

Eine PV-Inselanlage für den Hausgebrauch



Jochem Berlemann
DK2FT

QRA-Locator JO44SM



Ortsverband M13

Der Anfang



Inhaltsverzeichnis:

1. Ziel der Insel-Anlage
2. Vorversuche
3. Eckdaten der endgültigen Anlage
4. Überlegungen zur Betriebsphilosophie
5. Hardware-Komponenten der Anlage
6. Software bei Arduino-Steuerung des Ladegeräts
7. Die Integration in das Hausnetz
8. Sicherheitsmaßnahmen
9. Alternativen



1. Ziel der Inselanlage

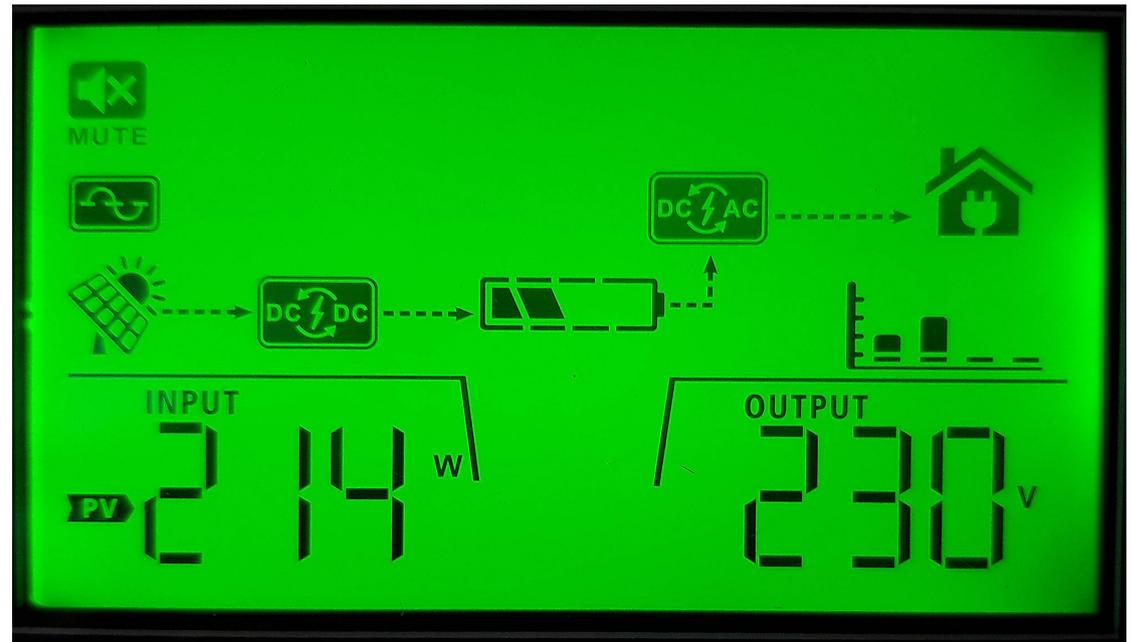
(Inselanlage: Es besteht keine direkte Verbindung zum Hausnetz)

- 1.1 Investition in die Zukunft, Nutzung der Sonnenenergie bei steigenden Strompreisen
- 1.2 Unabhängigkeit von Energieversorgern
(Gasknappheit, Ausfall durch Konkurs, Abschaltungen)
- 1.3 Wertsteigerung der Immobilie
- 1.4 Keine Anmeldung erforderlich – das ist sehr kostenintensiv!
- 1.5 Konkretes Ziel dieses Projektes:
Versorgung aller einphasigen Verbraucher des Haushalts und des E-Autos
- 1.6 Weitgehende Automatisierung



2. Vorversuche

- 2 Panels a' 335 Wp
- 1 LiFePO4 Akku mit 2,4 kWh
- Kompletgerät von EFFEKTA mit 3 kVA-Inverter



Ergebnisse:

- leicht zu installieren
- Bedienungsanleitung teilweise kryptisch
- hoher Verbrauch des Inverters im Leerlauf
- Zuladung der Akkus durch NT kann bei den Geräten kleiner Leistung nicht gezielt eingestellt werden
- anmeldepflichtig, da mit dem Hausnetz verbunden (hohe Kosten)

Kleine PV-Dreisätze:

Akkukapazität (Energie): 48V/50 Ah → 2400 Wh = 2,4 kWh pro Akku

Akkuladung: 5 Akkus a´ 2,4 kWh = 12 kWh

8 Panels mit einer Gesamtleistung von 2,8 kW laden die Akkus in 4,5 h auf, das sind 2 Ladungen pro Tag (24 kWh) bei schönem Wetter (theoretisch)

Ladung E-Auto mit einer Kapazität von 22 kWh:

Es wird mit einer Ladung zu ca. 50 % durch die 5 Akkus aufgeladen, entspricht einer Reichweite von 70 km

Wert der Teilladung: 12 kWh a´ 34 Cent/kWh → 3,84 € für 70 km

Benzinkosten bei 2 €/l und einem Verbrauch von 8 l/100 km: 11,2 € für 70 km



Haushalt:

5000 kWh pa kosten 1700 € beim Versorger (0,34 Cent/kWh, ca. 3-Personen-Haushalt)

Grundlast der einphasigen Verbraucher (Licht, Kühlschränke, PC's, Spülmaschine, Kaffeemaschine, Waschmaschine, TV, Telefon, Fritzbox, NAS-Station....) ca. 300 W:
→ 7,2 kWh pro Tag → 2600 kWh pa
(entsprechen 884 € Kosten beim Versorger)

Theorie:

1 Ladung von 12 kWh pro Tag verbrauchen und auch nachladen,
Ersparnis von 4380 kWh pa → 1489 € pa
(bei 9 T€ Anlagenkosten → 6 a Amortisationszeit).

