

Kompendium zu Wohnraumbatterien im Wohnmobil nebst Ladeetechnik



Vorwort:

Zunächst werden wesentliche elektrische Grundlagen abgehandelt bevor elektotechnische Grundsätze rechnerisch angewendet werden um Entscheidungshilfen zu erläutern.

Am Ende werden die wesentlichen Szenarien im realen Campingbetrieb per Logging System verifiziert. Iterativ werden hier noch einige Schwachpunkte entdeckt und Verbesserungen durchgeführt.

Motto: nur Funktionen die man vollumfänglich verstanden hat und die per Kontrollmessung nachgewiesen sind machen nachhaltig Freude.

Wichtig: Die Wohnmobile und auch die Anforderungen sind sehr verschieden. Abbildung auf andere Fahrzeuge und Realisierungen sind stets zu prüfen.

Verfasser: HeinB
Datum: 12. Februar. 2025
Version: 1.0



Inhaltsverzeichnis

1	ÜBERSICHT	7
1.1	Ziel des Dokuments	7
1.1.1	Sternstunde auf YOUTUBE Kanal	7
1.2	Haftungsausschluss	8
1.3	Über den Verfasser	8
2	EXPERTENWISSEN	9
2.1	Grundlagen	9
2.1.1	Allgemeine Elektrotechnik	10
2.1.1.1	Das Ohmsche Gesetz	10
2.1.1.2	Die Kirchhoffschen Regeln	11
2.1.1.3	Reihenschaltung und Parallelschaltung	12
2.1.1.4	Wirkungsgrad	12
2.2	Stromrichtertechnik	13
2.2.1	Leistungselektronik allgemein	13
2.2.2	DC DC Steller	14
2.2.2.1	Ladebooster	14
2.2.2.2	Ladegerät	14
2.2.2.3	Solarregler	14
2.2.3	Wechselrichter	15
2.2.3.1	Eigenschaften und Zusatzfunktionen von WoMo Wechselrichtern	16
2.3	Regelungstechnik	17
2.3.1	Definition Regelungstechnik	17
2.3.1.1	Beispiele und Blockschaltbild Solarregelkreis	17
2.3.1.2	Blockschaltbild der Betriebszustände einer Regelung WoMo Batterie	19
2.3.2	Fazit und Blockschaltbild Regelungsstruktur WoMo Batterie	20
2.4	Messtechnik	21
2.4.1	Vierleitermessung	21
2.4.2	Mess- Shunt (Auflösung und Genauigkeit)	22
2.5	Stromspeicher (Batterien)	23
2.5.1	Aufbauformen LiFePo4 Akkus	24
2.5.2	Qualitätsmerkmale der Zellen	24
2.5.2.1	Grade B	24
2.5.2.2	Grade A	24
2.5.2.3	Grade A mit Protokoll	24
2.5.3	Spannungsbereich der LiFePO4 Zelle	25
2.5.4	B M S (Batterie Management System)	26
2.5.5	Ballancer	26
2.5.5.1	Beispiel DALY BMS mit aktiven Ballancer	26
2.5.5.2	Aktiver / passiver Ballancer	27
2.5.6	Ladekurve (I / U Kurve)	28

2.5.7	SOC Bestimmung	29
2.5.7.1	SOC Korrektur durch Synchronisation	30
2.5.8	Alterungsprozess LiFePo4 Zellen	31
2.6	Alternative Batterien als Starterbatterie	32
2.6.1	Lithium-Batterien	32
2.6.2	SODIUM (Natrium Na+) Batterie	32
2.7	Solarmodule	33
2.7.1	Qualitätsparameter Modulwirkungsgrad	34
2.7.2	Äußere Einflüsse (Azimut, Verschattung)	35
2.7.2.1	Verschattung	36
2.7.3	Die Bypass Diode	37
2.7.4	Parallel vs. Reihenschaltung	38
2.7.5	MPTT	39
2.8	Visualisierung / Steuerung (HMI / Bus Systeme)	40
2.8.1	Kommunikation	41
2.8.1.1	Analog	41
2.8.1.2	IR	41
2.8.1.3	BT	41
2.8.1.4	Wi-Fi	41
2.8.1.5	Sprachsteuerung	41
2.8.1.6	Kommunikation BUS	41
2.8.2	HMI	42
2.8.2.1	Klassisch (EBL, Zeiger, Lampen/ Display, Schalter)	42
2.8.2.2	Panel (Bildschirm)	42
2.8.2.3	APP	42
2.8.2.4	WEB Server	42
2.8.3	BUS Systeme	43
2.8.3.1	Einsparung von Kabeln und Leitungen	43
2.8.3.2	Komfort Vernetzung	43
2.8.3.3	Technologische Vernetzung	43
2.8.3.4	Smart Home Vernetzung	43
2.8.4	Technische Merkmale / Architektur im WoMo / Standardisierung	44
2.8.4.1	Offene Systeme	44
2.8.4.2	Geschlossene Systeme	44
2.8.4.3	Smart Home Bus System	45
2.8.4.4	Shunt und APP	46
2.8.4.5	Cloud basiertes Überwachungssystem	47
2.9	Weitere Komponenten	50
2.9.1	Die Drehstromlichtmaschine	50
2.9.1.1	Grundlagen Drehstrom Lichtmaschine	50
2.9.1.2	Intelligente Lichtmaschine	51
2.9.2	EBL	52
2.9.2.1	Folgende Funktionen sind im EBL realisiert	54
2.9.2.2	Stolpersteine EBL	54
2.9.3	Kühlschrank ADD ON (AES & EBL)	55
2.9.3.1	AES Kühlschrank im Wohnmobil	55
2.9.3.2	Zusammenspiel AES Kühlschrank und Bordelektrik (EBL)	56
2.9.3.3	Fazit und Tipps zum AES Kühlschrank mit EBL	57

3	RANDBEDINGUNGEN UND REGELN	58
3.1	Normen	58
3.1.1	Weitere relevante Normen	60
3.1.1.1	UN38.3 (Transport von Accus)	60
3.1.1.2	2006/66/EG (Lifetime)	61
3.1.1.3	CE Kennzeichnung	61
3.1.1.4	E1 Kennzeichnung	61
3.1.1.5	ECE R10	61
3.1.1.6	DIN VDE Normen	61
3.2	Schutzkonzepte	63
3.2.1	Elektrische Sicherheit im Wohnmobil	63
3.2.2	Schutz gegen elektrischen Schlag	63
3.2.2.1	Basisschutz	64
3.2.2.2	Fehlerschutz	64
3.2.2.3	Zusatzschutz (RCD)	65
3.3	EMV / Elektromog	68
3.3.1	Cyber Security	68
3.4	Spannungsebenen im KFZ	69
3.5	Schutz gegen unzulässige Erwärmung	70
3.5.1	Schmelzsicherungen	70
3.5.1.1	Auslösecharakteristik von Schmelzsicherungen	71
4	AUSLEGUNG UND DIMENSIONIERUNG (KABEL / SICHERUNGEN)	72
4.1	Erwärmung	72
4.2	Spannungsabfall	73
4.2.1	Reihenschaltung Parallelschaltung und Spannungsabfall	74
4.3	Selektivität und Absicherung (Vorschlag)	75
4.4	Maßnahmen und Dimensionierung	75
4.4.1	Trennvermögen der Sicherungen	76
5	ZUSAMMENWIRKEN DER GEWERKE	77
5.1	Stromlaufpläne und Dokumentation	77
5.1.1	Übersichtsbild	77
5.1.2	Stromlaufpläne	78
5.2	Erhaltungsladen nach Umbau auf LiFePo4 und Wechselrichter	79
5.2.1	Erhaltungsladung Aufbaubatterie	79
5.2.2	Erhaltungsladung Starterbatterie	79
5.3	Abstimmung der Einstellungen	80
5.3.1	Einstellungen Daly BMS	80
5.3.2	Einstellungen Smart Shunt	81
5.3.3	SOC Synchronisierung Batterie Computer	81

5.4	Zusammenspiel verschiedenen Regelkreise	82
5.4.1	Durch abgestimmte Parametrierung	82
6	PLANUNG, TESTSYSTEMATIK UND ANALYSEN	83
6.1	Entwicklertools	83
6.2	Usertools	83
6.3	Auslegungstools	84
6.3.1	Autarkierechner Reiseschrauber	84
6.3.2	Kabelrechner (8 fach)	85
6.4	Verifikation durch Datenanalyse	86
6.4.1	Black Box Daten	86
6.4.2	Auswertetool Digitale Daten	86
7	RECHENBEISPIELE UND ANALYSEN ZUR VERDEUTLICHUNG	87
7.1	Rechenbeispiele Kabelauslegung im Wohnmobil	87
7.1.1	Platzierung der Komponenten und Kabelwege	87
7.1.1.1	Beispiel 1: Booster unter Fahrersitz und Batterie in der Heckgarage	87
7.1.1.2	Beispiel 2: Booster unter Fahrersitz und Batterie unter Beifahrersitz	88
7.1.1.3	Beispiel 3: Booster und Batterie in der Heckgarage	88
7.1.1.4	Ideale Auslegung und Platzierung Batterie und Booster:	89
7.1.2	Vergleich 24,6 V Systemspannung	89
7.2	Berechnung Akku Verschaltungen (nach Kirchhoff)	90
7.2.1	Anwendung der Kirchhoffschen Knotenregel (Ströme)	92
7.2.2	Fazit und Tipps zu Batterieverschaltungen	96
7.3	Fazit Rechenbeispiele (für Camper)	97
7.3.1	Spannungen	97
7.3.2	Ströme	97
7.4	Analysebeispiele Wohnmobil	98
7.4.1	Analyse LFP Batterie am Beispiel Booster	98
7.4.2	Beurteilung Ladebooster	99
7.4.3	Analyse SOC	100
7.4.3.1	Synchronisierung SOC in der Absorptionsphase	100
7.4.3.2	Kontrollierte Entladung bis Abschaltung durch BMS	101
7.4.3.3	Kontrollierte Ladung bis Absorptionsphase	103
7.4.3.4	Vergleich BMS und Batteriecomputer (Shunt)	104
7.4.3.5	Analyse Ruhebetrieb im Winter	105
7.4.3.6	Detaillierte Betrachtung Solarertrag und Betriebsarten MPPT	106
7.4.3.7	Abstellbetrieb im Winter mit Heizung	107
7.4.3.8	Abstellbetrieb im Winter ohne Heizung	108
7.4.3.9	Überlegungen Solar Winterbetrieb mit Akku Heizung.	110
7.4.3.10	Analyse Überwintern mit Solarkoffer	111
7.4.3.11	Fazit und Maßnahmen Ladetechnik und SOC der Batterie	112

8	ERGÄNZUNGEN / HILFEN	114
8.1	Ausblick	114
8.2	Gas vs. Elektrizität	115
8.3	Gewichtsverteilung im Wohnmobil	116
8.4	ADD ONs	117
8.4.1	Stellvertreter Handy als Fernsteuerung	117
8.4.2	Überspannungen und Maßnahmen zur Spannungsstabilisierung	118
8.4.2.1	Maßnahmen zur Spannungsstabilisierung	118
8.4.3	Zusatzschalter elektrische Trittstufe	119
8.4.4	Notkabel EBL	121
8.4.4.1	Einspeisung 12V auf BL5 „Rückseite“	121
8.4.4.2	Stiftleiste BL3 (Anschluss Control und Schalttafel)	122
8.4.5	Nachladen der Starterbatterie	122
8.4.6	USB und Ladetechnik	123
8.4.6.1	USB Steckdosen und USB Tester	124
8.4.7	Alternative Ladetechniken 12V	125
8.5	Verbände	126
8.5.1	ZVEI	126
8.5.2	CIVD	126
9	LITERATURVERZEICHNIS	127
10	ÄNDERUNGSVERZEICHNIS	128
SEITEN GESAMT		128

1 ÜBERSICHT

1.1 Ziel des Dokuments

Das Dokument beschreibt die elektrische Optimierungen eines modernen Wohnmobils.

Es soll eine Art Kompendium für elektrische (DIY) Optimierungen sein.

Das Dokument ist geeignet für (elektrotechnische) Anfänger zum Einstieg, aber auch für Fortgeschrittene (die ihr Wissen reflektieren/festigen möchten)

Und es hilft den Benutzern (und Verfasser) das alles zu verstehen.

Deshalb wurde es in Abschnitte gegliedert:

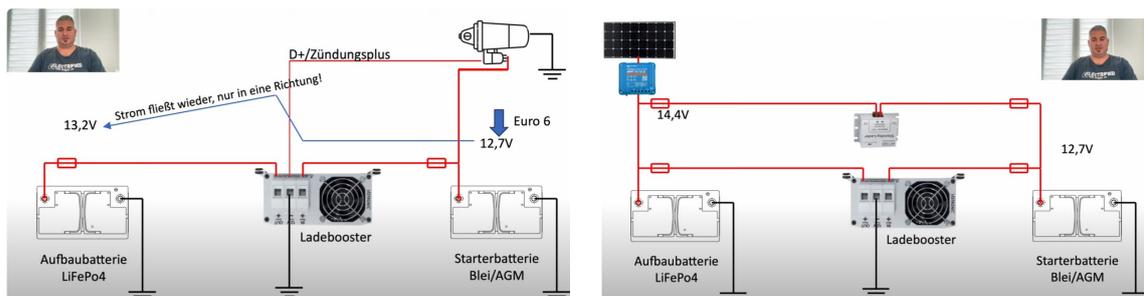
- **(Expertenwissen)** Grundlagen der Elektrotechnik
- **Rechenbeispiele und Analysen** dienen der Verdeutlichung

Das Dokument lebt von Erfahrungen und Rückmeldungen aller Art um in regelmäßigen Abständen verbessert und überarbeitet zu werden.

Der Verfasser gewinnt dies durch YOUTUBE, Foren und durch Reisen mit Selbstversuchen.

1.1.1 Sternstunde auf YOUTUBE Kanal

Einen sehr guten Einblick in diese Themenwelt gibt folgendes Video vom YOUTUBE Kanal „Tino Eggert“ <https://www.youtube.com/watch?v=4mqVRLhrN48>



Hinweis: dem Verfasser gefällt die technische PowerPoint Präsentation ausgesprochen gut.
Ab 19:00 ist das eine Sternstunde in der YOUTUBE Szene.

1.2 Haftungsausschluss

Die Inhalte dieser Seiten wurden mit größter Sorgfalt erstellt.

Für die Richtigkeit, Vollständigkeit und Aktualität der Inhalte kann jedoch keine Gewähr übernommen werden.

Nach §§ 8 bis 10 TMG sind wir nicht verpflichtet, übermittelte oder gespeicherte fremde Informationen zu überwachen oder nach Umständen zu forschen, die auf eine rechtswidrige Tätigkeit hinweisen.

Verpflichtungen zur Entfernung oder Sperrung der Nutzung von Informationen nach den allgemeinen Gesetzen bleiben hiervon unberührt. Eine diesbezügliche Haftung ist jedoch erst ab dem Zeitpunkt der Kenntnis einer konkreten Rechtsverletzung möglich. Bei Bekanntwerden von entsprechenden Rechtsverletzungen werden wir diese Inhalte umgehend entfernen.

Das Dokument enthält Links zu externen Websites Dritter, auf deren Inhalte wir keinen Einfluss haben.

1.3 Über den Verfasser

HeinB ist seit wenigen Jahren Rentner und hat in der Zeit das Campen mit dem Wohnmobil für sich entdeckt. Dieses hat er in Eigenleistung elektrisch vollständig autark gemacht. Das erforderliche Knowhow hat er durch intensiven YOUTUBE Konsum ständig weiterentwickelt.

HeinB ist auch Elektrofachkraft. In den 70er Jahren schloss er eine Ausbildung zum Elektriker mit dem Gesellenbrief ab.

Die Zeit dazwischen blieb HeinB beruflich der Elektrotechnik treu.

Anfang der 80er bildete er sich zum Dipl. Ing. Elektrotechnik weiter und war dann bis zur Rente in einem (DAX) Industrieunternehmen in verschiedenen Rollen tätig.

Das Verfassen und Interpretieren von Spezifikationen im Bereich Industrieautomatisierung incl. Antriebs und Energietechnik waren Jahrzehnte lang elementare Tätigkeiten.

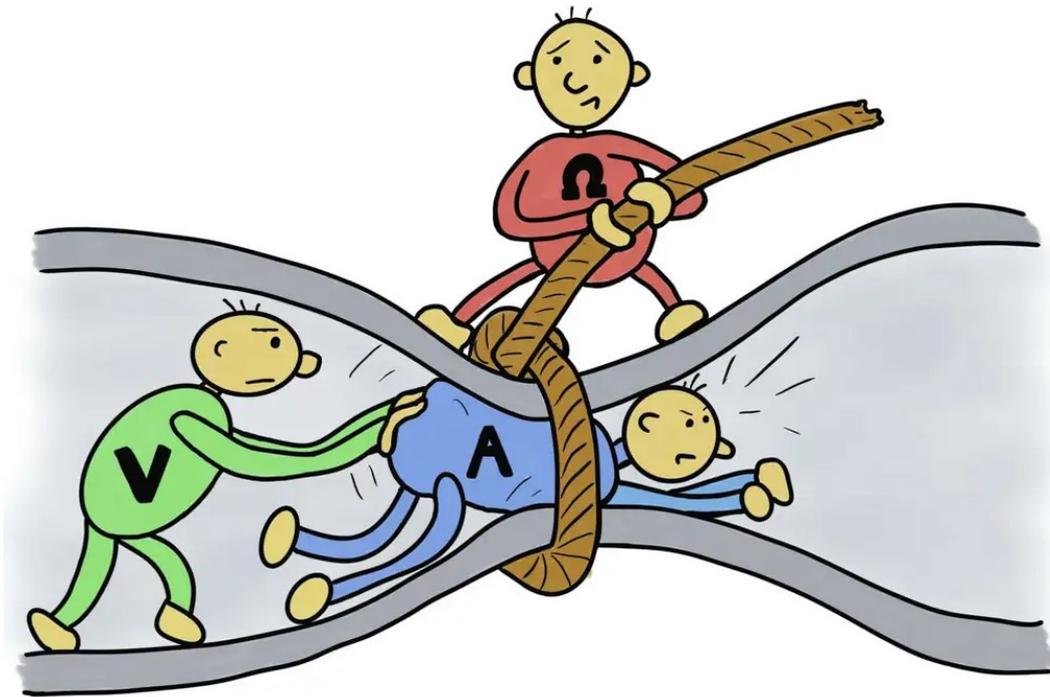
Darüber hinaus hat HeinB sein Eigenheim mit einer 12 kWp DIY Multistring Solaranlage ausgestattet und dabei massiv Know How bezüglich Solarenergie und Speichertechnologie (LiFeP04) aufgebaut.

(viel YOUTUBE, Austausch mit Gleichgesinnten, Foren und Selbstversuche)

Diese DIY Anlage ist mittlerweile abgenommen und angemeldet.

2 EXPERTENWISSEN

2.1 Grundlagen



Zunächst einfache Grundlagen:

- Ein Stück Kabel hat den elektrischen **Widerstand R** [Ω]
- Eine angelegte **Spannung U** [V] bewirkt einen **Strom I** [A]
- Strom multipliziert mit Spannung ergibt **Leistung P** [W]
- Leistung integriert über die Zeit ist dann **Energie J** [Ws]
- Eine Batterie speichert Energie pro Zeiteinheit [kWh]
(oder Strom bei nahezu konstanter Spannung) [Ah]

Spannungen werden beispielsweise erzeugt durch Solarmodule. Je nach Temperatur und Lichteinfall kann dabei ein Strom getrieben werden. Dabei hat das Modul einen optimalen Arbeitspunkt an welchem am meisten Leistung generiert wird. (MPP)

Strom gilt es zu beherrschen. Viel Strom bei viel Widerstand ergibt viel Leistung auch an Stellen wo sie nicht erwünscht ist. (**Verluste= Wärme**) $[P=I^2 \cdot R]$

Installationen werden geschützt durch geeignete Querschnitte, Sicherungen und Isolierung.

2.1.1 Allgemeine Elektrotechnik

WEB:

„Die Elektrotechnik ist ein Teilgebiet der Ingenieurwissenschaften, das sich mit der Anwendung von Elektrizität und Elektronik befasst. Sie beschäftigt sich mit der Entwicklung, dem Entwurf, der Herstellung, dem Betrieb und der Wartung von elektrischen und elektronischen Geräten, Systemen und Anwendungen.“

2.1.1.1 Das Ohmsche Gesetz

Das Ohmsche Gesetz besagt, dass die Stärke I des elektrischen Stroms durch einen Leiter proportional zur elektrischen Spannung U ist.



<https://studyflix.de/elektrotechnik/ohmsches-gesetz-1819/video>

$$U [V] = I [A] * R [\Omega] \quad I [A] = \frac{U [V]}{R [\Omega]} \quad R [\Omega] = \frac{U [V]}{I [A]}$$

$$U [V] = I [A] * R [\Omega] = 5 [A] * 2,5 [\Omega] = \underline{\underline{12,5 [V]}}$$

Beispielrechnungen im Kapitel „Rechenbeispiele und Analysen“.

