Planung von Photovoltaik-Eigenverbrauchs-Anlagen mit Batteriespeichern

Speicher Grundlagen

T. Triendl, T. Becker

ATB-Becker Photovoltaik GmbH

Disclaimer

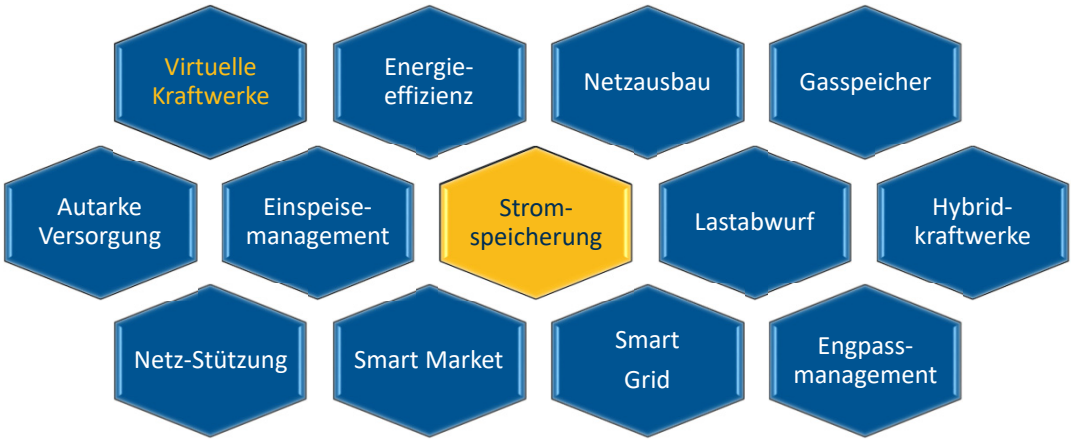
Die ATB-Becker Photovoltaik GmbH übernimmt keinerlei Gewähr für die Aktualität, Korrektheit, Vollständigkeit oder Qualität der bereitgestellten Informationen.
Haftungsansprüche gegen die ATB-Becker Photovoltaik GmbH, die sich auf Schäden materieller oder ideeller Art beziehen, welche durch die Nutzung oder Nichtnutzung der dargebotenen Informationen bzw. durch die Nutzung fehlerhafter und unvollständiger Informationen verursacht wurden, sind grundsätzlich ausgeschlossen.

Jede Art der Vervielfältigung/Verwertung, auch auszugsweise, ist ohne Zustimmung der Fa. ATB-Becker Photovoltaik GmbH unzulässig.

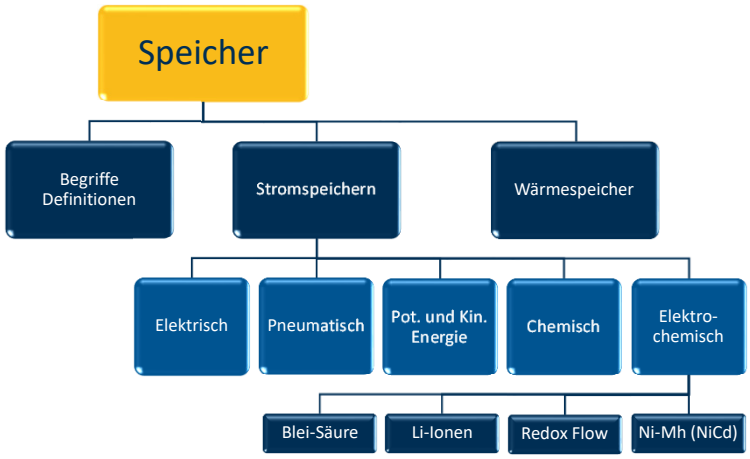
© ATB-Becker Photovoltaik GmbH 2016

Herausforderung: Integration EE

Vielschichtigkeit der Instrumente



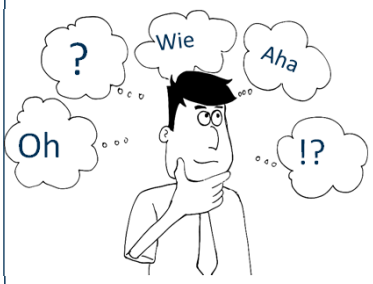
Inhalt



Definition

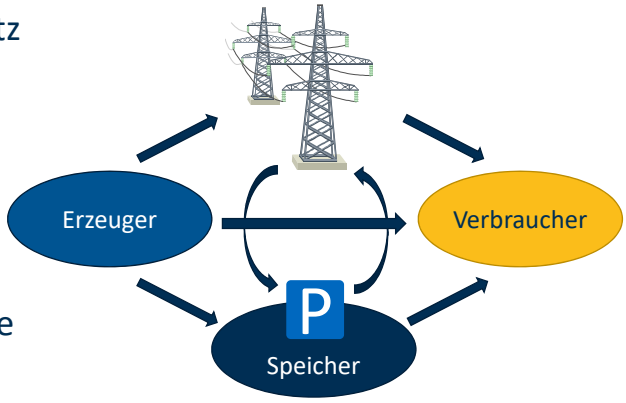
STROMSPEICHER

- Stromspeicher sind Energiespeicher, in die durch Stromfluss elektrische Energie über einen Energiewandler in einer (meist) anderen Energieform eingeladen wird.
- Andere Bezeichnung: *Sekundärspeicher* (im vergl. *Primärspeicher*: Kohlenwasserstoffe, Kernbrennstoffe)
- Energieentnahme erfolgt wieder über einen (den selben) Wandler
- Direkte Stromspeicherung über Kondensatoren und Spulen



Was ist Stromspeicherung?

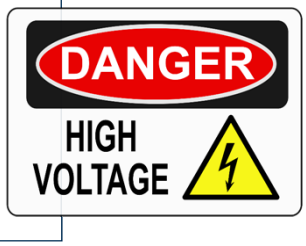
- Einspeisung ins öffentliche Netz
- Direktverbrauch
- Umwandlung der elektrischen Energie in speicherbare Energieform
- **„Parkplatz“ für Energie**
- Nutzung von „Extern“ (virtuelle Kraftwerke)



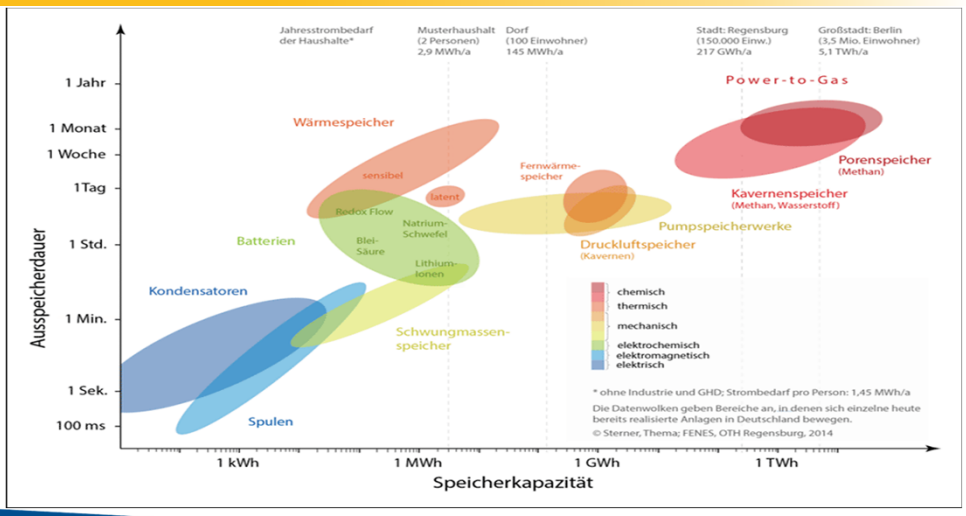
Speichern von Elektrischer Energie

ELEKTRISCHE ENERGIE

- Elektrische Energie ist dabei die bevorzugte Energieform
  - Aus anderen Energieformen und in andere Energieformen fast vollständig umwandelbar
  - Damit universell einsetzbar
  - Hinterlässt dabei keine Reststoffe
  - Verlustarm, gut transportierbar
  - Gut zu messen, zu steuern und zu regeln
  - ABER: Elektroenergie ist direkt nahezu nicht speicherbar



Kapazität - Nutzung



Arten von Stromspeichern

- SMES(superconducting magnetic energy storage) - Supraleitende magnetischer Speicher
- Superkondensatoren
- Druckluftspeicher
- Pumpspeicher
- Schwungräder
- Wasserstoff und Methanisierung (power to gas)
- Elektrochemische Speicher

Elektro-Chemische Speicher

Wie Alles begann

- 1800: Allessandro Guiseppe Antonio Anastasio Graf von Volta
  2 Metallplatten (Kupfer, Zink) mit zwischen-liegenden, in Salzwasserlösung getauchten Tüchern
- Voltasäule als erste konstante Stromquelle (u.A. auch zu Elektrolyse)
- 1802 nutzte Johann Wilhelm Ritter diese um den ersten Akkumulator (Ritter Säule) zu laden.

