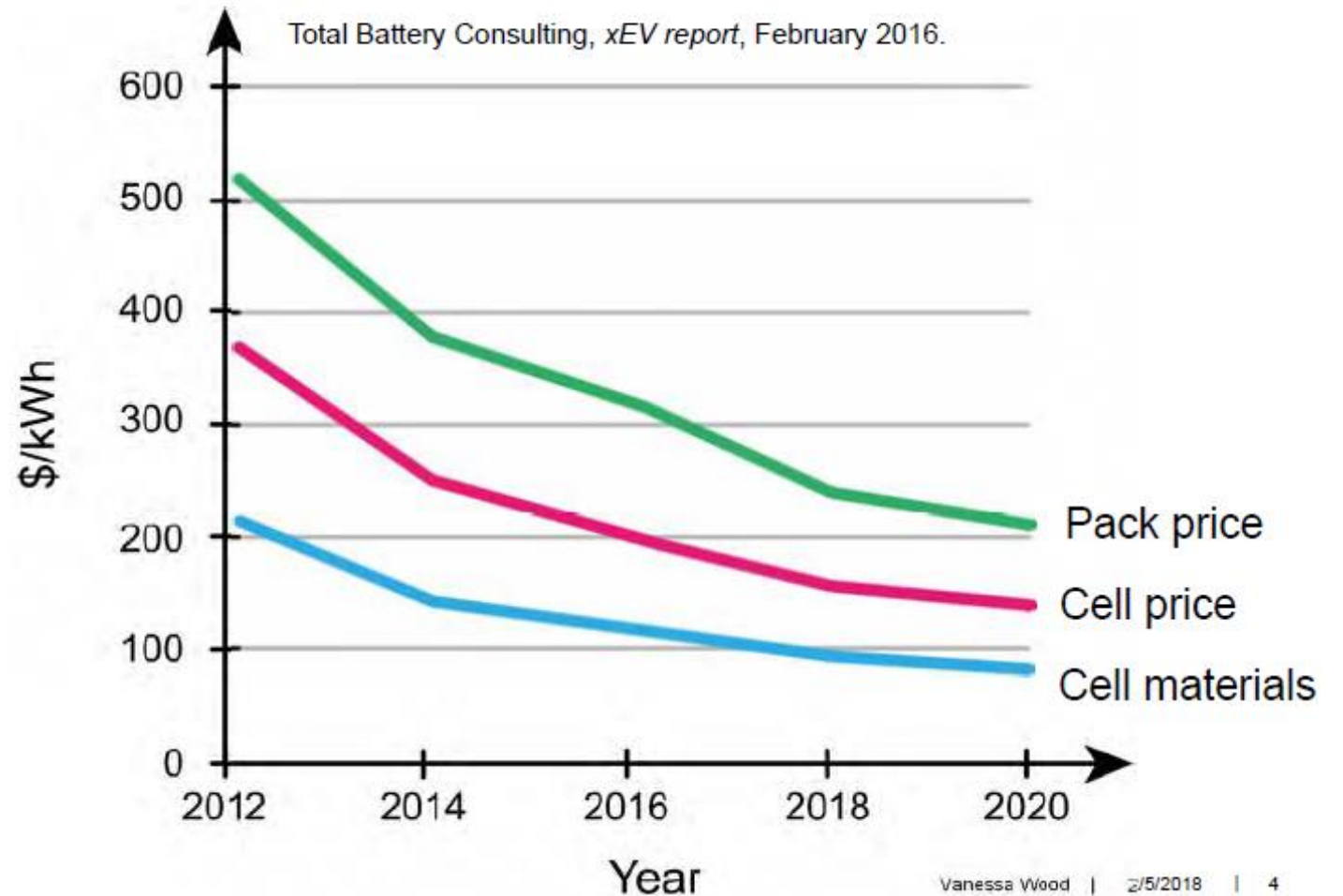
# High volume production decreases costs

Large manufacturers benefit from economies of scale.