Siehe auch Kapitel: **7 Rechenbeispiele und Analysen zur Verdeutlichung**

2.1.1.2 Die Kirchhoffschen Regeln

Wiki:

„Die Kirchhoffschen Regeln werden im Rahmen der elektrischen Schaltungstechnik bei der Netzwerkanalyse verwendet. Sie unterteilen sich in zwei grundlegende und zusammenhängende Sätze, den Knotenpunktsatz und den Maschensatz, und beschreiben jeweils den Zusammenhang zwischen mehreren elektrischen Strömen und zwischen mehreren elektrischen Spannungen in elektrischen Netzwerken.“



<https://www.youtube.com/watch?v=spG8OBWOUYg>

2.1.1.2.1 Knotenpunktregel

- Die erste Kirchhoffsche Regel, auch Knotenregel oder Knotensatz genannt, besagt, dass die Summe aller Ströme an einem Knoten gleich Null sein muss.

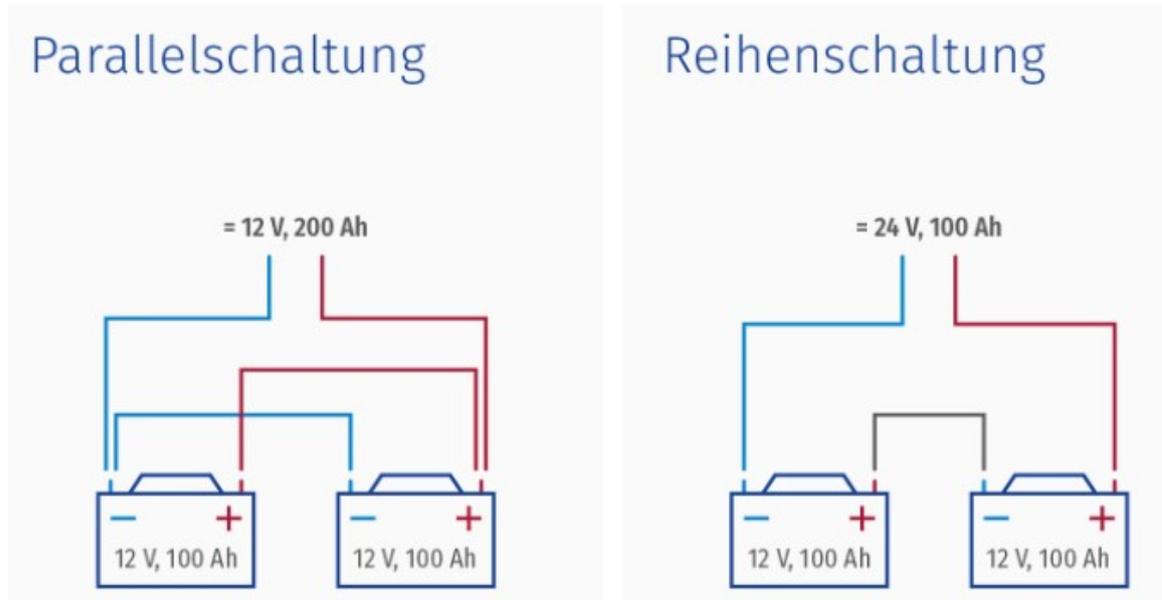
2.1.1.2.2 Maschenregel

- Die zweite Kirchhoffsche Regel wird auch als Maschenregel oder Maschensatz bezeichnet. Laut ihr ist die Summe der Spannungen in einer Masche gleich Null.

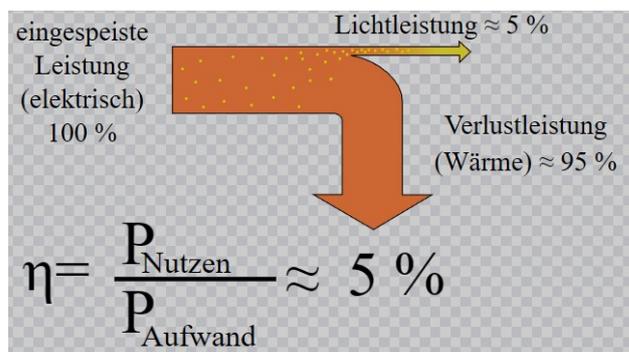
Siehe auch Kapitel: **7.2.1 Anwendung der Kirchhoffschen Knotenregel (Ströme)**

2.1.1.3 Reihenschaltung und Parallelschaltung

Eine Reihen- oder auch Serienschaltung bedeutet, dass die elektrischen Komponenten hintereinander, also in Reihe, geschaltet werden. Hierbei gibt es nur einen Stromkreis. Bei der Parallelschaltung hingegen entstehen mehrere Stromkreise, da jede elektrische Komponente einen eigenen Stromkreis hat.



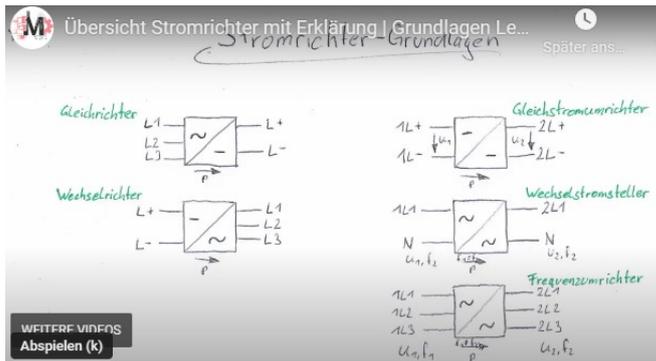
2.1.1.4 Wirkungsgrad



Der griechische Buchstabe Eta bezeichnet in der Physik den Wirkungsgrad und damit das Maß der Energieausnutzung.

100% Wirkungsgrad bedeutet keine Verluste. (ideal)

2.2 Stromrichtertechnik



<https://www.youtube.com/watch?v=O21RAvbb6po>

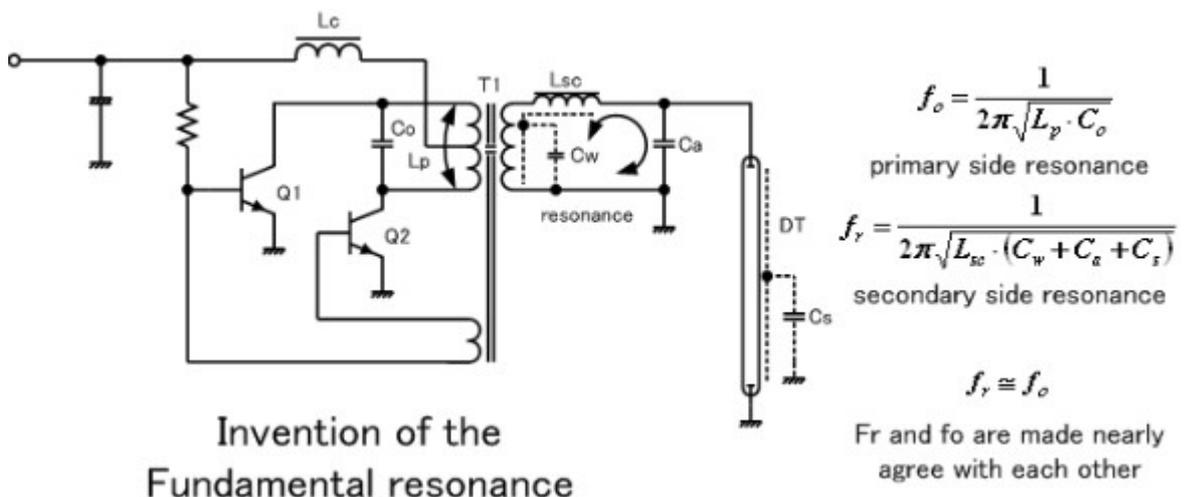
2.2.1 Leistungselektronik allgemein

Ströme [A] lassen sich kontrollieren, indem man gezielt die Spannungen beeinflusst. Dazu sind neben der Regelungstechnik Stromrichterschaltungen erforderlich. (Booster / DC Steller / Solarregler / Wechselrichter . . .)

DC Steller gliedern sich grob in 2 Varianten:

- Einfache **PWM** Zerhacker können die Leistung lediglich reduzieren.
- **Gleichspannungswandler** wandeln die eine am Eingang zugeführte Gleichspannung in eine Gleichspannung mit höherem, niedrigerem oder invertiertem Spannungsniveau um.

Das Prinzip dieser Gleichspannungsschalter (Wikipedia / Gleichspannungswandler) spielt in Photovoltaik und in der Fahrzeugtechnik eine bedeutende Rolle. Nur mit dieser Stromrichterschaltung ist MPP mit T (im Gegensatz zu PWM) erst möglich. (T für Tracking ist dann das suchen des **optimalen Arbeitspunktes** des Panels bei sich ändernden Bedingungen **MPPT**) Stromrichtertechnisch werden dabei Energiespeicher (Kondensator und Spule) geschickt kombiniert um Strom und Spannung einzustellen. (je nach Auslegung)



Nur ein **willkürliches Schaltungsbeispiel** welches den höheren Aufwand zu PWM verdeutlichen soll.

Gilt nicht nur für Solarregler.

2.2.2 DC DC Steller

Konvertiert 12V in 24 V oder umgekehrt.
Auch andere Spannungen möglich.

Um Ladeströme einer Batterie zu kontrollieren werden zunehmend nur noch DC DC Steller eingesetzt. (statt PWM oder Trennrelais)

Die 3 im Wohnmobil verbreiteten Arten sind im Folgenden aufgelistet.

2.2.2.1 Ladebooster

Wohnmobile haben für die Stromversorgung der Wohnraum-Elektrik eine Zusatzbatterie. Damit diese Wohnmobilbatterie während der Fahrt genauso von der Lichtmaschine geladen werden kann, wie die Starterbatterie, braucht es eine Verbindung zwischen den beiden Batterien. Diese Verbindung muss im Stand aber getrennt sein, damit die Starterbatterie im Stand nicht über das Bord Netz vom Wohnraum entladen werden kann und somit immer startbereit bleibt.

Die einfachste Verbindung der beiden Batterien ist ein Trennrelais, welches bei laufendem Motor automatisch beide Akkus miteinander verbindet. Wird der Motor abgestellt, trennt das Relais wieder und die zwei Batterien sind getrennt.

Ladebooster ersetzen das Trennrelais und übernehmen die Funktion der Batterieladung während der Fahrt. Dabei arbeiten Ladebooster wie ein richtiges Ladegerät, das sich mit Strom aus der Starterbatterie versorgt, und die Bordbatterie schonend nach Ladekennlinie lädt.

Ladebooster überwachen die Spannung der Starterbatterie und schalten sich erst dann ein, wenn die Starterbatterie ausreichend geladen ist. So wird sichergestellt, dass die Starterbatterie vorrangig geladen wird. Wenn die Lichtmaschine nicht arbeiten würde, würde sich auch der Ladebooster abschalten.

Der Vorteil von Ladebooster ist, dass egal wie oft und lange das Wohnmobil unterwegs ist, die Bordbatterie kann nie überladen werden. Selbst wenn man mit voller Wohnmobilbatterie startet, erkennt der Ladebooster dies, stoppt die Ladung und schaltet auf Ladeerhaltung der Bordbatterie - egal, wie lange die Fahrt dauert..

2.2.2.2 Ladegerät

Ein Ladegerät ist ein spezielles Gerät zum Wiederaufladen von Akkumulatoren. Die im Gerät enthaltene elektronische Schaltung, der Laderegler, steuert den Ladevorgang und setzt das Ladeverfahren um. Die Stromversorgung eines Ladegerätes erfolgt in der Regel aus dem verfügbaren 230V Netz im Wohnmobil.

2.2.2.3 Solarregler

Ein Solarladeregler ist ein elektronisches Gerät, das den Ladestrom von Solarmodulen regelt und die Batterien vor Überladung oder Tiefentladung schützt.

Er wird in Solarstromanlagen eingesetzt, um eine maximale Effizienz und Lebensdauer der Batterien zu gewährleisten.

2.2.3 Wechselrichter

Ein Wechselrichter (auch Inverter) ist ein elektrisches Gerät, das Gleichspannung in Wechselspannung umwandelt.

Tipp:

- Abhängig vom Verwendungszweck sind umfangreiche Punkte wie FI Schutz, Netzvorrangschaltung oder Landstrombegrenzung zu beachten.
- In einfachen Fällen (1 Verbraucher bei sporadischer Nutzung) reichen auch preiswerte Modelle mit reiner Sinus Kurve.
- Wechselrichter sollten bei Nichtverwendung abgeschaltet werden. (Eigenverbrauch)
- Hochfrequenztechnik gehört die Zukunft. (kompakt und effizient)

- **Einphasig**

Die Regel im Wohnmobil

- **Wechselrichterleistung**

Wird als Schein- und als Wirkleistung angegeben.
In öffentlichen Stromnetzen (Energietechnik) wird immer die Scheinleistung betrachtet, in Wohnmobilen eher die Wirkleistung.

- **Einschaltdauer ED**

Als Einschaltdauer (ED) bezeichnet man ein maximal zulässiges Betriebsintervall eines Betriebsmittels, nach dem eine Ruhephase zu erfolgen hat, um das Betriebsmittel nicht zu beschädigen oder zu zerstören. Die Nennbetriebsarten sind u. a. in der DIN VDE 0530-1 festgelegt.

VDE 0530-1	Betriebsart
S1	Dauerbetrieb, konstante Belastung
S2	Kurzzeitbetrieb, konstante Belastung
S3	Aussetzbetrieb ohne Einfluss des Anlaufens auf die Temperatur
S4	Aussetzbetrieb mit Einfluss des Anlaufens auf die Temperatur
S5	Aussetzbetrieb mit Einfluss des Anlaufens & Bremsen auf die Temperatur
S6	Durchlaufbetrieb mit Aussetzbelastung
S7	Dauerbetrieb mit Anlauf & Bremsen
S8	Dauerbetrieb mit Laständerung

2.2.3.1 Eigenschaften und Zusatzfunktionen von WoMo Wechselrichtern

- **Integriertes Erdungsrelais**

Relevant bei PV Wechselrichtern um ein TN Netz zu erhalten welches dann per FI Schutzschalter abgesichert wird. (bei 230V Verteilung im WoMo mit mehreren Verbrauchern)

- **Integriertes Ladegerät**

Möglichkeit die Energierichtung umzukehren um die DC Batterie zu laden.

- **Integrierte Netzvorrangschaltung**

Es gibt Wechselrichter mit mehreren AC Anschlüssen. Sobald AC IN und AC OUT existieren ist eine automatische Durchschaltung des AC Eingangs (in der Regel Landstrom) auf den Ausgang (in der Regel das WoMo 230V Netz) möglich.

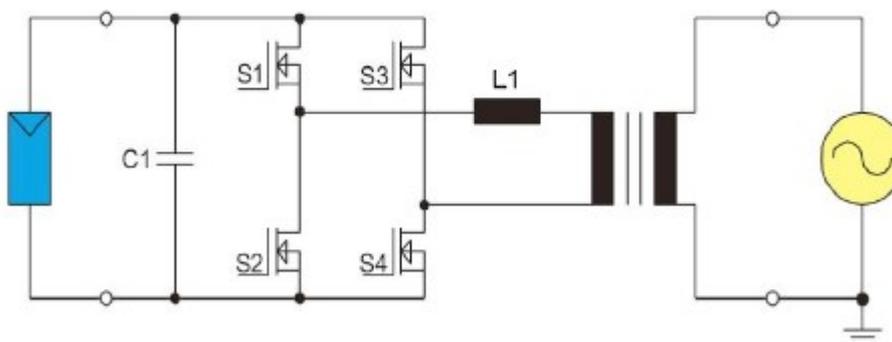
- **Landstrombegrenzung**

Besondere Form des Durchschaltens. Hier wird ggf. um Energie aus der Batterie (wechselrichten) ergänzt wenn ein bestimmter Schwellwert beim Bedarf überschritten wird.

- **HF Technik vs. NF Technik mit Ausgangs Trafo**

HF Technik siehe auch Kap. Grundlagen DC Steller.

Wechselrichter mit Trafo



Niederfrequenz-Wechselrichter haben gegenüber Hochfrequenz-Wechselrichtern in zwei Bereichen Vorteile: Spitzenleistungskapazität und Zuverlässigkeit. Niederfrequenz-Wechselrichter sind dafür ausgelegt, über längere Zeiträume höhere Leistungsspitzen zu bewältigen als Hochfrequenz-Wechselrichter.

- Vorteil HF: Gewicht, Wirkungsgrad,
- Nachteil HF: Elektro Smog, Überlastfähigkeit

2.3 Regelungstechnik

In Autarkie Paketen mit LiFePO4 Accus sind verschiedene Regler im Eingriff.
(Ladegerät, Ladebooster, Solarregler etc.)

2.3.1 Definition Regelungstechnik

Die Norm DIN IEC 60050-351 enthält folgende Definition des Begriffs Regelung:

Die Regelung bzw. das Regeln ist ein Vorgang, bei dem fortlaufend eine Größe, die Regelgröße, erfasst, mit einer anderen Größe, der Führungsgröße, verglichen und im Sinne einer Angleichung an die Führungsgröße beeinflusst wird.

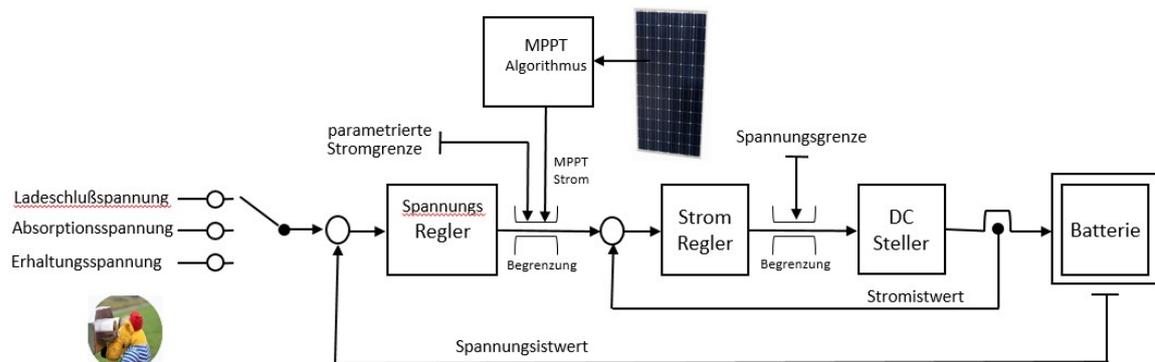
Kennzeichen für das Regeln ist der geschlossene Wirkungsablauf, bei dem die Regelgröße im Wirkungsweg des Regelkreises fortlaufend sich selbst beeinflusst.

2.3.1.1 Beispiele und Blockschaltbild Solarregelkreis

Im YOUTUBE Kanal „Der Elektroniker“ wird das sehr anschaulich erklärt.

<https://www.youtube.com/watch?v=kBQID-ocK2Y&t=68s>

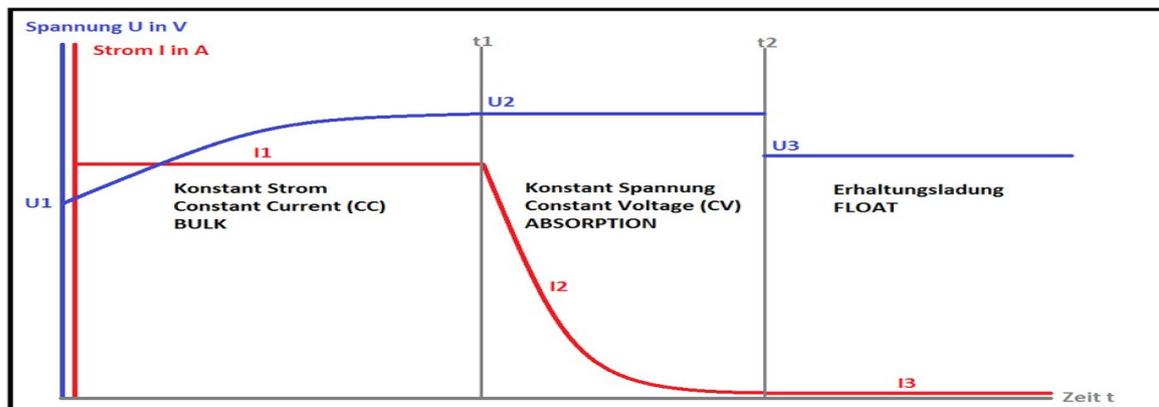
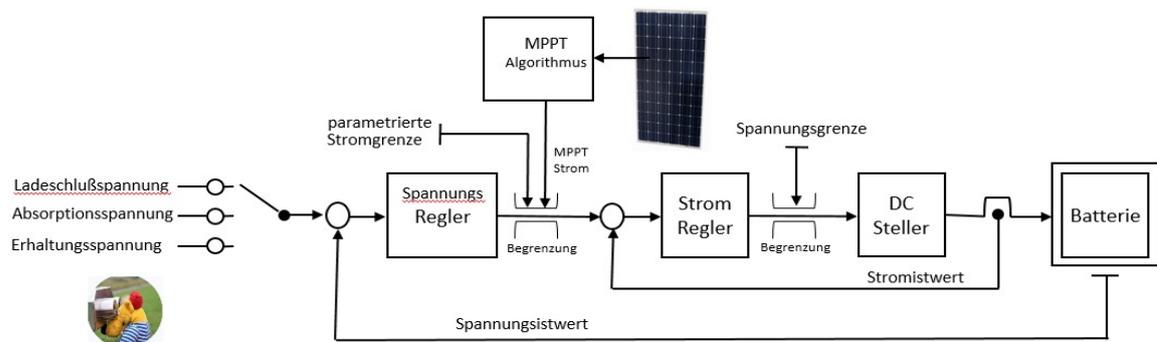
Auf dieser Basis wird im Folgenden die Regelungsstruktur eines Solarladereglers einer Aufbauatterie im Wohnmobil abgebildet.