Quelle: Luigi Chiesa

Wie Alles begann

- 1854: Josef Sinsteden
  Bleiplatten in verd. Schwefelsäue → erster Bleiakkumulator
- 1882: Gladstone/Tribe beschreiben die Gesamtreaktion im Bleiakkumulator
- 1887 Carl Gassner, Trockenbatterie; erster Einsatz in Taschenlampe 1901
- 1899 NiCd Akku, NiFe Akku (Edison)
- Mitte 20.Jh. Redox-Flow –Zellen (1978 von NASA aufgegriffen)
- 1962-1982 NiMH Akkus marktreif
- 1970 Alkalimetallionen und dessen Anwendungen, TU-München
- 1970 NaS Akku
- 1980 $LiCoO_2$-Akku, Oxford Univ.
- 1980 Vanadium Redox Flow
- 1991 Li-Ionenakku von Sony in Marktreife (Videokameras)
- 2004 Verbot Cd, NiCd Akkus von NiMH verdrängt
- 2016

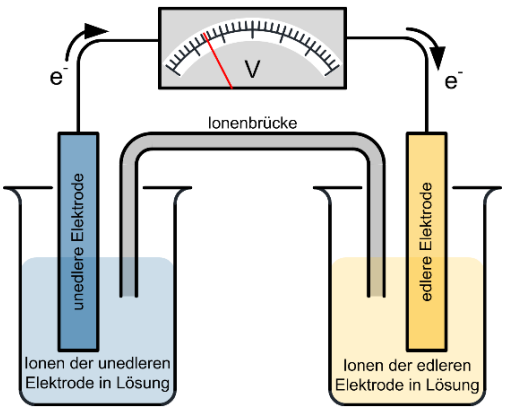
Ohne Chemie kein Strom

Die Weltenformel aus der Sicht des Elektrikers:

$$Chemie =$$

Elektrochemische Speicher – die Batterie

- Wandelt die *chemische Energie* die in den aktiven Materialien gespeichert ist in *elektrische Energie* um.
- Elektrochemische Reduktions- und Oxidationsreaktion
- Im Falle von wieder aufladbaren Systemen kann der Prozess auch umgekehrt werden.
- Übertragung von Elektronen (e^-) von einem Material zum anderen über eine elektrische Schaltung



Quelle: ATB-Becker

Die Batterie

- Da die Umwandlung elektrochemisch erfolgt, ist man nicht wie bei den Wärmekraftmaschinen an die Grenzwerte der Thermodynamik (Carnot-Prozess, 2.HS der Wärmelehre) gebunden.
- Damit sind höhere Energie-umwandlungswirkungsgrade zu erreichen.
- Grundeinheit der Batterie ist die Zelle

- Hauptkomponenten:
  - Anode
    negat. Elektrode, übergibt e^-
    wird elektrochemisch oxidiert
    besserer Begriff: neg. Elektrode
  - Kathode
    pos. Elektrode, übernimmt e^-
    wird elektrochemisch reduziert
    besserer Begriff: pos. Elektrode
  - Elektrolyt
    fungiert als Ionenleiter (Ion=geladenes Teilchen) zwischen Anode und Kathode

Unterteilungen

Primärbatterie

- Nicht (effizient) wieder aufladbar
- Ladung nur teilweise umkehrbar; kein, dem Neuzustand vergleichbarer Energieinhalt
- In der Regel preiswerter als Sekundärbatterie
- Gute Haltbarkeit
- Hohe Energiedichte

Sekundärbatterien

- Entladung reversibel, aufladbar
- Terminus: Akkumulator oder Speicherbatterie
- Ladung bringt die Sekundärbatterie weitestgehend in einen Ladezustand ähnlich dem Neuzustand
- Schlechtere Haltbarkeit (Selbstentladung)
- Energiedichte üblicherweise niedriger als bei Primärbatterie

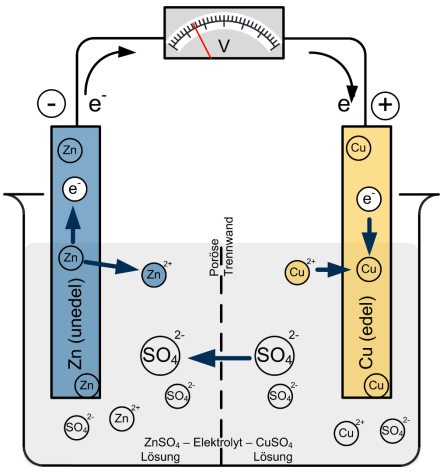
Begriffe

- SOC: State Of Charge, Ladezustand
  Voll: 100%, Leer: 0%
- SOH: State Of Health, Gesundheitszustand
  Neu: 100%, EoL: 80% von BoL
- DOD: Depth Of Discharge, Entladetiefe
  20%= Entladung von 100% auf 80%
- C10: Kapazitätsmenge die bei einer 10-stündigen Entladung entnommen werden kann, (Analog: C20, C5…)
- Nennspannung
  = Produkt aus Anzahl der Zellen x Zellspannung
- Nenntemperatur = der Nennkapazität zugeordnete Temperatur (üblich: 20°C)
- Zyklenzahl
  - ausnahmslos abhängig von der entnommenen Kapazität (DOD)
  - Vollzyklus: 100 %DOD oder 80%DOD
  - Je flacher der Zyklus desto mehr Zyklen sind möglich
  - Der Zyklenfestigkeit seht immer die kalendarische Nutzungsdauer gegenüber

Begriffe

- Brauchbarkeitsdauer
  - 80% der Nennkapazität
  - Bei ordnungsgemäßer Verwendung/Wartung
- Lebensdauer
  - Zeitspanne bis zum Ausfallszeitpunkt
  - Z.B. durch Plattenkurzschluss
- Haltbarkeit
  - Bei definierten elektrischen und physikalischen Bedingungen
  - Im Labor
  - Keine direkte Aussage zur Brauchbarkeitsdauer

Funktionsprinzip Entladung (Daniell-Element)



Quelle: ATB-Becker

- Anode (oxidiert):
$$Zn \rightarrow Zn^{2+} + 2e^-$$
- Kathode (reduziert):
$$Cu^{2+} + 2e^- \rightarrow Cu$$
- Summenreaktion:
$$Zn(s) + Cu^{2+}(aq) \xrightarrow{2e^-} Zn^{2+}(aq) + Cu(s)$$

Antrieb

Element	oxidierte Form		reduzierte Form	Standardpot. E^0
Fluor (F)	F_2	+ 2 e^-	⇌ 2 F^-	+2,87 V
Chlor (Cl)	Cl_2	+ 2 e^-	⇌ 2 Cl^-	+1,36 V
Sauerstoff (O)	O_2 + 4 H^+	+ 4 e^-	⇌ 2 H_2O	+1,23 V
Brom (Br)	Br_2	+ 2 e^-	⇌ 2 Br^-	+1,07 V
Quecksilber (Hg)	Hg^{2+}	+ 2 e^-	⇌ Hg	+0,85 V
Silber (Ag)	Ag^+	+ e^-	⇌ Ag	+0,80 V
Eisen (Fe)	Fe^{3+}	+ e^-	⇌ Fe^{2+}	+0,77 V
Kupfer (Cu)	Cu^+	+ e^-	⇌ Cu	+0,52 V
Kupfer (Cu)	**Cu^{2+}**	**+ 2 e^-**	**⇌ Cu**	**+0,35 V**
Zinn (Sn)	Sn^{4+}	+ 2 e^-	⇌ Sn^{2+}	+0,15 V
Wasserstoff (H2)	**2 H^+**	**+ 2 e^-**	**⇌ H_2**	**0 V**
Eisen (Fe)	Fe^{3+}	+ 3 e^-	⇌ Fe	−0,04 V
Blei (Pb)	Pb^{2+}	+ 2 e^-	⇌ Pb	−0,13 V
Zinn (Sn)	Sn^{2+}	+ 2 e^-	⇌ Sn	−0,14 V
Nickel (Ni)	Ni^{2+}	+ 2 e^-	⇌ Ni	−0,23 V
Cobalt (Co)	Co^{2+}	+ 2 e^-	⇌ Co	−0,28 V
Cadmium (Cd)	Cd^{2+}	+ 2 e^-	⇌ Cd	−0,40 V
Eisen (Fe)	Fe^{2+}	+ 2 e^-	⇌ Fe	−0,41 V
Schwefel (S)	S	+ 2 e^-	⇌ S^{2-}	−0,48 V
Zink (Zn)	**Zn^{2+}**	**+ 2 e^-**	**⇌ Zn**	**−0,76 V**
Mangan (Mn)	Mn^{2+}	+ 2 e^-	⇌ Mn	−1,18 V
Aluminium (Al)	Al^{3+}	+ 3 e^-	⇌ Al	−1,66 V
Magnesium (Mg)	Mg^{2+}	+ 2 e^-	⇌ Mg	−2,362 V
Natrium (Na)	Na^+	+ e^-	⇌ Na	−2,71 V
Lithium (Li)	**Li^+**	**+ e^-**	**⇌ Li**	**−3,04 V**

- Aus der elektrochemischen Spannungsreihe lässt sich die Reaktionsrichtung voraussagen
- Pos. Vorzeichen: Reaktion läuft von links nach rechts
- Summe der Elektrodenreaktion führt zur Spannung

Bsp. Daniell-Element:

Kathode: $Cu^{2+} + 2e^- \rightarrow Cu$ $\quad E^0 = +0{,}34V$

Anode: $Zn \rightarrow Zn^{2+} + 2e^-$ $\quad E^0 = -0{,}76V$

Ges.: $\quad E^0 = \ 1{,}10V$

Kriterium Spannung

Typ. Zellspannungen:

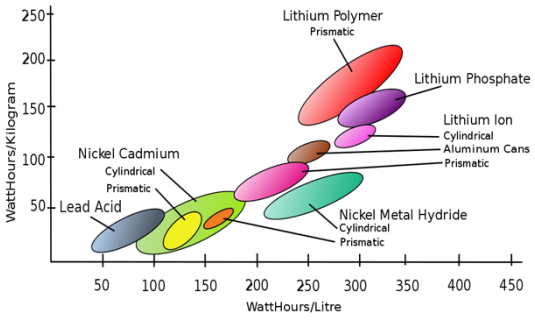
Type	Nennspannung V	Arbeitsbereich V
Blei-Akku	2	1,75…2,45
NiCd	1,2	0,9..1,45
NiMH	1,2	1,0…1,45
$LiFePO_4$	3,2…3,3	2,5…3,65
Li-Polymer	3,7…3,8	3…4,22
$LiCoO_2$	3,6	3(2,5)…4,3
NiZn	1,6	1,3…1,9

Definitionen

- Nennspannung unterscheidet sich vom Arbeitsbereich
- Ladeschlussspannung
  - definiert den oberen Bereich
  - Überladung = Beschädigung
- Entladeschlussspannung
  - Unterer Grenzbereich für Entladung
  - Definiert die Zyklen
  - Bei Li-Ion nicht allgemein gültig
  - Abhängig von Entladestrom

Kriterium Energiedichte

Energiedichte



Quelle: CC, Barrie Lawson

Definitionen

- Spezifische Energie in Wh/kg Energiedichte in Wh/l
  - Wahl des Elektrodenmaterials
  - Hohe Zellspannung, hohes Redoxpot.
  - Kleine inaktive Massen
- Spezifische Leistung in W/kg Leistungsdichte in W/l
  - Maß für die Strombelastbarkeit
  - Geschwindigkeit des Ionentransfers
  - Abhängig vom aktiven Material (Reaktionsflächen)
- Kompromiss zw. Langzeit- und Hochstromanwendung