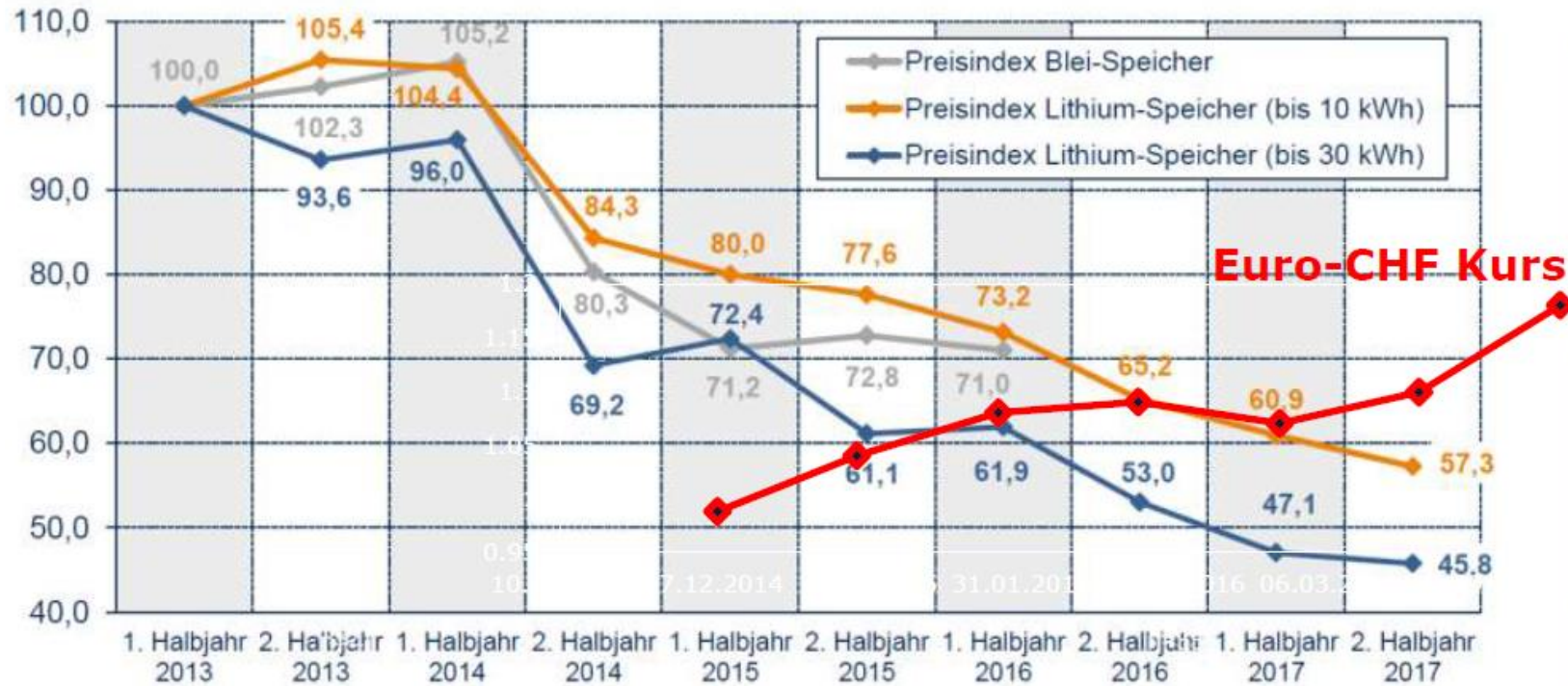
By 2020, materials projected to be > 70% of cell cost.

## Price trends for electric vehicle batteries



# Systemkosten – Ausblick

## Speicherpreisentwicklung (Bundesverband Solarwirtschaft)



Hinweis: Der Preisindex der jeweiligen Speicher-Technologie wird auf Basis des durchschnittlichen Speicherpreises (Größenklassen bis 10 kWh bzw. bis 30 kWh) ermittelt.