Tipp:

- Die offengelegte transparente Parametrierung aller Geräte muss vorliegen. (Charakteristische Parameter müssen identisch sein)
- Bei größeren Anlagen (mehr als 6 Geräte) auf Koordination (Bussystem) achten.
- Schalthandlungen an der Batterie vermeiden.
- Bei Nachrüstungen der ausführenden Werkstatt mit diesem Dokument auf den Senkel gehen.

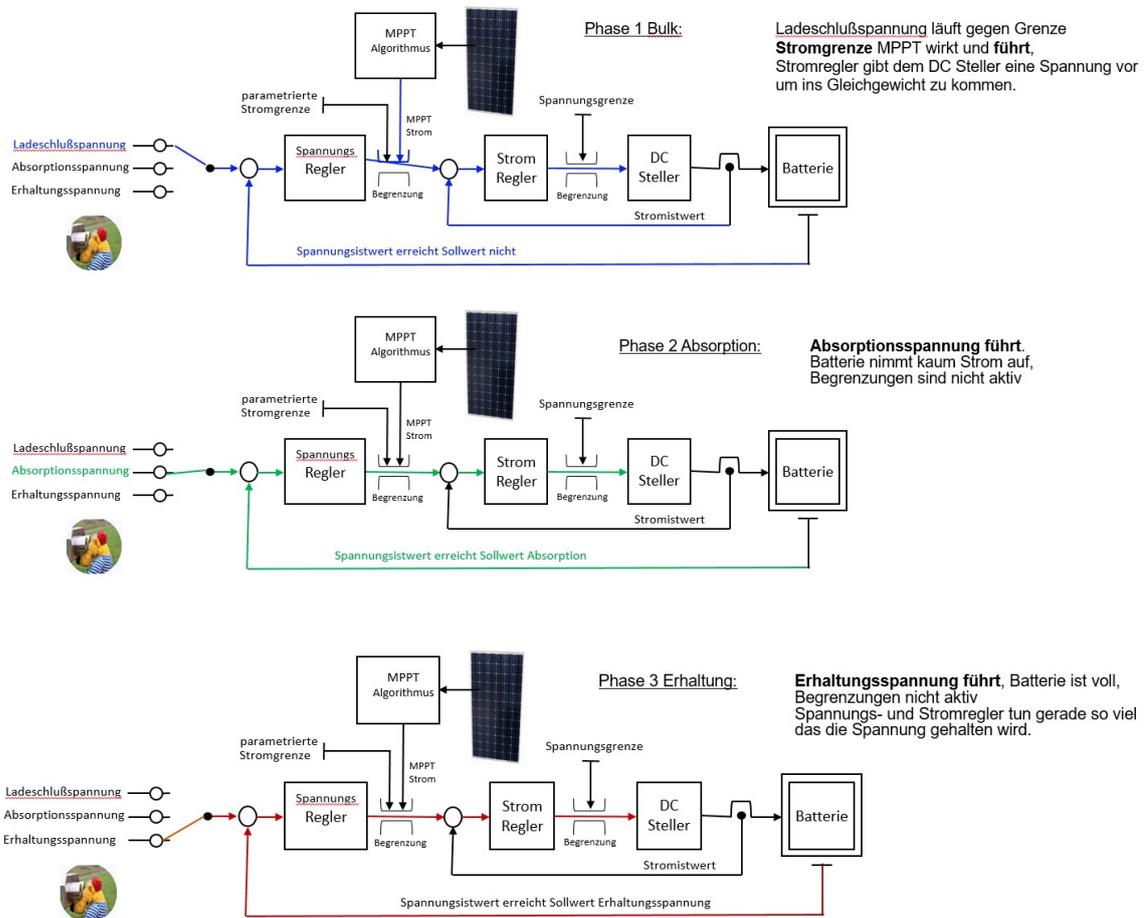
Name	Lenkung eines KFZ	Temperaturregelung	Aufbaubatterie
Regelgröße x	Fahrtrichtung	Raumtemperatur	S O C
Stellgröße y	Winkel d. Lenkrads	Ventilsteuerung	DC Steller im WoMo (Solarregler)
Sollwert w	Straßenverlauf	Soll Temperatur	Ladespannung
Störgrößen z	Gegenverkehr, Umleitung, Tiere . .	Offene Fenster / Türen Personen im Raum	Schatten, Nacht, Sonnenstand (Azimut)
Regelstrecke	Lenkanlage (Lenkrad bis Vorderräder)	Heizkörper, Raum	Panels, Kabel, Solarregler (DC Steller) Batterie
Regler (Regeleinrichtung)	Mensch am Lenkrad	Thermostat	- MPPT Regler - Spannungsregler - Stromregler
Stellglied	Lenkrad	Ventil	DC Steller
Sensor	Auge des Fahrers	NTC, Bimetall Streifen	Mess Shunt (Strom) BMS (Spannung)



Annahme: alle Regler mit PI Verhalten.

2.3.1.2 Blockschaubild der Betriebszustände einer Regelung WoMo Batterie

In der folgenden Grafik sind nun die 3 Betriebsarten farblich verdeutlicht.



Wichtiger Hinweis: Regelkreise funktionieren immer nur bei stabilem Istwert. Das ist hier der Spannungswert. Schalthandlungen wirken hier fatal. Der zugehörige Regler kommt aus dem Gleichgewicht und läuft gegen den oberen Anschlag. Überspannungen im System sind die Folge.

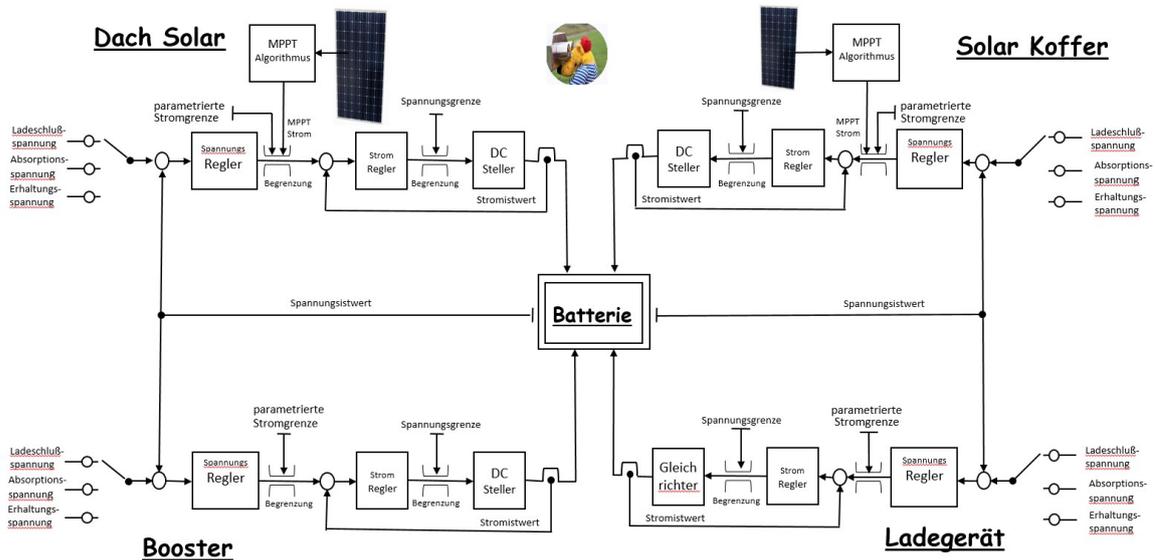
Schalthandlungen im wichtigen Spannungswert können durch das BMS verursacht werden. Speziell sind das Grenzwerte des BMS Settings und Schalter an der Batterie.

WICHTIG: Schalthandlungen der Batterie vermeiden!
 (oder alle Zustände sicher beherrschen)

2.3.2 Fazit und Blockschaltbild Regulationsstruktur WoMo Batterie

Nun sind im durchschnittlichen Wohnmobil mit Lithium Batterie in der Regel mehr als 3 Lademöglichkeiten realisiert.

Das folgende Blockschaltbild zeigt die typische Struktur bei 4 Reglern.



Diese 4 Regelkreise wirken auf eine gemeinsame Batterie. (einen Batterieverbund)
 Man erkennt deutlich dass bei Stand Alone der einzelnen Kreise alle Parametersätze 4 Fach vorhanden sind.

Wichtig ist es nun das diese Parametrierung in sich schlüssig erfolgt.

Schlechtes Beispiel: wenn nun Dach Solar, Solar Koffer und Booster jeder für sich täglich in den Absorptions Mode gehen stresst das sicher die Batterie.

Hinweis: bei professionellen größeren Anlagen sind alle Komponenten per technologischem Bussystem synchronisiert.
 (zumindest alle Regler, in Perfektion incl. Batterie BMS)

Siehe auch: DVCC Distributed Voltage and Current Sense
 SVS Shared Voltage Sense
 SCS Shared Current Sense

→ namhafter Hersteller.

Das Themenfeld Multi Control wird in diesem Dokument auch in den Kapiteln „Bussysteme“ und „Settings“ abgehandelt. **Kap.: 5.2**

Die Thematik Ladephasen wird im Kapitel „Abstimmung der Einstellungen“ abgehandelt

Fazit:

- bei größeren Anlagen (ab 4 - 6 Regelkreise) ist Koordination der Kreise erforderlich. (siehe Bussysteme oder Smart Networking via Bluetooth)
- Schalthandlungen tunlichst vermeiden.

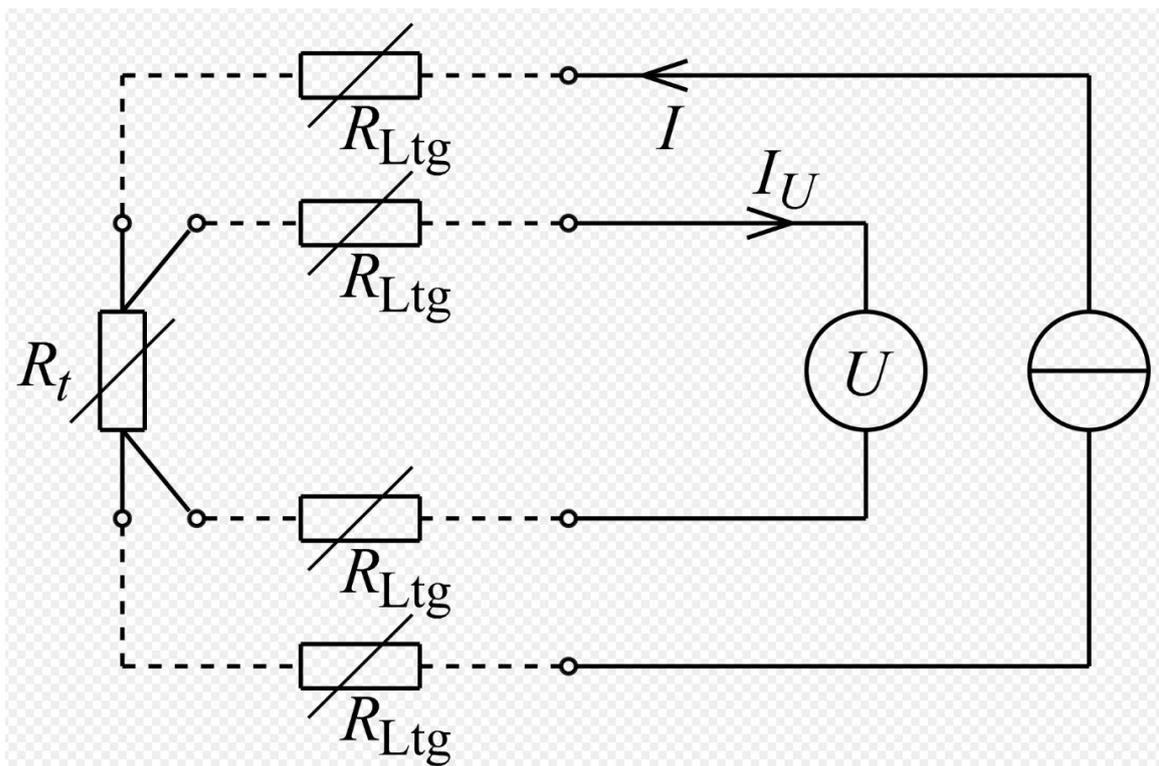
2.4 Messtechnik

Wiki:

„Die Messtechnik befasst sich mit Geräten und Methoden zur Bestimmung (Messung) physikalischer Größen wie beispielsweise Länge, Masse, Kraft, Druck, elektrische Stromstärke, Temperatur oder Zeit. Wichtige Teilgebiete der Messtechnik sind die Entwicklung von Messsystemen und Messmethoden sowie die Erfassung, Modellierung und Reduktion (Korrektur) von Messabweichungen und unerwünschten Einflüssen. Dazu gehört auch die Justierung und Kalibrierung von Messgeräten sowie die korrekte Reduktion der Messungen auf einheitliche Bedingungen.“

2.4.1 Vierleitermessung

„Die Vierleitermessung wird bei der Messung von elektrischen Widerständen mit einem Vierleiteranschluss eingesetzt, wenn Leitungs- und Anschlusswiderstände die Messung verfälschen können. Bei der Vierleiter-Messanordnung fließt über zwei der Leitungen ein bekannter elektrischer Strom durch den Widerstand. Die am Widerstand abfallende Spannung wird hochohmig über zwei weitere Leitungen abgegriffen und mit einem Spannungsmessgerät gemessen; der zu messende Widerstand wird daraus nach dem ohmschen Gesetz berechnet. Das Prinzip gilt analog bei der Strommessung mittels eines niederohmigen Shunts; hierbei wird die Unbekannte Stromstärke durch einen bekannten Widerstand mittels der abfallenden Spannung ermittelt.“ (Quelle Wiki)



Vierleitermessung: Gemessen wird die Spannung über dem Widerstand alleine.

Hinweis: Moderne vernetzbare Systeme übertragen oft die Messsignale intelligent über das Bussystem was den Verdrahtungsaufwand deutlich reduziert und Genauigkeit und Funktionalität des Gesamtsystems deutlich steigert.

2.4.2 Mess- Shunt (Auflösung und Genauigkeit)

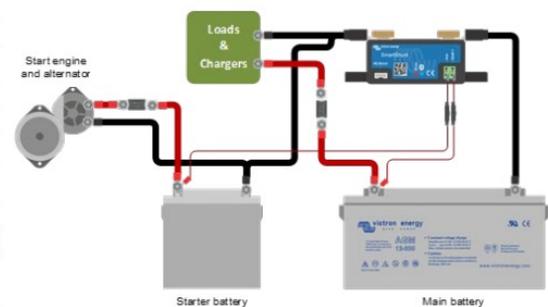
Der Begriff Shunt hat sich weiterentwickelt und bezeichnet auch einen **Strommesswiderstand**, das ist ein niederohmiger elektrischer Messwiderstand, vielfach ausgestattet mit getrennten Strom- und Spannungsklemmen. Dieser wird unmittelbar in die stromführende Leitung eingefügt.

Durch das zu dieser Art von Shunt parallelgeschaltete Spannungsmessgerät wird nur ein meistens vernachlässigbar kleiner Strom abgeleitet.

Der **Smart Mess-Shunt** ist ein Batteriewächter.

Er misst Batteriespannung und -strom. Auf der Grundlage dieser Messungen berechnet es den Ladezustand, die Restlaufzeit und verfolgt Verlaufsdaten, wie z.B. die tiefste Entladung, die durchschnittliche Entladung und die Anzahl der Zyklen.

SmartShunt	300 A / 500A / 1000A / 2000A
Spannungsbereich Stromversorgung	6,5 - 70 VDC
Stromaufnahme	< 1 mA
Bereich der Eingangsspannung, Zusatzbatterie	6,5 - 70 VDC
Batteriekapazität (Ah)	1 - 9999 Ah
Betriebstemperaturbereich	-40 +50 °C (-40 – 120 °F)
Misst Spannung einer zweiten Batterie, Temperatur oder Mittelpunkt	Ja
Temperaturmessbereich	-20 +50 °C
VE.Direct Kommunikationsanschluss	Ja
AUFLÖSUNG UND GENAUIGKEIT	
Strom	± 0,01 A
Spannung	± 0,01 V
Amperestunden	± 0,1 Ah
Ladezustand (0 – 100 %)	± 0,1 %



Messung der Spannung der Starterbatterie

Auflösung Strom ± 0,01 A

Genauigkeit Strommessung ± 0,4%

Was bedeutet das?

Der kleinste abbildbare Strom beträgt 10 mA. → 3 Wh/Tag

Bezogen auf den Messbereich ergibt sich bei der Genauigkeit:
 Bei einem 500A Shunt sind 4% 2A → 616 Wh/Tag

2.5 Stromspeicher (Batterien)

Tipp:

- Kaum irgendwo werden Mythen so generiert und gepflegt wie bei Lithium Batterien für Wohnmobile.
- Nahezu alle standardisierten LiFePo4 Zellen werden in China entwickelt und produziert. (Wer das anders behauptet sollte gemieden werden)
- Qualitätsmerkmale sind für den Kunden schwer erkennbar. Der Preis lässt sich zur Bewertung der Qualität eben so wenig heranziehen wie der Eindruck der APP.
- Ein aktiver, leistungsstarker Ballancer ist kein Indiz für gute Qualität der Batterie. Im Gegenteil.
- Man kauft preiswert auf eigenes Risiko oder man hat wirklich guten erwiesenen Support durch den Händler. (**nicht zu verwechseln mit Marktschreierei**)
- Transparenz (Offenlegung der Parametrierung und Grenzwerte sowie Offenlegung der Produktionsprotokolle) wirkt vertrauensbildend.

Der Lithium-Eisenphosphat-Akkumulator (Lithium-Ferrophosphat-Akkumulator, LFP-Akku) ist eine Ausführung eines Akkumulators mit einer Zellenspannung von 3,2V bis 3,3V. Die positive Elektrode besteht aus Lithium (LiFePO4) anstelle von herkömmlichem Lithium-Kobalt(III)-oxid (LiCoO2).

Die negative Elektrode besteht aus Graphit mit eingelagertem Lithium.

LFP Akkus werden auch als LiFePo4 Akkus bezeichnet.

→ Nicht zu verwechseln mit NMC Akkus wie sie in Handys und elektrischen Geräten vorkommen.

Bezeichnung	Positive Elektrode: Materialien ^[39]	Abkürzungen	Zell-Spannung	typ. Betriebsbereich	Laden (Ladeschluss-Spannung)	Entladen (Cut-Off-Spannung)	Spezifische Energie in Wh/kg	Ladezyklen
Lithium-Cobaltdioxid-Akkumulator	LiCoO ₂	ICR, LCO	3,6 V	3,0-4,2 V	0,7-1C (4,2 V)	≤ 1C (2,5 V)	150-200	500-1000
Lithium-Mangan-Akkumulator	LiMnO ₂ / LiMn ₂ O ₄	IMR, LMO, LMS	3,7-3,8 V	3,0-4,2 V	0,7-1C (4,2 V)	1C, Hochstrom: 10C (2,5 V)	100-150	300-700
Lithium-Nickel-Mangan-Cobalt-Akkumulator	LiNi _x Mn _y Co _z O ₂	INR, NMC, NCM	3,6-3,7 V	3,0-4,2 V	0,7-1C (4,2 V)	1C, Hochstrom: 2C (2,5 V)	150-220	1000-2000
Lithium-Nickel-Cobalt-Aluminium-Akkumulator	LiNi _x Co _y Al _z O ₂	NCA	3,6 V	3,0-4,2 V	0,7C (4,2 V)	1C (3,0 V)	200-260	500
Lithium-Eisenphosphat-Akkumulator	LiFePO ₄	IFR, LFP	3,2-3,3 V	2,5-3,65 V	1C (3,65 V)	1C, Hochstrom: 25C (2,5 V)	90-120	2000 und mehr
Lithium-Mangan-Eisenphosphat-Akkumulator	LiMn _x Fe _y PO ₄	LMFP	3,4-4,0 V ^[40]	3,8 V ^[40]	(vergleichbar LiFePO ₄ – höhere Spannung bringt mehr Wh/kg)			

Tabelle einiger Lithium Zell Chemikern aus Wiki.

