

# WECHSELRICHTER UND AKKU

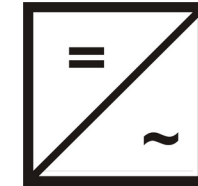
## Einige Grundbegriffe und Beispiele

Heinz Werntges, Hochschule RheinMain  
WiTechWi-Symposium am 14. September 2024 in Schwalbach/Ts.

# WECHSELRICHTER

## Aufgabe

- PV-Module wie auch Akkumulatoren liefern Gleichspannung / Gleichstrom (DC)
- Netzspannung ist dagegen Wechselfspannung, typ. 230V (AC)
- Wechselrichter erledigen die erforderliche Umwandlung



## Varianten

- PV-Wechselrichter
  - 1 – 3 Strings, 1- oder 3-phasiger Netzanschluss, Leistung 1,5 bis über 10 kW
- Mikro-Wechselrichter, Modul-WR:
  - Kleine WR zum Anschluss von 1-6 PV-Modulen. Leistung von 200 W bis ca. 2,5 kW
  - Können auf Netzspannungsseite verbunden werden zu größeren Einheiten
- Batterie-Wechselrichter, i.d.R. mit integriertem Ladegerät
- Hybrid-Wechselrichter

## Aufgabe

- Die Gleichspannung der PV-Module (10-40 V je nach Modul, bis über 800 V pro String) muss in die Netzspannung (230V, 50 Hz, ein- oder dreiphasig) gewandelt werden
- Dabei soll das Leistungsoptimum gefunden und gehalten werden (MPP Tracking, MPPT)
- Bei Netzausfall müssen PV-Wechselrichter sofort abschalten!

### Beispiel-Gerät: SMA Tripower 3.0-6.0 (auch: 8.0, 10.0)

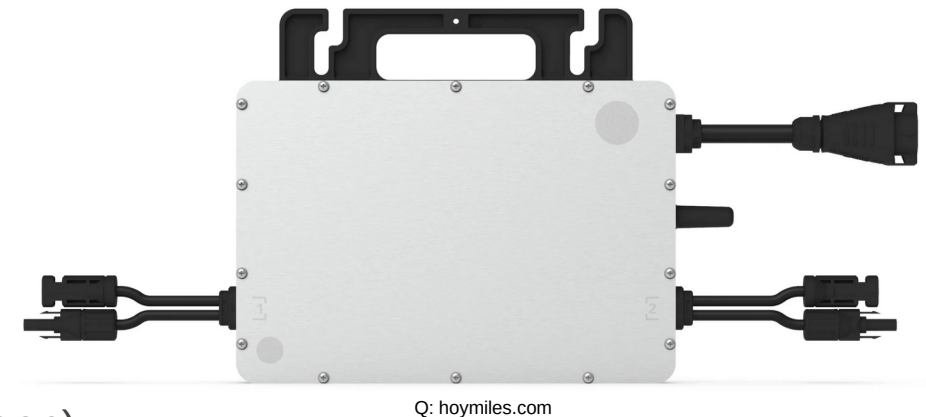
- 3, 4, 5, 6 kW Nennleistung, 17 kg
- Für PV-Generatoren von 6 bis 9 kWp
- 2 String-Eingänge, 2 MPPT
- Je Eingang 12 A (typ.), max. 850V, typ. 140/.../260 bis 800 V
- Dreiphasiger Wechselstrom-Anschluss
- Integrierte Web-Oberfläche. Marktpreis: Ab ca. 1100€ (3er), 2200€ (10er)



Q: SMA.de

## Aufgabe

- Wie normale PV-Wechselrichter, aber
- auf dem Dach / neben / unter den Solarmodulen montiert
- Nur für wenige PV-Module zuständig
- AC-seitig koppelbar zu größeren Einheiten
- I.d.R. einzeln per Funktechnik überwachbar und steuerbar
- Überwachung jedes einzelnen PV-Moduls möglich



