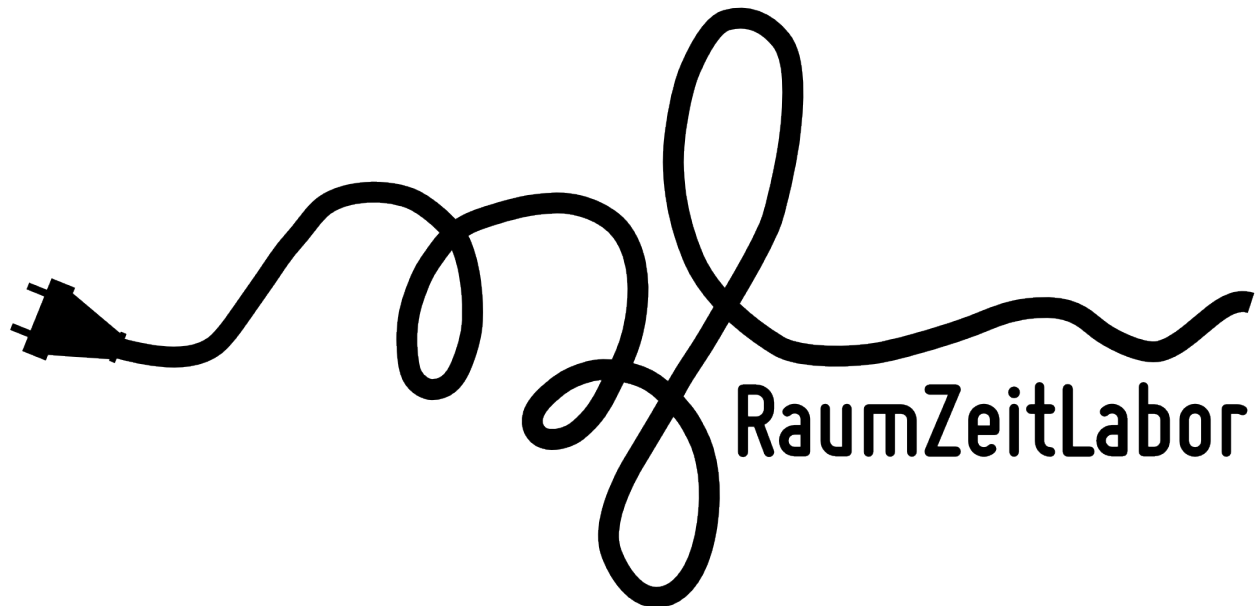


SolarWind

Solarbetriebener Router im Kleinformat

Über mich

- Felicitus
- 0x20 Jahre alt
- RaumZeitLabor Mannheim



Fahrplan

1. Projektidee
2. Solartechnikgrundlagen
3. Umsetzung
4. Fazit nach einem Monat
5. Zukunft

Projektidee



Es war einmal...

Anno 2012

- TL-WR703n
- 0,5W Leistung
- OpenWRT-fähig
- 21€



CC BY-SA 2.0 [cogdogblog](https://cogdogblog.com)

0,5 Watt?

- Idee: Autonomen Solar-Router bauen
- Use Cases:
 - Mesh Networking
 - Autonomer Richtfunkstrecken-Repeater
 - Ad-hoc networking für Notsituationen (Apokalypse?)

0,5 Watt?

- Idee: Autonomen Solar-Router bauen
- Use Cases:
 - Mesh Networking
 - Autonomer Richtfunkstrecken-Repeater
 - Ad-hoc networking für Notsituationen (Apokalypse!)

(hätte ich nur vorher gewusst, was auf mich zukommt...)

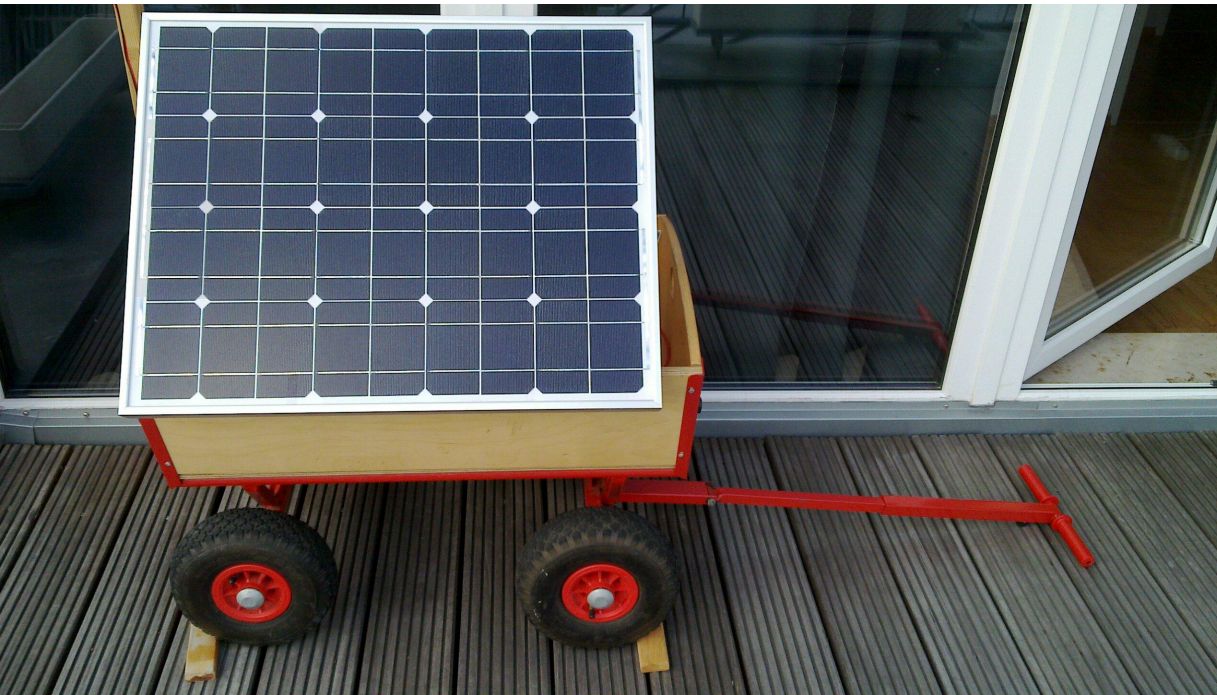
First Man on the Moon?

Bisherige Solarrouterprojekte:

- viele Freifunk-Projekte

Freifunk

Freifunk: Solar Powered Router
um die 200€



Freifunk

Solar-Router Freifunk Oldenburg

121€ ohne Gehäuse/Gestell



First Man on the Moon?