Blei-Speicher

Bleispeicher

BLEI AKKUMULATOR

- Der am weitesten verbreitete elektrochemische Energiespeicher
- Ca. 70 Mio. Auto-Starterbatterien werden jährlich in Europa produziert
- Für Offgrid-Solaranlagen nach wie vor Stand der Technik (Gewicht spielt nur untergeordnete Rolle)
- Aufbauunterschiede nach Anwendung Starterbatterie KFZ (Hochstrom) vs. Solarbatterien (Zyklenfest)

Quelle: Hoppecke

Bleispeicher

ATB BECKER Photovoltaik GmbH

Vorteile

- weit entwickelt
- günstig
- bewährte Technik für viele Lade- und Entladesysteme
- ausdefinierte Normen und Richtlinien
- Kann kurzfristig sehr hohe Ströme liefern (Starterbatterie)
- Sehr gut recyclebar

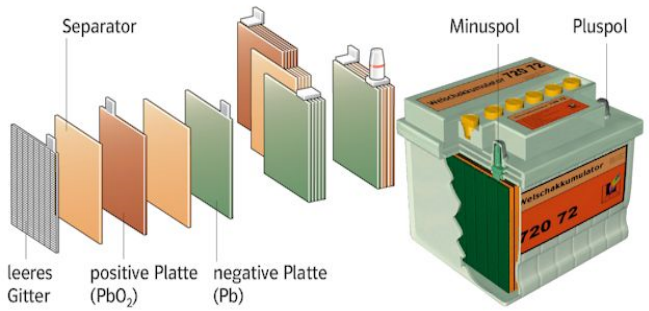
Nachteile

- Vergleichsweise niedrige Zyklenzahlen
- Damit verbunden geringe Lebensdauer
- Hohes Gewicht, damit primär für stationäre Anwendungen geeignet
- Nicht tiefentladefest
- Selbstentladung
- Aufstellung mit Auflagen

Bleispeicher, Aufbau

ATB BECKER Photovoltaik GmbH

- Negative Elektrode
  - Blei (Pb), hochporös
  - Als Gitterplatte aufgebaut
  - Legierungen (Antimon) für Stabilität
- Positive Elektrode
  - Bleidioxid (PbO_2)
  - Untersch. Ausführungen
    - GroE (Großoberflächenplatte)
    - Gi (Gitterplatte)
    - PzS (Röhrchen oder Gitterplatte)
- Elektrolyt
  - Verdünnte Schwefelsäure (H_2SO_4)



Quelle: Elemente Chemie 2, Klett-Verlag,

klimaaktiv 12-2018

Beispielbilder

Quelle: ATB-Becker, 1200Ah Eigenverbrauchsoptimierung

Quelle: ATB-Becker, 1500Ah Notstromnetz

Beispielbilder

Quelle: ATB-Becker; 1100Ah, Stromcontainer

Quelle: ATB-Becker, ca. 500Ah, TV Umsetzer (16 Jahre in Betrieb)

Lithium-Ionen-Speicher

Lithium Speicher

LITHIUMBATTERIE

- Aus der Speichertechnologie tragbarer Geräte (Sony Kamera, 1990)
- Gerade erst begonnener Wettbewerb um den Markt
- Ungleiche Anforderungen für mobilen und stationären Betrieb
- Hohe spezifische Energie
- Erfordert immer eine elektronische Schutzschaltung; damit ist die Batterie alleine zu wenig für den Betrieb

Quelle: Sony
Quelle: Sony

Lithium-Speicher

Vorteile

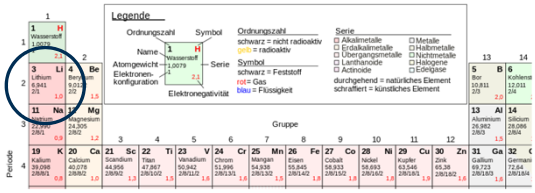
- Hohes Elektrodenpotenzial (-3,05eV) von Lithium → hohe Zellspannung bis zu 4 V
- Niedrige Äquivalentmasse → hohe spezifische Ladung (>3800Ah/kg für Li)
- Li-Batterien mit Festelektrolyt haben eine lange Lagerzeit.
- Li kann nahezu jedes andere Material reduzieren → Kathodenchemie

Nachteile

- Wenig Erfahrungswerte im praktischen Langzeiteinsatz
- Kommunikation BMS-Lade-/ Entladeeinheit
- Sicherheitsfaktoren
- Empfindlich gegen falsches Laden; nicht sehr robust
- Selbstentladung abhängig vom BMS
- teuer

Lithium als Element

- Element mit Ordnungszahl 3
  - Nach Wasserstoff und Helium
  - Leichtmetall, kleine Dichte
- Anteil in der Erdkruste: 0,006%
  - Damit etwas seltener als Zink und Kupfer
  - Etwas häufiger als Zinn und Blei
- Gewinnung schwierig
  - Primäre Lagerstätten: Mineralischer Aufschluss (Lithium Pegmatite, bis zu 9% Li)
  - Sekundäre Lagerstätten: Derzeit vor allem durch Abbau von Lithiumsalzen (Atacama 0,16%)

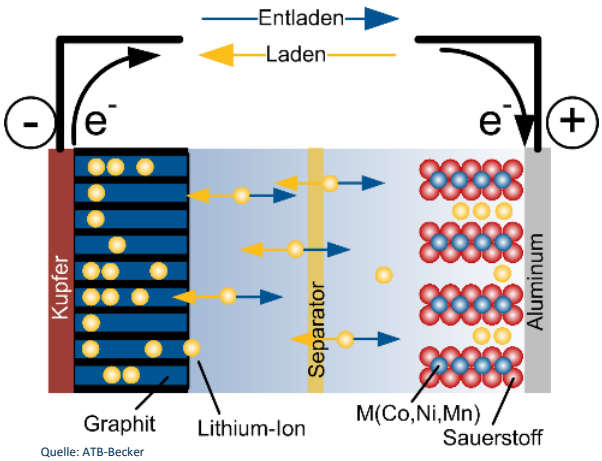


Quelle: Wikipedia, gemeinfrei

- Primäre Lagerstätten
  - Wolfsberg, Kärnten (größte europ. Lagerstätte)
  - Erzgebirge
  - Spanien-Portugal
- Sekundäre Lagerstätten, Salzseen
  - Südamerika (Salar de Uyuni; 5,4Mio t)
  - China
  - Afghanistan

Funktion, Aufbau

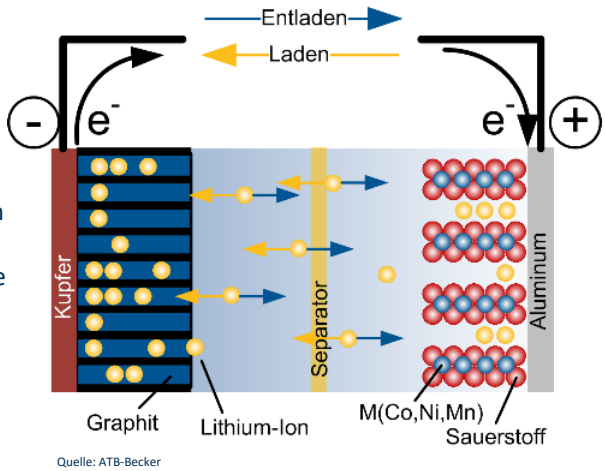
- Verzicht auf metallisches Li
- Li^+ - Einlagerungsverbindungen wie z.B. lamellare Kohlenstoffe als Elektrodenmaterial
- Li-Ionen können frei durch den Elektrolyten wandern → Ladungstransport
- Separator trennt beide Elektroden mechanisch und Isolierend



Quelle: ATB-Becker

Funktion, Aufbau

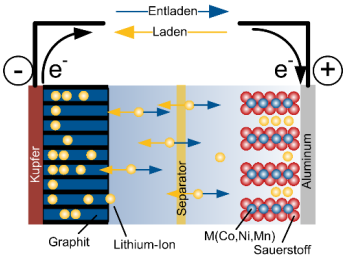
- Entladen
  - Negative Elektrode, Graphit
  - Li_xC_n
  - e^- wird abgegeben und fließt zur „+“-Seite
  - Gleichzeitig wandern gleich viele Li^+ - Ionen aus der Graphitverbindung durch den Elektrolyt Richtung pos. Elektrode
  - An der pos. Elektrode nehmen nicht die Li-Ionen die Elektronen des externen Stromkreises wieder auf sondern die Metallverbindungen (Co, Ni, Mn, Fe), die Ihre Ladung ändern
  - Li^+ bleibt auch an der Kathode ionisiert

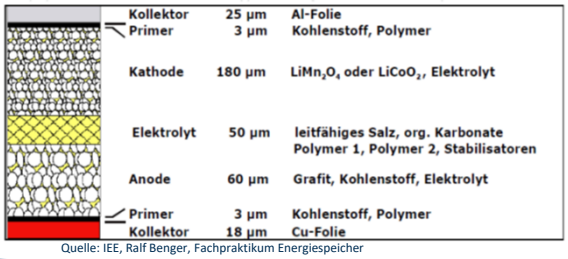


Quelle: ATB-Becker

Funktion, Aufbau

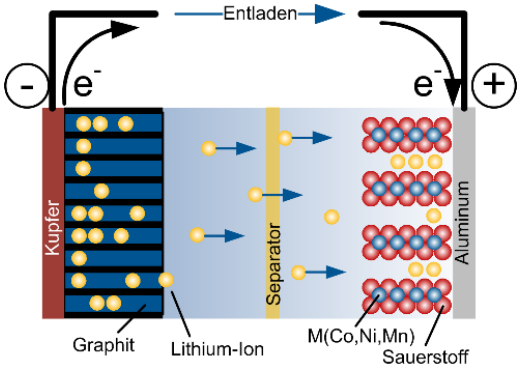
- Laden
  - Positive Elektrode, Lithium-Metalloxid-Verbindungen
  - $LiCoO_2$, $LiMnO_2$, $LiFePO_2$
  - Li^+ Ionen wandern aus der Metalloxidverbindung Richtung Graphitelektrode
  - An der neg. Elektrode bleiben die Li Ionen ionisiert