2.5.1 Aufbauformen LiFePo4 Akkus



Prismatische Zelle



Rundzelle

Das sind die gängigsten standardisierten Zellenformen aus der Massenfertigung. An beiden Aufbauformen wird geforscht und weiterentwickelt. Beide Aufbauformen haben ihre Berechtigung.

2.5.2 Qualitätsmerkmale der Zellen

Die Hersteller stufen die angebotenen Zellen nach Grade A und Grade B ein. (mitunter auch Grade C)

Diese Grades sind nicht genormt. (kann also willkürlich sein)

2.5.2.1 Grade B

Wurde bei der Qualitätsprüfung durch den Hersteller (Großkunden) herabgestuft. (Oder sie sind beispielsweise beim Matching unberücksichtigt geblieben)

2.5.2.2 Grade A

Erfüllung aller Zellspezifikationen der Hersteller durch Test (Großkunden)

2.5.2.3 Grade A mit Protokoll

Das Prüfprotokoll des Zellenherstellers jeder Zelle liegt dieser bei (oder QR Code)

Grade A mit Protokoll und Zusatzdaten sortiert und gematcht

Die höchste Qualitätsstufe.

Diese Zellen werden einem speziellen standardisierten Testverfahren unterzogen und die gewonnenen Daten ermöglichen es als „digitaler Zwilling“ hochpräzise Berechnungen (z.B. SOC) pro gefertigtem Akku durchzuführen.

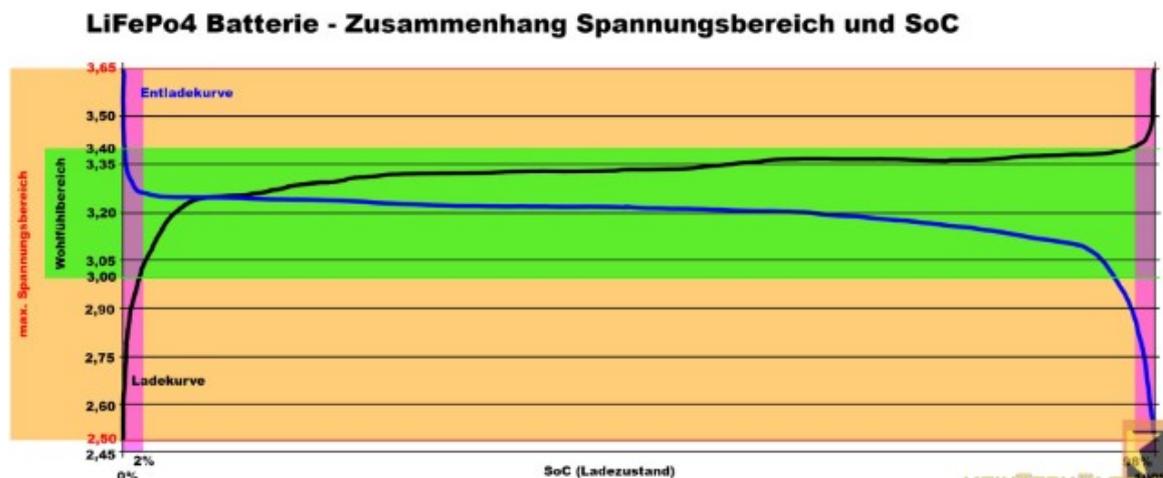
Für z.B. einen 4er Akku (12,8V) werden immer anhand der Daten optimale Pakete zusammengestellt.

2.5.3 Spannungsbereich der LiFePO4 Zelle

Spannungsverlauf bei Ladung und Entladung an einer LiFePO4-Zelle. Typisch die über einen weiten Ladungsbereich kaum veränderliche Zellspannung

Die genauen Spannungen differieren leicht zwischen den Zelltypen und Herstellern, im Anwendungsfall sind sie dem jeweiligen Datenblatt zu entnehmen. Die Ladeschlussspannung liegt in der Regel bei 3,6–3,65V. Die Schutzschaltungen gegen Überladung sprechen meist bei 3,8V an.

Die Entladeschlussspannungen sind je nach Typ verschieden und liegen meist bei 2,0V, bei manchen Typen auch knapp darüber im Bereich um 2,5V. Im Bereich der Ladung von 10% bis 90% zeigen die Zellen sowohl bei Aufladung als auch bei Entladung nur eine geringe Veränderung der Zellspannung, wie im nebenstehenden Diagramm mit der Zellspannung als Funktion der Ladung für eine LiFePO4-Zelle mit einer Nennkapazität von 2,3Ah dargestellt.



Im Bereich des Entladeschlusses, im Diagramm das Ende im Verlauf der roten Linie im rechten Bildbereich, und im Bereich des Ladeschlusses, im Diagramm das Ende im Verlauf der grünen Linie im rechten Bildbereich, ist eine starke Spannungsreduktion (bei Entladung) bzw. ein starker Spannungsanstieg (bei Aufladung) vorhanden. Leicht reduzierte Ladeschlussspannungen (3,4–3,5V) und verringerte Entladetiefen wirken sich positiv auf die nutzbare Zyklen Anzahl und damit die Lebensdauer aus.

Schutzabschaltung einer LiFePO Batterie MAX:

8 mal 3,8V = 30,4V (4S = 15,2V)

Schutzschlthandlungen sind zu vermeiden! Das müssen vorher Regelreise richtig abhandeln!

Zelle	2,9	3,0 V	3,1	3,2 V	3,3 V	3,4 V	3,5 V	3,6 V	3,7 V	3,8 V
4S	11,6 V	12 V	12,4 V	12,8 V	13,2 V	13,6 V	14,0 V	14,4 V	14,8 V	15,2 V
8S	23,2 V	24 V	24,8 V	25,6 V	26,4 V	27,2 V	28 V	28,8 V	29,6 V	30,4 V

12V bis 13,6V entspricht SOC von 0% bis 100%

<https://meintechblog.de/2022/12/13/operation-hausspeicher-lifepo4-zellen-und-die-richtigen-spannungseinstellungen/>

2.5.4 B M S (Batterie Management System)

Ein Batteriemanagementsystem (BMS) oder einfach Batteriemangement ist eine Maßnahme, meist jedoch eine elektronische Schaltung, welche zur Überwachung, Regelung und zum Schutz von Akkumulatoren dient.

Dabei handelt es sich z. B. um Ladezustandserkennung, Tiefentladeschutz, Überladeschutz oder auch um komplexe Systeme mit Datenschnittstellen. In vielen mobilen Geräten umfasst das BMS auch die automatische Umschaltung der Stromversorgung je nachdem, ob ein Ladegerät oder eine begrenzt speisefähige Datenschnittstelle (USB) angeschlossen ist.

Teilweise werden auch Betriebsdaten angezeigt oder für Servicezwecke gespeichert.

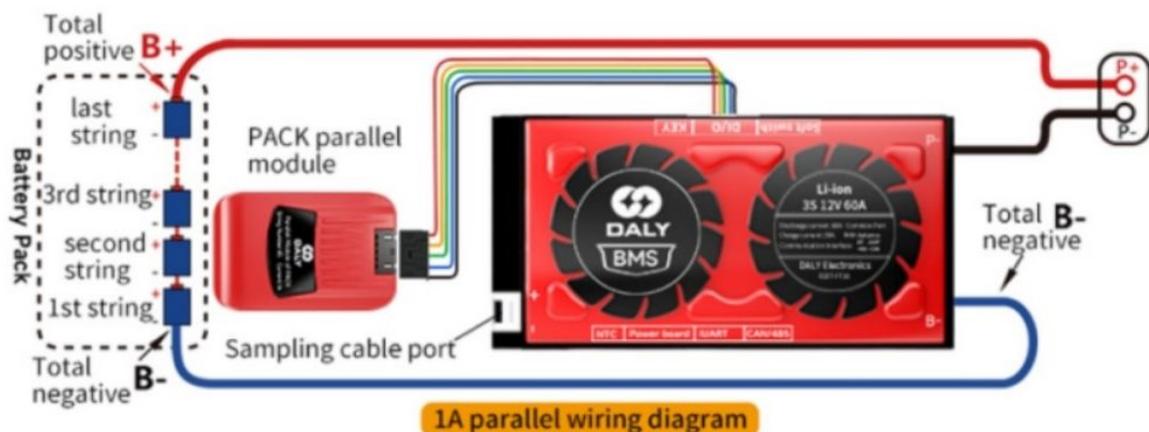
BMS sind insbesondere bei der Reihenschaltung mehrerer Akkuzellen zu einer Batterie bei Lithium Akkus notwendig.

2.5.5 Ballancer

Der Begriff englisch Ballancer (auf Deutsch etwa Ausgleichsregler) bezeichnet eine elektronische Schaltung, die üblicherweise Teil eines Batteriemanagementsystems ist. Sie soll die gleichmäßige elektrische Ladungsverteilung aller ähnlich aufgebauten, aber durch Fertigungstoleranzen und Alterung in elektrischer Hinsicht leicht unterschiedlichen galvanischen Zellen innerhalb eines Akkupacks gewährleisten. Damit wird ein Kompromiss in Bezug auf nutzbare Kapazität und Schutz einzelner Zellen vor kritischen Ladezuständen erreicht.

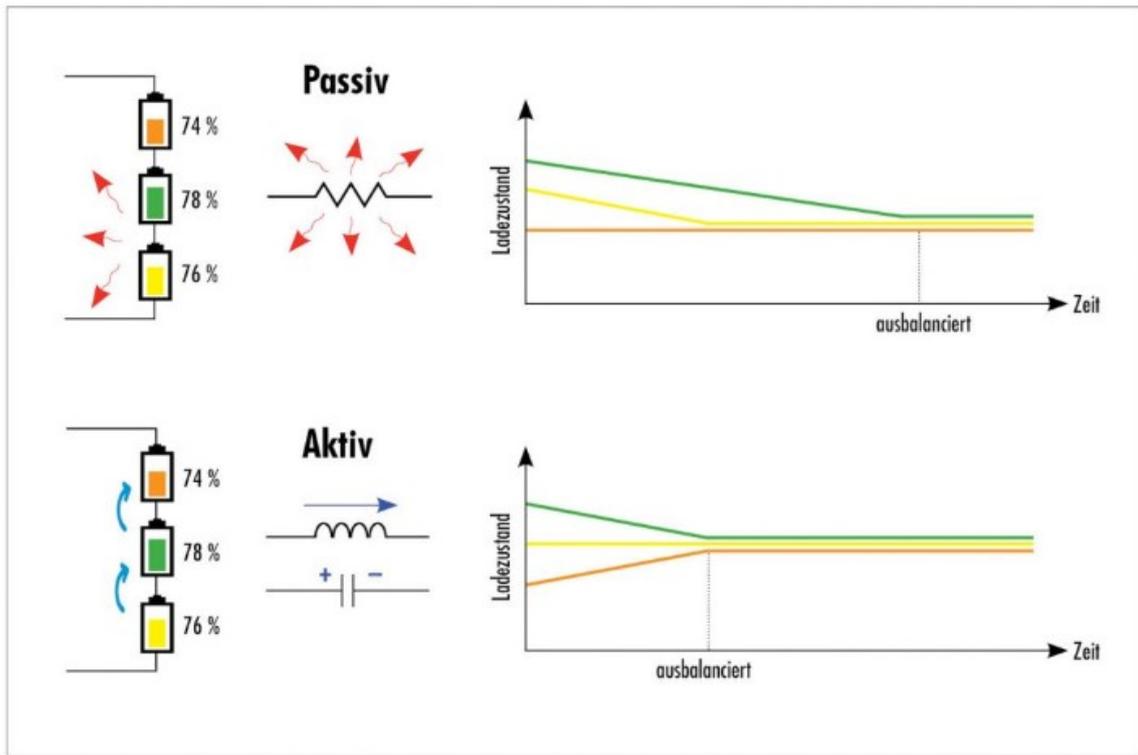
2.5.5.1 Beispiel DALY BMS mit aktiven Ballancer

Die 3 DIY Speicher des Verfassers sind einem DALY BMS mit integriertem passiven Ballancer versehen.



2.5.5.2 Aktiver / passiver Ballancer

Aktive Ballancer laden die Energie von Zelle zu Zelle um.
Passive Ballancer verbrauchen überschüssige Energie pro Zelle.



Quelle: <https://www.elektroautomobil.com/newsbeitrag/die-richtige-balance/>

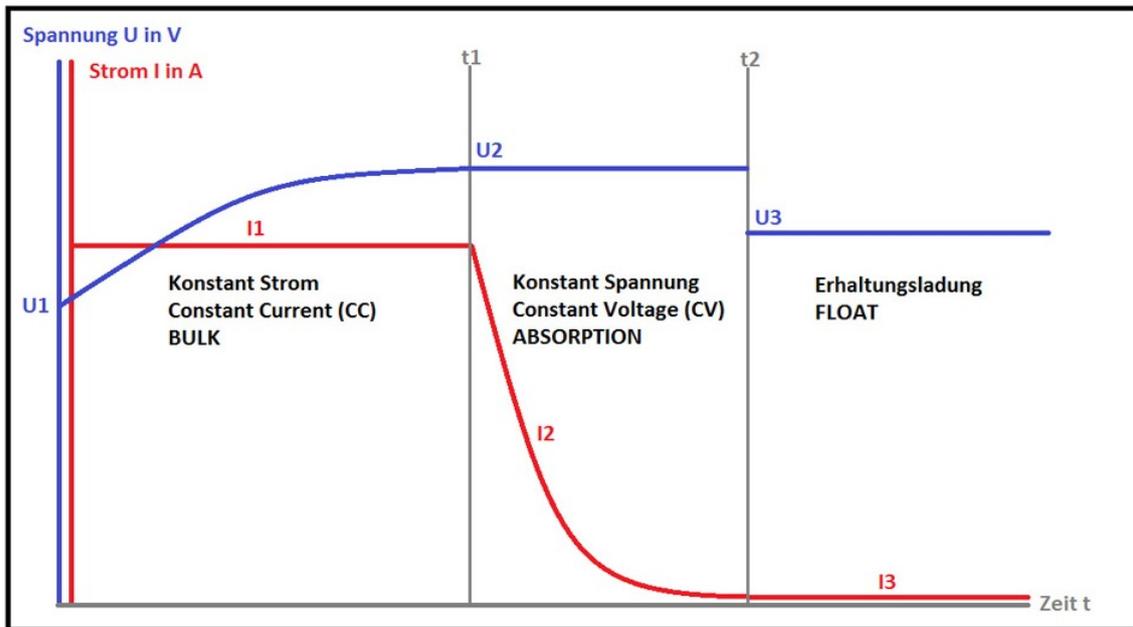
Ein Vergleich zwischen aktivem und passivem Balancing:

Beim passiven Verfahren wird ein drohendes „Überschwappen“ der Zelle durch einfaches „Verheizen,“ an einem Widerstand verhindert.

Beim aktiven Balancing wird die Energie zwischen den Zellen verteilt und nichts geht verloren.

Hinweis: Ballancer sollten gezielt freigeschaltet werden.
Empfehlung ist ganz klar „**Top Balancing**“ da dir WoMo Akku in der Regel häufig in dieser „Region“ geladen wird.

2.5.6 Ladekurve (I / U Kurve)



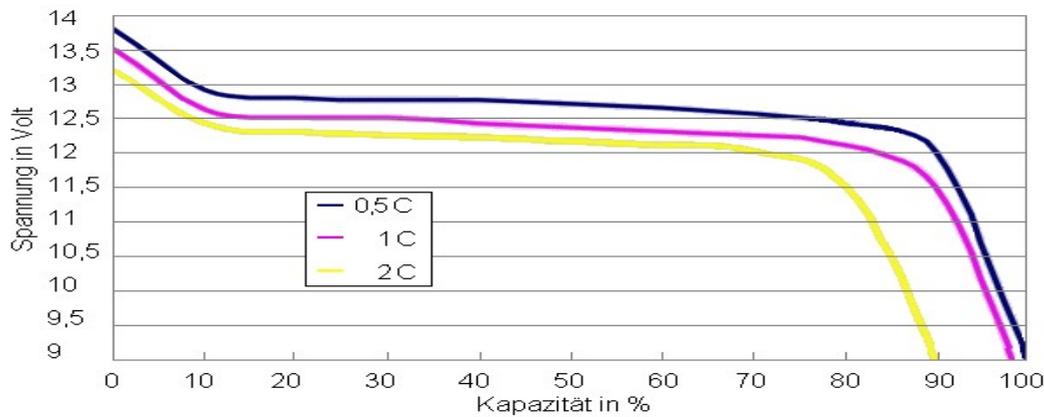
Zeiten: Die Bulk Phase richtet sich nach dem Entladezustand des Akkus und der Höhe des Ladestroms
Die Absorptionsphase (zwischen t1 und t2) beträgt mindestens 60 und höchstens 120 Minuten
Die Erhaltungsladung schwingt sich je nach eingestellter Spannung ein und hält die Akkukapazität stabil

Strom: Der maximale Ladestrom $I1=100A$ ist abhängig von der Ladetechnik und vom BMS
In der Absorptionsphase fällt der Strom mit fortgeschrittenem Ladezustand gegen Null ab
Bei der Erhaltungsladung liegt $I3 < 0A < -2,5A$ bis ca. 60 Prozent der Akku Kapazität erreicht sind

Spannung Die Ladespannung beginnt mit U1 in Abhängigkeit des Ladezustands
In der Bulk Phase ist die Ladespannung U2 mit 14,4 Volt eingestellt
Werden 14,4 Volt erreicht bleibt die Spannung konstant und es startet die Absorptions Phase
Ist die Absorptionsphase beendet (Zeit maximal 120 Minuten / I gegen Null) beginnt die Erhaltungsladung und für die Spannung U3 gibt es zwei Zustände

2.5.7 SOC Bestimmung

Hier werden zunächst einige Grundlagen und anschließend einige Wechselwirkungen aufgezeigt.



Das Bild zeigt typische Diagramme von LFP-Akkus.

- Die Spannung verhält sich nicht linear.
- Die Spannung variiert auch in Abhängigkeit vom Strom.



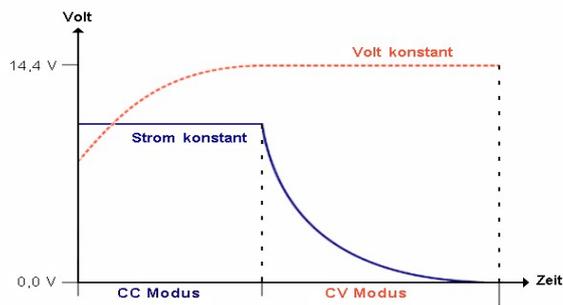
Der SOC einer LiFePo4-Batterie lässt sich nicht einfach aus der Zellenspannung ableiten.

Zur Bestimmung des SoC werden mehrere Methoden eingesetzt:

- **Coulomb-Zählung**, die den SoC auf der Grundlage der Lade- und Entladeströme über die Zeit schätzt.
(→ *Meßshunt*)
- **Spannungsbasierte Methoden**, die die Beziehung zwischen Spannung und SoC nutzen.
(→ *einfache Anzeige. Seht ungenau*)
- **Zyklische Mechanismen** welche die Ladekurve auswerten
(→ *Batteriecomputer und BMS*)
- **Digitaler Zwilling** mit spezifischem Datensatz und modelbasierter Arithmetik
(→ *wenn überhaupt in WoMo Akkus, dann in der absoluten Premium Liga*)
- Fortgeschrittenere Techniken wie **Impedanzspektroskopie** und **Kalman-Filterung**.
(→ *in Laboren, Forschung und Entwicklung*)

Die Kombination mehrerer Methoden kann die Genauigkeit und Zuverlässigkeit verbessern.

2.5.7.1 SOC Korrektur durch Synchronisation



Auf der Basis dieses Diagramms wird die Vollladung des Akkus erkannt. (SOC = 100%)

(zyklische Mechanismen)

Wichtige Parameter:

- **Vollladungs-Spannung.**
Spannung muss für eine Dauer (Zeitfenster) überschritten sein damit die volle Batterie erkannt wird.
- **Stromschwelle / Schweifstrom**
Strom muss für eine Dauer (Zeitfenster) unterschritten sein damit die volle Batterie erkannt wird.
- **Zeitfenster geladen**
Zeit in der Spannung und Strom einen bestimmten Wert haben müssen um die volle Batterie zu erkennen
- **Peukert-Exponent**
Die Kapazität einer Batterie hängt von der Entladungsrate ab.
Je schneller die Entladungsrate, desto weniger Kapazität wird zur Verfügung stehen.
Das Verhältnis zwischen langsamer oder schneller Entladung kann nach dem Peukertschen Gesetz berechnet werden und wird durch den Peukert-Exponenten ausgedrückt.
LiFePo₄ Peukert-Exponenten ist 1,05..
- **Ladewirkungsgrad**
Der Ladewirkungsgrad von Lithium-Batterien sollte auf 99 % eingestellt werden.
- **Entladeboden**
Diese Einstellung wird bei der „Restlaufzeit“-Berechnung verwendet.
Der Entladeboden kann bei LiFePO₄ auf einen Wert zwischen 10 und 20 % eingestellt werden.