Praktisch:

Durch schlechtes Wetter, ungünstige Neigung der PV-Zellen und Staub
kann man mit ca. 2200 kWh pa → 700 € pa rechnen (12,8 a Amortisationszeit).



3. Die Eckdaten der endgültigen Anlage aus Einzelkomponenten

3.1 8 PV-Panels a´350 Wp (2,8 kWp)

3.2 5 x Pylontech US2000 48V, 50 Ah (12 kWh, LiFePo4, zu 95 % nutzbar)

3.3 Solar Laderegler Victron Smart Solar MPPT 150/45 bei 48V

3.4 Inverter Victron Phoenix Smart 48V/5kVA

3.5 Akku-Nachladung durch ein Ladegerät

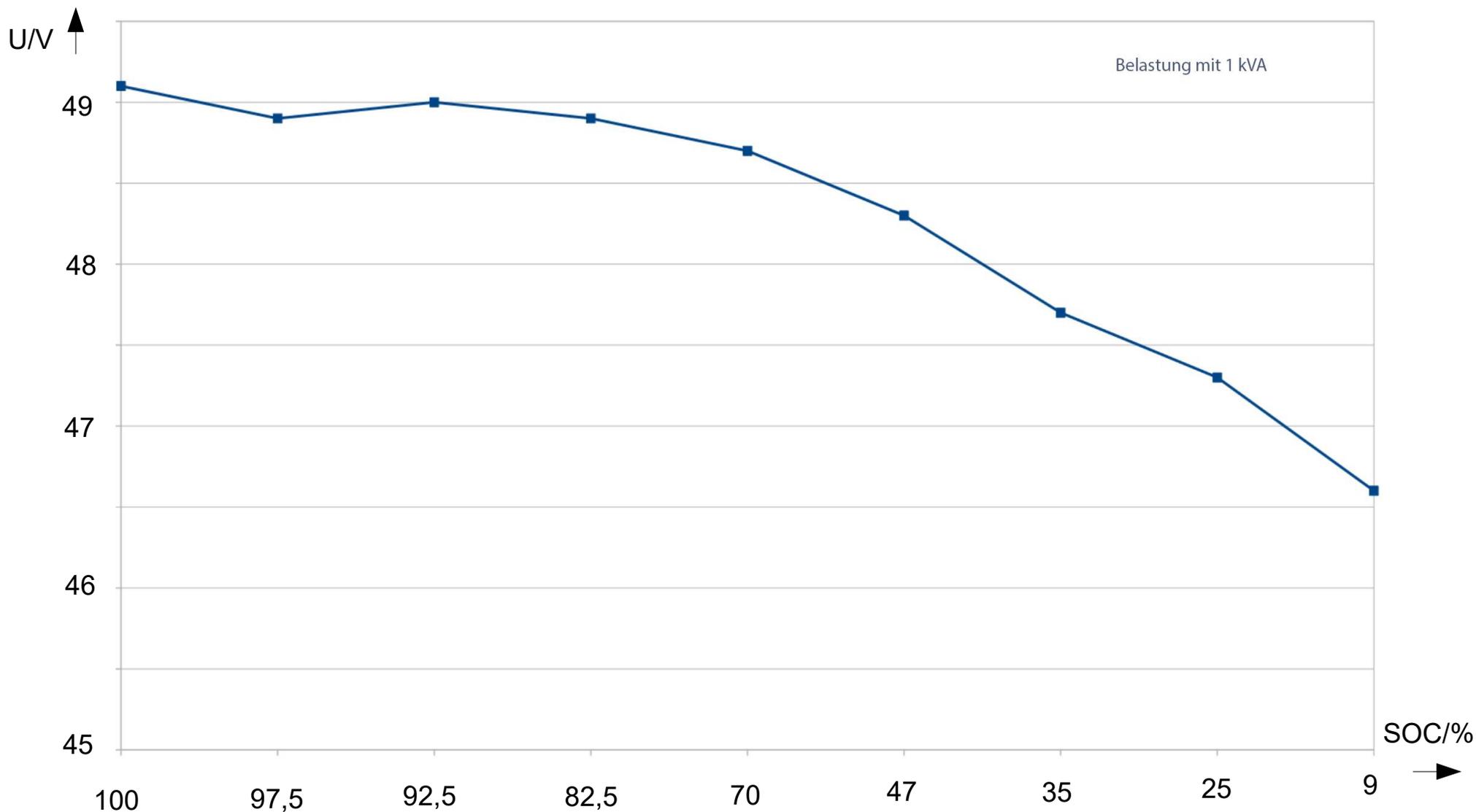
3.6 Automatische Umschaltung der Verbraucher auf das Hausnetz durch eine Vorrangschaltung bei sehr niedrigem Batteriestand

3.7 Handschalter zur Überbrückung der Anlage bei Fehlern und Wartung



4. Überlegungen zur Betriebsphilosophie

Die Kennlinie



3 mögliche Szenarien:

Automatischer Betrieb:

1. Sommer, viel PV-Leistung → Nachladung EIN bei 25% SOC, AUS bei 50% SOC
2. Winter, wenig PV-Leistung → Nachladung EIN bei 50% SOC, AUS bei 80% SOC
3. Notstromfall → Nachladung EIN bei 80% SOC, AUS bei 100% SOC

Manueller Betrieb überschreibt Automatik:

1. Nachladung immer EIN
2. Nachladung immer AUS



Probleme bei der Vollautomatisierung:

1. Zuladung durch Ladegerät am Eingang:

- 1.1 Änderungen der Parameter in der Arduino-Software ist umständlich, wünschenswert ist eine Hardware-Lösung
- 1.2 90 % der Batteriewächter haben die falsche Kennlinie, sie verhindern nur die Überladung des Akkus
- 1.3 Die Spannung eines gängigen 48-V-Schaltnetzteils ist zu gering, der Innenwiderstand ist für Laderegler zu klein
- 1.4 Die Kombination aus Schaltnetzteil und PV-Laderegler ist kostenintensiv und unzuverlässig, Ladung beginnt oft erst nach 2-3 min