Quelle: BSW-Solar, Stand 10/2017

- Lithiumsysteme im Residential-Bereich sind letztes Jahr um **12%** gesunken
- Grossspeicherpreise in 5 Jahren um > **50%** gefallen
- Eurokurs im 2017 um **~10 %** gestiegen



# LIB Manufacturing Investments

Invest costs / kWh will decrease

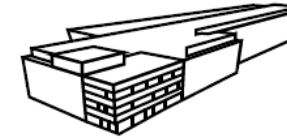
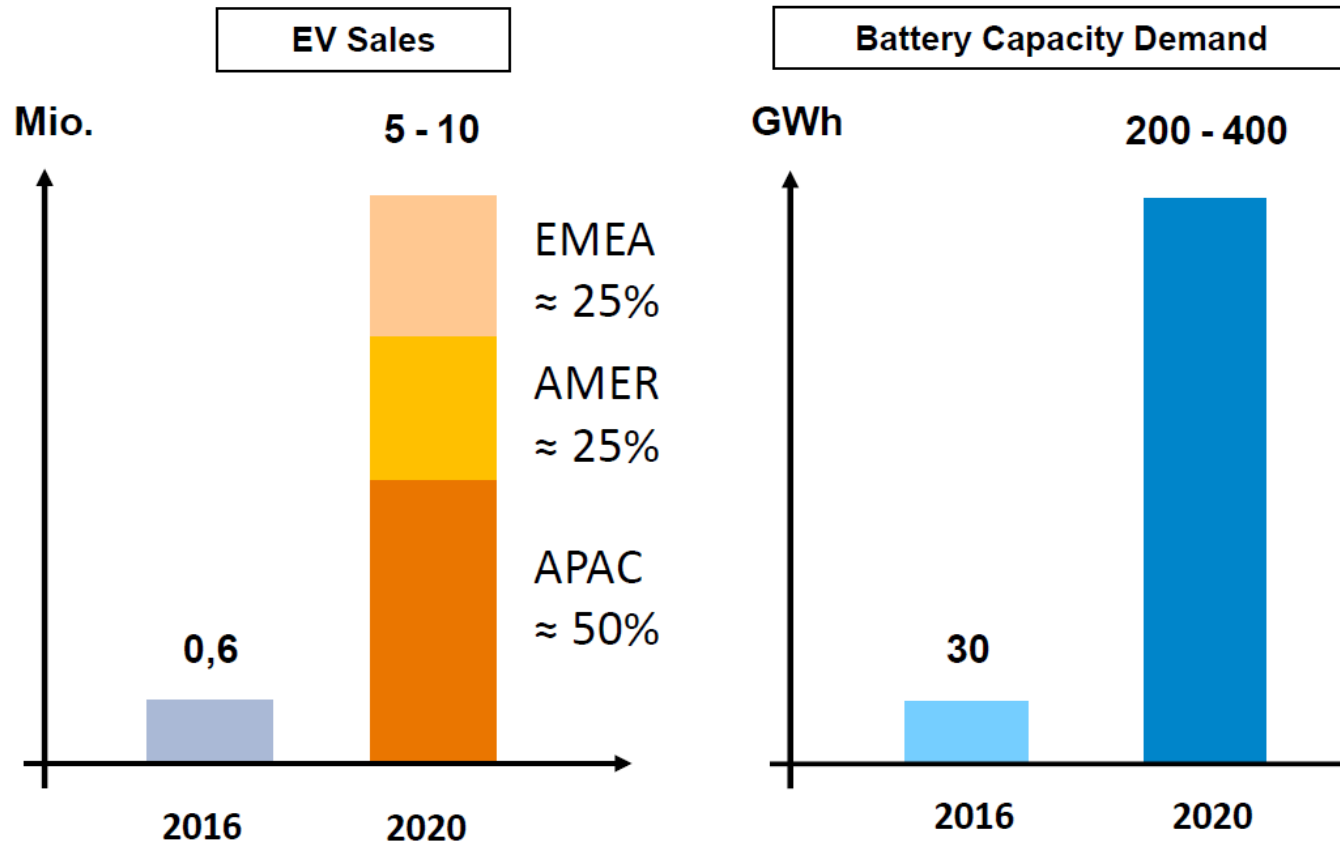
- ▶ > 10-12 B\$ Invest from 2011-2014: 50 GWh new capacity worldwide
- ▶ > 7 B\$ Invest 2014-2017 from TESLA, BYD & (C)ATL