Quelle: IEE, Ralf Benger, Fachpraktikum Energiespeicher

Reaktionsgleichung Entladen



Quelle: ATB-Becker

- Minuspol

$$Li_xC_6 \rightarrow C_6 + xLi^+ + xe^-$$

- Pluspol

$$Li_{1-x}CoO_2 + xe^- \rightarrow LiCoO_2$$

- Summenreaktion:

$$Li_xC_6 + Li_{1-x}CoO_2 \rightarrow C_6 + LiCoO_2$$

Lithium Akkumulator

- Überladung führt zur Abscheidung von metallischem Lithium → Sicherheit.
- Lithium ist ein hochreaktives, elektrochemisch sehr aktives Metall das heftig mit Wasser reagiert
- Damit sind auch die Elektrolyten nicht wässrig (Salzschmelzen oder wasserfreie organische Lösemittel)
- Alterung durch Wachstum der sogenannten Solid Elektrolyt Interface (SEI)
- SEI entsteht bei den ersten Ladeprozessen und stabilisiert zunächst dieses Interkalations-material (=Einlagerungsmaterial) Weiteres Wachstum führt jedoch zum Anstieg des Innenwiderstandes
- Beinhalten neben Li auch andere brennbare Elemente (Elektrolyt) → erfordert komplexe, sichere Ladereglung auf Zellebene → BMS, Batteriemanagementsystem

Speicher

Bautypen

- Lithium Polymer Akku
  - Elektrolyt auf Polymer-Basis (feste, gelartige Folie), Keram. Separatoren
  - Graphit und $LiCoO_2$ als Elektroden
- Lithium Titanat Akku
  - $Li_4Ti_5O_{12}$ –Anode
  - Hohe Ladezyklen
  - Kein Thermisches durchgehen
  - Höhere Ladeströme auch bei <T
- Lithium Mangan Akku
  - Kobalt (Co) wird ersetzt durch Mangan
  - Hochstromfest → Elektromobilität

LiPo Pouch-Zelle

LiTitanat Pouch-Zelle

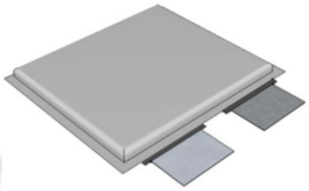
LiMangan Rundzelle

Bautypen

- Lithium Eisenphosphat Akku
  - $LiFePO_4$ als Kathode
  - lange Lebensdauer, schwer
- Lithium Cobaltdioxid Akku
  - der typ. Li-Ionen Akku,
  - erster verfügbarer Li-Ionen Akku
- Lithium Nickel Cobalt Mangan Oxid
  - NMC
  - Hohe Energiedichte
  - Mittlere Lebensdauer

LiFePO HardCase

NCA Rundzelle 18650



NMC pouch bag

Vergleichbarkeit

- Keine Übereinstimmung zur DOD, Entladeströmen, Grenzspannungen etc.
- Große Anzahl unterschiedlicher Technologien als Produkt Li-Ionen-Akku
- Vergleichbarkeit schwer möglich
- Auch wegen fehlender Erfahrungswerte

Sonys Eisenphosphat (LiFePO4) Stromspeichersystem

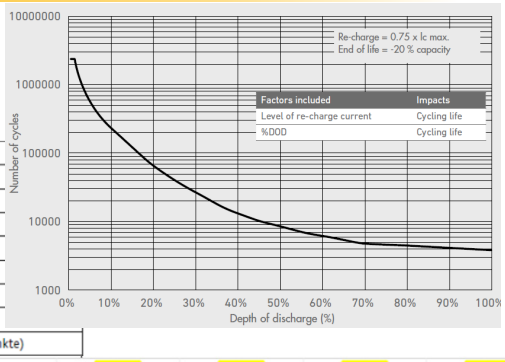
Die Kapazität des Sony Stromspeichers wird über die gesamte Lebensdauer und ohne Einschränkung zu 100% genutzt (100% DoD). Bei anderen Technologien, wie z. B. bei Bleibatterien, liegt der tatsächliche Speicherinhalt oft nur zwischen 30 und 60%. Das bedeutet für Sie, dass Sie mit weniger Stromspeicher mehr Leistung erreichen. Unser System hat eine Lebensdauer von bis zu 20 Jahre (8000 Zyklen). Damit können Sie Ihren PV-Strom-Eigenverbrauch langfristig optimieren.

Batteriekapazität nutzbar in kWh	2,0	4,0	6,0	8,0	10,0	12,0	14,0	16,0
Zellchemie	Lithium-Eisenphosphat							
Gewicht in kg	80	110	170	200	230	260	290	320
Maße H/B/T in cm	90/62/36	90/62/36	160/62/36	160/62/36	160/62/36	160/62/36	160/62/36	160/62
Wechselrichter Nennleistung in W (be- und entladen)	1.500	2.500	3.000	3.300	3.300	3.300	3.300	3.300
Maximaler Wirkungsgrad Wechselrichter	96 %							
Maximaler Wirkungsgrad Batterie	98 %							
Umgebungstemperaturen	5° - 30° C							
Staub- und Wasserschutz	IP 21							
Betriebsform	dreiphasig							
Notstromfähig	optional							
Prüfungen/Richtlinien	Li-Ionen-Hausspeicher Sicherheitsleitfaden geprüft, VDE-AR-N_4105, UN 38.3 Transporttest, Niederspannungsrichtlinie 2006/95/EG, UL1642, IEC62133							
Batterie-Lebensdauer	ausgelegt für 20 Jahre							
Garantie	10 Jahre auf das Komplettsystem oder 10.000 Ladezyklen*							
Ladung auf 90 % in ca.	1,5 Std.	1,5 Std.	2 Std.	2,5 Std.	3 Std.	3,5 Std.	4 Std.	4,5 St
Empfohlener Einsatz bis zu einem jährlichen Hausverbrauch in kWh von (Erfahrungswerte)	2.500	3.300	4.400	5.500	6.600	7.700	8.800	9.900

Vergleichbarkeit

Wirkungsgrad: Wirkungsgrad > 96-99% je nach Belastung
Zyklenzahl: 7500 (Micro-, Teil- u. Vollzyklen kombiniert)
Belastung: sehr hohe Entladeströme (bis 800A peak)

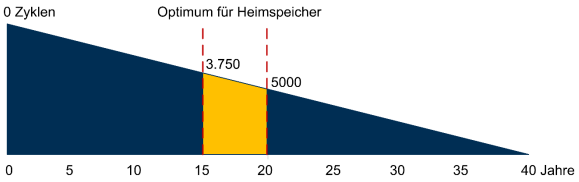
Nennkapazität	2,2 kWh
Entladetiefe (DoD)	100 %
Zelltechnologie	Li-Ion
Zell-Separator	keramisch beschichtet
BMS	UIT-Supervisor*
Zyklenlebensdauer	4.100 (Vollzyklen bei DoD 100%, 1C laden/ 1C entladen, @ 80% EOL, 25 Grad Celsius)
max. Wirkungsgrad	99,2%
Gewicht	25Kg
Abmessungen (B x H x T)	384mm X 200,5mm X 277mm (Tiefe: 260mm ohne Befestigungspunkte)
Gehäuse	Aluminium
Kommunikation	CAN
Leistungsanschlüsse	Leistungsstecker mit integrierter
Batterie-Sicherung	integriert
Garantie***	10 Jahre



Nennkapazität	4,5 kWh	6,0 kWh	7,5 kWh	9,0 kWh
Nutzbare Kapazität (80% DoD)	3,6 kWh	4,8 kWh	6,0 kWh	7,2 kWh
Zyklenfestigkeit (80% DoD)	8.000 [1]			
Spannungsbereich	120 - 170 V	160 - 230 V	200 - 290 V	240 - 345 V
Nominale Ladeleistung	2.400 W	3.200 W	4.000 W	4.800 W
Nominale Entladeleistung	2.400 W	3.200 W	4.000 W	4.800 W
Max. Ladestrom	16 A			
Max. Entladestrom	16 A			

Mythos Zyklen

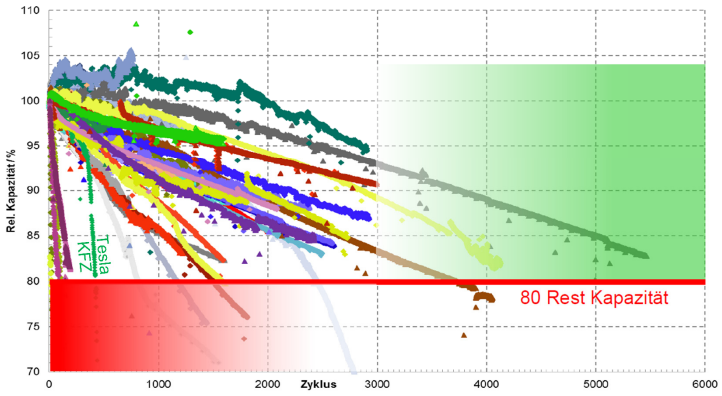
- Zyklenangaben bis >20.000
- Im Gegensatz zu Blei-Speichern keine unteren Spannungsgrenzen festgelegt → Angaben zur DOD von 80-100% → Spiel mit Zyklen
- Zyklenzahl für Heimspeicheranwendungen?
- 250 Zyklen pro Jahr → 40 Jahre für 10.000 Zyklen?
- Neben der Zyklenzahl ist die Kalendarische Lebensdauer nötig
- Wohin mit den Zyklen am Ende der Lebensdauer?
- Lebenserwartung typ.: 15-20Jahre



Quelle: ATB-Becker/Solarwatt

Zyklenvergleich

Weltweites Benchmark von Li-Ionen Zellen
Zyklentest 1C/1C; 100%DOD



- Tesla Batterie schlechter als versprochen?
- Nein!
  → 200.000km bei 500km Reichweite pro Batterie-füllung = 400 Zyklen
  → den Anforderungen entsprechend!
- Dennoch ein Trend erkennbar → wo bleiben die 10.000 Zyklen?