2. Umschaltung der Last zwischen Inverter und Hausnetz am Ausgang:

2.1 Es muss im Spannungsnulldurchgang geschaltet werden!!

2.2 Einfache Lösungen durch Relais scheiden aus

2.3 Ein funktionierender Umschalter aus dem Camping-Bereich hat eine Umschaltzeit von bis zu 500 ms und eine kleine Hysterese

2.4 Empfindliche Geräte wie PC, Fritzbox, NAS-Station benötigen eine USV



5. Hardware-Komponenten der Anlage

5.1 Panels (Hot Spot Free)

4 x AE-Solar, 335 Wp
(Azimut: 180°, Elevation: 90°)

4 x Victron BlueSolar, 360Wp
(Azimut: 180°, Elevation: 25°)

Theoretische Summe: 2780 Wp

Praktisch: ca. 2200 Wp

Abzüge:

- falsche Neigung ca. -15%
- Dunst ca. - 10 %
- Staub ca. - 2 %

Optimale Neigung in SH:

- im Winter: 78°
- im Sommer: 32°

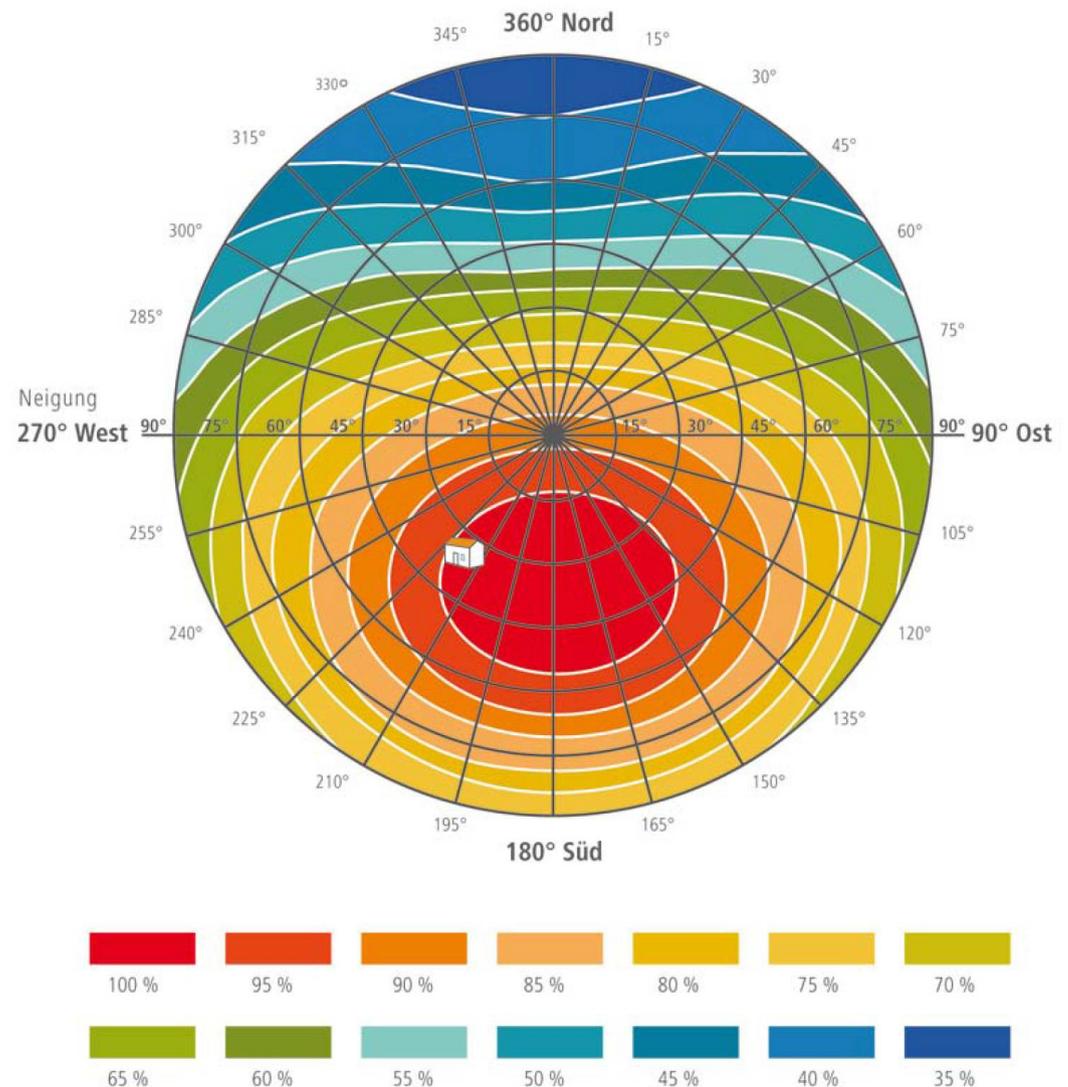
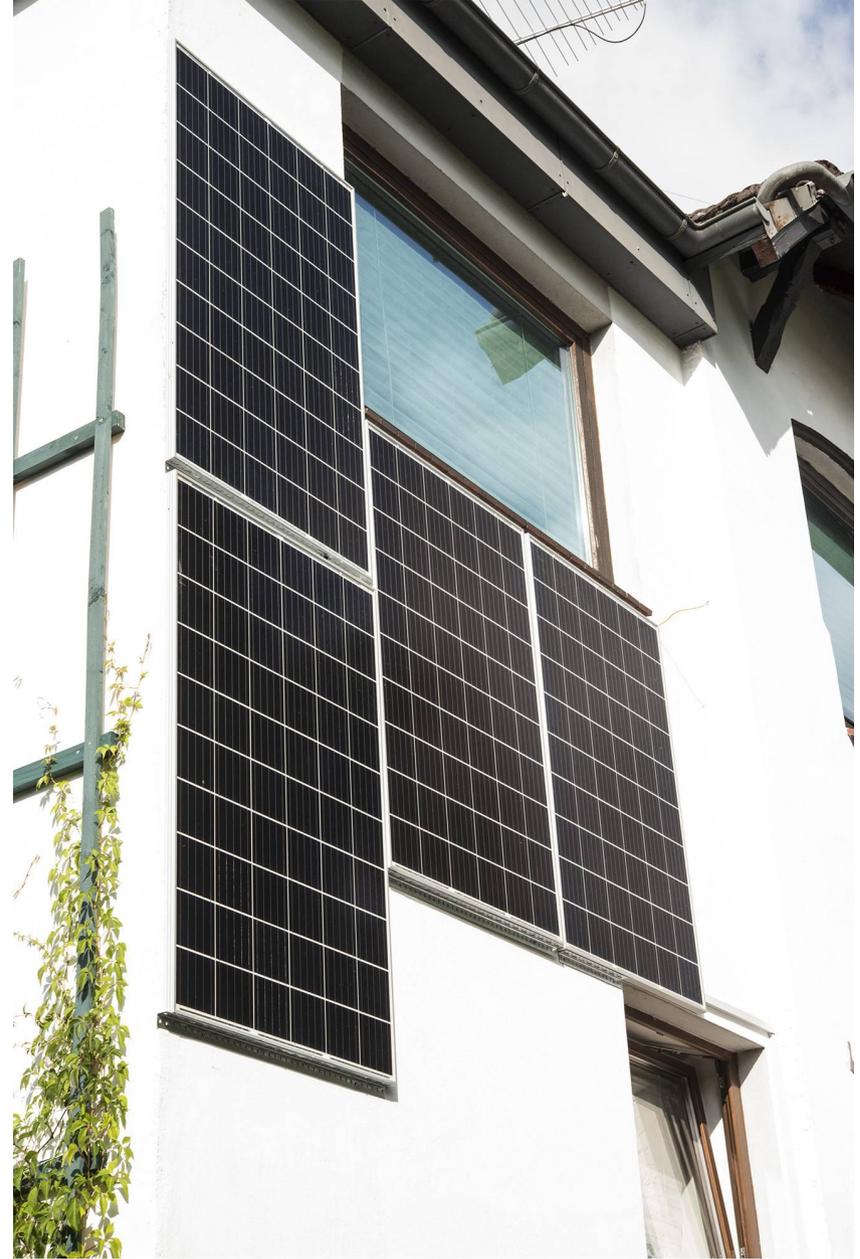