Sobald die Vollladung der Batterie anhand der Parametrierung und gemessenen Werte festgestellt wird, wird der SOC auf 100% synchronisiert.

2.5.8 Alterungsprozess LiFePO₄ Zellen

Ein nicht ganz einfach zu verstehendes Themenfeld.

Zunächst sei auf die Dissertation „**Untersuchung der Alterung von Lithium-Ionen-Batterien mittels Elektroanalytik und elektrochemischer Impedanzspektroskopie**“ von Stefan Robert Käbitz hingewiesen.

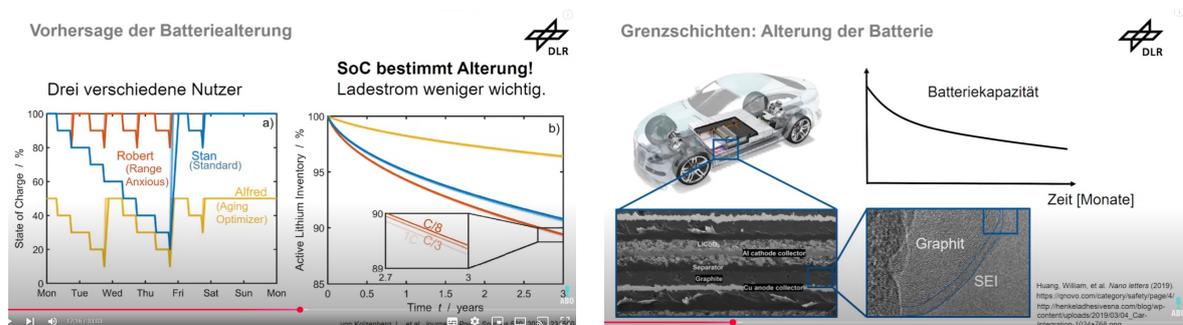
<https://publications.rwth-aachen.de/record/680923/files/680923.pdf>

Zitat:

„In einem Akkumulator finden neben der gewünschten reversiblen elektrochemischen Reaktion immer auch unerwünschte Prozesse statt, welche die Leistungsfähigkeit des Speichers negativ beeinflussen. Dies können Nebenreaktionen bedingt durch ein ungünstiges Spannungsniveau sein, mechanische Schädigungen der Aktivmasse durch Zyklierung und viele weitere Effekte“

Auch auf YOUTUBE kann man sich der Sache nähern.

<https://www.youtube.com/watch?v=vxk8iQhFZaY>



Stress Faktoren sind:

- Überladung oder Tiefentladung einer LiFePO₄-Batterie kann Schäden verursachen und ihre Lebensdauer verkürzen.
- Laden bei Temperaturen unter Null Grad Celsius
- Hohe Ströme. (ausgedrückt in C)

Tipp:

- Nicht unnötig viele Absorptionsphasen pro Zeiteinheit durchlaufen. (das gelingt durch Steuerung und Harmonisierung der vielen Regelkreise)
- Parametrierung nicht auf allerhöchste Kapazität auskitzeln.
- Nicht überbewerten. (Bei 5000 Zyklen und unrealistisch vielen 500 Zyklen pro Jahr sind das unkritische 10 Jahre)

2.6 Alternative Batterien als Starterbatterie

Wiki:

„Das Anlassen eines Verbrennungsmotors durch den elektrischen Anlassmotor erfordert kurzzeitig Stromstärken von mehreren 100 bis zu 1000 Ampere. Der Pkw-Startvorgang dauert bei gut gewarteten Motoren zwei bis fünf Sekunden und bis zehn Sekunden bei älteren Fahrzeugen. Dabei verliert die Batterie bis etwa 0,2 Ah beim Benziner (bei zwei Sekunden Startzeit) und bis etwa 0,3 – 0,4 Ah beim Diesel (7 Sekunden Startzeit mit Vorglühen).

Die Starterbatterie muss die zum Starten erforderliche Stromstärke auch bei niedrigen winterlichen Temperaturen liefern können. Da die elektrische Spannung während des Startvorgangs nicht zu stark abfallen darf, weisen Starterbatterien einen geringen elektrischen Innenwiderstand auf.

In Fahrzeugen mit Start-Stopp-Automatik werden übliche Blei-Säure-Starterbatterien schnell überfordert, da die deutlich häufigeren Anlassvorgänge eine erhöhte Zyklenfestigkeit der Akkumulatoren erfordern.“

2.6.1 Lithium-Batterien

Akkumulatoren, die andere Redoxsysteme benutzen, z.B. eine Lithium-Technologie, können sich aus Kostengründen nur schwer gegen Bleiakkumulatoren durchsetzen. Diese Akkumulatoren benötigen komplizierte Lade- und Schutzschaltungen.

Die Gewichtsersparnis ist zwar sehr hoch, aber der Einsatz in der Großserie ist preislich nicht zu rechtfertigen. Einzig Porsche bietet gegen Aufpreis LiFePO₄-Akkumulatoren als Starterbatterie an. Auch im Ersatzteilgeschäft sind LiFePO₄-Starterbatterien für PKW auf dem Markt, die aber das vier- bis fünffache einer vergleichbaren Blei-Starterbatterie kosten. In der Motorroller- und Motorrad-Sparte gibt es inzwischen ein umfangreiches Angebot an LiFePO₄-Starterbatterien. Da Lithium-Batterien nicht unter 0°C geladen werden dürfen, müssen sie im Winterbetrieb zusätzlich beheizt werden.“

Problematisch:

- Wintertauglichkeit (Laden unter 0°C,
- Yttrium dotierte Zellen werden hier nicht berücksichtigt
- Stromstärke (kurzzeitig bis 10C erforderlich)

2.6.2 SODIUM (Natrium Na+) Batterie

SODIUM Batterien kommen als Starter Batterie durchaus infrage:

- Wintertauglich
- Höhere Stromentnahme möglich

Tipp:

- Abwarten bis das bei Lithium jemand plausibel erklären kann.
- Na⁺ (SODIUM) könnte dafür was sein.
Man findet noch zu wenig belastbare Info darüber.

2.7 Solarmodule

Tipp:

- Auch bei Solarpanels werden Mythen generiert und gepflegt.
- Nahezu alle Solarmodule werden in China entwickelt und produziert.
- Qualitätsmerkmale sind für den Kunden schwer erkennbar. Der Preis lässt sich in der Camping Branche zur Bewertung der Qualität nicht heranziehen.
- Offenlegung der technischen Merkmale schafft Vertrauen. *(Usus in der PV Branche)*
- **Das wichtigste einfache Qualitätsmerkmal ist der Modulwirkungsgrad.** *(wenn der nicht genannt wird ist das Produkt nicht seriös)*

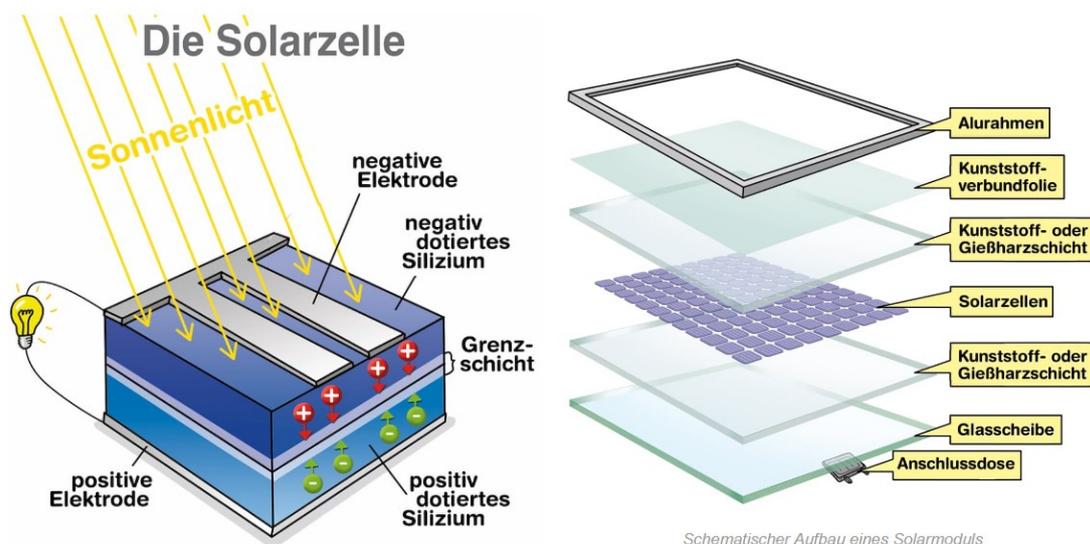


Bild links: die Physik hinter einer Solarzelle.

Anschaulich erklärt wurde das durch das „Maus Team“ in 2004.
<https://www.youtube.com/watch?v=muHEzvVRHdQ>

Bild rechts: mechanischer Aufbau eines Solarmoduls.

Dort wird wesentlich die Langlebigkeit (Haltbarkeit) des Moduls definiert.

Kontaktabrisse und Hotspots sind dauerhaft zu vermeiden.

Wenn das gelingt stimmen die Qualität und Kundenmehrwert.

Nicht eingegangen wird in dieser Zusammenfassung auf Bauformen wie Halbzellen, Schindeltechnik, rückseitige Kontaktierungstechniken (*Back ohne L*) Beschichtungen etc.

2.7.1 Qualitätsparameter Modulwirkungsgrad

(nicht zu verwechseln mit Zellenwirkungsgrad)



Der Wirkungsgrad gibt bei der Photovoltaik prozentual das Verhältnis zwischen der auf das Solarmodul auftreffenden Sonnenstrahlung und dem daraus erzeugten Strom an. Die Werte werden unter bestimmten Voraussetzungen (**Standard Test Conditions, STC**) vor dem Vertrieb ermittelt.

Dies ist international festgelegt und soll einen möglichst fairen Vergleich ermöglichen.

$$\text{Wirkungsgrad} = \frac{\text{erzeugter Strom}}{\text{Sonnenstrahlung}}$$

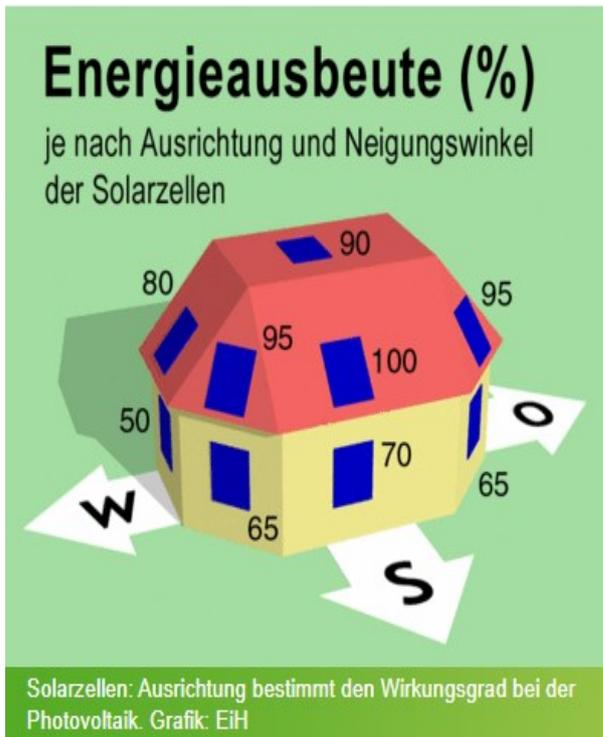
Interessenten erhalten so eine Einschätzung der Qualität und Effizienz der Anlage sowie des Preis-Leistungs-Verhältnisses. Je höher der Wirkungsgrad, desto mehr einfallendes Sonnenlicht konnte erfolgreich in Solarenergie umgewandelt werden.

Zu den Standard-Testbedingungen (STC) gehören:

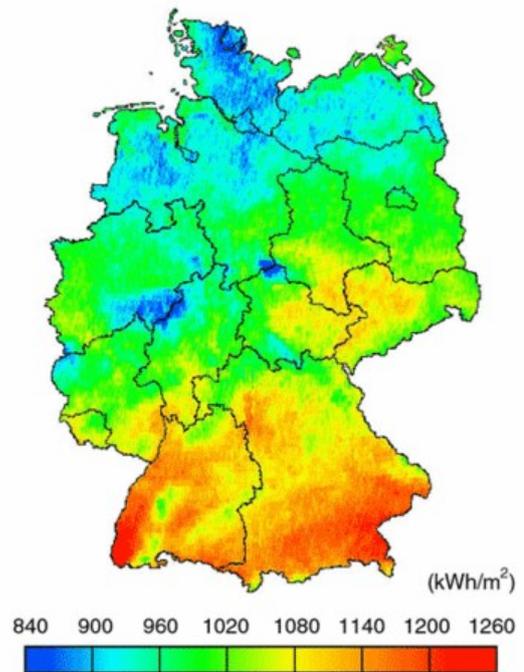
- eine Sonneneinstrahlung von 1000 W/m²
- eine Zelltemperatur von 25 °C
- eine Luftmassenzahl von 1,5 AM,
(Air-Mass-Number zur Wertung der Atmosphärendicke)

Beim Kauf sollte sich jedoch nicht nur auf den Modulwirkungsgrad verlassen werden, sondern auch andere Kriterien wie die Haltbarkeit oder Kosten und sollten bei der Wahl berücksichtigt werden.

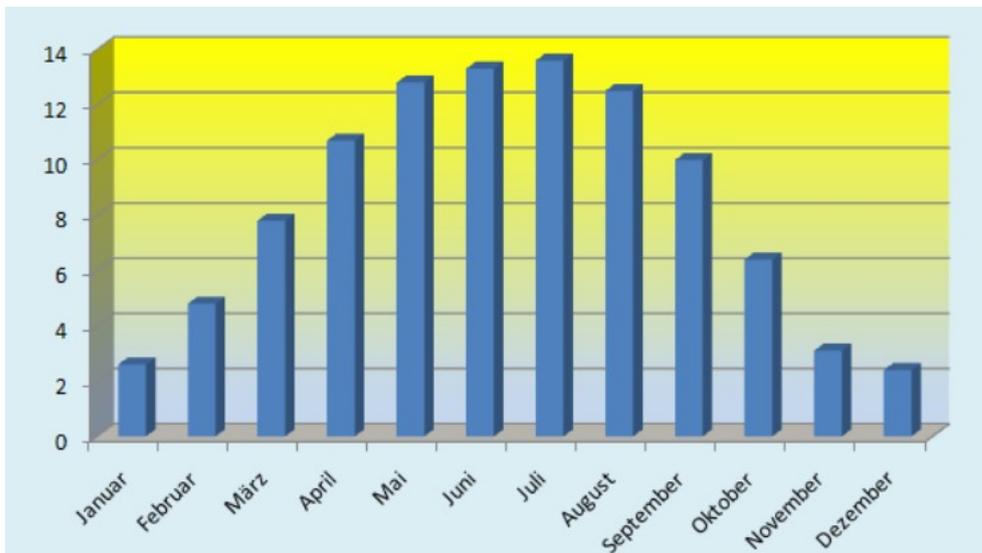
2.7.2 Äußere Einflüsse (Azimut, Verschattung)



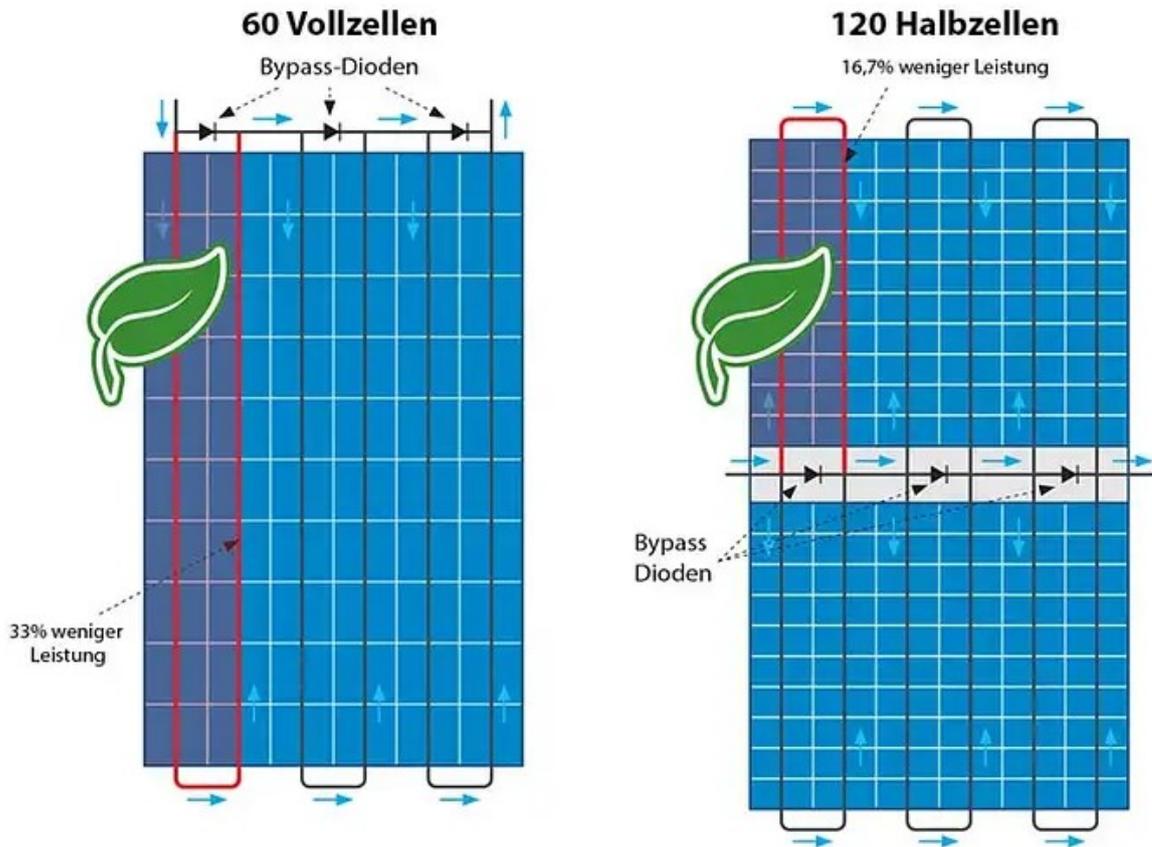
Strahlungskarte für Deutschland



In der Solartechnik wird (zumindest nördlich des Äquators) die Abweichung des Sonnenkollektors von Süden als Azimut bezeichnet. -45 bedeutet Südostausrichtung, 0 Südausrichtung und +45 Südwestausrichtung des Kollektors. Abweichend hiervon wird zur Vermeidung von Vorzeichenfehlern auch in diesem Bereich verstärkt der Nordazimut genutzt.



2.7.2.1 Verschattung

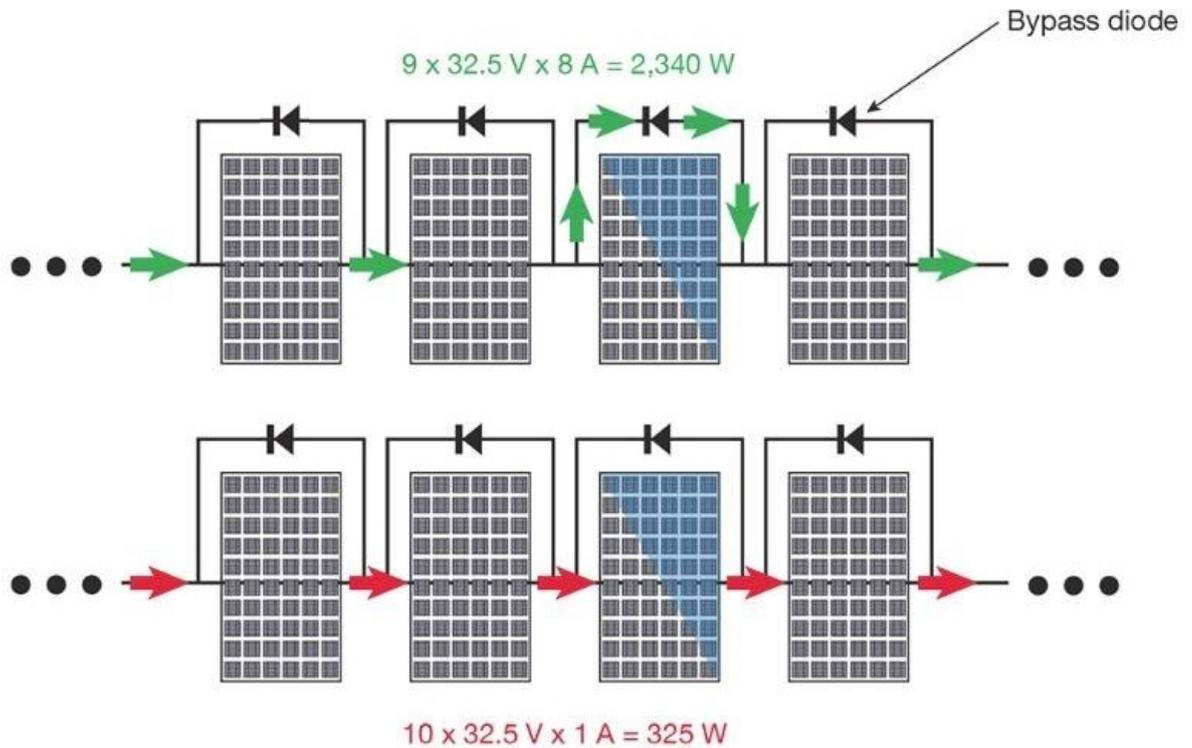


Bei Verschattung bestimmt die schwächste Zelle den Modulstrom und zieht somit den gesamten String runter.