Source: Avicenne Energy Analysis 2017

# E-Mobility Market – new Factories required

Optimistic scenario with sustainable Growth



**25 - 50  
FACTORIES\*  
REQUIRED  
WORLD WIDE  
UNTIL 2020**

\*One factory = 8 GWh/year = 200.000 EVs











Sources: Bain, BCG, JRC, McKinsey

© M+W Group GmbH | April 2017

6

# Produktionsauf- und ausbau

## Angekündigte Investitionen (Pressemitteilungen und Unternehmensangaben)

<b>Panasonic</b> 	35 GWh/a (2018)
<b>BYD</b> 	18 GWh/a
<b>CATL</b> 	42 GWh/a
<b>LG</b>  	19 GWh/a (gesamt) 4 GWh/a (Polen)
<b>LISHEN</b> 	19 GWh/a
<b>northvolt</b> 	8 GWh/a (2020) 32 GWh/a (2025)
<b>TERRA E</b> 	1,5 GWh/a (2020) 34 GWh/a (2028)
<b>SAMSUNG SDI</b>  	2,5 GWh/a (2018)

Weltweiter Aufbau von Anlagen zur Großserienfertigung

- Nach Asien und den USA nun auch in Europa geplant

Kapazitätsausbau stärkt die Marktposition

- Intensiver Wettbewerb
- International unterschiedlich ausgeprägte Förderinstrumente

# Problem: Systemkosten

Nutzbare Kapazität	Residential								KMU			Spezial
	2 kWh (1.5kW)	4kWh (2.5kW)	6kWh (3 kW)	8kWh (3.3 kW)	10kWh (3.3 kW)	12kWh (3.3 kW)	14kWh (3.3 kW)	16kWh (3.3 kW)	40 kWh (40 kW)	80 kWh (40 kW)	150kWh (60 kW)	2 MWh (1 MW)
Hardware (CHF)	4'500	6'900	9'400	11'300	13'800	15'400	17'300	19'000	58'000	99'000	189'000	2'320'000
VRG (CHF)	80	160	240	320	400	480	560	640	1'344	2'688	5'600	31'850
Transport (CHF)	170	170	170	170	170	170	170	170	450	800	2'000	18'000
Installation (CHF)*	1'600	1'800	1'800	1'800	1'800	1'800	1'800	1'800	5'900	9'100	13'500	38'000
<b>Schlüsselfertig installiert (CHF)</b>	<b>6'400</b>	<b>9'000</b>	<b>11'600</b>	<b>13'600</b>	<b>16'200</b>	<b>17'900</b>	<b>19'800</b>	<b>21'600</b>	<b>65'700</b>	<b>111'600</b>	<b>210'100</b>	<b>2'407'900</b>