Abbildung 8 Einstrahlungsscheibe Sonnenenergie für Deutschland [Quelle: Photon Dez. 2009]

[https://www.tu-braunschweig.de/pv_gesamtbericht.pdf]



Jochem Berlemann
DK2FT

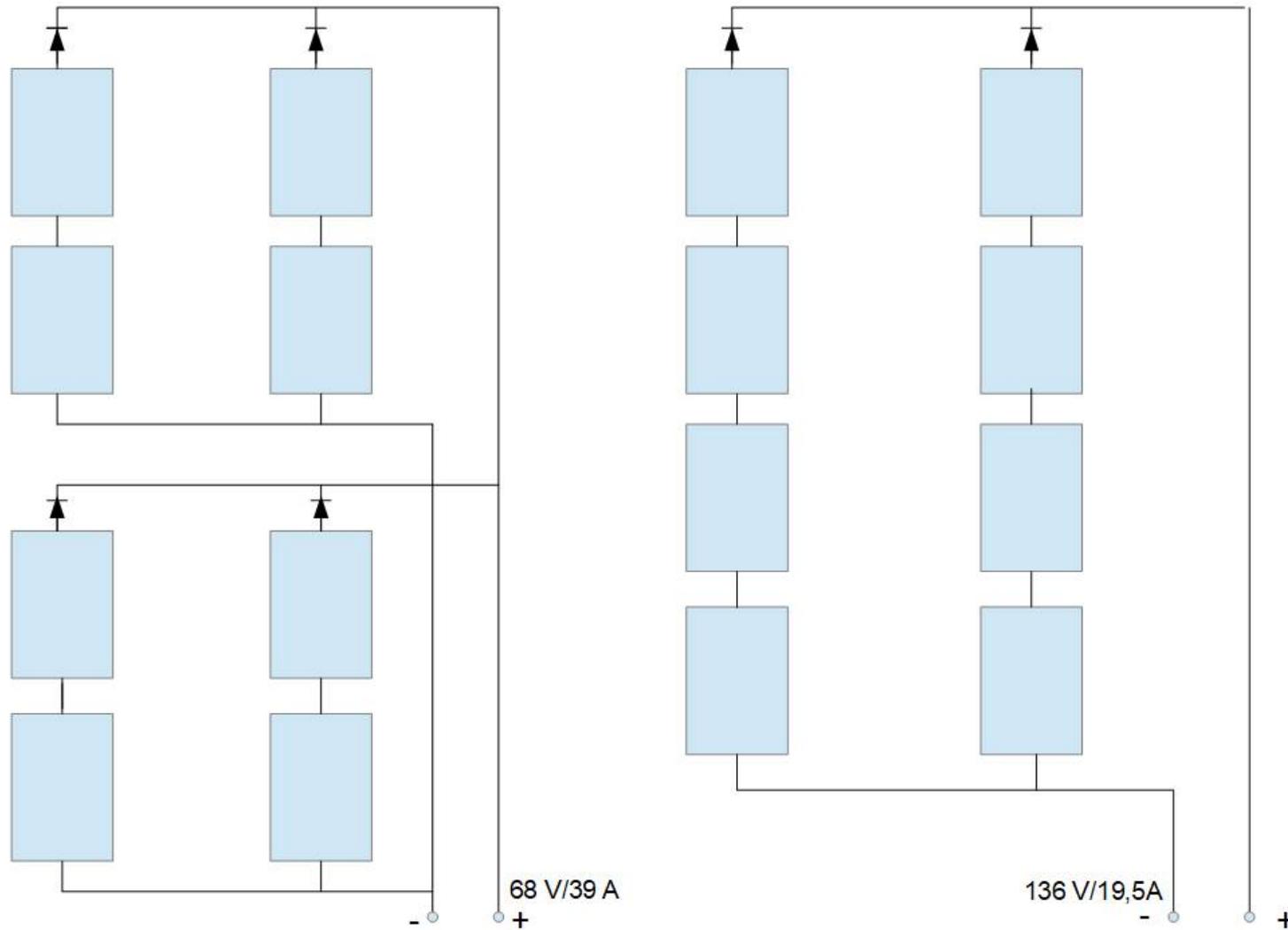
QRA-Locator JO44SM



Ortsverband M13



2 Varianten der Verschaltung



5.2 Victron Blue Solar Smart Laderegler 150 V/45 A



[<https://www.offgridtec.com/victron-smartsolar-mppt-150-45.html>]



5.3 Die Speicher

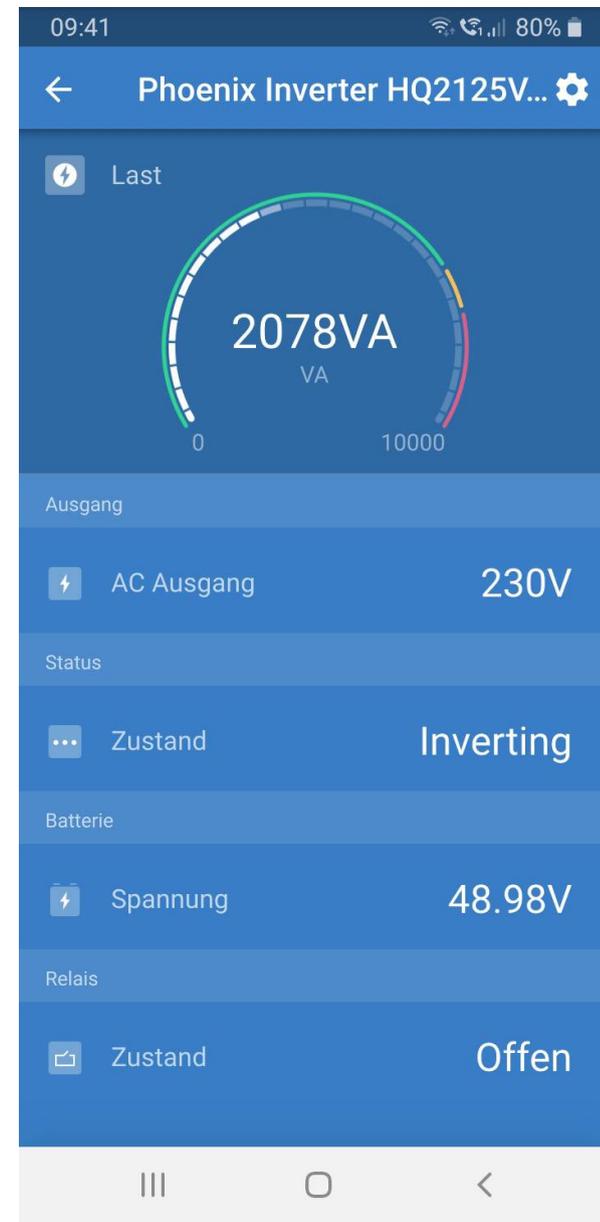
- PylonTech LiFePo4 48 V/ 2,4 kWh pro Akku
- 12 kWh gesamt, zu 95 % nutzbar
- leicht zu kaskadieren
- BMS nervt manchmal
- sehr kompakt
- Maximalspannung 52,3 V
- ideal für NERDs, können weitgehend unprogrammiert werden

(a foolish or contemptible person who lacks social skills or is boringly studious.

"I was a serious nerd until I discovered girls and cars")



5.4 Phoenix Inverter Smart 48V/ 5000 VA





12:29 65%

Geräteliste

LOKAL VRM

Meine Geräte

Phoenix Inverter HQ2125V4HUA
48/5000 230V

Batteriespannung 50.84V | AC-Last 0W | Zustand Inverting

SmartSolar HQ212577Q39
MPPT 150/45

Batteriespannung 51.22V | Leistung 1240W | Zustand Bulk

Heutiger Ertrag 2.69kWh | Strom 23.80A

[Sie sehen nicht das Produkt, nach dem Sie gesucht haben](#)



5.5 Verteilerkasten

Enthält alle Sicherungen, LS-Schalter, FI-Schalter, Steckdosen etc



5.6 Die Umschaltstation



- Aus dem Boots/Camping-Bereich
- schaltet zuverlässig
- Umschaltzeit bis 500 ms
- Umschaltung durch hohe Akkuladung Möglichst vermeiden