Verschaltung

- Da die Li-Ionen Speicher immer ein eigenes BMS (Batteriemanagement-system) besitzen, muss die Kommunikation mit der Lade- und Entladeeinheit gewährleistet sein
- Die freie „Plug and Play“ Variante ist somit produktübergreifend nicht immer möglich
- Auch wenn die Bilanzierung auf Zellebene erfolgt ist die Mischung zwischen alten und neuen Zellen nicht immer möglich.
- Batteriewechselrichter überschreiten oft die max. möglichen Ausgangsströme der Li-Ionen Akkus

Praxisbeispiele

Sony Fortelion

TESVOLT TS48HV

LG chem RESU

Praxisbeispiele

Solarwatt
MyReserve Matrix

Fronius Speicher mit
Hybrid WR

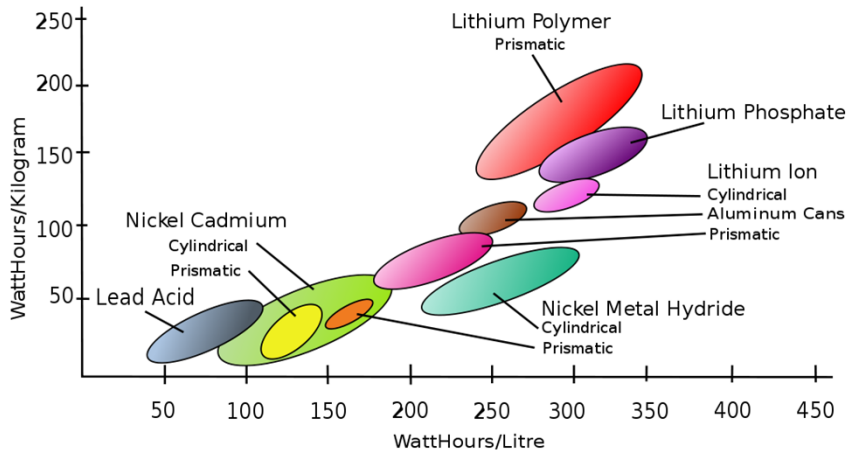
Tesla Powerwall

Weitere Speicher

Speicher

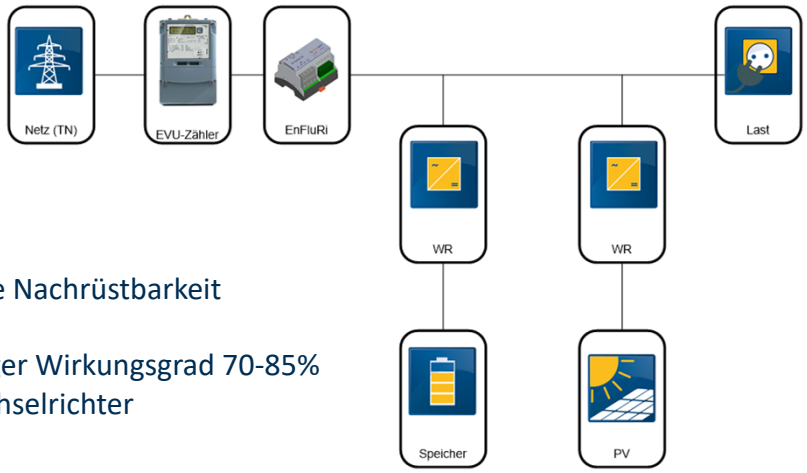
- Redox-Flow
- Nickel-Eisen
- Hochtemperaturspeicher
  - Natrium-Schwefel
- Natrium Nickelchlorid (ZEBRA)

Zusammenfassung



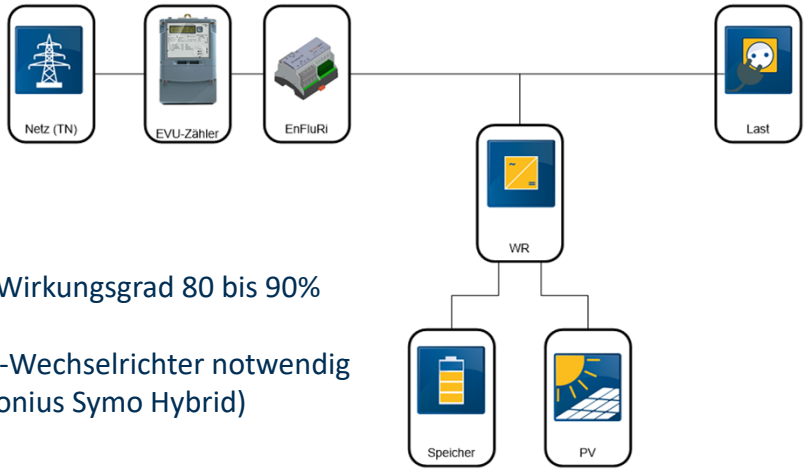
Planungsgrundlagen

AC-Kopplung



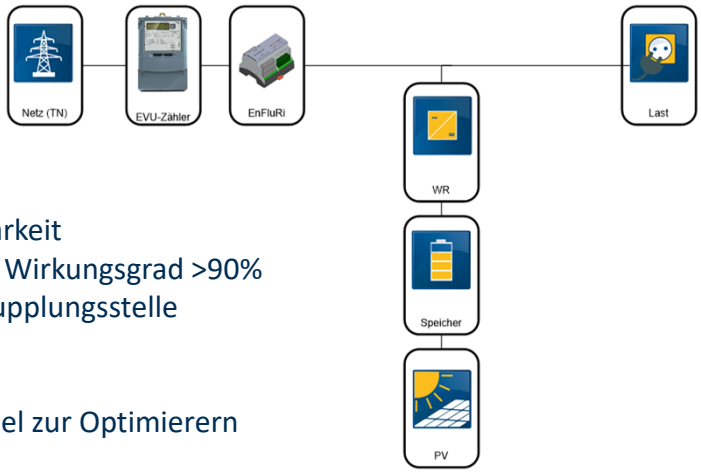
- Vorteile
  - Flexible Nachrüstbarkeit
- Nachteile
  - Niedriger Wirkungsgrad 70-85%
  - 2. Wechselrichter

DC-Kopplung



- Vorteile
  - Hoher Wirkungsgrad 80 bis 90%
- Nachteile
  - Sonder-Wechselrichter notwendig (z.b. Fronius Symo Hybrid)

DC-Generator-Kopplung



- Vorteile
  - Nachrüstbarkeit
  - Sehr hoher Wirkungsgrad >90%
  - Keine Entkupplungsstelle
- Nachteile
  - Inkompatibel zur Optimierern

Speicher – Qualität – Sicherheit

Sicherheit

Sicherer Betriebsbereich einer Lithium-Ionen-Zelle.

- Sicherer Betriebsbereich
- Grenzbereich: BMS muss Gegenmaßnahmen ergreifen (Spannung senken, laden verlangsamen etc.)
- Instabiler Bereich:
  - BMS unterbricht Prozesse (Relais)
  - BMS verhindert erneuten oder weiteren Betrieb
- Kritischer Bereich: Eingrenzen der Kettenreaktion (dickes Gehäuse, Druckreduktion, Sauerstoffzufuhr verhindern)

(Richtwerte, genaue Zahlenwerte und Mechanismen sind abhängig von der Zellchemie)

Sicherheit durch Zell-Chemie?

- Lithium Polymer Akku
  - Elektrolyt auf Polymer-Basis (feste, gelartige Folie), Keram. Separatoren
  - Graphit und $LiCoO_2$ als Elektroden
- Lithium Titanat Akku
  - $Li_4Ti_5O_{12}$ –Anode
  - Kein Thermisches durchgehen
- Lithium Mangan Akku
  - Kobalt (Co) wird ersetzt durch Mangan
  - Hochstromfest → Elektromobilität
- LI NMC (Lithium Nickel Mangan Kobalt (Oxid))
  - Niedrige Kosten
  - Hohe Energiedichte
  - Mittlere Lebensdauer
- Lithium Eisenphosphat Akku
  - $LiFePO_4$ als Kathode
  - lange Lebensdauer, schwer

Sicherheit durch Zell-Chemie?

Kathodenmaterial	T onset* (°C)	Energie (J/g)
NCA-Lithium Nickel Cobalt Alumnium Oxid	170	-941
NMC-Lithium Nickel Cobalt Mangan Oxid	264	-439
LFP-Lithium Eisen Phosphat	245	-250

* Temperatur bei der irreversible chem. Prozesse starten

Solvent	Structure	M. Wt	T_m/ °C	T_b/ °C	η/cP 25 °C	ε 25 °C	Dipole Moment/debye	T_f/ °C	d/gcm^{-3}, 25 °C
EC		88	36.4	248	1.90, (40 °C)	89.78	4.61	160	1.321
PC		102	-48.8	242	2.53	64.92	4.81	132	1.200
BC		116	-53	240	3.2	53			
γBL		86	-43.5	204	1.73	39	4.23	97	1.199
γVL		100	-31	208	2.0	34	4.29	81	1.057
NMO		101	15	270	2.5	78	4.52	110	1.17
DMC		90	4.6	91	0.59 (20 °C)	3.107	0.76	18	1.063
DEC		118	-74.3 *	126	0.75	2.805	0.96	31	0.969

Additive haben teilw. Flammpunkte ab 18°C

- Pauschale Aussage zur Sicherheit durch Zell-Chemie gibt es nicht!
- Additive spielen eine wichtige Rolle
- Konstruktion des System
- Jede Lion-Batterie hat ein Risikopotential !

→ Sicherheitseinrichtungen des Speichers sind eines der Hauptqualitätsmerkmale

Sicherheit durch Bauform?