Bisherige Solarrouterprojekte:

- viele Freifunk-Projekte

Leider:

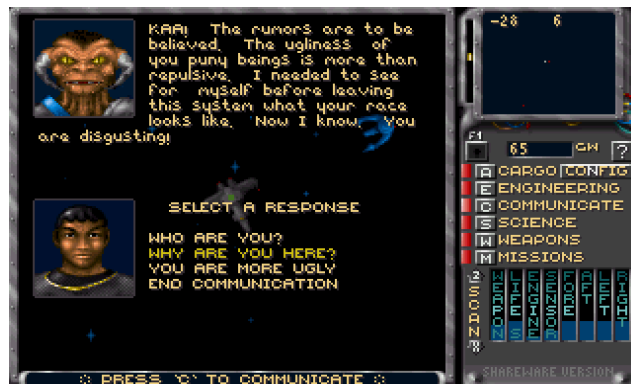
- kaum Informationen
- kaum Berechnungen
- viel zu große Solarpanels
- viel zu große Akkus (Auto-Starterakkus)
- Keine Metriken
- Oft über 150€

Ziele

- Möglichst kleines und günstiges System
 - aktuelle Version: ca. 100€
 - zukünftig: um die 50€
- Sämtliche Daten publizieren
 - Messdaten Stromverbrauch, Temperatur etc
- Dokumentation
- Spread the Word!

Projektname SolarWind

- Name inspiriert von "Solar Winds"



Screenshots von Moby Games
<http://www.mobygames.com/game/dos/solar-winds-the-escape/screenshots/gameShotId,561853/>