### Beispiel-Gerät: Hoymiles HMS-800W-2T (optimiert für Balkonanlagen)

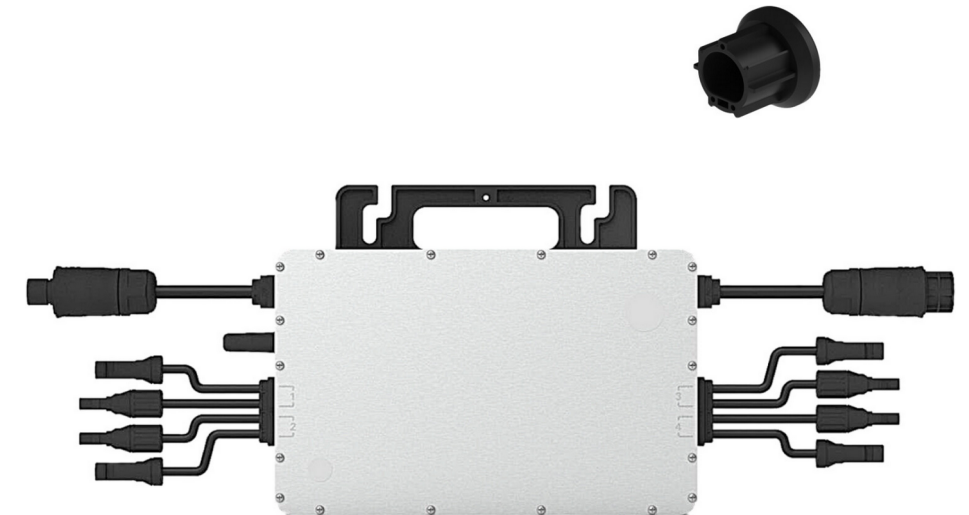
- 800W Nennleistung, 3,1 kg, für 1-2 PV-Module mit je 320 bis zu 540+ Wp
- 2 Modul-Eingänge, 2 MPPT
- Je Eingang 14 A (typ.), max. 65V, typ. 16 bis 60 V
- Einphasiger Wechselstrom-Anschluss, nur ein Gerät pro Leitungsstrang / Stromkreis
- WLAN + proprietäre Funkanbindung, per OpenDTU steuerbar. Marktpreis: Ca. 150€

## Aufgabe

- Wie normale PV-Wechselrichter, aber
- auf dem Dach / neben / unter den Solarmodulen montiert
- Nur für wenige PV-Module zuständig
- AC-seitig koppelbar zu größeren Einheiten
- I.d.R. einzeln per Funktechnik überwachbar und steuerbar
- Überwachung jedes einzelnen PV-Moduls möglich

### Beispiel-Gerät: Hoymiles HM1500

- 1,5 kW Nennleistung, 3,8 kg, für 1-4 PV-Module mit je 300 bis zu 505+ Wp
- 4 Modul-Eingänge, 2 MPPT
- Je Eingang 11,5 A (typ.), max. 60V, typ. 16 bis 60 V
- Einphasiger Wechselstrom-Anschluss, bis 3 Einheiten pro Leitungsstrang / Stromkreis
- Proprietäre Funkanbindung, per OpenDTU steuerbar. Marktpreis: Ca. 250€



Q: hoymiles.com

## Aufgabe

- Batterie-WR arbeiten einerseits wie PV-Wechselrichter, indem sie aus der Gleichspannung der Batterie eine Netzspannung erzeugen.
- Sie enthalten ferner auch einen Batterie-Lader, der aus der Netzspannung Gleichspannung erzeugt, mit der sich die Batterie wieder laden lässt.
- I.d.R. können sie auch ein (Notstrom-)Netz selbst aufbauen und sind „schwarzstart“-fähig. Unterscheide Hochvolt- von 12/24/48V-Technik

### Beispiel-Gerät: Victron Multiplus-2 48/3000/35-32

- AC: 2,4 kW Nennleistung, max. 3 kW, 35A-Trennschalter
- DC: max. 35 A Ladestrom, 48V, 19 kg
- Bis 6 Geräte parallel betreibbar, 3-Phasen-Ausgang durch Kopplung dreier Geräte möglich
- Peak shaving, Netzunterstützung, Überschuss-Laden, Ersatzstrom, Inselbetrieb... Marktpreis: Ab ca. 600 €



Q: victronenergy.com

## Aufgabe

- Hybrid-Wechselrichter vereinen PV- und Batterie-Wechselrichter in einem Gerät
- Heute die **Standardlösung** für Haushalte mit PV-Anlage, die auch einen Gebäude-Akku einplanen bzw. in Kürze anschaffen wollen.

**Beispiel-Gerät:** SMA Sunny Tripower Smart Energy 5.0, 6.0, 8.0, 10.0

- AC: 5, 6, 8, 10 kW Nennleistung, dreiphasig; 30 kg
- DC: Für PV-Generatoren von 7,5 bis 15 kWp
- 2 String-Eingänge, 2 MPPT
- Je Eingang 20 A (typ.), max. 1000V, typ. 210/.../280 bis 800 V
- Offgrid-Modus schaltbar von 30ms bis 10s.
- Marktpreis: Ab ca. 1500€ (6.0), 2800€ (10.0)