Ohne Bypass Diode fällt das ganze Modul dann nahezu aus, bei Reihenschaltungen ohne Dioden der gesamte Modulstring.

2.7.3 Die Bypass Diode

Die **Bypass Dioden** führen den Strom um das verschattete Modul herum.



Oben ist 1 Modul überbrückt, die verbleibenden 9 liefern volle Leistung

Unten ist der Strom und somit die Leistung in allen 10 Modulen reduziert obwohl nur eines beschattet ist.

2.7.4 Parallel vs. Reihenschaltung

Das scheint eine Glaubensfrage zu sein.

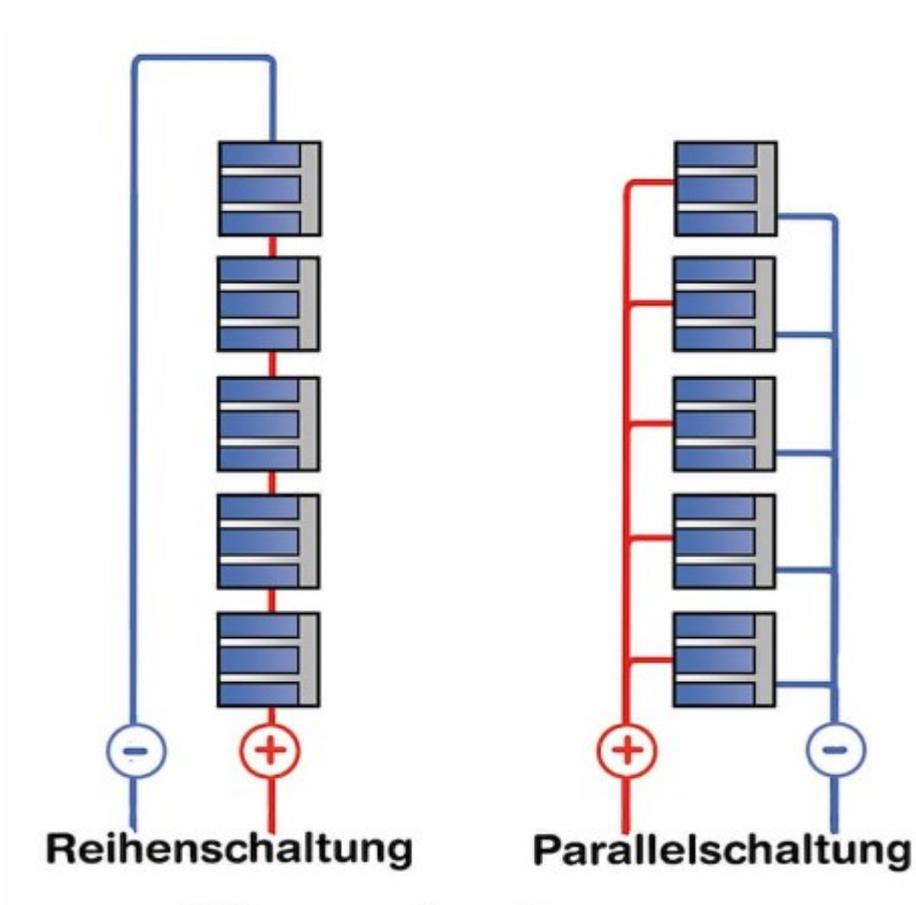
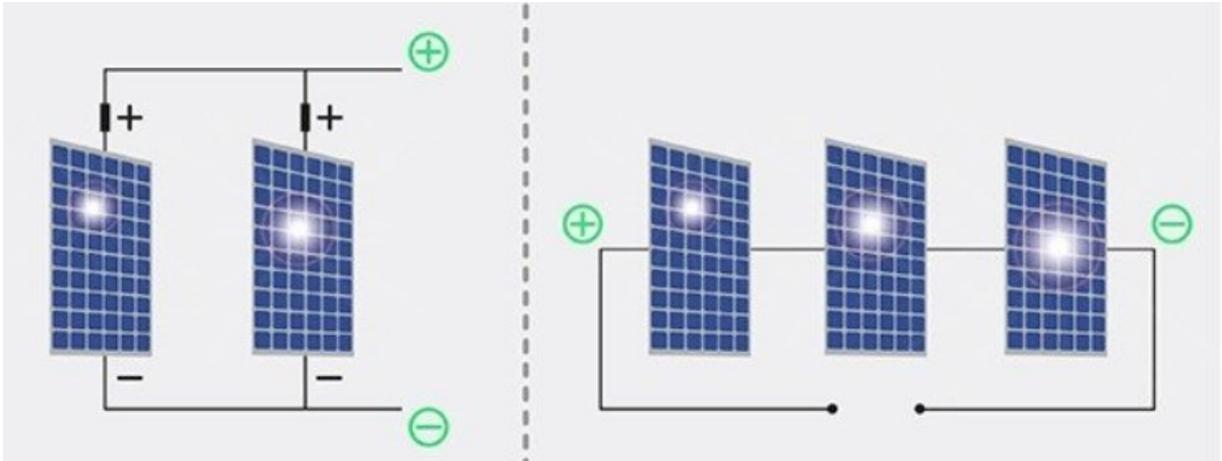


Bild links: die Spannungen werden addiert (bei Beschattung dominiert das schwächste Modul)

Bild rechts: die Ströme werden addiert (bei Beschattung kommt es zu Überlagerungen)

2.7.5 MPPT

MPPT steht für **M**aximum **P**ower **P**oint **T**racking

Gut erklärt in Wikipedia: https://de.wikipedia.org/wiki/Maximum_Power_Point_Tracking

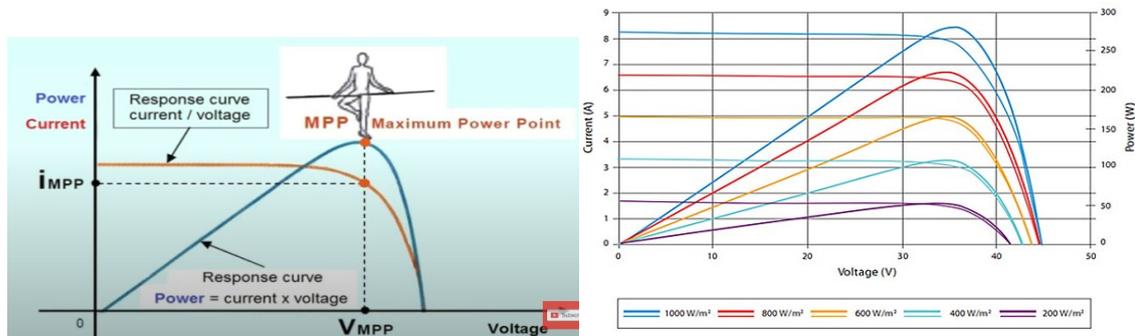


Bild links: jedes Modul hat seinen optimalen Arbeitspunkt wo die Energieausbeute maximal ist.

Ein guter Solarregler sucht (trackt) diesen Punkt zyklisch (z.B. alle 5 Minuten)

Bild rechts: Verschiebung des MPP mit sich ändernder Bestrahlungsstärke sowie Strom und Leistung im Bezug zur Spannung.

MPPT:

Übersetzt heißt MPPT „Maximal-Leistungspunkt-Suche“ Dahinter verbirgt sich eine Methode mit einem Algorithmus um den Arbeitspunkt bei sich ändernden Lichtverhältnissen zyklisch nachzuführen. Voraussetzung ist die stromrichtertechnische Ausführung des Solarreglers als Hochsetzsteller. (nicht PWM)

Wichtig: während des „Suchvorganges“ haben die Bypass Dioden die Chance zu zünden.

2.8 Visualisierung / Steuerung (HMI / Bus Systeme)

Das Themenfeld Smart Home gehört nicht zur Kernkompetenz des Verfassers da er in seinem persönlichen Umfeld nicht anwendet. Es wird hier der Vollständigkeit gestreift.

Technische Vernetzung von Einzelkomponenten wird sehr wohl abgehandelt da es bei größeren Setups die wirklich gute Funktionalität erst ermöglicht.

Datenübertragung mehrerer Teilnehmer in Kombination mit Bedien- und Beobachtungstechnik befinden sich gerade im Wandel.
Aus Schaltern, Drähten und Relais werden nach und nach Panel und WEB.

Es gibt mittlerweile etliche Lösungsanbieter um die Wohnmobiltechnik oder nur die Elektrik des Wohnmobils zusätzlich zum Panel / EBL zu visualisieren.

Wohnmobil Hersteller beginnen ein zusammenhängendes Bussystem mit zentralem Touch Panel anzubieten und APP.
EBL Anbieter haben mittlerweile auch Panels im Portfolio.

Komponentenlieferanten stellen ein eigenes (alternatives) Bussystem bereit.
Hier sind **offenes** und **geschlossenes** System zu unterscheiden.

Aus dem Bereich Smart Home drängen neue Marken in den Wohnmobil Markt.

Und es gibt Teilsysteme, beispielsweise per APP rund um einen Messshunt.

Man stelle sich vor der Ladezustand der Batterie wird z.B. 3 fach durch eine Mischinstallation visualisiert.

- Batterie APP für BMS
- Smart Shunt mit separater APP
- Bussystem mit Vernetzung aller Komponenten.

TIPP:

- Man muss für sich herausfinden was man wirklich braucht und wie man dazu steht.
- Technische Robustheit (Zuverlässigkeit) und nerdiger Bedienkomfort stehen da schon fast im Widerspruch zueinander.
- Notbetrieb und technische Robustheit sind für Camper und erst recht für Weltreisende unverzichtbar.
- Wenn es nur darum geht Dinge im Wohnmobil fern zu steuern reicht auch ein „**Stellvertreter Handy**“ im Fahrzeug für die Bluetooth und WLAN Geräte.
(siehe auch Kapitel: 8.4.1)

2.8.1 Kommunikation

Informationsaustausch zwischen den Komponenten.
Das begann analog und entwickelte sich zu drahtloser Übertragung und natürlich zu Bussystemen.

2.8.1.1 Analog

Klassische alte Technik.

- Vom Schalter führt ein Draht zu Lampe und steuert dies. (An / Aus)
- Von Tank führt ein Kabel zum Zeigerinstrument und zeigt den Füllstand.

2.8.1.2 IR

Eine Infrarotfernbedienung sendet ein Signal mithilfe von Infrarotlicht.

2.8.1.3 BT

Bluetooth ist ein Funkstandard, um auf kurze Distanzen Daten, Musik, Videos oder Bilder zu übertragen. Somit können zwei gekoppelte Geräte miteinander kommunizieren, ohne dass zwischen ihnen eine Kabelverbindung besteht.

2.8.1.4 Wi-Fi

Wi-Fi steht für „Wireless Fidelity“ und ist eine drahtlose Netzwerktechnologie, die es elektronischen Geräten ermöglicht, sich mittels Radiofrequenzen drahtlos mit einem Netzwerk zu verbinden

2.8.1.5 Sprachsteuerung

Als Sprachsteuerung bezeichnet man die Übermittlung von Befehlen an technische Geräte, die per Stimme erfolgt.
Grundsätzlich kann das Prinzip der Sprachsteuerung bei einer sehr großen Zahl von Gerätetypen zum Einsatz kommen. Voraussetzung ist, dass es ein Modul für Spracherkennung gibt, das sprachliche Äußerungen aufnehmen und interpretieren kann.

Sprachsteuerung taucht in Verbindung mit Smart Home zunehmend in High End Fahrzeugen auf.

2.8.1.6 Kommunikation BUS

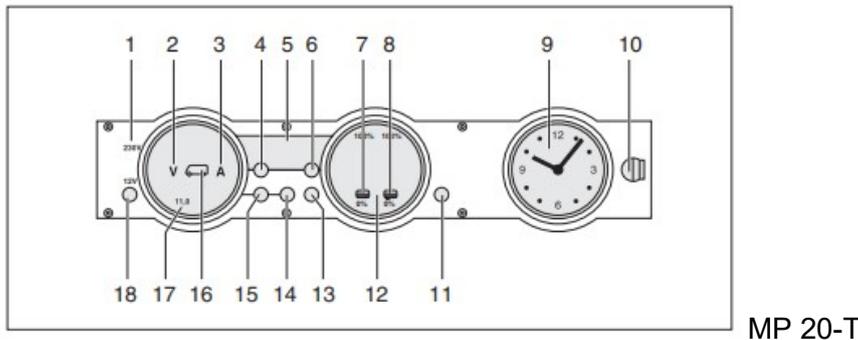
Ein Bus ist ein physikalisches System (Leitung) zur Datenübertragung zwischen mehreren Teilnehmern über einen gemeinsamen Übertragungsweg.

Leider sind Bussysteme bis heute nicht herstellerübergreifend und geräteübergreifend standardisiert.

2.8.2 HMI

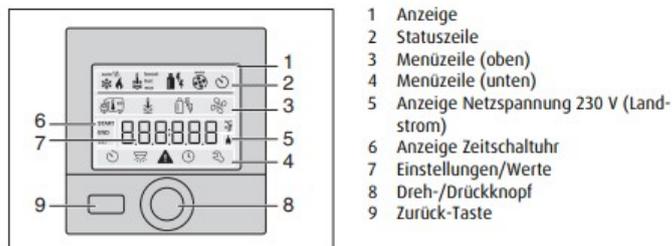
HMI steht für Human Machine Interface und bezeichnet ein Dashboard, das Benutzern die Kommunikation mit Maschinen, Computerprogrammen oder Systemen ermöglicht. Aus technischer Sicht beschreibt der Begriff HMI jeden Bildschirm, der genutzt wird, um mit einem Gerät zu kommunizieren.

2.8.2.1 Klassisch (EBL, Zeiger, Lampen/ Display, Schalter)



2.8.2.2 Panel (Bildschirm)

Ein Bildschirm (auch Monitor bzw. englisch Screen oder Display) ist eine elektrisch angesteuerte Anzeige ohne bewegliche Teile zur Wiedergabe von veränderlichen Informationen wie Bildern oder Zeichen.



2.8.2.3 APP

App ist die Abkürzung für das Wort Application (Anwendung). Der Begriff wird meist in Bezug auf digitale Anwendungen für Smartphones und Tablets verwendet.

2.8.2.4 WEB Server

Webserver werden lokal, in Firmennetzwerken und überwiegend als WWW-Dienst im Internet eingesetzt. Dokumente können somit dem geforderten Zweck lokal, firmenintern und weltweit zur Verfügung gestellt werden.

2.8.3 BUS Systeme

Bus Systeme zu Datenübertragung werden in der Regel nach den technischen Fähigkeiten und Mechanismen unterschieden.

(Datenvolumen, Adressierung, Physik [Licht oder Kupfer] Telegrammstandards etc.)

In diesem Kapitel werden Bussysteme aufgrund ihrer Anwendung unterschieden um den Nutzen im Wohnmobil herauszuarbeiten.

2.8.3.1 Einsparung von Kabeln und Leitungen

Ringleitungen zur Energieversorgung verlaufen durch das Mobil. An Stellen wo etwas geschaltet wird sitzen kleine Module welche dann per Bus System lokal ein Leuchtmittel etc. ansteuern.

Entfallen können ggf. Messeleitungen indem Messsignale zentral erfasst und bereitgestellt werden.

Das schafft auch Freiheitsgrade und ggf. auch Komfortgewinn indem nachträglich per Software festgelegt wird auf was das Modul reagiert.

2.8.3.2 Komfort Vernetzung

Merkmale:

- Verschiedene Lichtstimmungen.
- Individuelle Schalterbelegungen.
- Fernbedienung über WEB möglich.

2.8.3.3 Technologische Vernetzung

- Zentrale Messung der Spannung – Vsense
- Zentrale Temperaturmessung – Tsense
- Zentrale Strommessung – Isense
- Synchronisiertes Laden
- Zusammengefasste Bedienung und Beobachtung

Das Bussystem koordiniert in erster Linie das Zusammenwirken komplexe Systeme indem ein zentraler Controller steuernden und regelnden Zugriff auf alle Komponenten hat.

Wichtig: Notbetrieb bei Busausfall im Wohnmobil zwingend erforderlich.

2.8.3.4 Smart Home Vernetzung

Verwendung von Bus Systemen in der Gebäudetechnik

Siehe auch Komfort Vernetzung.

Wichtig: Notbetrieb bei Busausfall zwingend erforderlich. (Override)

2.8.4 Technische Merkmale / Architektur im WoMo / Standardisierung

Kompatibilität verschiedener Geräte und Marken.

Telegrammstandards sollen es erlauben verschiedenste Geräte einfach zu kombinieren.

Der **CI-Bus (Caravaning-Industrie-BUS)** ist ein standardisiertes Bussystem, das 2011 von der Caravaning-Industrie eingeführt wurde, um die Steuerung und Vernetzung von Bordelektronik in Freizeitfahrzeugen zu ermöglichen.

2.8.4.1 Offene Systeme

In der Informatik ist ein offenes System eine Plattform, die verändert und erweitert werden kann und über eine frei verfügbare Dokumentation verfügt.

Ein offenes System wird auch als offene Architektur oder Open Source bezeichnet.

- Frei parametrierbar (Alles offengelegt und beschrieben)
- Frei programmierbar (Open Source)
- Einbindung von Fremdkomponenten
- Offengelegt Protokolle
- Cloud Anbindung
- APP
- Touch Panel
- Downloadbereich mit Ergänzungen und Updates

Flexibilität erfordert PW Schutz gegen unbeabsichtigtes Verändern.

2.8.4.2 Geschlossene Systeme

Eine geschlossene Plattform (auch Walled Garden oder geschlossenes System genannt) ist eine Plattform, die vom Hersteller mit Restriktionen versehen ist.

Es handelt sich um einen Kontrollmechanismus, der die Nutzer im eigenen System halten soll.

- Herstellerspezifisch
- Maximale Kundenbindung
- APP
- Touch Panel

2.8.4.3 Smart Home Bus System

Smart Home Systeme drängen gerade auf den Caravan Markt und sollen die Bedienung der Komponenten erleichtern.

Leider ist das (noch) nicht standardisiert und somit untereinander nicht kompatibel.

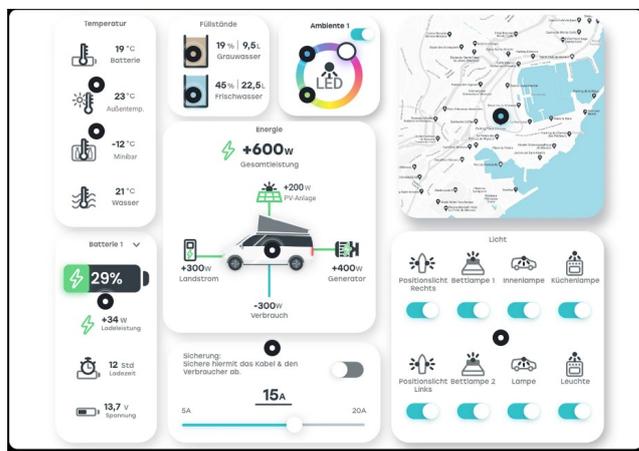
Merkmale sind:

Modulare Komponenten für:

Füllstände

Schalthandlungen

Batterieanzeige (nicht zu verwechseln mit technologischen Steuerungsfunktionen)



Die Bildern zeigen Beispiele verschiedener Anbieter.

Hinweis: oft werden „Smart Home“ Funktionen auch in technologischen Bussystemen eingeschränkt abgebildet.

2.8.4.4 Shunt und APP

Kleine, überschaubare Ergänzung zur (Standard) Batterie.