5.7 Der Spannungssensor für das Ladegerät



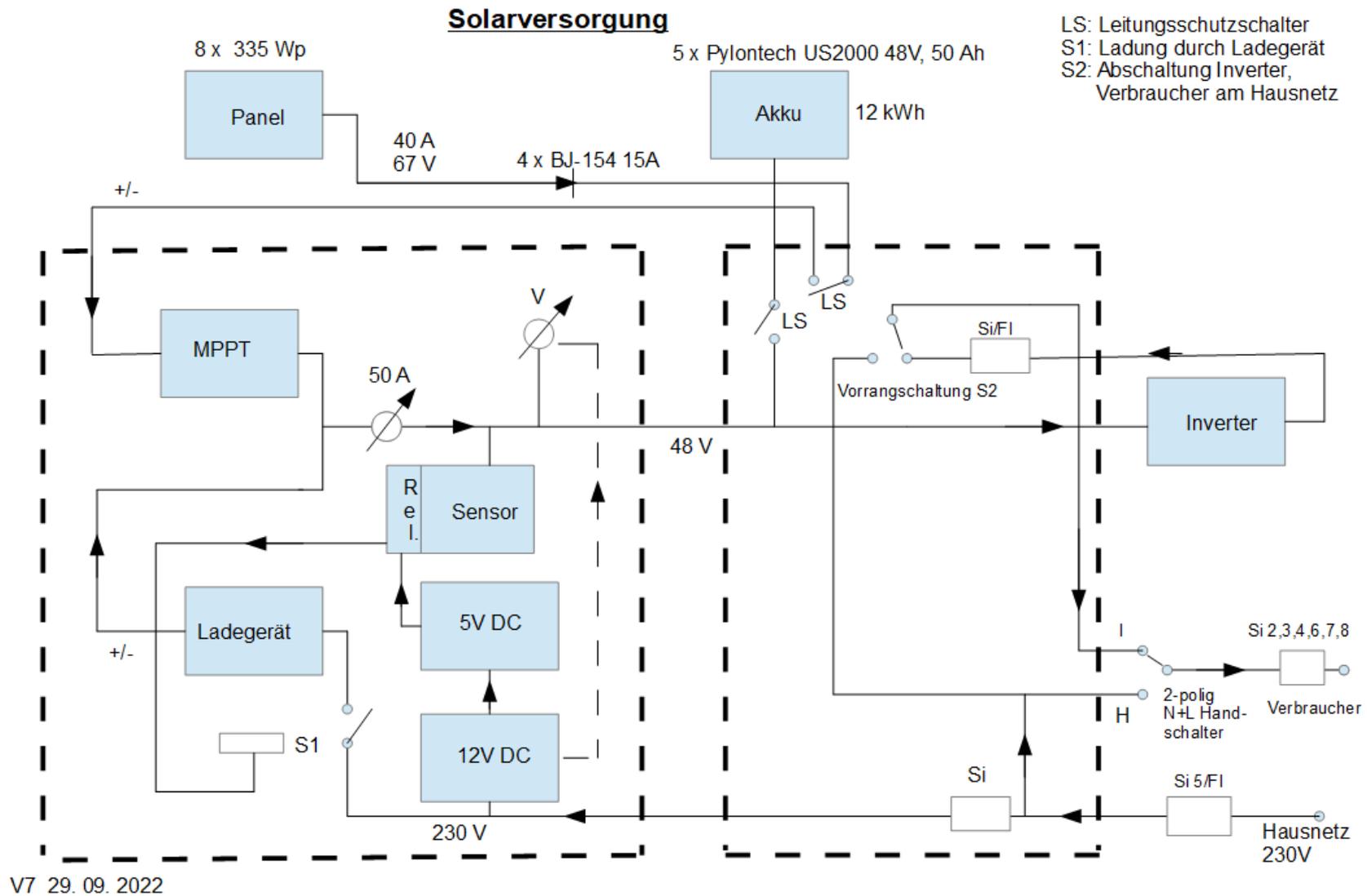
[<https://www.offgridtec.com/spannungsuiberwachung-48v.html>]