Q: SMA.de



# SONDERFALL: LEISTUNGSOPTIMIERER

## Aufgabe

- Verhinderung von Ertragsverlust durch Teilverschattungen
- Modulgenaue Überwachung und Abschaltmöglichkeit
- Prinzip: DC/DC-Wandler
- Idee: Nennstrom im String halten, dafür Spannungs-Hub senken
- Beispiel, idealisiert:
  - 20 String-Module liefern je 8 A und 36 V pro Modul, also je  $8 \cdot 36 = 288$  W bzw. zusammen 5760 W
  - Ein Modul wird ungünstig verschattet: 1 A, 36 V (36 W) (vereinfacht: ohne Bypass-Dioden)
  - Normale Folge: 1 A im ganzen String, also nur noch 720 W
  - Leistungsoptimierer: 1A / 36V  $\rightarrow$  8A / 4,5V (36W)
  - String-Leistung:  $5760 - 288 + 36 = \mathbf{5508\ W\ statt\ 720\ W}$
- Beispiel-Produkt: TIGO TS4-A-O, Marktpreis ab ca. 30 €



Q: <https://de.tigoenergy.com/product/ts4-a-o>

# AKKUMULATOREN

## Aufgabe

- Zwischenspeicherung elektrischer Energie

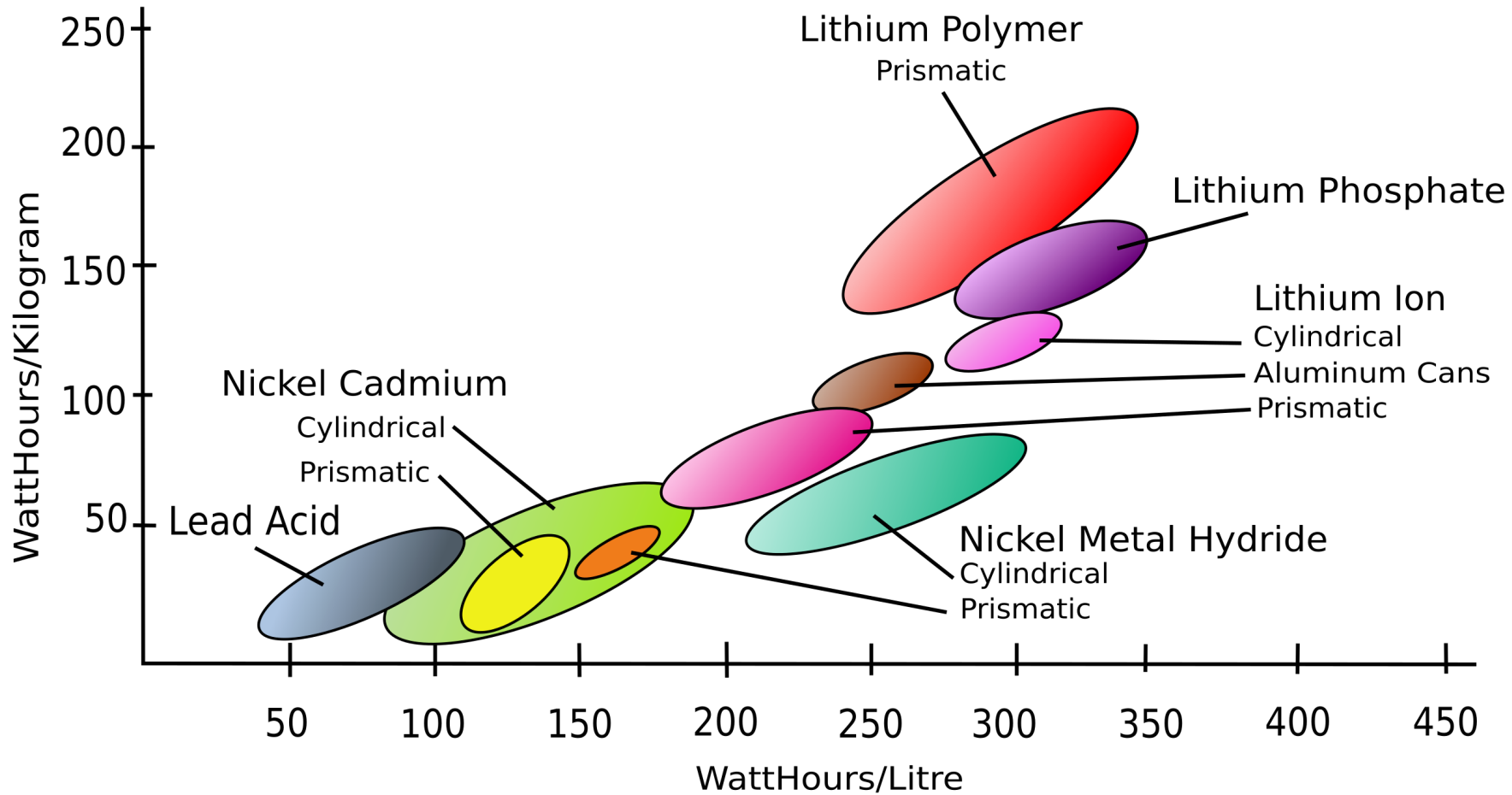
## Kenngroßen

- Kapazität (Ws, Wh, kWh) und Kosten (\$/kWh, €/kWh)
- Energiedichten (Wh/l, Wh/kg) und Leistungsdichte (W/kg)
- Problematische Rohstoffe (Kobalt, Graphit, Lithium, ...)
- Lade- und Entladeraten, z.B. „2C“ / Temperatur-Management
- Zyklenfestigkeit /Lebensdauer

## Aktuell wichtige Varianten

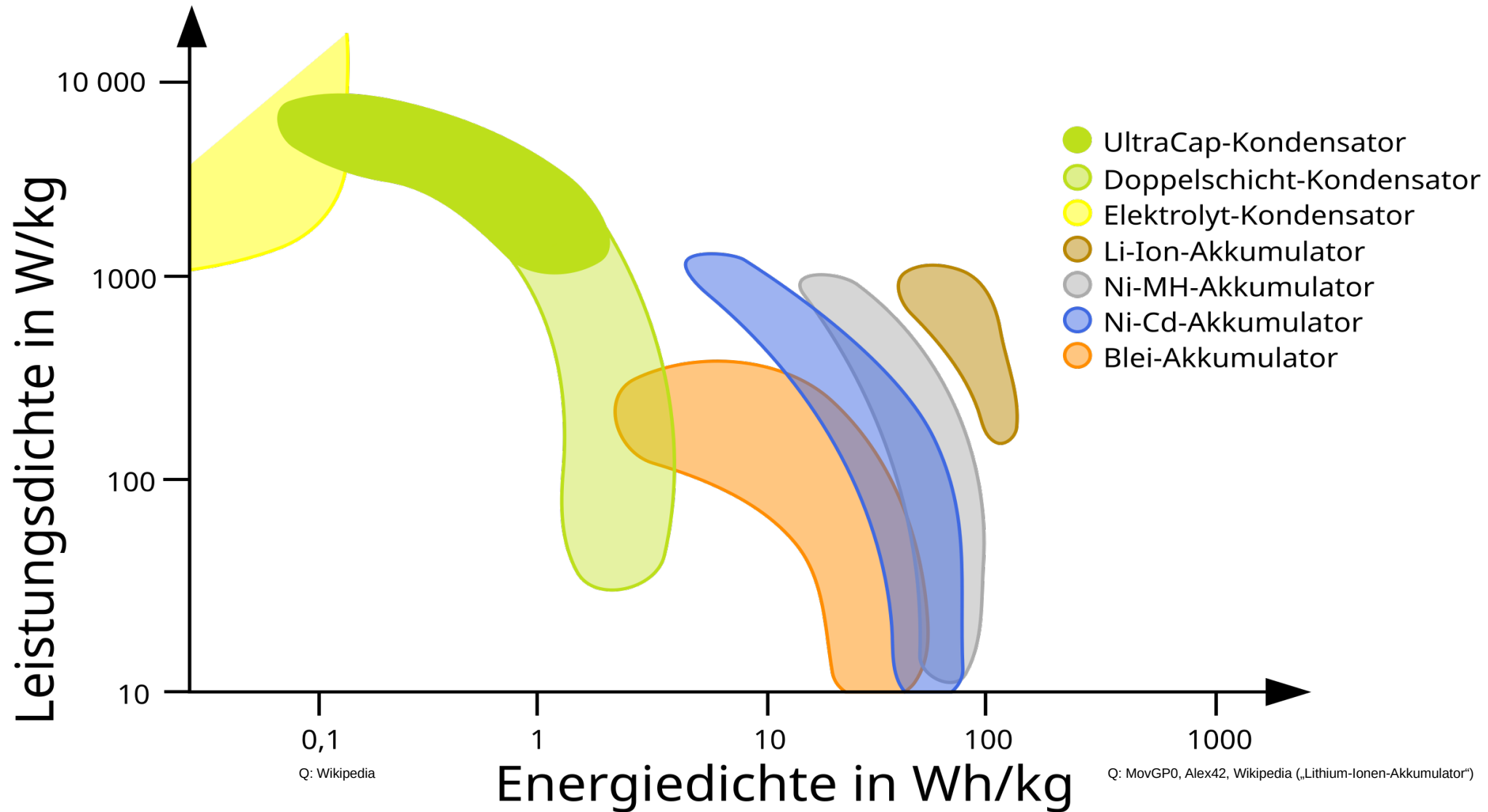
- Noch: Bleisammler (Autobatterie)
- Lithium-Ionen-Akkus, insb. NCA und NCM (Nickel/Kobalt/Aluminium bzw. Mangan)
- LFP-Akkus (Lithium-Eisen-Phosphat)
- Natrium-Ionen-Akkus