Teilweise auch mit Einkopplung von Fremdgeräten. (Smart Home Ansätze)

2.8.4.5 Cloud basiertes Überwachungssystem

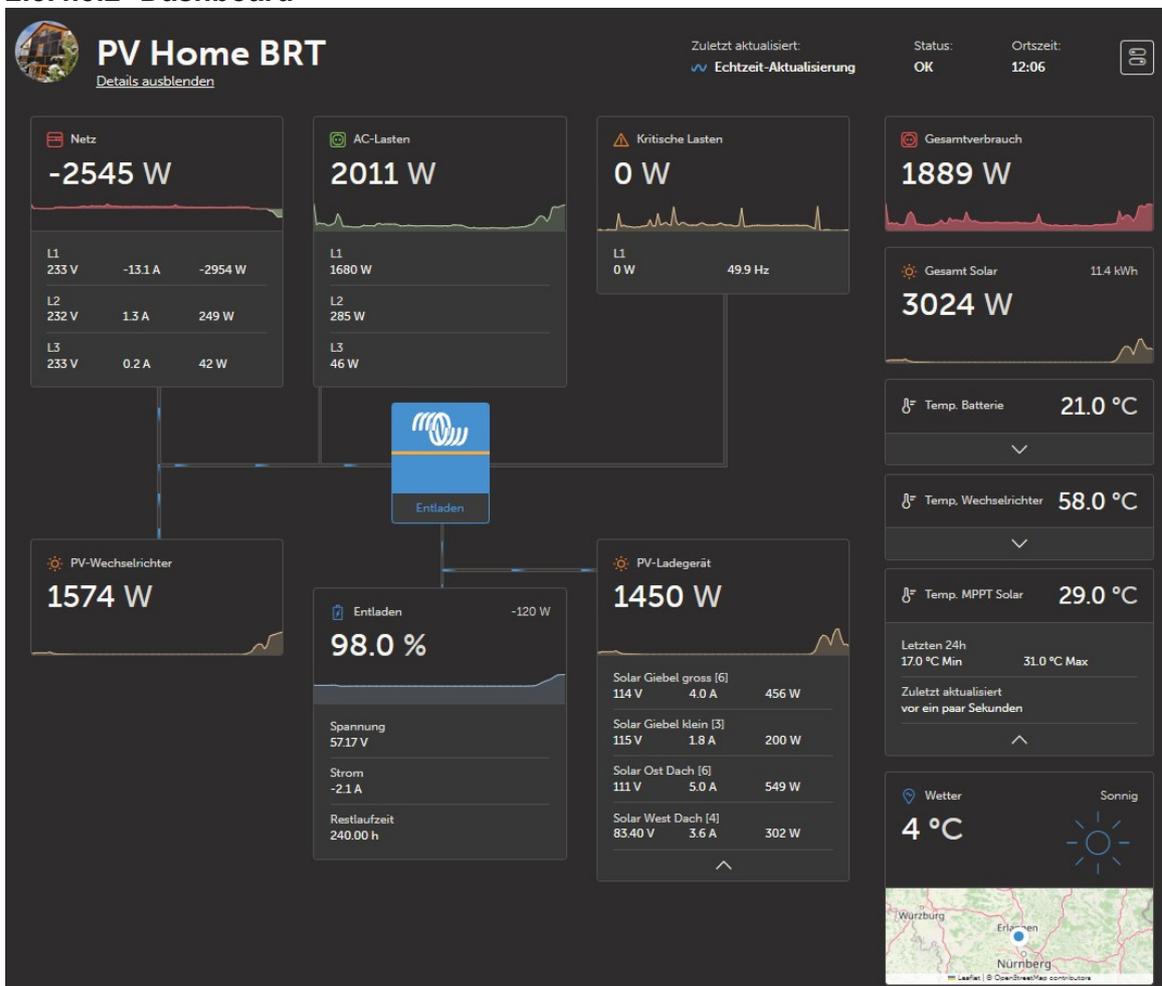
Die Systeme kommunizieren per LAN mit dem WEB und sind in einem Portal registriert.

2.8.4.5.1.1 Flottenmanagement

Die Zugriffsrechte auf beliebig viele Anlagen (hier 3 Anlagen) sind professionell verwaltet. (Flottenmanagement)

Batterie	Solar	Last	Netz	Generator	Tank	Temperatur	Letzte Aktualisierung
Leertauf @ 99.8 % 13.54 V	702 W	3451 W	1898 W	0 W		Kühlsc.: 16.0 °C Allgem.: 16.2 °C	vor ein paar Sekunden
Entladen @ 66.4 % 52.79 V	619 W	3355 W	1898 W			Batterie: 27.0 °C Allgem.: 42.0 °C	vor ein paar Sekunden
Leertauf @ 100.0 % 53.26 V	75 W	88 W	0 W			Allgem.: 36.0 °C	vor einer Minute

2.8.4.5.2 Dashboard



Die Bilder zeigen das VRM Portal des Marktführers am Beispiel einer Home PV Anlage. (vergleichbar großer Liner mit Generator)

2.8.4.5.3 SW Verwaltung (Update)

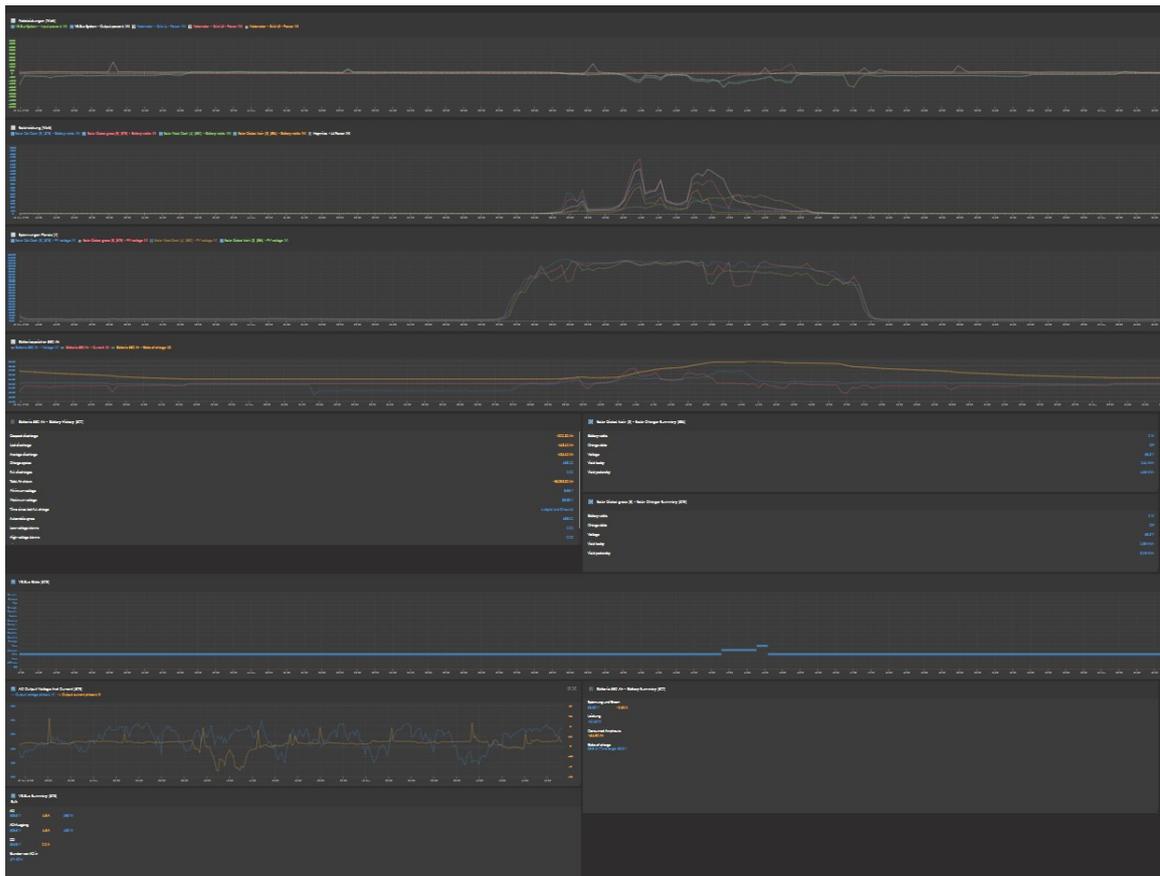
Auf dieser Seite können Sie die Firmware von Geräten aktualisieren, die mit Ihrem GX-Gerät verbunden sind. Detaillierte Anweisungen zum Aktualisierungsprozess finden Sie unter: [Remote Firmware Update Manual](#).

Gerätebeschreibung	Product-ID	Seriennummer	Installiert	Neueste	Aktualisierbar
BlueSolar Charger MPPT 150/35 rev2	A04B	HQ211479JFM	v1.64	v1.64	✓ Auf dem neusten Stand 
BlueSolar Charger MPPT 150/35 rev3	A078	HQ21254NWK3	v1.64	v1.64	✓ Auf dem neusten Stand 
SmartSolar Charger MPPT 150/45 rev3	A073	HQ2303ZZ9PJ	v1.64	v1.64	✓ Auf dem neusten Stand 
BlueSolar Charger MPPT 150/45 rev3	A072	HQ2208E9RX9	v1.64	v1.64	✓ Auf dem neusten Stand 
SmartShunt 500A	A389	HQ2220AK6GZ	v4.16	v4.16	✓ Auf dem neusten Stand 
Cerbo GX MK2	C012	HQ2328KUVMJ	v3.50	v3.53	Gerät aktualisieren
MultiPlus-II 48/5000/70-48	2623	Unbekannt	v552	v552	✓ Auf dem neusten Stand 

2.8.4.5.4 Alarmmanagement

Instanz	Gerät	Beschreibung	Der Alarm begann um	Alarm gelöscht nach
276	VE.Bus System - Wechselrichter HU 23 [276]	High DC Voltage: Alarm	2024-12-29 17:56:43	1m, 56s
276	VE.Bus System - Wechselrichter HU 23 [276]	Overload L1: Alarm	2024-03-29 15:46:27	29s

2.8.4.5.5 Frei konfigurierbare Analyse Funktion



Der Gamechanger wenn man alle Funktionen verstehen und optimieren möchte.
Das System schreibt zyklisch alle Meßwerte aller angeschlossenen Geräte in die Cloud.

Der Anwender setzt am PC individuell die Analysediagramme zusammen und wählt auch nachträglich den Beobachtungszeitraum.

So lassen sich nach und nach alle Effekte analysieren und verstehen.

Die Daten stehen 1 Jahr in einem Ringspeicher bereit.

Hinweis: das ist etwas für Nerds und für Techniker mit riesigen komplexen Anlagen.
Der normale Wohnmobilbesitzer (max. 2 Solarregler) braucht das nicht.

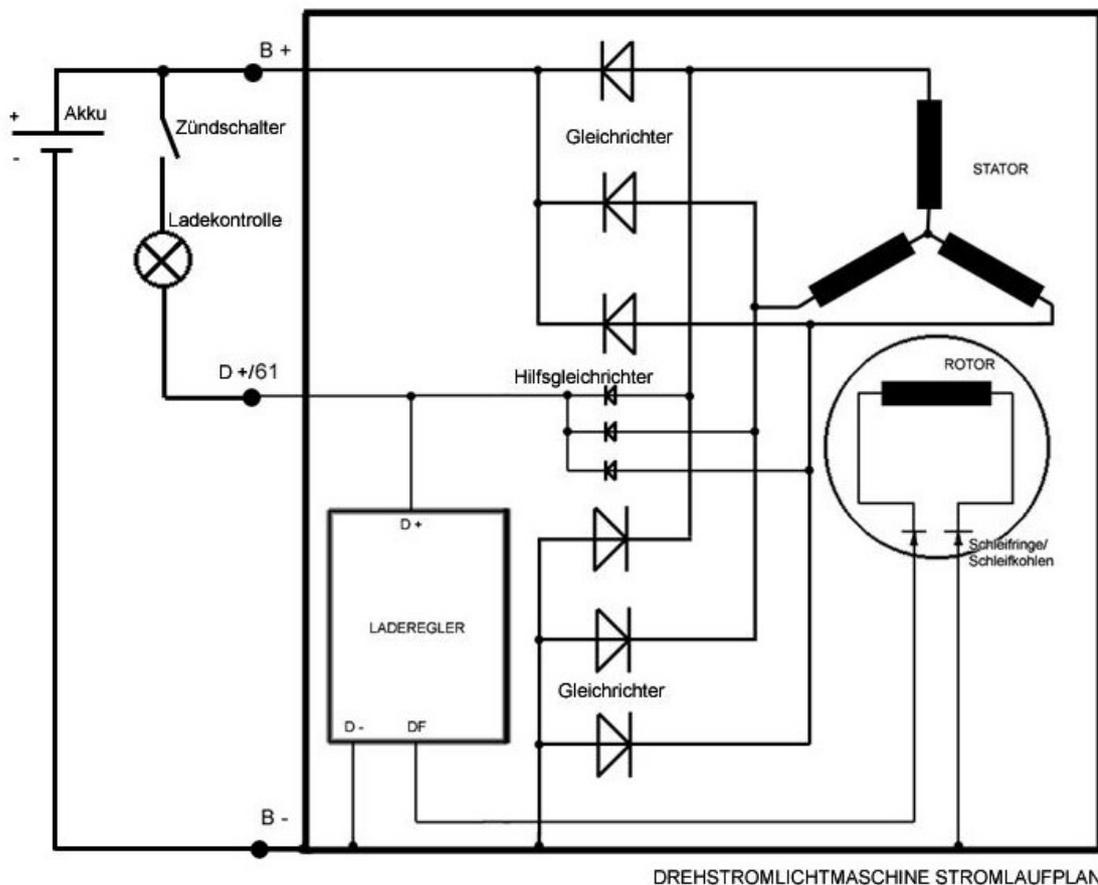
2.9 Weitere Komponenten

Sammelkapitel für weitere Komponenten.

2.9.1 Die Drehstromlichtmaschine

Siehe auch WIKI: <https://de.wikipedia.org/wiki/Lichtmaschine>

2.9.1.1 Grundlagen Drehstrom Lichtmaschine



Das Bild zeigt die prinzipielle Funktion der Drehstromlichtmaschine mit regelbarem Elektromagneten als Läufer.

Drehzahlschwankungen der Lichtmaschine werden durch „Feldschwächung“ kompensiert. Um eine konstante Ausgangsspannung zu erhalten wird bei höherer Drehzahl der Erregerstrom im rotierenden Läufer reduziert.

Diese Stelle (Laderegler) ist auch der **Eingriffspunkt für Strombegrenzungen** der Lichtmaschine.

2.9.1.2 Intelligente Lichtmaschine

Das intelligente Generatorsystem ermöglicht es dem Fahrzeug, die Ausgangsspannung des Generators basierend auf den Betriebsbedingungen des Fahrzeugs zu steuern, um die elektrische Belastung und damit die mechanische Belastung des Motors durch den Generator zu verringern. Dies führt dazu, dass ein sekundäres Batteriesystem nicht auf ein nutzbares Niveau geladen werden kann.

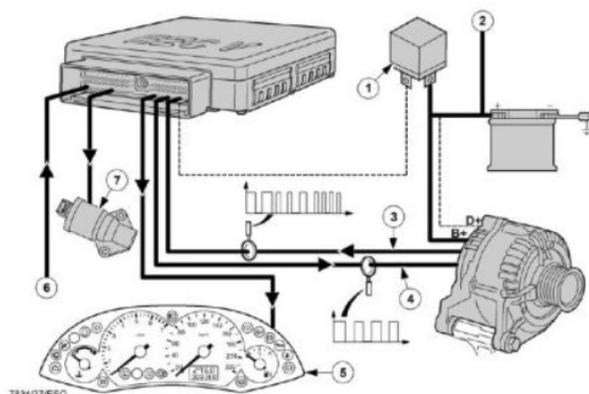
Dann gibt es noch "intelligente" Lichtmaschinen, die haben einem DFM Ausgang, der die Last in Form eines PWM-Signals ausgibt. Damit kann man die Last so regeln, dass die Lichtmaschine zu 90-95% ausgelastet ist und im sicheren Bereich arbeitet.

Teilweise hat eine Lima auch eine Temperaturkontrolle. Das können nur manche mit etwas mehr Elektronik drin - meist neuere Modelle. Eine Lima ohne diese Kontrolle kann überhitzen, zum Beispiel wenn diese nicht genug gekühlt wird (Sommer, langsame Bergfahrten).

Seit ca. 2010 verbauen nahezu alle Fahrzeughersteller einen sogenannten IBS in ihren Neufahrzeugen. Der IBS = Intelligenter-Batterie-Sensor dient unter anderem dazu, dass die Lichtmaschine nur noch bedarfsgesteuert die Batterie lädt.



Abb 1: IBS-Stecker am Minus-Pol der Fahrzeug-Batterie



Einfach ausgedrückt, wenn viel Leistung vom Motor gefordert wird reduziert der IBS die Ladung der Batterie. Wenn keine Leistung vom Motor benötigt wird, wie beispielsweise im Schubbetrieb, wird die Batterie übermäßig stark (mit bis zu 15.2V) geladen. Die Rekuperation, in Form von Umwandlung überschüssiger Bewegungs- in Ladeenergie für die Batterie, ist sozusagen die letzte Ausbaustufe der IBS Funktionalität.

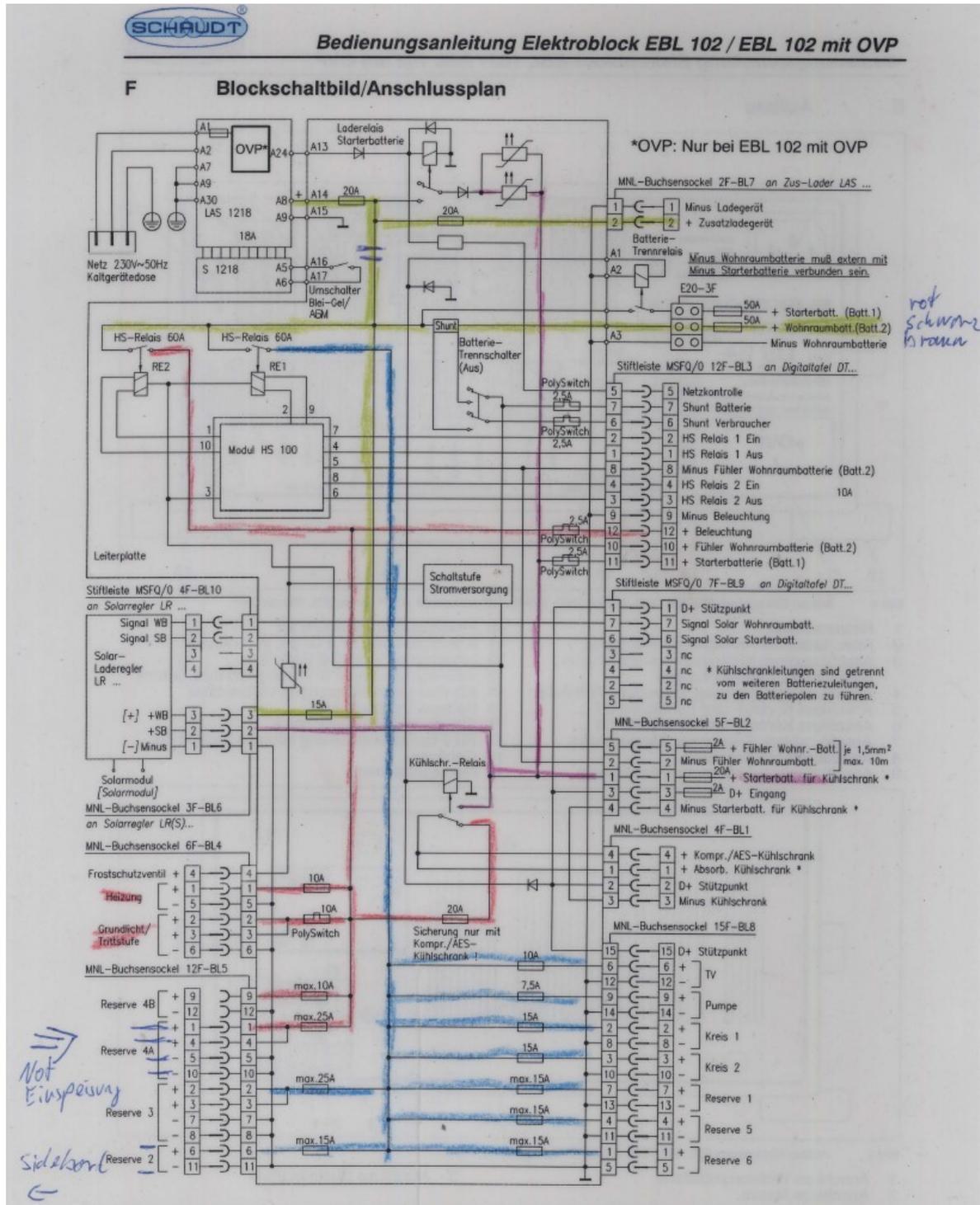
In der Praxis soll der IBS zu weniger Spritverbrauch beitragen.

Lop: intelligente Lichtmaschine verstehen und beschreiben.