- Jede Bauform hat Vor- und Nachteile

- pouch-bag
  - (-) Die Schweißnaht der Zelle ist qualitativ hochwertig schwer herzustellen (kann nicht jeder Hersteller)
  - (+) sehr gutes Volumen zu Oberflächenverhältnis → gute Wärmeabgabe
  - (+) flexibel in Formgebung
- Rundzelle
  - (-) schlechte Temperaturabgabe
  - (+) Standardisiert

LiPo Pouch-Zelle

LiTitanat Pouch-Zelle

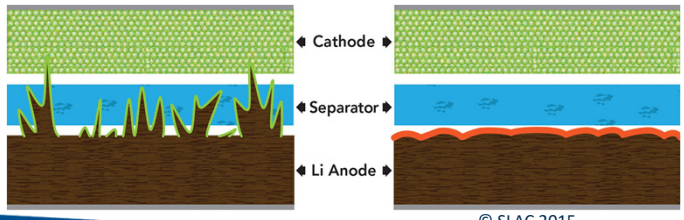
LiFePO HardCase

LiMangan Rundzelle

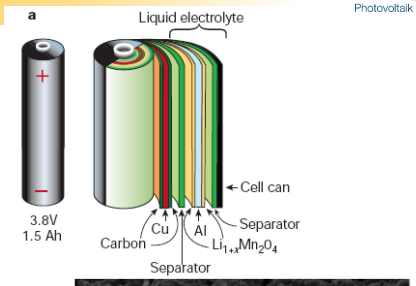
Sicherheit durch Bauform?

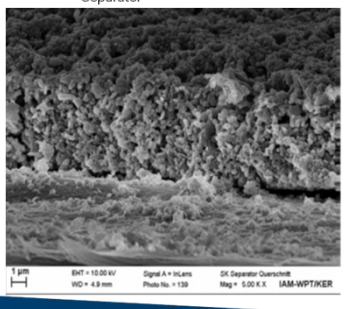
Qualitätsmerkmale

- Keramischer Separator
  - stabiler bei hohen Temperaturen (schrumpft nicht) → Kurzschluss-Risiko sinkt
  - Besserer Schutz bei Dendritenwachstum (Ablagerung von metallischem Lithium) am Ende der Lebensdauer (80% SOH)



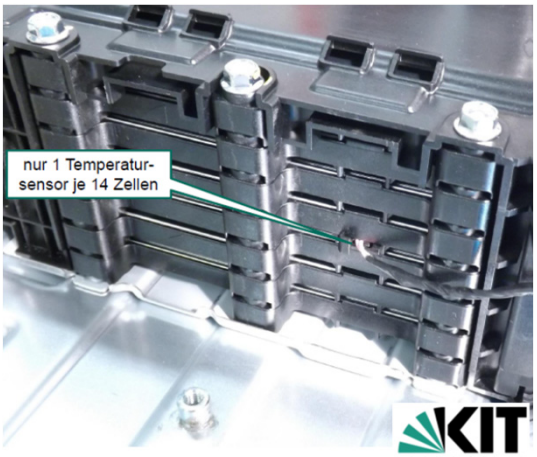
© SLAC 2015





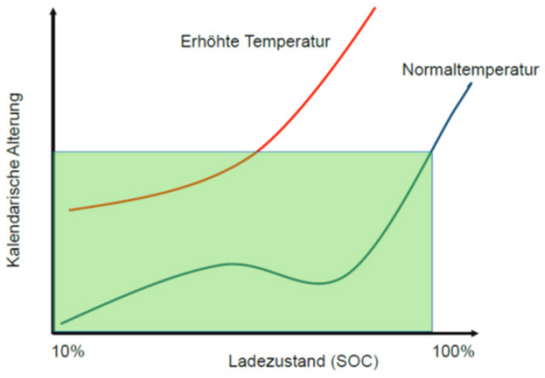
Sicherheit durch BMS

- Überwachung jeder Zelle
- Temperaturüberwachung an relevanten Komponenten
- Lade- und Entladeüberwachung
- Schnelle Messzyklen
  - Langsame Systeme: Sekundentakt
  - Schnelle Systeme: µs-Takt
  - → Schnelle Reaktion auf Ereignisse im Speicher
  - → Schnelle Regelung bei Lastwechseln



Sicherheit durch BMS

- Selbstlernende Ladestrategie
  - Lion-Speicher sollte nicht lange auf 100% SOC gehalten werden
  - Alterungsprozess verläuft bei hohem SOC schneller
- Schnell-Ladung kontraproduktiv
- Selbstlernender Algorithmus



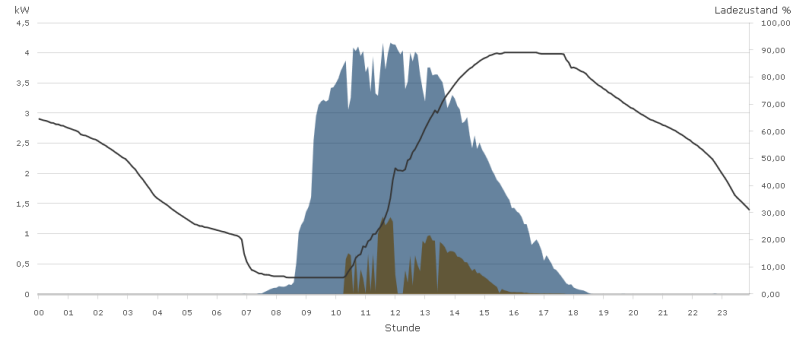
Sicherheit durch BMS

376,7 W
Durchschnittliche Ladung MyReserve

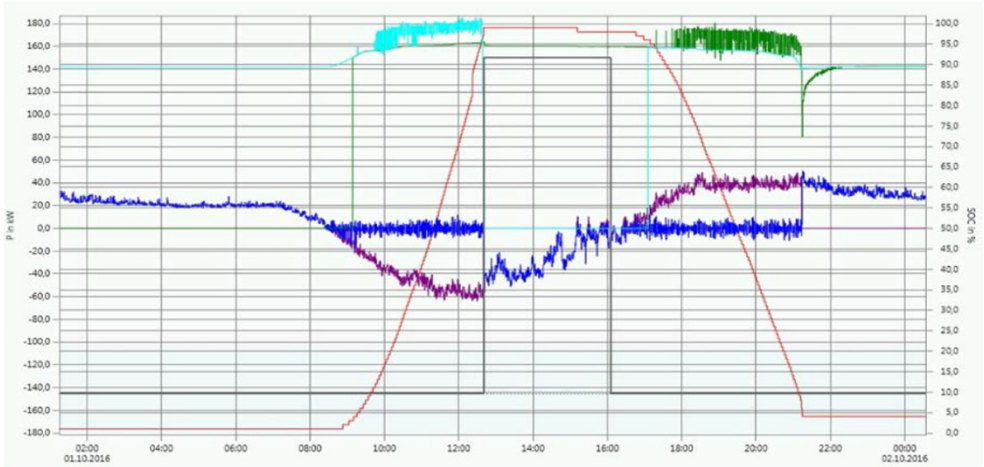
232,5 W
Durchschnittliche Versorgung MyReserve

2,1 kW
Durchschnittliche Erzeugung TB Absam

316,5 W
Durchschnittlicher Verbrauch TB Absam

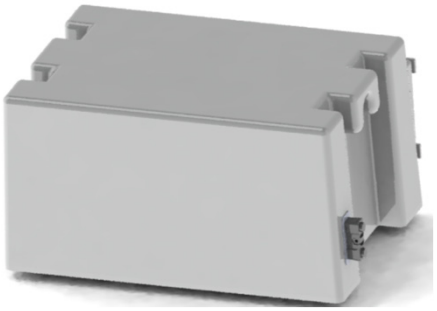


Sicherheit durch BMS



Sicherheit durch Gehäuse

- Letzte Sicherheitsstufe: Gehäuse
  - Passive Sicherheit durch starkes Containment
  - Stabile Ausführung beschränkt thermal runaway auf das Gehäuse des Speichers
  - Ausblasöffnung sollte so konzipiert sein, dass ausschließlich Strömung nach Außen entsteht → keine Rückzündung



Elektrische Sicherheit – ÖVE R20

Normen & Richtlinien

- ÖVE/ÖNORM 8001 Reihe
- ÖVE EN 1
- ÖVE/ÖNORM EN 50272
- ÖVE R20
- ÖVE/ÖNORM EN 61427-2
- ÖVE/ÖNORM EN 50110-1
- TOR D4
- ADR-Richtlinie (Transport)
- Bundesgesetz zum Schutz vor gefährlichen Produkten
- Bundesgesetz über die Beförderung gefährlicher Güter
- Batterienverordnung
- Elektroaltgeräteverordnung (WEEE-Richtlinie)

- Die angeführten Normen stellen einen Auszug der relevanten Vorschriften und Richtlinien dar.

Blei-Speicher

- Speicher 1.0
- Nach wie vor Stand der Technik
- Genaue Regulierung u.a. durch ÖVE/ÖNORM EN 50272-2
  - Aufstellung und Batterieraum
  - Lüftung und deren Dimensionierung
  - Umgang mit gefährlichen Elektrolyten
  - Hinweis auf EX-Bestimmungen
  - Etc.

Lithium-Speicher

- Speicher 2.0
- Verschiedenste Bauformen
  - Schränke oder Wandgehäuse
- Vergleichbarkeit
  - Schwierig, keine Definition der Test-Parameter wie bei Modulen (IEC 61215 bzw. 61730)
- Hersteller-Normen bzw. Dokumente
  - Sicherheitsleitfaden Lithium-Ionen-Heimspeicher Version 1.0
  - VDE AR 2510-50
  - ÖVE R20
  - Entwurf DIN EN 62619:2014
  - UN38.3
  - ÖVE/ÖNORM EN 50272-1:2011
  - Entwurf DIN EN 61427:2014 Teil 2
  - EN 62109-1:2011
  - EN 61000-6-1:2007
  - EN 61000-6-3:2011
  - EN 62133
  - Etc.

Anforderungen

- Was ist bei der Installation von netzgekoppelten Speichern zu beachten?
  - Art des Speichers (Bauform, Chemie, …)
  - Bauform (Zelle, Gehäuse, …)
  - Netzform des elektrischen Netzes am Standort (TN, TT, IT)
  - Elektrische Schutzmaßnahmen vorher und nachher
  - Notstromfunktionalität ja/nein?
  - DC- oder AC-Kopplung?
  - An welcher Stelle wird das Energiespeichersystem in die vorhandene elektrische Anlage integriert?
  - Konformität der bestehenden elektrischen Anlage ja/nein?