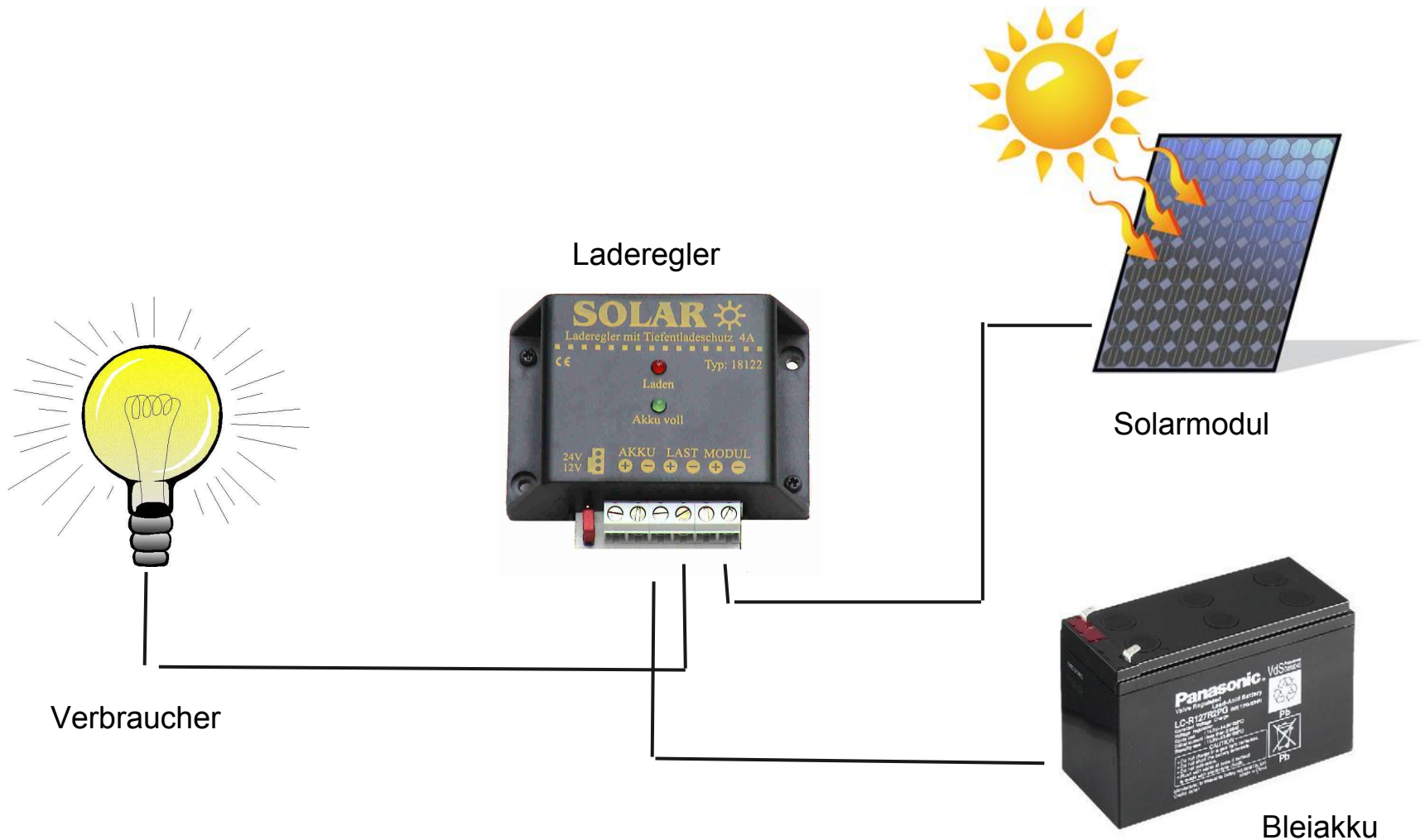
Solartechnik: Grundlagen



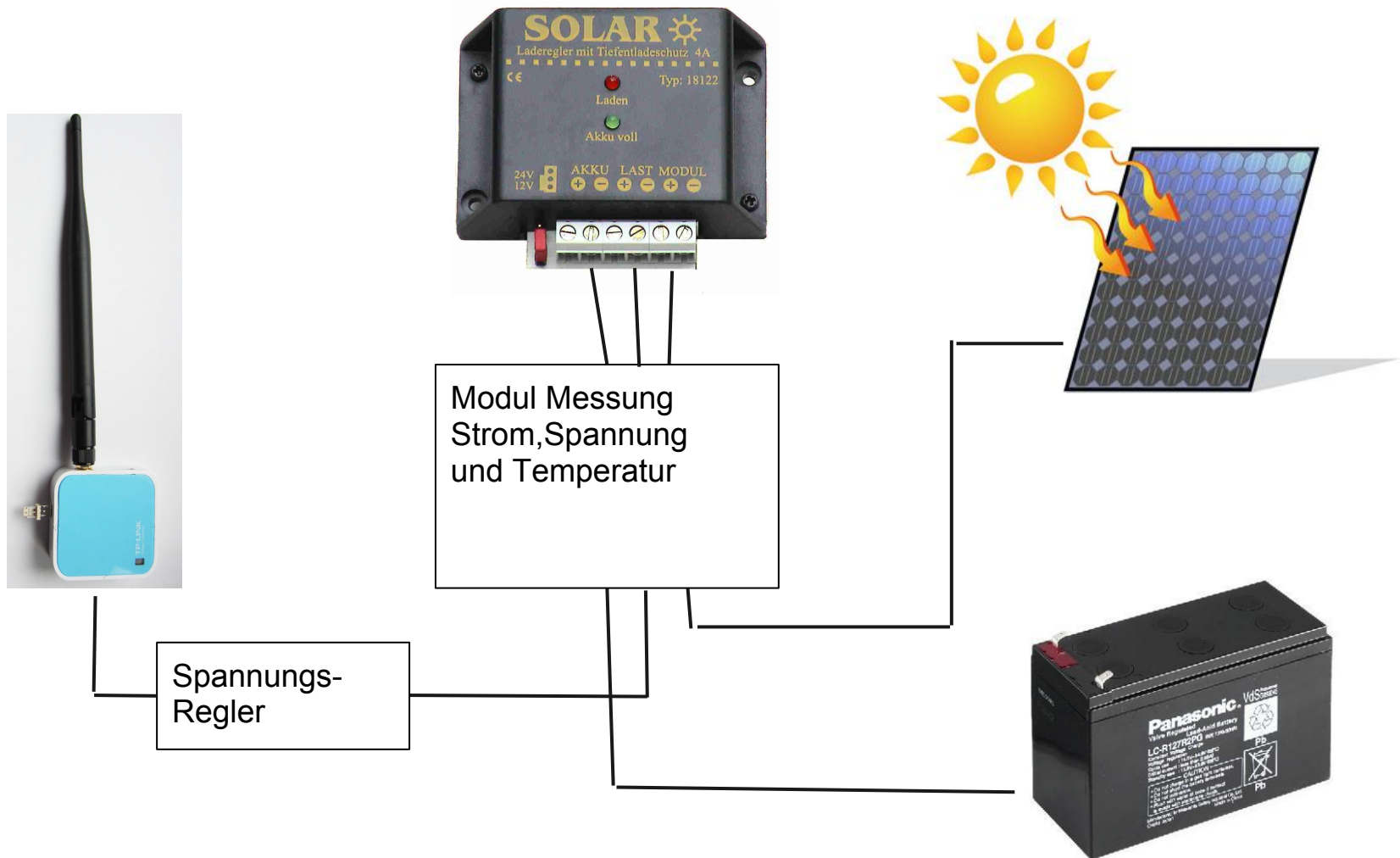
Anlagentypen

- Netzgekoppelte Anlage
 - Solarkraftwerk
 - Aufdachanlage
- Netzferne Stromversorgung (Inselanlage)
 - Satelliten, ISS
 - Parkautomaten
 - WLAN-Router

Inselsystem: Übersicht



Inselsystem: SolarWind



Inselssystem: Die Fragen

- Welchen Spannungsregler?
- Welchen Akku?
- Welche Solarzelle?
- Welchen Laderegler?

Spannungsregler

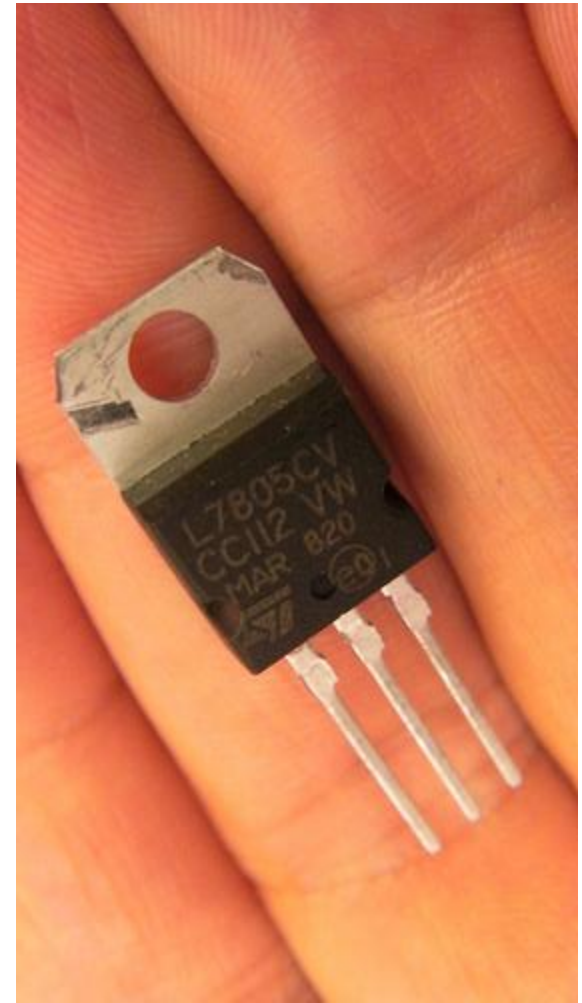
- Eingang: 9-15V DC
 - leerer Akku: ca. 9V
 - voller Akku: ca. 14.4V
- Ausgang: 5V DC
- Wandlung Verlustbehaftet

Linearregler

- Schlechte Effizienz
 - aka. Wirkungsgrad katastrophal
- Hohe Wärmeentwicklung
- Günstig

Linearregler: Beispiel

- Beispiel: LM7805
 - Kosten: ~30 Cent
 - Eingang 12V, Ausgang 5V
 - 100mA Last (=0.5W)
 - $(12V - 5V) * 0.1A = 0.7W$ verheizt
 - Gesamtleistung 1.2 Watt
 - = 41% Effizienz