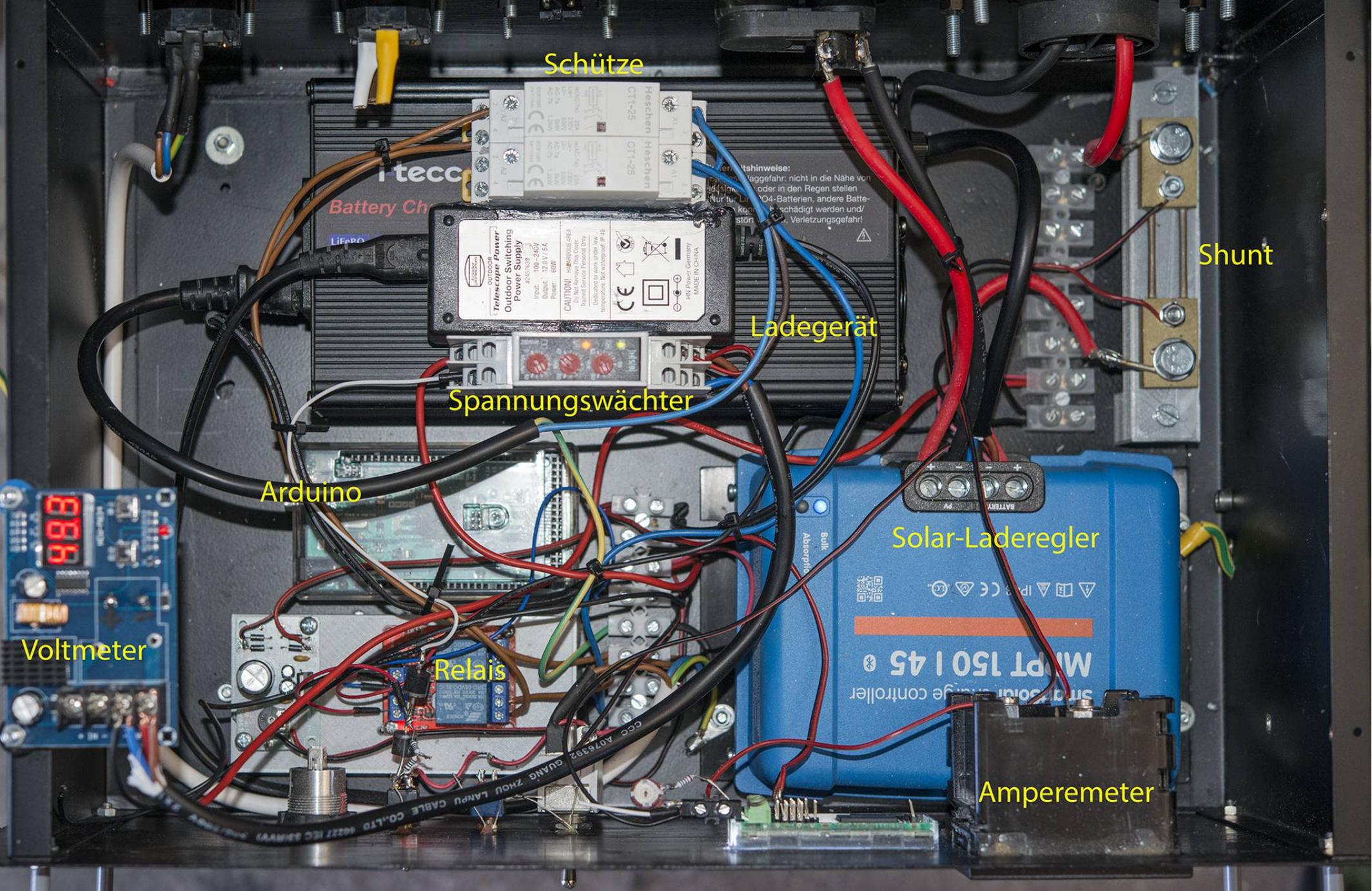


[<https://www.amazon.de/Batterie-Ladung-Unterspannung-LCD-Display-einstellbare-Smart-Modul/>]

Funktioniert nicht! Falsche Bezeichnung, verhindert Überladung!