Alle Preise exkl. MwSt.  
\* Bei gleichzeitiger PV-Installation



Electrosuisse Tagung 07.02.2018 – Roger Burkhart

# Neue Geschäftsmodelle

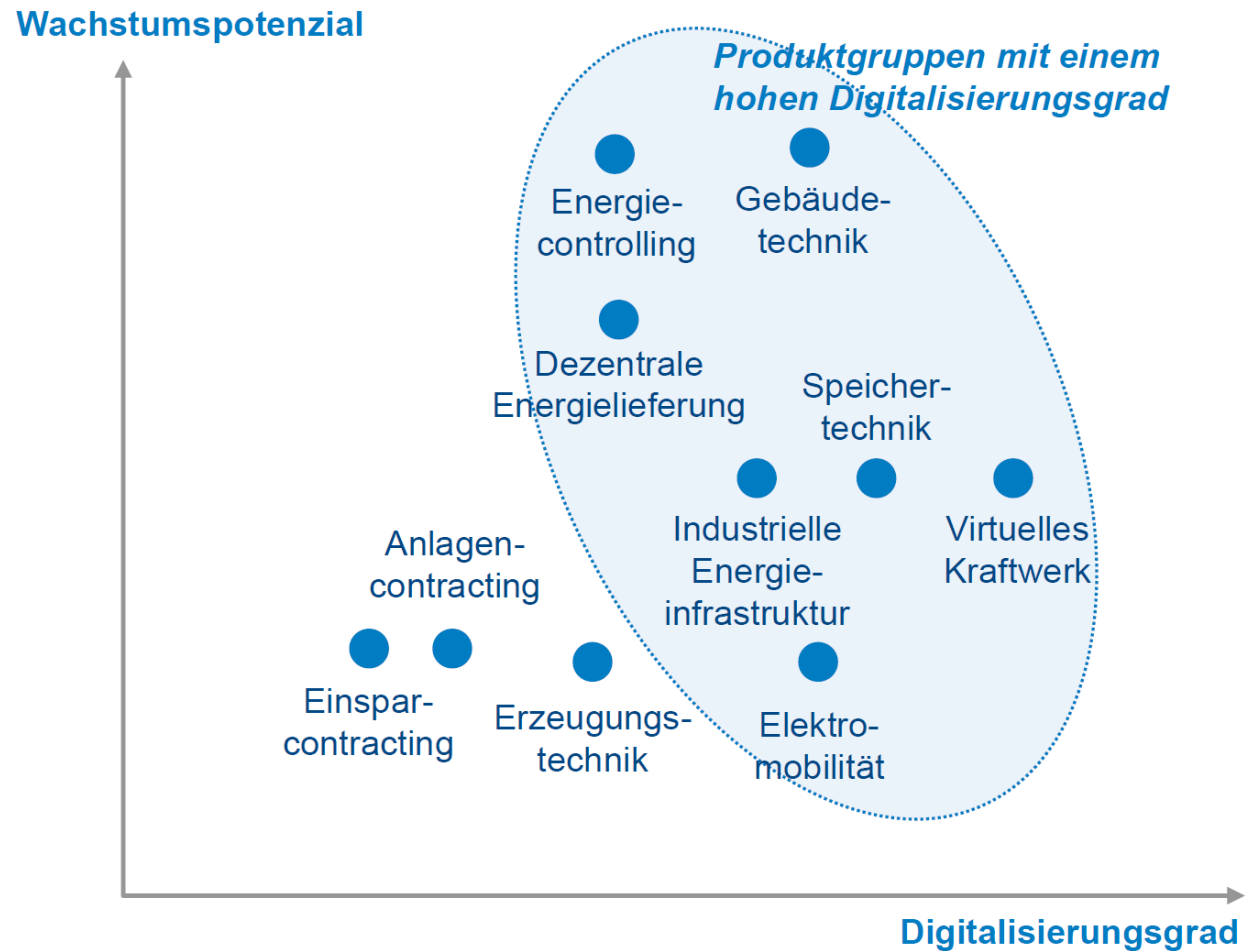


# Neue Geschäftsmodelle mit Digitalisierung





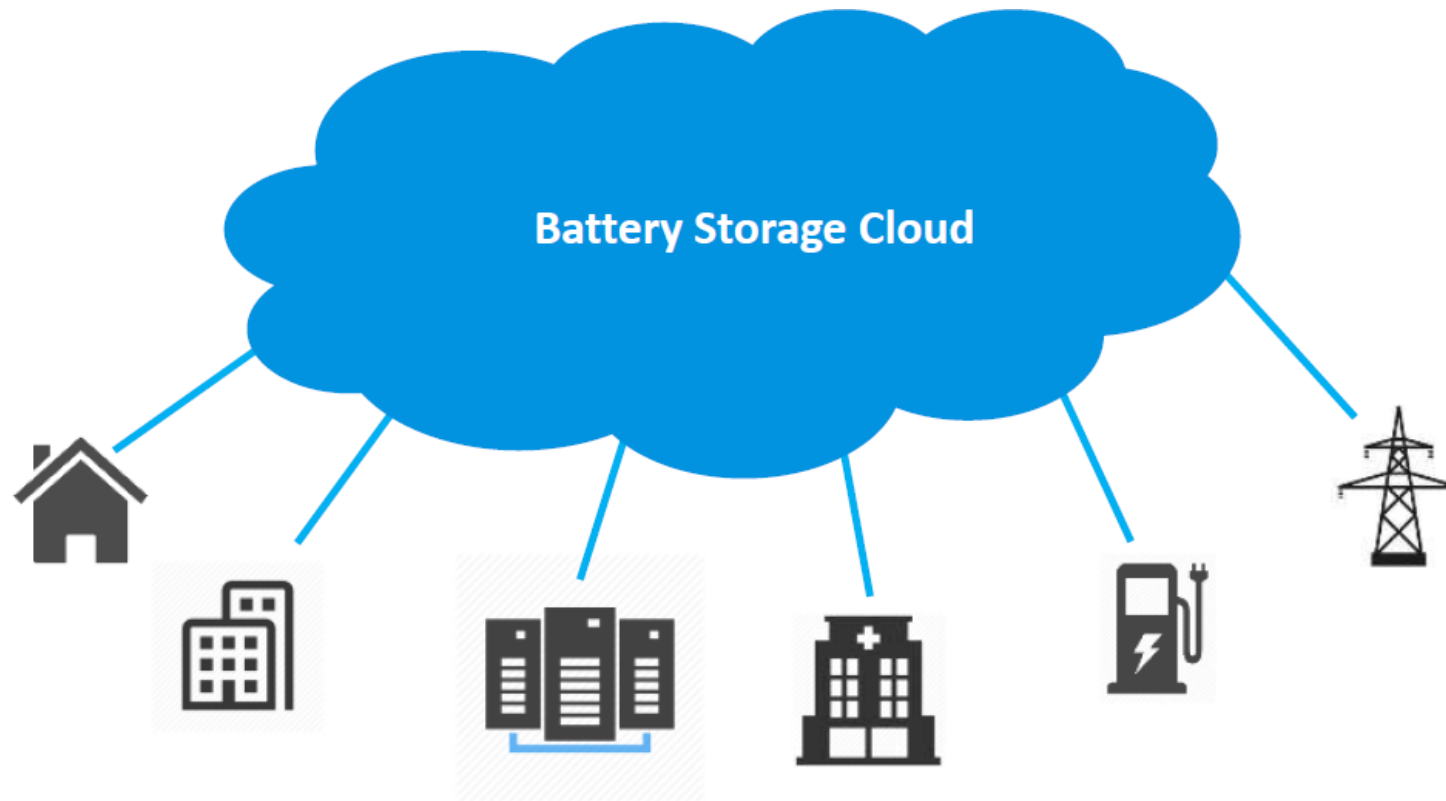
# Top-10-Produktgruppen für neue Geschäftsmodelle



- ▶ Drei von zehn Wachstumsprodukten sind technologiebasierte oder digitale Energiedienstleistungen
- ▶ Hohe Bedeutung von Bündelprodukten aus Energiemedien und Energietechnologie (u.a. Speichertechnik, dezentrale Energielieferung, virtuelles Kraftwerk)
- ▶ Der traditionelle Netzbetreiber muss aufpassen, dass die «NetZRäuber» ihm das Geschäft nicht entreissen