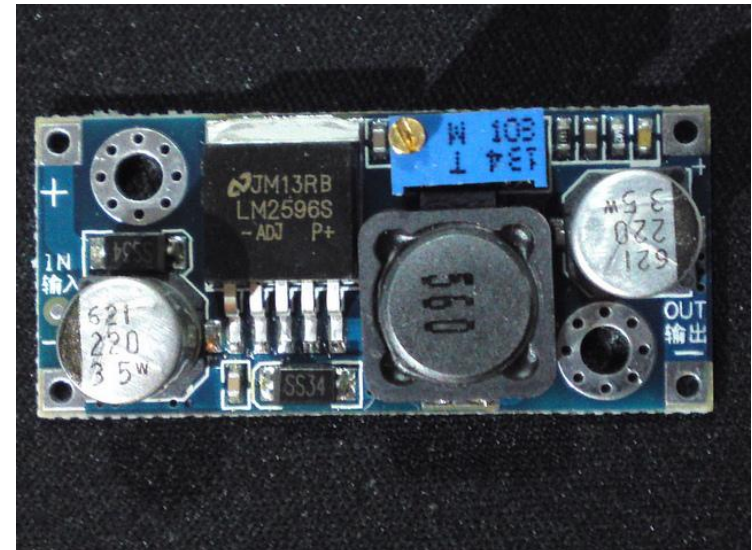


Schaltregler

- Wesentlich höhere Effizienz
 - bis über 90%
 - je höher die Effizienz, desto teurer
- Kaum Wärmeentwicklung
- Komplizierter und teurer als Linearregler

Schaltregler: Beispiel

- Beispiel Fertigmodul auf LM2596 Basis
 - ca. 3€ als Fertigmodul
 - Eingang 12V, Ausgang 5V, Last 100mA
 - Gemessene Gesamtleistung: 0.6W
 - 83% Effizienz



Inselssystem: Die Fragen

- ✓ Welchen Spannungsregler?
- Welchen Akku?
- Welche Solarzelle?
- Welchen Laderegler?

Akkutypen

- NiMH, NiCD, Li-Ion, Ni-Zn
 - nicht relevant bei Photovoltaikanwendungen
- Blei-Gel, Blei-Vlies
 - einfach zu laden
 - immer noch das Mittel der Wahl
 - relativ günstig (4,5Ah 15€)
- Starterbatterie
 - Sollte auch gehen, aber für SolarWind nicht relevant

Akkukapazität

- Angabe in Ah oder mAh
- Beispiel Handyakku: 2200mAh
 - 2200 mA für eine Stunde
 - 220 mA für 10 Stunden

Gesamtleistung

	Leistung	pro Tag	pro Monat
Router	0,5W	0,012 kWh	0,35 kWh
30% Verlust durch DC-DC Wandler	0,65W	0,015 kWh	0,468 kWh
Zum einfacher Rechnen	1W	0,024 kWh	0,72 kWh

Akkukapazität berechnen

- $1\text{W Leistung} \div 12\text{V} = 0.083\text{A}$
- Zielvorgabe: 48 Stunden ohne Sonnenenergie
- $48\text{h} * 0.083\text{A} = 3,9\text{Ah}$
- 5Ah-Akku ist ausreichend

Inselssystem: Die Fragen

- ✓ Welchen Spannungsregler?
- ✓ Welchen Akku?
 - Welche Solarzelle?
 - Welchen Laderegler?

Solarmodulgröße

- Herstellerangabe: Watt Peak (Wp)
 - Zellentemperatur = 25 °C
 - Bestrahlungsstärke = 1000 W/m²
- Spitzenwert kommt in Mitteleuropa statistisch nicht häufig vor
- Klartext: Effektiver Energieertrag geringer als es scheint
- Reicht ein 25€-Panel mit 20Wp aus?

Solarzelle: Größe berechnen

E_FAIL: Calculation Formula too complex

PVGIS: Professionelle Hilfe

[Photovoltaic Geographical Information System](#)

vom Joint Research Centre, EU

PVGIS (2)



Photovoltaic Geographical Information System - Interactive Maps

EUROPA > EC > JRC > IE > RE > SOLAREC > PVGIS > Interactive maps > europe

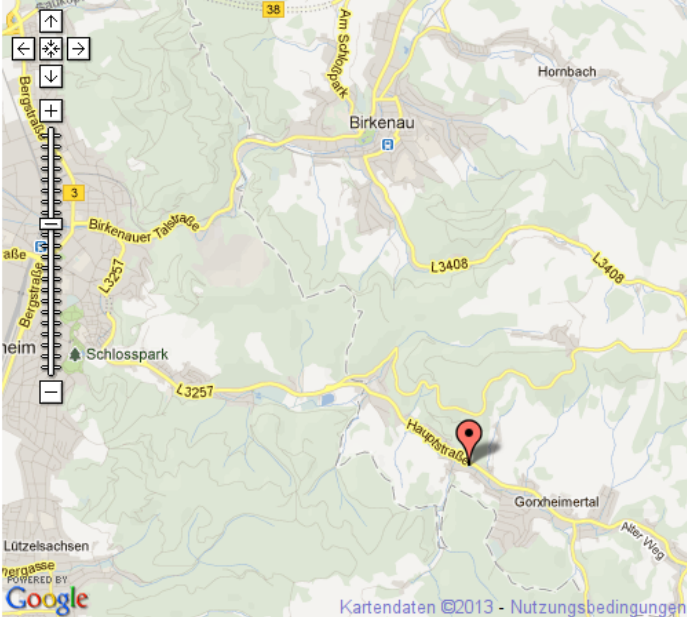
Contact Important legal notice

e.g., "Ispra, Italy" or "45.256N, 16.9589E"

gorxheimertal

Search

cursor position:
49.542, 8.718
selected position:
49.535, 8.719



Kartendaten ©2013 - Nutzungsbedingungen

Solar radiation Temperature Other maps

PV Estimation Monthly radiation Daily radiation Stand-alone PV

Performance of Grid-connected PV

Radiation database: Climate-SAF PVGIS [\[What is this?\]](#)

PV technology: Crystalline silicon

Installed peak PV power 0.02 kWp

Estimated system losses [0;100] 14 %

Fixed mounting options:

Mounting position: Free-standing

Slope [0;90] 35 ° ☐ Optimize slope

Azimuth [-180;180] 0 ° ☐ Also optimize azimuth

(Azimuth angle from -180 to 180. East=-90, South=0)

Tracking options:

☐ Vertical axis Slope [0;90] 0 ° ☐ Optimize

☐ Inclined axis Slope [0;90] 0 ° ☐ Optimize

☐ 2-axis tracking

Horizon file No file chosen

Output options

☒ Show graphs ☒ Show horizon

☒ Web page ☐ Text file ☐ PDF

[\[help\]](#)

PVGIS (3)