Die Richtlinie OVE R20

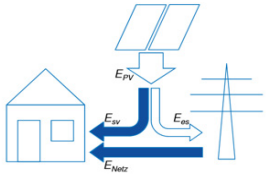
OVE-Richtlinie
R 20
Ausgabe: 2016-xx-xx

Stationäre elektrische Energiespeichersysteme vorgesehen zum Festanschluss an das Niederspannungsnetz

Planung

Planung

EV= $\frac{E_{SV}}{E_{PV}}$



SD = $\frac{E_{SV}}{E_{SV}+E_{Netz}}$

E_{SV} … selbstverbrauchter Strom
E_{PV} … erzeugter PV − Strom

E_{SV} …selbstverbrauchter Strom
E_{Netz} …vom Netz bezogener Strom

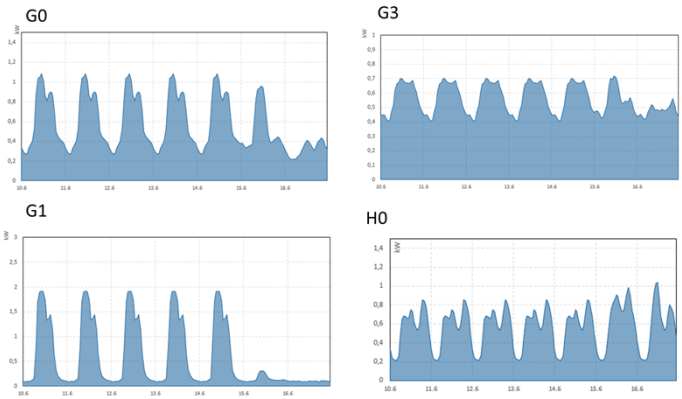
Eigenverbrauch→ Rentabilität
(Anteil des erzeugten Stroms, der selbst verbraucht wird)

Solare Deckung → Unabhängigkeit
(Anteil am Gesamtstromverbrauch, der von der „Sonne“ gedeckt werden kann); auch oft *Autarkie* genannt

Lastprofil

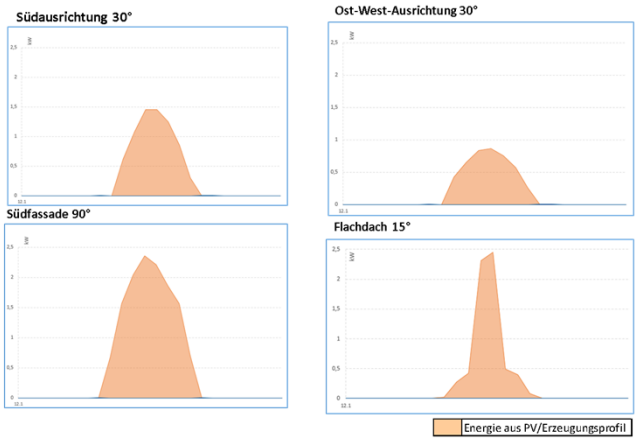
Profiltyp	Beschreibung	Erläuterung
G0	Gewerbe allgemein	Gewogener Mittelwert der Profile G1-G6
G1	Gewerbe werktags 8-18 Uhr	z.B. Büros, Arztpraxen, Werkstätten, Verwaltungseinrichtungen
G2	Gewerbe mit starkem bis überwiegendem Verbrauch in den Abendstunden	z.B. Sportvereine, Fitnessstudios, Abendgaststätten
G3	Gewerbe durchlaufend	z.B. Kühlhäuser, Pumpen, Kläranlagen
G4	Laden/Friseur	
G5	Bäckerei mit Backstube	
G6	Wochenendbetrieb	z.B. Kinos
G7	Mobilfunksendestation	durchgängiges Bandlastprofil
L0	Landwirtschaftsbetriebe allgemein	Gewogener Mittelwert der Profile L1 und L2
L1	Landwirtschaftsbetriebe mit Milchwirtschaft/Nebenerwerbs-Tierzucht	
L2	Übrige Landwirtschaftsbetriebe	
H0	Haushalt	

Lastprofile



Erzeugung

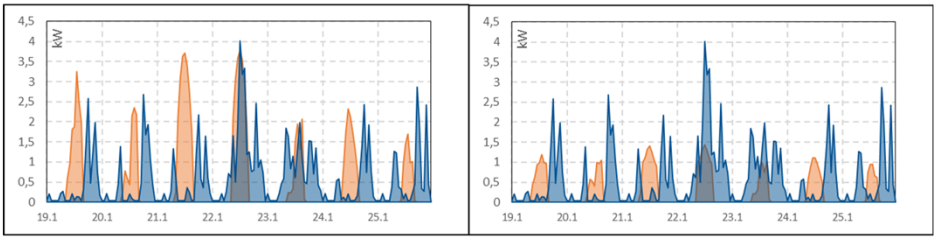
- Berechnung mittels Simulation-Umgebung (Pvsol, polysun, Trnsys, etc.)
- Ergebnis: Erzeugungsprofil



Verbrauchsprofil + Erzeugungsprofil

➢Ermittlung der Eigenverbrauchsquote → „Ist-Zustand ohne Speicher“

Südausrichtung 30° **Ost-West-Ausrichtung 30°**



Energieverbrauch

Der durchschnittliche Stromverbrauch in österreichischen Privathaushalten beträgt für den Zeitraum 2006 - 2010 laut Statistik Austria für:

Ein-Personen-Haushalte	3.500 kWh/Jahr
Zwei-Personen-Haushalte	4.700 kWh/Jahr
Drei-Personen-Haushalte	5.300 kWh/Jahr
Vier-Personen-Haushalte	6.100 kWh/Jahr
Haushalte mit mehr als vier Personen	7.300 kWh/Jahr

→ Wie repräsentativ?

→ Große Unterschiede bei

- Warmwasserbereitung (Gastherme, E-Boiler, Wärmepumpe)
- Heizsystem (Gas, Öl, Wärmepumpe…)
- Nutzungsverhalten

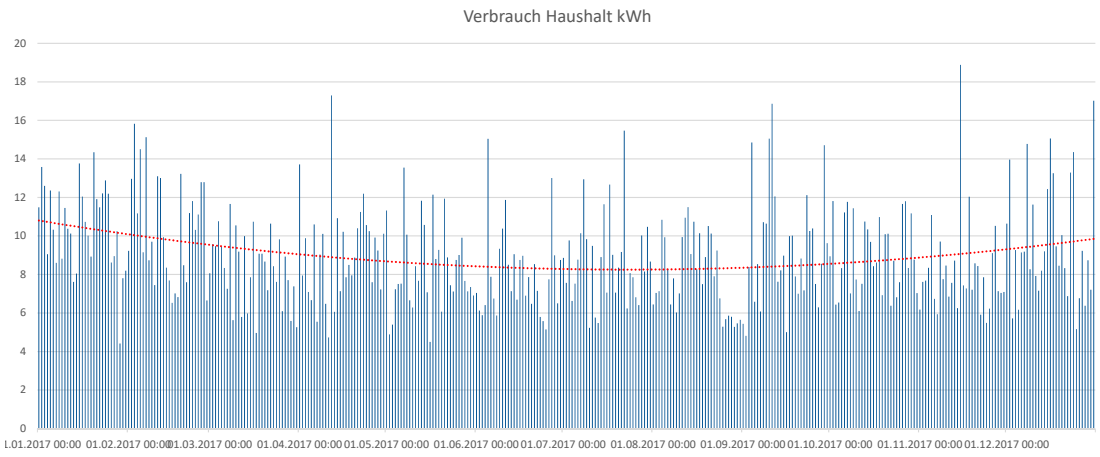
Beispiel Lastprofil

➢3 Personen

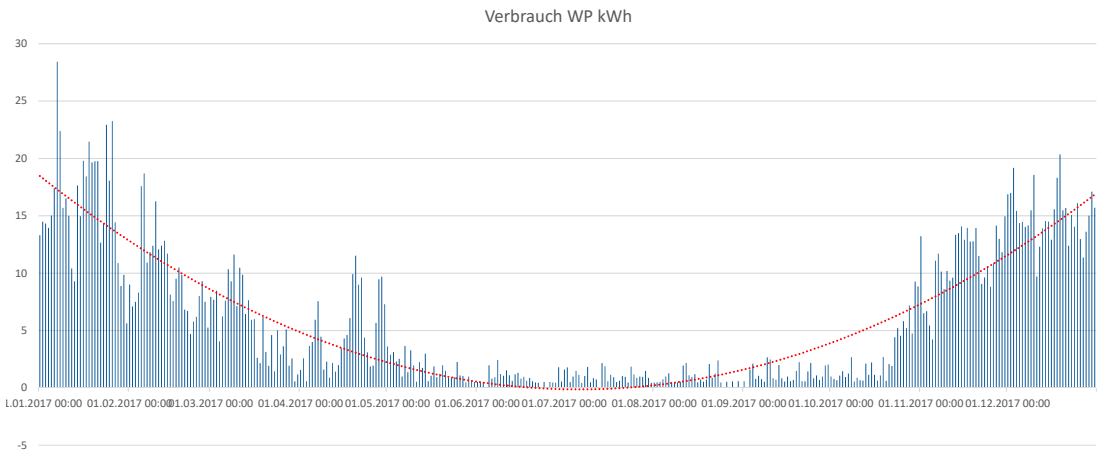
- 1,5 Vollzeit-Äquivalente
- Kind schulpflichtig
- HWB 9,9kWh/m²*a
- 6kWp PV (2,25kWp Fassade)
- WP (Luft/Luft) mit 1,4kW$_{el}$
- Li-Ionen-Speicher 4,4kWh