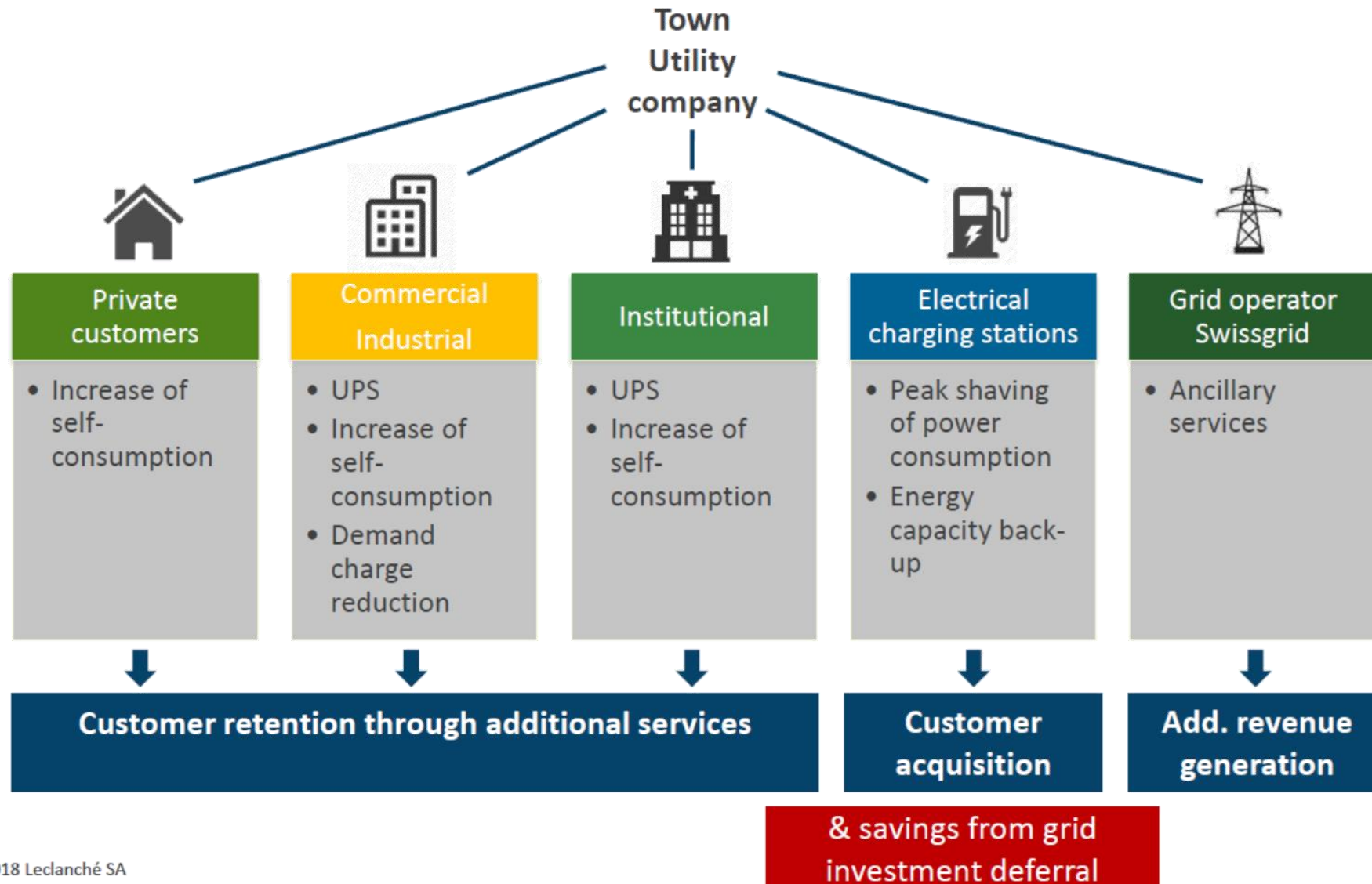
1) Hohes oder sehr hohes Wachstumspotenzial (Häufigkeit der Nennung)  
Quelle: Arthur D. Little

# Community storage



- ▶ Multi-stakeholder approach: several parties profit from battery storage for different
- ▶ applications and at different times
- ▶ -> **stacking of applications to optimise financial investment**