Fixed system: inclination=33°, orientation=0° (Optimum at given orientation)				
Month	E_d	E_m	H_d	H_m
Jan	0.02	0.538	1.05	32.4
Feb	0.04	0.982	2.13	59.7
Mar	0.05	1.50	3.02	93.7
Apr	0.07	1.98	4.27	128
May	0.07	2.30	4.93	153
Jun	0.07	2.21	5.00	150
Jul	0.08	2.43	5.35	166
Aug	0.07	2.16	4.73	147
Sep	0.06	1.73	3.80	114
Oct	0.04	1.16	2.38	73.8
Nov	0.02	0.687	1.40	42.0
Dec	0.01	0.422	0.83	25.7
Yearly average	0.0496	1.51	3.25	98.7
Total for year		18.1		1180

E_d = Täglicher Durchschnitt kWh

E_m = Monatlicher Durchschnitt kWh

PVGIS (4)



Photovoltaic Geographical Information System - Interactive Maps

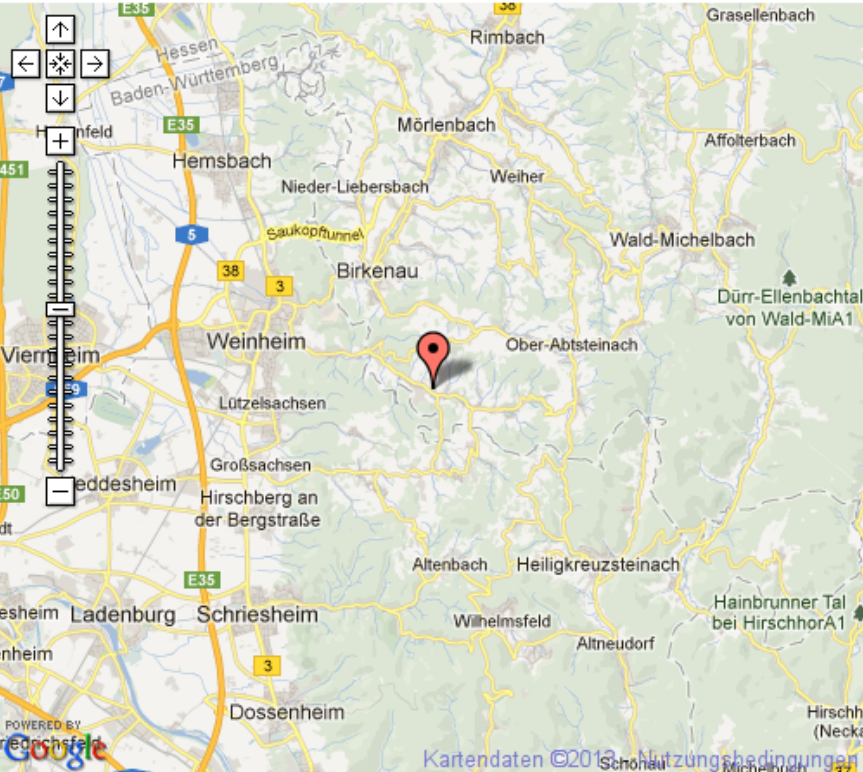
EUROPA > EC > JRC > IE > RE > SOLAREC > PVGIS > Interactive maps > europe

Europe Africa

e.g., "Ispra, Italy" or "45.256N, 16.9589E"

gorkheimertal Search

cursor position: 49.461, 8.685
selected position: 49.532, 8.730



POWERED BY Google

Kartendaten ©2013, Nutzungsbedingungen

Solar radiation Temperature Other maps

Contact Important legal notice

PV Estimation Monthly radiation Daily radiation **Stand-alone PV**

Stand-alone PV Estimation

Enter peak PV power Wp

Battery voltage: V Capacity: Ah

Discharge cutoff limit (%) [0,100]

Enter daily consumption Wh

Optional hourly consumption file No file chosen

Module inclination [0;90] deg.

Orientation [-180;180] deg.

(Azimuth angle from -180 to 180. East=-90, South=0)

Output options

☒ Show graphs ☒ Show horizon

☒ Web page ☐ Text file ☐ PDF

[\[help\]](#)

PVGIS (5)

Month	E_d	F_f	F_e
Jan	12.00	13	81
Feb	18.00	34	56
Mar	22.00	58	23
Apr	24.00	92	0
May	24.00	93	0
Jun	24.00	98	0
Jul	23.00	95	0
Aug	23.00	92	2
Sep	23.00	81	6
Oct	22.00	53	19
Nov	15.00	18	69
Dec	10.00	4	88
Year	20.49		

E_d : Average energy production per day (Wh/day)

F_f : Percentage of days when battery became full (%)

F_e : Percentage of days when battery became empty (%)

Inselssystem: Die Fragen

- ✓ Welchen Spannungsregler?
- ✓ Welchen Akku?
- ✓ Welche Solarzelle?
- Welchen Laderegler?

Laderegler

- Technologien: PWM und MPPT
- Wegen Kosten den günstigsten gekauft
- war für SolarWind erstmal egal

Inselssystem: Die Antworten

- ✓ Welchen Spannungsregler?
- ✓ Welchen Akku?
- ✓ Welche Solarzelle?
- ✓ Welchen Laderegler?

Umsetzung



Fehler...

Niemals Ein- und Ausgang des Stepdown-Reglers vertauschen...

12V killed my TL-WR703n!