5.8 Gesamtanlage mit Steuerung





Schütze

Shunt

Ladegerät

Spannungswächter

Arduino

Solar-Laderegler

Voltmeter

Relais

Amperemeter

6. Die Software bei Arduino-Steuerung (Beispiel)

pv1 | Arduino 1.8.16

Datei Bearbeiten Sketch Werkzeuge Hilfe



```
int OUT1 = 8;      // select the pin for the Relais
int OUT2 = 9;      // select the pin for the Relais
int vmin = 1023 * (1.68 / 5);    //untere Spannungsgrenze umess:47,3V Faktor 28 25%
int vmax = 1023 * (1.725 / 5);  //obere Spannungsgrenze umess:48,3V Faktor 28 50%
float sensor = 0;

void setup(){
  Serial.begin(9600); //serielle Verbindung starten

  // declare the relPin as an OUTPUT:
  pinMode(OUT1, OUTPUT);
  pinMode(OUT2, OUTPUT);
}

void loop() {

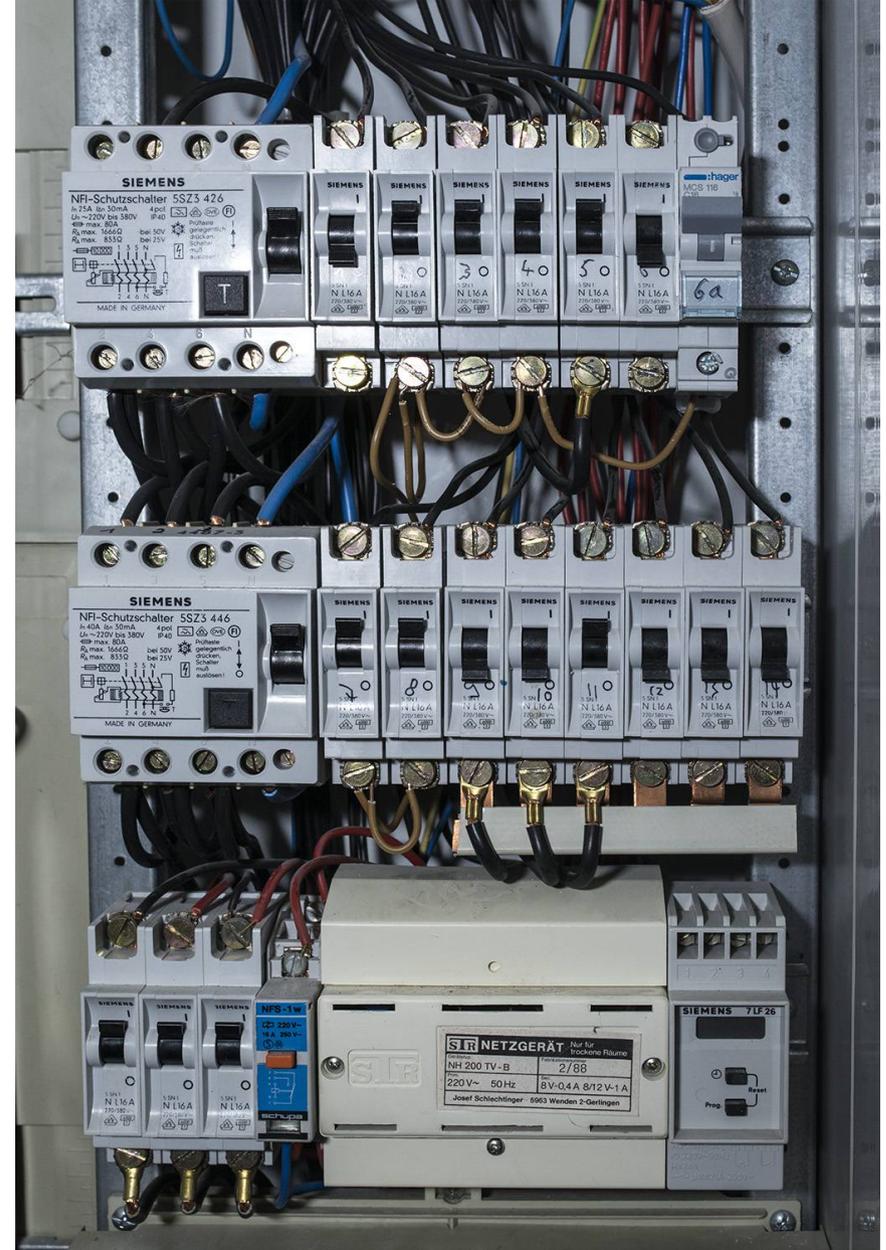
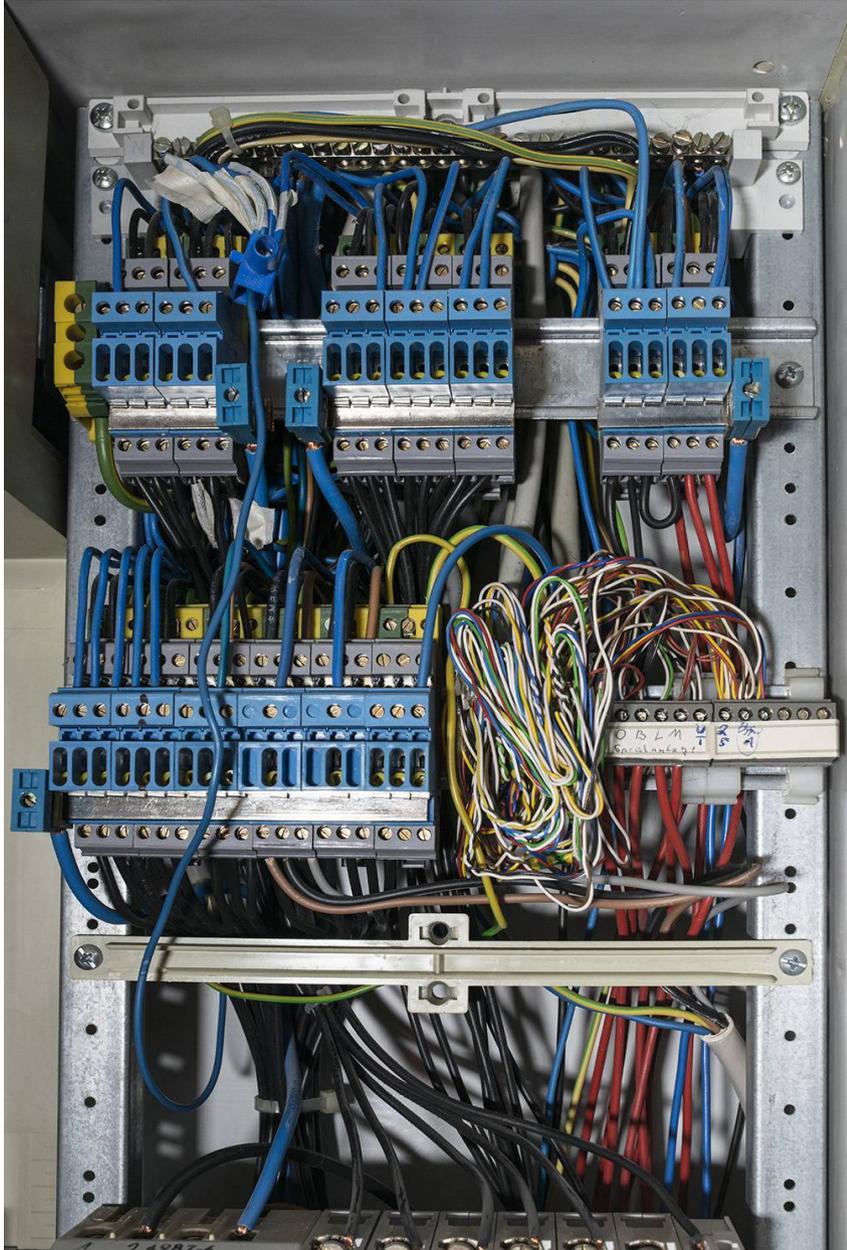
  // read the value from the sensor:
  sensor = analogRead(A0);

  if (sensor <= vmin)
    digitalWrite(OUT1, HIGH);
    digitalWrite(OUT2, HIGH);

  if (sensor > vmax)
    digitalWrite(OUT2, LOW);
    digitalWrite(OUT1, LOW);
}
```



7. Die Integration in das Hausnetz



8. Sicherheitsmaßnahmen

- vor jeder Arbeit am Stromnetz: Alles spannungslos schalten!!!
- wer sich nicht 100 % auskennt: Finger wech