# ENERGIEDICHTEN



Q: Barrie Lawson, Wikipedia („Akkumulator“)

# LEISTUNGSDICHTEN



Q: Wikipedia

Q: MovGP0, Alex42, Wikipedia („Lithium-Ionen-Akkumulator“)

## LI: NCA, NCM

- Höchste Energiedichte, daher für Langstrecken-BEV besonders wichtig
- Rohstoff-Engpässe: Neben Li insbesondere Kobalt
- Aufwändiges Temperatur-Management
- Rel. teuer (Preisindex 100), gute Zyklenzahl, Alterung an Kapazitätsgrenzen

## LI: LFP

- Deutlich geringere Energiedichte, für BEV geeignet, aber besonders im Heim-Bereich
- Rohstoff-Engpässe: Nur Li
- Robust, aber temperatursensibel (spielt stationär selten eine Rolle)
- Günstiger (Preisindex 70), sehr gute Zyklenzahl, kann zu 100% geladen werden

## Na-Ionen

- Ca. 70% der Energiedichte von LFP, daher BEV nur bedingt geeignet
- Keine Rohstoff-Engpässe
- Sehr günstig (Preisindex 30), gute Zyklenzahl (?), schnelladefähig, besser bei Kälte – könnte LFP verdrängen!

# WARUM HOCHVOLT?

## Typische Batterie-Spannungen:

- 12 V (normale Autobatterie), 24 V (LKW-Batterie), 48 V (Gebäudeversorgung, USV etc.)
- Vorteile: Ungefährliche Niederspannungen, Umgang auch Laien möglich
- Nachteile: Hohe Ströme bei hohen Leistungen, also sehr dicke Stromkabel und starke Magnetfelder

## Hochvolt-Batterien

- 400V-Niveau bei normalen Elektro-PKW üblich, inzwischen 800V in der Oberklasse
- Erst dadurch wird Schnell-Laden praktikabel
  - „CATL: 600 km Reichweite in 10 Min“: Entspricht ca. 100 kWh in 1/6 h, also 600 kW Ladeleistung = 75A@800V
- Im Heim-Bereich tendenziell für Anlagen mit hoher Be- und Entladeleistung relevant, sonst optional

## Warum Batterie-Management?

- Schutz vor Überladung (chem. Zerstörung) und Tiefentladung
- Begrenzung der Be- und Entladeströme
- Ladezustands-Verwaltung
- Zellen-Verwaltung (Alterung, Temperaturüberwachung)
- ...

## Kommunikation

- Leider gibt es keinen Standard, über den Laderegler und Batterie-Wechselrichter mit den BMS der angeschlossenen Batterien kommunizieren!
- Praktische Folge für die Strategie  
„Erst PV-Anlage, gleich mit Hybrid-Wechselrichter, aber Batterien erst kaufen, wenn sie billiger geworden sind“:

**Gekaufte Batterien und WR müssen zueinander passen (erschwert spätere Nachrüstung)**



# BATTERIEN: MARKTPREISE, BEISPIELE

## Cegasa eBick Ultra 175

- LFP, 48V-Technik, Kapazität 13,4 kWh, ca. 5500 €

## Huawei LUNA2000-10-S0

- LFP, 360V-Technik, Kapazität 10 kWh, ca. 4000 €

## Growatt APX HV 10.0P

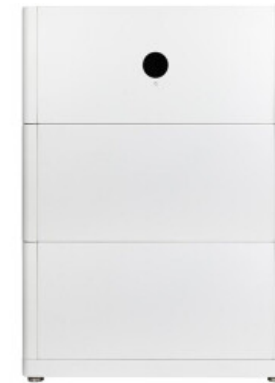
- LFP, ?V-Technik, Kapazität 10 kWh, ca. 3600 €

## SMA Home Storage 9.8

- LFP, Hochvolt-Technik, Kapazität 9,8 kWh, ca. 4600 €

## Tesla Powerwall 2 (incl. Batterie-WR)

- Li-Ion, 50V-Technik, Kapazität 13,5 kWh, ca. 8000 €



Q: Jeweilige Herstellerseiten