Die Rettung

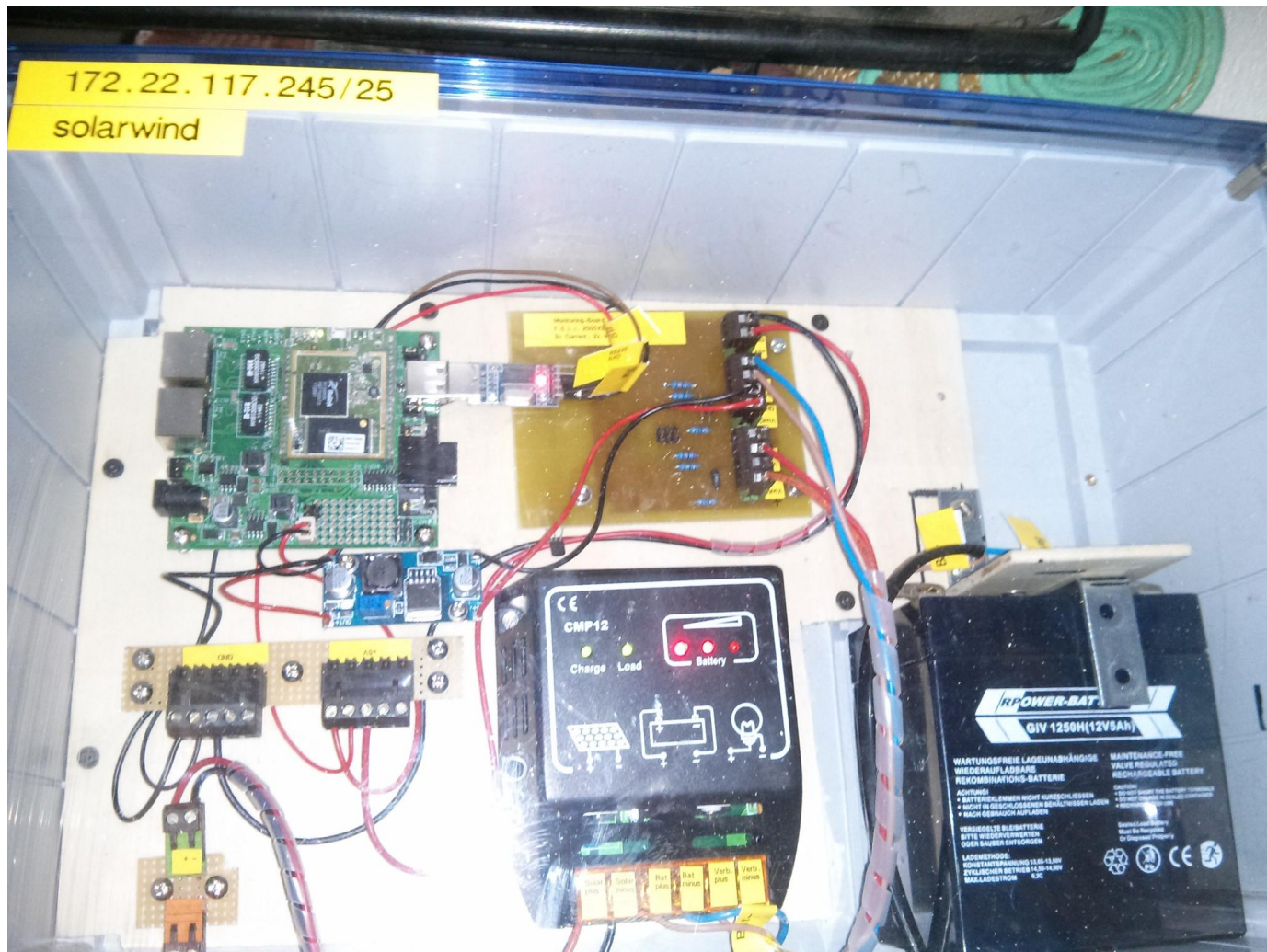
Carambola1 auf Devboard

- 1,5W peak
- 1W Betrieb
- Nach Optimierung: 0,7W Betrieb
- 1W inkl. Schaltregler-Verluste

Kosten (Ursprünglich)

Solarmodul	Tievol Solar TF-10-36M, 20Wp	25€
Monitoring Board	2x Current, 2x Voltage, 1x Temperature	10€
Laderegler	CMP12 12/24V 10A	10€
Bleiakku	RPower GiV 1250H 12V / 5Ah	15€
Spannungsregler	LM2596	4€
Router	TL-WR703n	20€
		ca. 85€

Aufbau



Aufbau



Implementation

- Hängt als Client im Heim-WLAN
- Pusht Messdaten ins Netz

Datensammler

- Spannung / Strom Zelle
- Spannung / Strom Verbraucher
- Temperatur
- Systemuptime
- Berechnungen:
 - Leistung Zelle
 - Leistung Schaltung
 - Geerntete Wattstunden *
 - Verbrauchte Wattstunden *
 - Differenz Geerntet-Verbraucht *

* Reset jeweils 00:00 CET

Datensammler: Probleme

- Ist der Akku voll, sinkt die Leistung der Zelle
 - (obwohl vielleicht gerade übermegageiles Wetter ist)
- Spannung der Zelle = Spannung des Verbraucherkreises
 - weil der Laderegler PWM auf GND macht, vmtl wegen günstigerer N-Channel Mosfets
- Stromrichtige vs. Spannungsrichtige Messung
 - Ungenauigkeit ignoriere ich elegant

Daten auswerten: cosm

xively (was: cosm (was: pachube))

- Einfach zu implementieren
- Sehr beschränkte Visualisierungen
 - aber immerhin Graph-Zoom:
1hr, 1day, 1week, 1month
- Einziges System bis Mitte Mai
- Backup der Push-Daten

Daten auswerten: xively

- Komplettes System ausrollen ohne vorherige Information = evil
- Graph-Zoom ist weg
- nur noch Graph über die letzten 8 Stunden
- Datenpunkt-Limit?

Daten auswerten: open. sen.se

- Buntere Charts
- Berechnungen
- aber nur 500 Datenpunkte (WTF?)

Daten auswerten: opensdb

- Installation funktionierte bei mir nicht
 - ergo skip

Daten auswerten: graphite

- RRD
- ziemlich fix
- python
- Daten pushen via netcat(!)
- Kombinieren von Datenquellen
- Berechnungen ausführen
- Funktionen auf Daten anwenden (z.b. avg)
- Diverse Frontends