- Handschuhe anziehen
- strikte Trennung der P- und N-Leiter von Hausnetz und Inverter
- beim Inverter PE und N verbinden
- gemeinsame Erdung aller Komponenten über PE-Leiter
- genügend Leitungsschutzschalter, Sicherungen und FI-Schalter installieren
- Umschaltungen zwischen Inverterausgang und Hausnetz immer im Spannungs-Nulldurchgang (Nullspannungsschalter) durch intelligente Vorrangschaltung



9. Alternativen

9.1 Guerilla PV-Balkonanlagen mit 600 Wp ohne Speicher

9.2 Inselanlagen mit getrenntem Stromnetz für spezielle Verbraucher
(Gartenhäuser, Werkstätten, Hybridautos....)

9.3 Komplettanlagen mieten oder liefern lassen (mit und ohne Speicher)

Wichtig:

Verbrauchsgewohnheiten an die Gegebenheiten anpassen

- Waschen bei Sonnenschein
- starke Verbraucher nacheinander betreiben
- auf gleichmäßigen Verbrauch achten
- E-Auto sofort wieder nachladen



Empfehlungen:

- mit kleiner Anlage anfangen und Betriebserfahrungen sammeln
- Laderegler und Inverter nicht zu klein wählen
- Investitionen in PV-Panels lohnen
(Daumenregel: 1-1,5 kWp pro 1kWh Akku)
- bei Umbauten Leerrohre ziehen
- keine No-Name-Produkte kaufen
- keinem Datenblatt trauen
- eigene Philosophie festlegen oder Steuerung sehr flexibel halten