- Gesamtverbrauch 2016: 5.405 kWh
- Gesamterzeugung 2017: 5.868 kWh

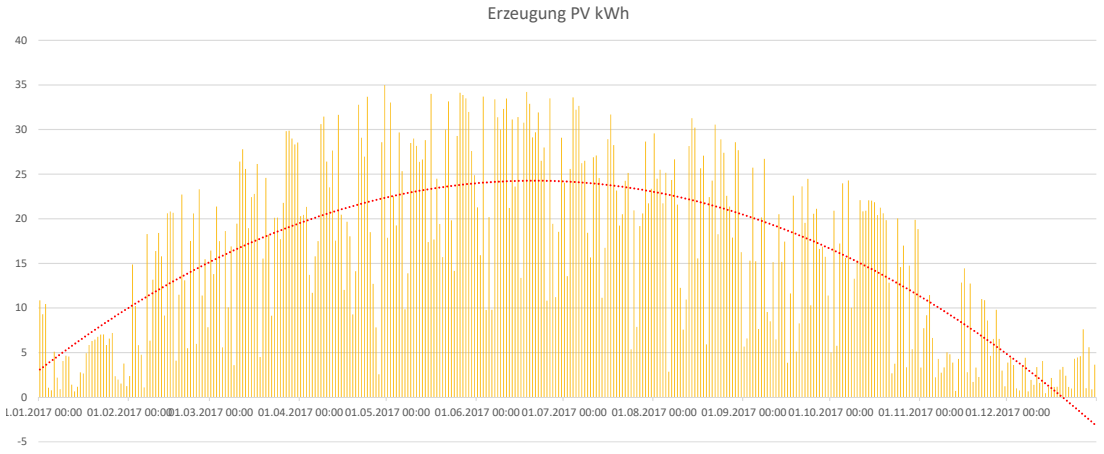
Beispiel



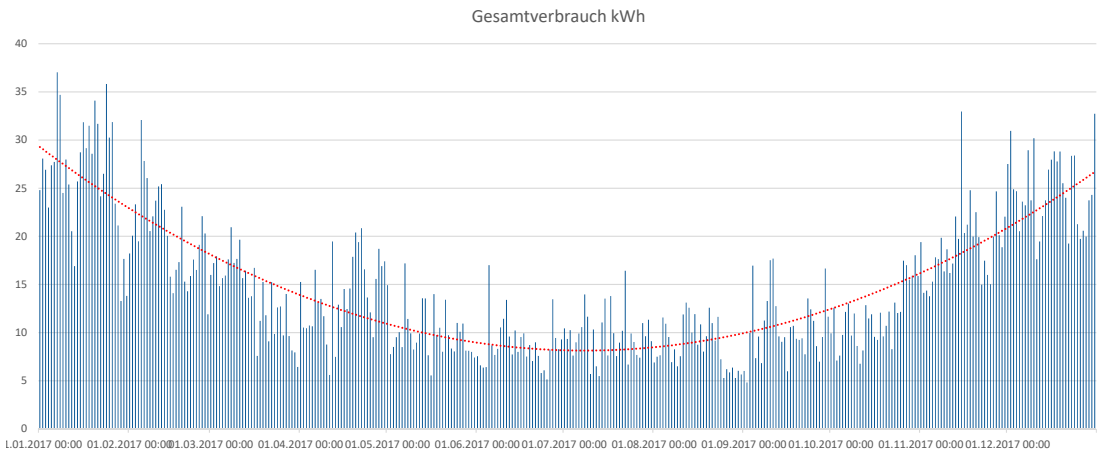
Beispiel



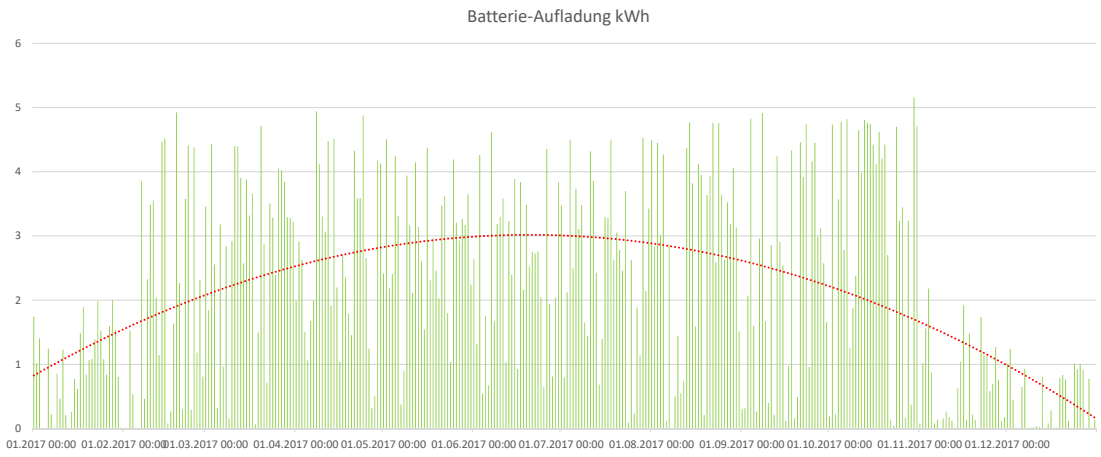
Beispiel



Gesamtverbrauch



Gesamtverbrauch



Beispiel

- Zusammenfassung
  - Bilanziell „0“ ist relativ einfach
  - Eigenverbrauchsquote in 2017: 44%
- Aufgrund der saisonalen Unterschiede sind höhere EV-Quoten sehr schwierig

Energieverbrauch

- Lastprofil → genaueste Planung möglich
- Jahresabrechnung + synth. Lastprofil → Annäherung

Optimierungsmöglichkeiten

Warmwasser

Bsp. Haushalt 2E2K- Bedarf: ca.120l Warmwasser

Benötigte Energie in Wärme[kWh]:

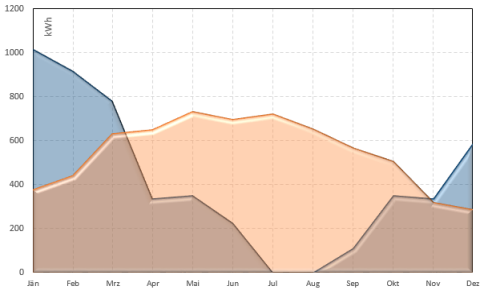
$$\Delta Q = m \cdot c \cdot \Delta T$$

C=1,161x10^{-3} kWh/kg*K
m=120kg

ΔT=48K (Aufheizen von ca. 12°C auf 60°C)

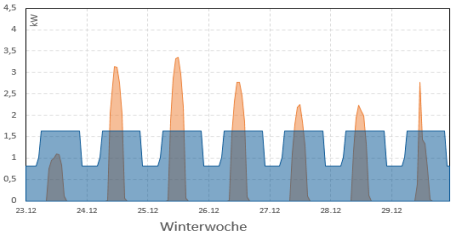
Q= 2.438 kWh/a

Wärmepumpe



→ Höherer EV bei steilerer PV-Montage (Winter)
→ Fassadenlösungen

→ Bei Klimaanlagen umgekehrt



Weitere Optimierungen im Haushalt

- Aktuell – fast keine
  - Standardhaushaltsgeräte lassen sich schwer steuern
- Zukünftig
  - „Smarte Haushaltsgeräte“
    - Smart Grid ready
    - Home-connect

SmartGrid READY

PV+Speicher+e-mobility

Elektromobilität

Elektromobilität

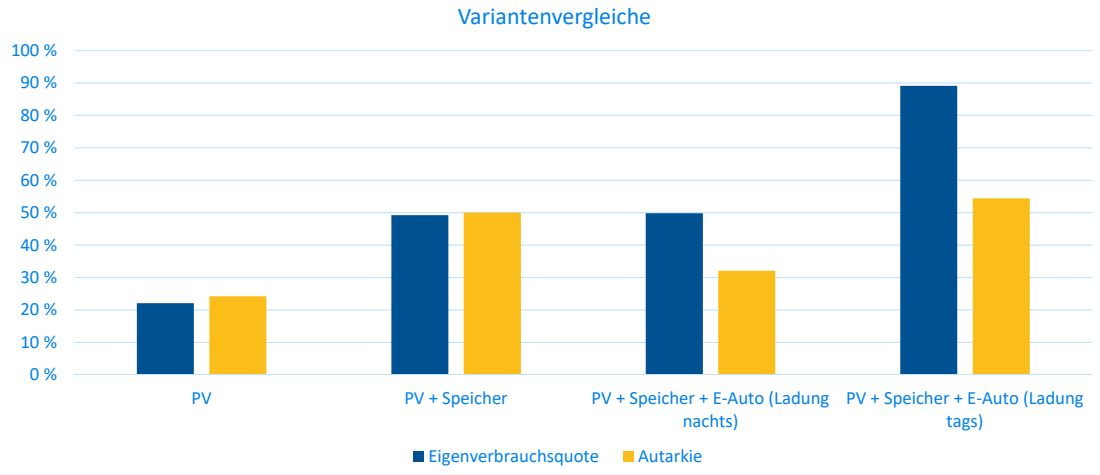
- Teilw. hohe Anschluss-Leistung
- Große Speicherkapazitäten
- Leistungsstarker Anschluss notwendig

	Tesla Model S 90 kWh	Renault Twizy	Renault Zoe Bis 2016
Verbrauch [kWh/100 km]	22	8,4	14,6
Reichweite [km]	491	83	210
Ladeleistung [kW]	22	2,3	22
min. Vorsicherung [A]	3 x 32	10	3 x 32

Zusammenfassung - Ergebnisse

	PV	PV + Speicher	PV + Speicher + E-Auto (Ladung nachts)	PV + Speicher + E-Auto (Ladung tags)
Leistung	4.200 Wp	4.200 Wp	4.200 Wp	4.200 Wp
Erzeugung	4.751 kWh/a	4.490 kWh/a		
Verbrauch	4.308 kWh/a	4.331 kWh/a	7.367 kWh/a	7.367 kWh/a
Eigenverbrauchsquote	22 %	49 %	50 %	89 %
Autarkie	24 %	50 %	32 %	54 %

Zusammenfassung - Ergebnisse



Conclusio

- Tendenziell werden die Leistung der PV-Systeme steigen
  - Wärme-Anwendungen
  - E-mobility
- Der Speicher wird eine Standard-Komponente von PV-Systemen
- Einbindung der Haustechnik aktuell nur begrenzt möglich
- Entwicklungsaussichten für PV sind mehr als positiv
  - Ab 2020 greifen neue Förderprogramme
  - 100.000 Dächer- und Speicherprogramm
  - Energieausbaugesetz
- Trend zu „Strom-Heizungen“: Wärmepumpe, Infrarot
  - Problem: saisonale Verschiebung
- Intelligentes Lastmanagement im Stromnetz wird erforderlich sein
  - Erzeugung + Verbrauch

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit ☺