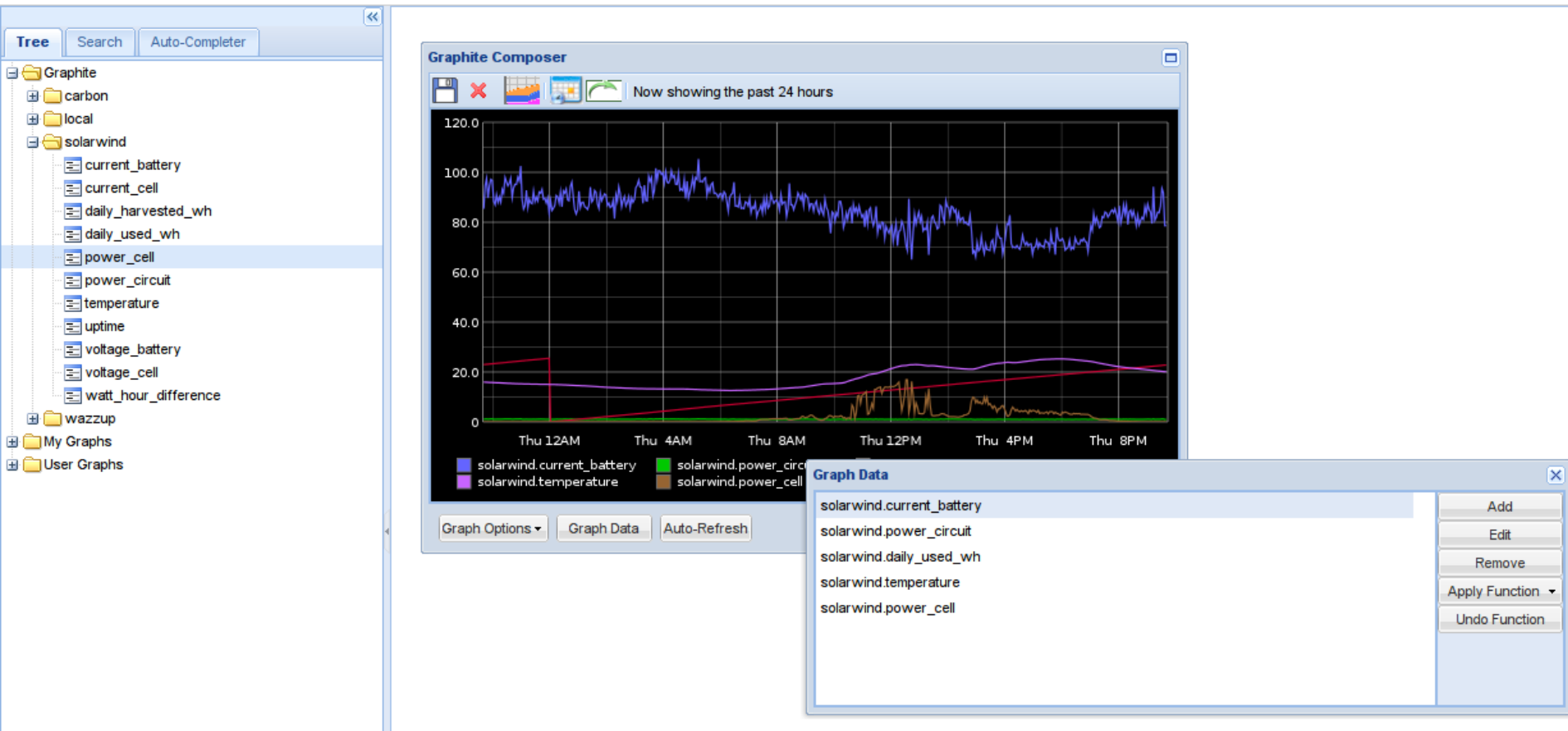
graphite

graphite

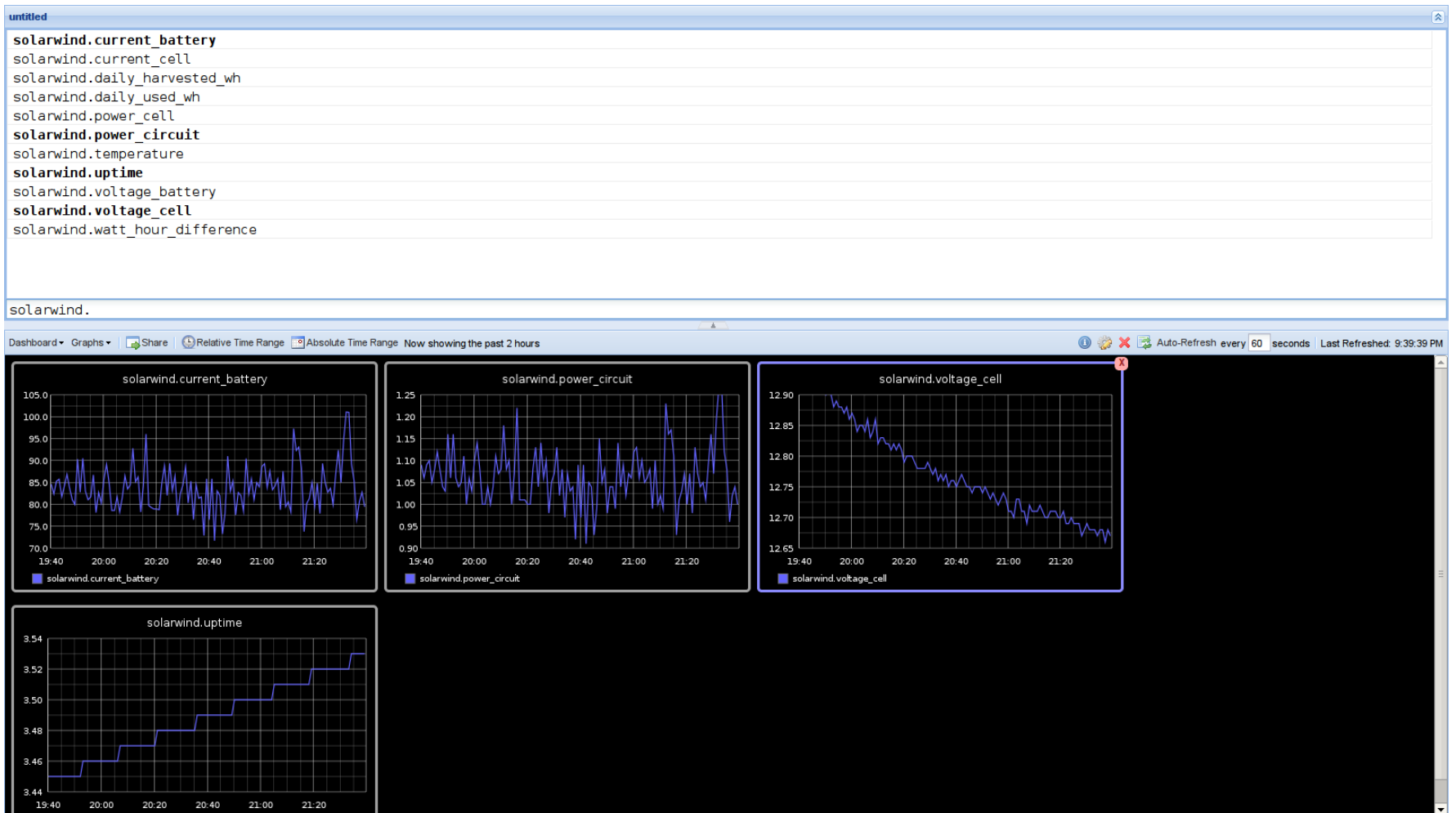
Logged in as root, [logout](#) ([edit profile](#))

[Documentation](#)

User Interface: [Dashboard](#) | [flot \(experimental\)](#) | [events \(experimental\)](#) |



graphite



Fazit nach einem Monat



Fazit nach einem Monat

- Läuft \o/
- Erstinstallation am 1.5.
- Daten verfügbar ab 3.5.
- Erster Ausfall für 8 Stunden am 24.5.
- Zweiter Ausfall für 8 Stunden am 27.05.
- Akkukapazität zu gering im Verhältnis zur Leistung
 - Entweder Kapazität erhöhen oder Leistungsaufnahme verringern

Beobachtungen

- verschenkte Sonnenenergie
 - An vielen Tagen war der Akku voll
- 2-3 Tage Brückenzeit unrealistisch
 - eher 6-10 Tage
- Laderegler benötigt 10-20mA
 - WTF!