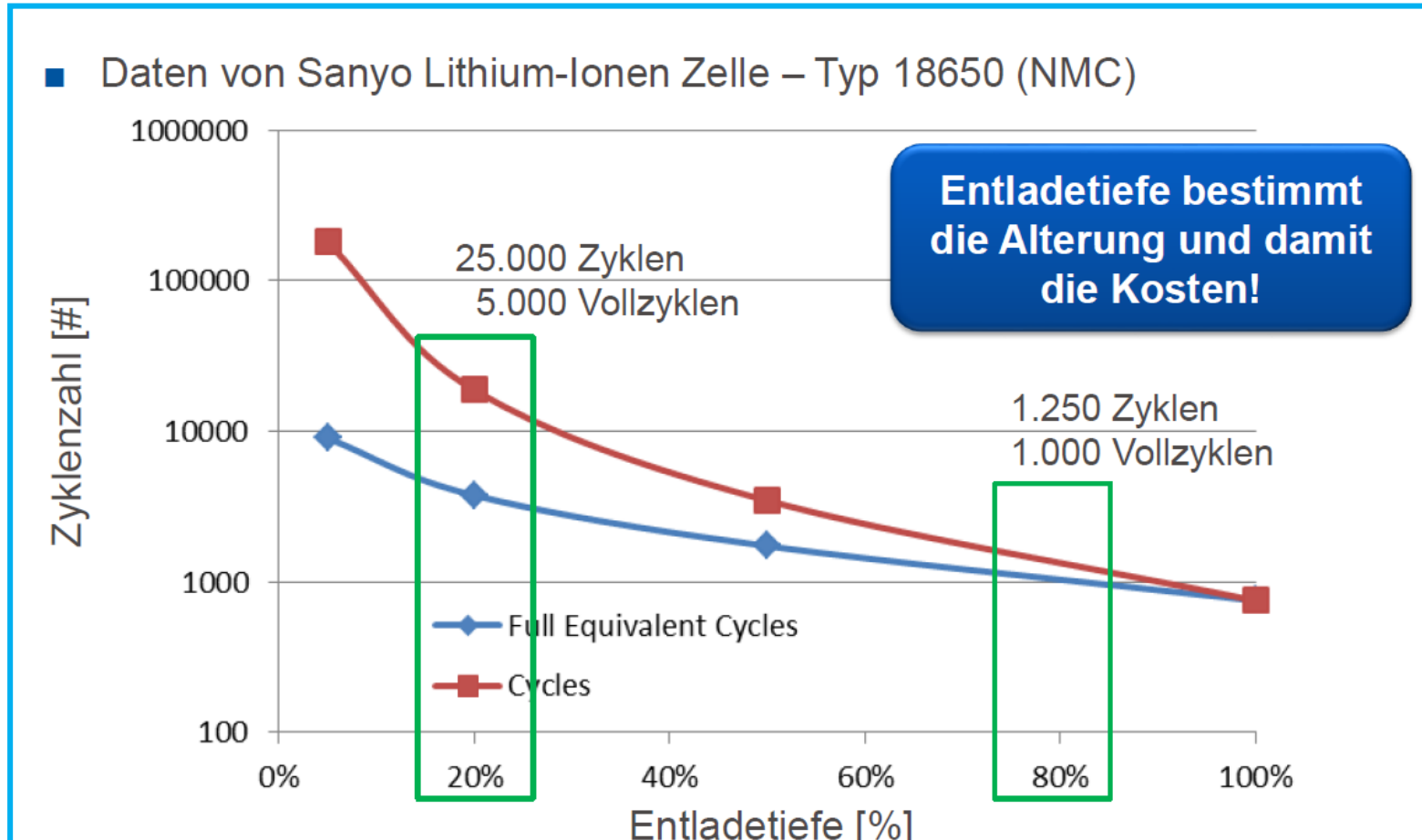
# Community storage: stakeholders



© 2018 Leclanché SA

# Dual-Use: Cycling and Aging

- ▶ Depth of Discharge defines aging and therefore costs



# Dual-Use: Uninterruptable Power Supply

Fall: 1 kWh wird als Netzdienstleistung zur Verfügung gestellt

Investition\*: 150 €/kWh      5 x 150 €/kWh      + 150 €/kWh  
(USV bezahlt)

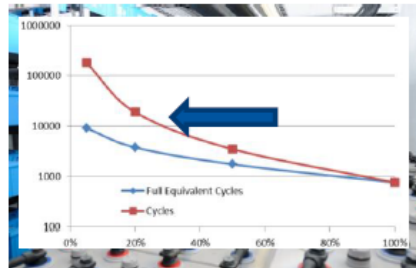
Lebensdauer  
(zyklisch): 1.000 Zyklen      25.000 Zyklen  
(20% DOD)      25.000 Zyklen  
(20% DOD)

Preis: → 15 ct/kWh      → 3 ct/kWh      → 0.6 ct/kWh

Grid services

Grid services  
Überkapazität

Grid services  
USV



\* reiner Zellpreisevergleich

# Zusammenfassung

- ▶ Speicher werden im Versorgungsnetz ihren Platz einnehmen
- ▶ Verschiedene Bereiche und verschiedene Aufgaben:
  - ▶ Bereich Heimspeicher (Eigenverbrauchsoptimierung)
  - ▶ Gewerbespeicher/MFH (Peak Shaving)
  - ▶ EVU-Speicher (Primarleistungsregelung)
- ▶ Der Trend im Verteilnetz für Batteriespeicher wird einsetzen, aber die Preise müssen noch merklich sinken
- ▶ Digitalisierung ermöglicht gemischte Modell mit ökonomisch interessanteren Geschäftsmodellen
- ▶ Der saisonale Ausgleich bleibt weiterhin ein dringendes Problem.