Beobachtungen: WLAN-Last

- Test mittels iperf
- Server (=WLAN-Empfang)
 - ca. 0,15W mehr
 - Empfang: "power_circuit" 26.05.2013 17:20-17:50
- Client (=WLAN-Senden)
 - ca. 0,5W mehr
 - Senden: "power_circuit" 26.05.2013 17:59-18:29

Beobachtungen: CPU-Last

- Bei CPU-Volllast 0,2-0,3W Mehrverbrauch
- "power_circuit" 26.05.2013 18:33-19:03

Charts

Energie: Überschuss oder Verlist

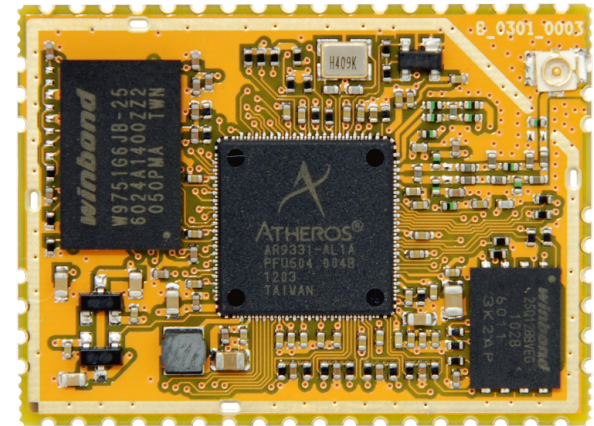


Zukunft



SolarWind2

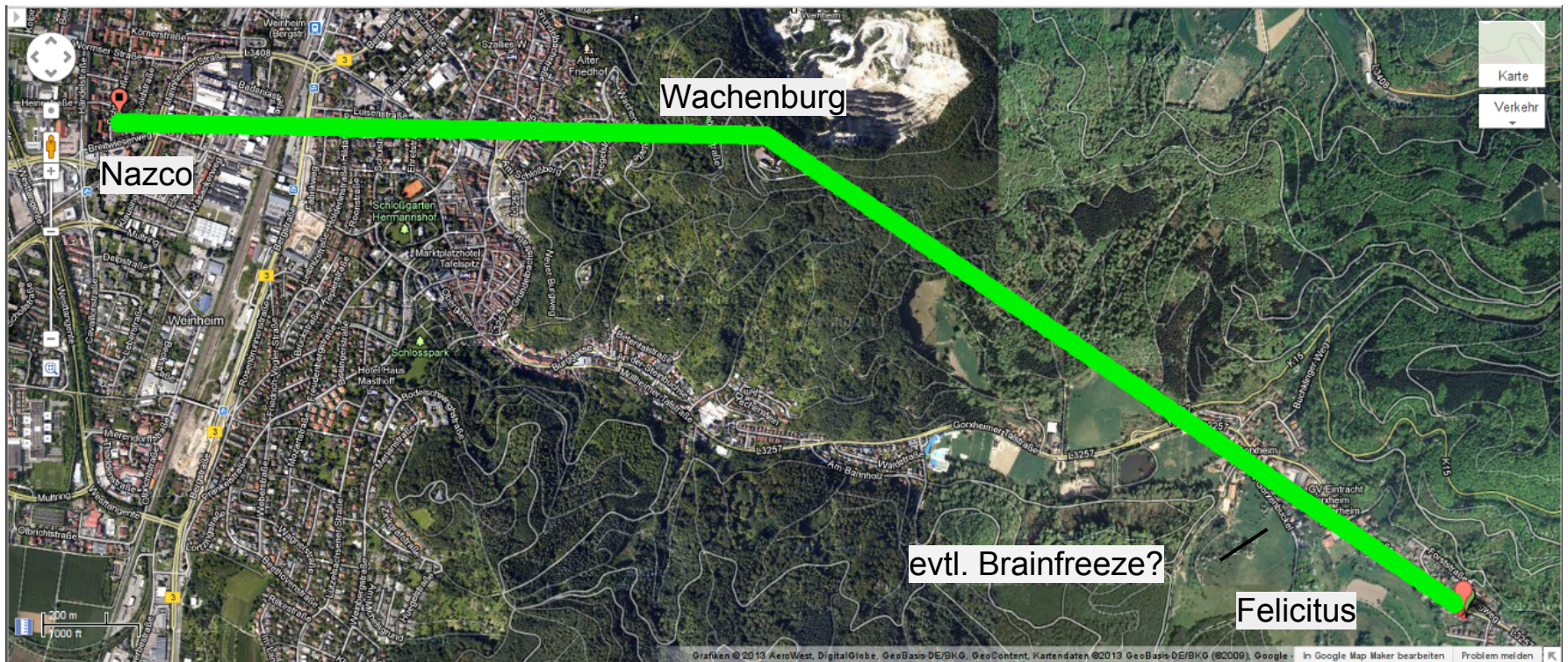
- Kosten senken
 - Ziel ist 50€
- Mehr Effizienz!
 - Besseren Schaltregler
 - MPPT (Maximum Power Point Tracking)
 - Carambola2 (0,5W)
- Laderegler+Router+Monitoring kombinieren
- Realtime Clock
- I²C für nachträgliche Modifikation
- Mehr Sensoren
 - Aussentemperatur, Feuchtigkeit



SolarWind2

- Durchgängig 3v3
- Schaltbares USB + 5V via Relais+Software
 - für Webcams und sonstige Peripherie
 - Webcam muß nicht dauerhaft aktiv sein
- Software Controlled Shutdown
 - Nachts Energie sparen!

Richtfunkstrecke



Bessere Auswertungen

- Errechneter Batterieladestand
- Kombinierte Charts
- Prognosen

Q&A



DANKE!



Ressourcen

Projekthomepage:	<u>http://felicitus.org/solarwind/</u>
Graphite:	<u>http://solarwind.felicitus.org/</u>
open.sen.se:	<u>http://open.sen.se/solarwind</u>
cosm/xively:	<u>https://xively.com/feeds/128675/</u>