Problematik intelligente Lichtmaschine und Booster aufgreifen

<https://matsch-und-piste.de/das-problem-mit-smarten-lichtmaschinen/>

Offen: Verifizierung der Funktion via VRM Portal.
(D+ Signal an AUX Eingang des Shunt legen)



Innenschaltplan Schaudt EBL 101/102 des Verfassers.

- Blau: 12V Stromkreise geschaltet durch EBL via Panel RE 1
- Rot: 12 V Stromkreise Dauerbetrieb (Trittsstufe, Heizung, Grundlicht) RE 2
- Gelb: 12 V Versorgung EBL intern zur Orientierung

2.9.2.1 Folgende Funktionen sind im EBL realisiert

- Absicherung der 12 V Stromkreise
- Unterspannungserfassung mit Notabschaltung
- Batterie Trennschalterfunktionalität incl. Schutzabschaltungen
- Kühlschrankumschaltung (Bord / Starter Batterie)
- Ladegerät für die Aufbaubatterie (über 230V Eingang)
- Ladegerät für die Starterbatterie (über 230V Eingang)
- Aufbereitung der Füllstände mit Schnittstellen Anzeigepanel
- Schalten der 12V Bordspannung
- Trennrelais zum Laden der Bordbatterie über die Lichtmaschine
- Vorbereitung Solarpanels
- Versorgung Trittstufe und Heizung

Der vorliegende EBL ist nicht wirklich für Lithiumbatterien und Wechselrichterbetrieb vorgesehen. (Stromtragfähigkeit um die 30A)
Entsprechend tückisch ist die funktional optimale Nachrüstung von Batterie und Wechselrichter.

2.9.2.2 Stolpersteine EBL

Für folgende Themenfelder müssen zu Ende gedachte Lösungen umgesetzt werden.

- Im Kreis laden mit Bordbatterie
- Ladegerätfunktionen Starterbatterie
- Kühlschranksteuerung
- Stromtragfähigkeit EBL
- Korrekte Visualisierung der Bordbatterieversorgung. (SOC passt eher nicht)
- **Unterspannungsschaltung** (auch für Heizung und Trittstufe)
(RE 2 muss nach Spannungsausfall ebenfalls am Panel nachgestaltet werden, was bedeutet das bei Spannungswiederkehr Trittstufe, Heizung und Kühlschrank zunächst aus bleiben)

Unterspannungsüberwachung hat auch Vorteile und schützt bei abgeschalteter Batterie bei gleichzeitig speisenden Ladern. (Solar oder Booster) wichtige Elektronik. (Populär geworden durch MAX FAN Verleumdungen)

2.9.3 Kühlschrank ADD ON (AES & EBL)

Hier wird der Absorber Kühlschrank mit 3 verschiedenen Energiequellen abgehandelt.

- 230 V AC Landstrom
- 12 V DV Bordbatterie oder Starterbatterie
- GAS aus der Gasversorgung des WoMo.

Im automatischen AES Mode schaltet der Kühlschrank je nach Quelle um. Dies setzt voraus dass die Bordelektrik verstanden wurde und nach gewissen Regeln richtig umgesetzt ist.

Mit der Einführung verschiedener Autarkie Pakete und Nachrüstungen wird das durch viele Hersteller und Werkstätten leider oft falsch ausgeführt.

Falsch eingebundener Wechselrichter oder auch falsch eingebundener Booster beeinträchtigen die gewollte Funktion nachhaltig.

Im nachgelagerten Kapitel wird das anhand von Schaltbildern aufgedrösel.

TIPP:

- Gas Betrieb mit Crasch Sensor.
- Manuel umschalten und SOC im Auge behalten.
- Bei Nachrüstungen der ausführenden Werkstatt mit diesem Dokument auf den Senkel gehen.

2.9.3.1 AES Kühlschrank im Wohnmobil

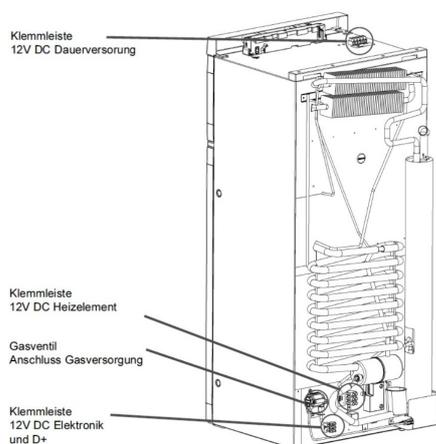
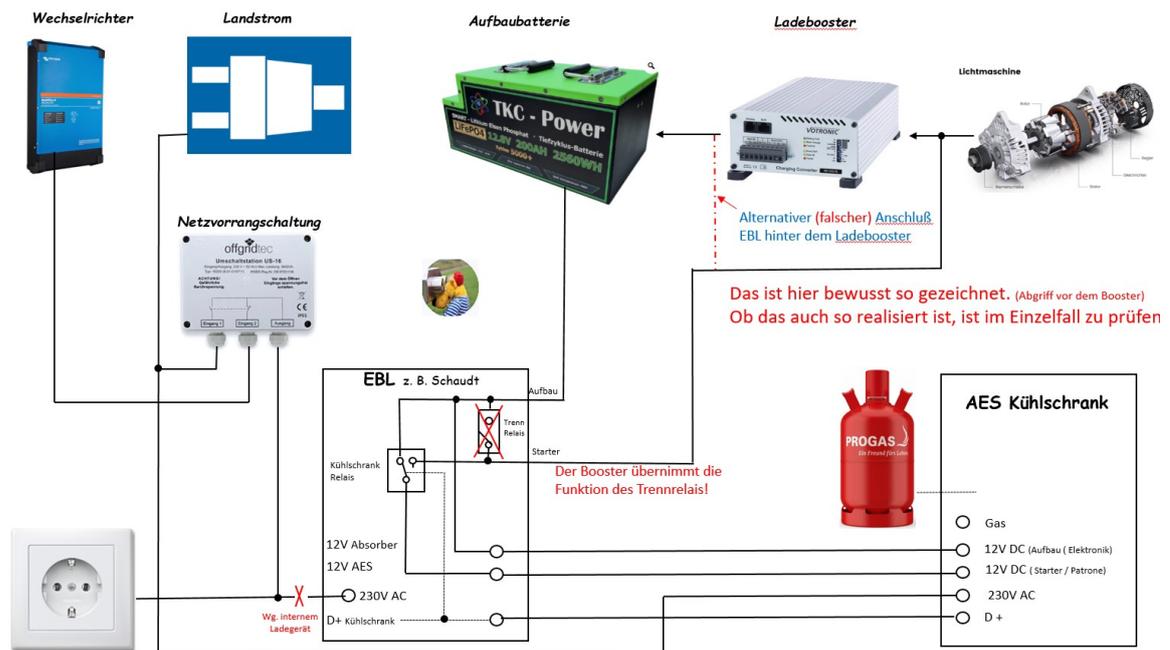


Bild zeigt den Aufbau eines Absorber Kühlschranks.

Die AES Funktion ermöglicht die automatische Wahl der Energiequelle.

Das kann alleinig im Kühlschrank realisiert sein oder in Kombination mit dem EBL.

2.9.3.2 Zusammenspiel AES Kühlschrank und Bordelektrik (EBL)



Das Bild zeigt ein prinzipielles Blockdiagramm zum Zusammenspiel der Bordelektrik mit Booster und Wechselrichter und einem AES Kühlschrank.

In diesem Bild wurden Innenschaltbild Details eines Schaudt EBL berücksichtigt.

Entscheidend für die spätere Funktionsweise ist die real ausgeführte Verdrahtung durch das Werk oder auch Werkstatt und Bastler.

Der Absorber Kühlschrank funktioniert im AES Umschaltbetrieb am besten wenn:

- Die 230 V Versorgung die Heizpatrone direkt mit dem Landstromeingang verbunden bleibt.
- Die 12 V Versorgung die Heizpatrone direkt mit der Lichtmaschine / Starterbatterie verbunden ist.
- Der Kühlschrank intern ein AES Modul verbaut hat welches abhängig von D+ oder 230 V Landstrom die Energiezufuhr auswählt.

Abweichungen müssen im Einzelfall geprüft werden.

Effekte wenn das unglücklich gelöst wurde:

- Wenn Booster und Kühlschrank über das EBL geführt werden reduziert sich der Ladestrom der Aufbaubatterie um den Strombedarf des Kühlschranks (i.d.R. Aussetzbetrieb z.B. 1 : 3)
- Wenn die 230 V des Kühlschranks von der Netzvorrangschaltung bezogen werden wird die Energie der Aufbaubatterie sehr schnell aufgebraucht.

2.9.3.3 Fazit und Tipps zum AES Kühlschrank mit EBL

Da glaubt der Verfasser ein Muster zu erkennen und interpretiert hinein dass das EBL nicht den Anforderungen der Gegenwart entspricht.

Zu Zeiten von Trennrelais und Gel Batterie hat das EBL sicherlich richtig funktioniert und während der Fahrt den AES Kühlschrank richtig versorgt.

Mit der Einführung der intelligenten Lichtmaschine, der LiFePO4 Batterie und der Ladebooster kamen zusätzliche Technologien ins Spiel.

Der Booster beinhaltet einen stromgeregelten DC Steller um die LiFePO4 Batterie kontrolliert zu laden. Stromgeregelt der Strom wird (starr) vorgegeben und geregelt.

Wenn nun das Kühlschrankrelais fälschlicherweise wie bei einem Trennrelais verdrahtet wird ist das falsch. Dann wird die Ladeleistung um die benötigte Kühlleistung reduziert.

Richtig angeschlossen wird das Kühlschrankrelais **vor** dem Booster.

Der 230 V Anschluss des Kühlschranks muss immer vor der Netzvorrangschaltung am Landstromeingang angeschlossen werden.

Leider verbauen das einige Hersteller oft falsch und auch die EBL Hersteller haben ihre Produkte nicht konsequent auf Booster Betrieb umgestellt.

Der Verfasser behilft sich derzeit damit den Kühlschrank manuell per Gas zu betreiben. Ein Crash Sensor ist eingebaut. Vielleicht wird das mal bei einer Revision korrigiert.

3 RANDBEDINGUNGEN UND REGELN

Welche Zertifikate im Wohnmobil Aufbau dann wirklich erforderlich sind ist durchaus diskutabel.

Dabei wird gerne unterschieden ob es um Betriebsmittel des eigentlichen Fahrzeuges handelt (z.B. Lichtmaschine / Ladebooster) oder um im entkoppelten Aufbau um Transportgut. (z.B. Aufbaubatterie, Solarregler . . .)

Interessanter Chat im WEB: Information zur Gesetzeslage LiFePo4 im Fahrzeug

<https://forum.camper-bauen.de/viewtopic.php?t=8702&sid=dc13f1dbce026141d4de43e77042b1ec>

3.1 Normen

Zitat CIVD:

„Normen legen Anforderungen an Produkte, Dienstleistungen oder Verfahren fest. Sie unterstützen die Qualitätssicherung in Wirtschaft, Technik, Wissenschaft und Verwaltung und dienen der Sicherheit von Menschen und Sachen. Das gilt auch für die Caravaningbranche.

Die Kenntnis einschlägiger Normen, sowie deren richtiger Einsatz, ist ein nicht zu unterschätzender wirtschaftlicher Faktor. Sie sorgen durch eine gleichbleibende und vergleichbare Produktqualität für Vertrauen bei den Endkunden. Darüber hinaus schaffen Normen Rechtssicherheit für die Hersteller.

Die Anwendung von Normen ist freiwillig.

*Erst durch die Nennung in Verträgen oder Gesetzen wird ihre Einhaltung verpflichtend. **In Haftungsfragen werden Normen allerdings als anerkannte Regeln der Technik herangezogen.***

*Ein ordnungsgemäßes Verhalten kann so einfacher belegt werden.**

Europäische Normen für Freizeitfahrzeuge wurden erstmals 1998 veröffentlicht. Seither vertritt der CIVD die Interessen seiner Mitglieder national im DIN (Deutsches Institut für Normung), in der europäischen Normung bei CEN (Europäisches Komitee für Normung) und in der internationalen Normung bei ISO (Internationale Organisation für Normung). Die Normen unterliegen einer regelmäßigen Überarbeitung. Spätestens alle fünf Jahre werden Normen auf den Stand der Technik hin überprüft.“

Im Einzelnen handelt es sich um folgende Normen:

- DIN EN 1645-1:2018-06 Caravans: Anforderungen an den Wohnbereich hinsichtlich Gesundheit und Sicherheit
- DIN EN 1646-1:2018-04 Motorcaravans: Anforderungen an den Wohnbereich hinsichtlich Gesundheit und Sicherheit
- DIN EN 1647:2019-01 Mobilheime: Anforderungen an den Wohnbereich hinsichtlich Gesundheit und Sicherheit
-

Diese Normen stellen die Hauptnormen über bewohnbare Freizeitfahrzeuge dar. Sie enthalten Anforderungen und Prüfverfahren für die Sicherheit und Gesundheit von Personen, die einen Caravan, Motorcaravan oder ein Mobilheim benutzen. Anforderungen an die Sicherheit im Straßenverkehr gehören nicht in den Anwendungsbereich.

- DIN EN 1648-1:2018-04 Elektrische Anlagen für DC 12 V – Teil 1: Caravans
- DIN EN 1648-2:2018-04 Elektrische Anlagen für DC 12 V – Teil 2: Motorcaravans

[CEN/TC 245/WG 6 - Technische Anforderungen und Anforderungen an den Wohnbereich für bewohnbare Freizeitfahrzeuge >](#)

AUSGABE	ORIGINALSPRACHE	ÜBERSETZUNG	PREIS
2018-04	Deutsch	Englisch	ab 77,90 €

[→ Kaufen bei DIN Media](#)

Diese Normen enthalten die sicherheitstechnischen, gesundheitlichen und funktionellen Anforderungen an elektrische Anlagen für 12 V DC im Wohnbereich von Caravans und Motorcaravans.

- DIN EN 721:2019-12 Anforderungen an die Sicherheitslüftung

In dieser Norm sind die Mindestanforderungen an die Sicherheitslüftung von bewohnbaren Freizeitfahrzeugen festgelegt und alternative Verfahren zu Berechnung oder Prüfung der Sicherheitslüftung beschrieben. Die Ermittlung der Gesamtgrundfläche ist getrennt für Caravans, Reisemobile und Mobilheime festgelegt.

- DIN EN 1949: Anforderungen an die Flüssiggasinstallation

Die europäische Norm legt Anforderungen an die Installation von Flüssiggasanlagen in bewohnbaren Freizeitfahrzeugen und zu Wohnzwecken in anderen Fahrzeugen fest. Das sind im Einzelnen, unter dem Aspekt der Sicherheit und Gesundheit, Anforderungen für die Auswahl der Werkstoffe, Bauteile und Geräte bezüglich Bauweise und Dichtheitsprüfung von Flüssiggasinstallationen und den Inhalt der Bedienungsanleitung.“

3.1.1 Weitere relevante Normen

3.1.1.1 UN38.3 (Transport von Accus)

Der UN 38.3 Transport Test beinhaltet insgesamt acht Einzeltests, die in Abhängigkeit von der Art der Lithium-Batterien bzw. Zellen durchzuführen sind.

Wichtig zu wissen ist, dass die Einzeltests jeweils mit mehreren Prüflingen durchzuführen ist.

Die Anzahl der Prüflinge hängt u.a. vom Gewicht der Batterien ab.

Testreihe	Inhalt	Lithium-Ionen-Zellen/-Batterien			
		Zellen	Batterien	Einzellige Batterien	Komponenten-Zelle **
T.1	Höhen-simulation	X	X	X	
T.2	Thermische Prüfung	X	X	X	
T.3	Schwingung	X	X	X	
T.4	Schlag	X	X	X	
T.5	Äußerer Kurzschluss	X	X	X	
T.6	Aufprall oder Quetschtest	X		X	X
T.7	Überladung		X	X*	
T.8	Erzwungene Entladung	X		X	X

Ohne Nachweis des UN-Tests dürfen Zellen und Batterien nur unter verschärften Bedingungen als so genannte Prototypen befördert werden.

Ebenfalls zulässig ist dies für Kleinserien von maximal 100 Zellen/Batterien.

3.1.1.2 2006/66/EG (Lifetime)

Ziel der Verordnung ist die Schaffung eines einheitlichen Rechtsrahmens in Europa für einen nachhaltigen Umgang mit Batterien während des gesamten Lebenszyklus. Es werden Sorgfaltspflichten in der Lieferkette, Beschränkungen gefährlicher Stoffe, Anforderungen an das Produktdesign wie die Austauschbarkeit von Batterien, der CO₂-Fußabdruck, Rezyklateinsatzquoten und der Batteriepass sowie Regelungen zur Sammlung und Behandlung von Altbatterien getroffen. Die Verordnung ist seit dem 18. Februar 2024 unmittelbar geltendes Recht in Deutschland.

3.1.1.3 CE Kennzeichnung

Die Buchstaben CE stehen für „Conformité Européenne“, was „Europäische Konformität“ bedeutet. Die CE-Kennzeichnung symbolisiert die Konformität des Produktes mit den geltenden Anforderungen, die die Europäische Gemeinschaft an den Hersteller stellt.

Es ist Pflicht für alle weltweit hergestellten Produkte, die in der EU vermarktet werden.

Die CE Kennzeichnung wird mittels Herstellererklärung durch den Hersteller selbst vergeben.

3.1.1.4 E1 Kennzeichnung

Das ECE-Prüfzeichen ist eine offizielle Kennzeichnung von Bauteilen an Kraftfahrzeugen, die das Vorliegen einer Bauartgenehmigung belegt. Dabei steht ECE für Economic Commission for Europe und bezeichnet die UN-Wirtschaftskommission für Europa.

3.1.1.5 ECE R10

Die ECE-R10 Zulassung beschreibt die Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) von Produkten.

Es müssen sowohl die **Störaussendung**, als auch die **Störempfänglichkeit** dieser Produkte in gewissen Grenzbereichen liegen.

Die Kennzeichnung erfolgt mit einem kleinen „e“ und einer Zahl im Kreis.



3.1.1.6 DIN VDE Normen

Übersicht:

Die Normen der Normenreihe DIN VDE 0100 „Niederspannungsanlagen“ sind für die Planung, Errichtung und Prüfung von Niederspannungsanlagen relevant. Sie gelten ausschließlich für die Errichtung von elektrischen Anlagen bis einschließlich 1000 V Wechselspannung oder 1500 V Gleichspannung.

3.1.1.6.1 Normen für Caravans und Motorcaravans DIN VDE 0100-721

Die DIN VDE 0100-721 ist im Oktober 2019 verbindlich in Kraft getreten.

Sie löst die bisher gültigen Norm DIN VDE 0100-721:2010-02 mit der Übergangsfrist bis zum 17.12.2021 ab.

Die DIN VDE 0100-721 beinhaltet besondere Anforderungen für elektrische Anlagen in Caravans und Motorcaravans für elektrische Stromkreise und Betriebsmittel, die für die Verwendung zu Wohnzwecken vorgesehen sind.

https://www.elektro.net/file/show/78340/273cd8/DE_2020_3_26-29_EI42_LOW.pdf

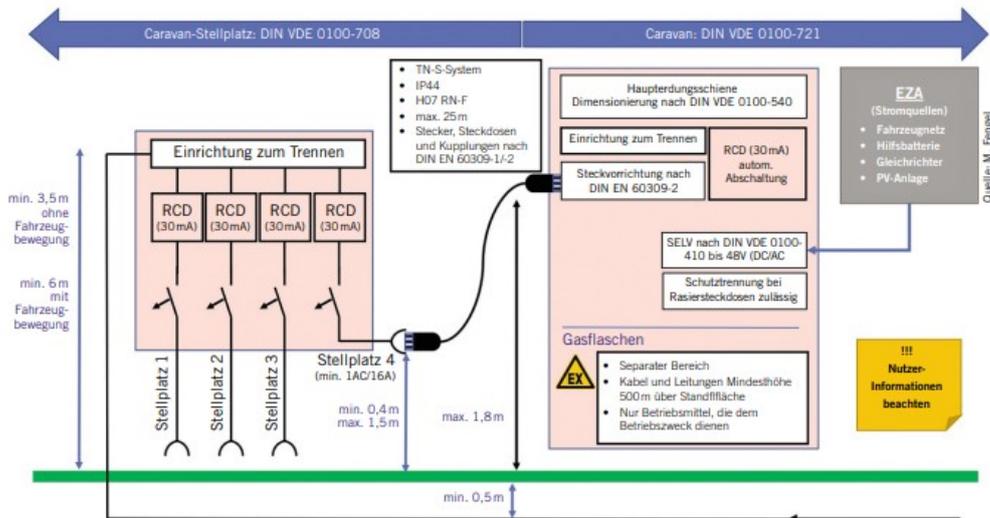


Bild: Übersicht der wesentlichen Anforderungen an Caravans / Motorcaravans auf Stellplätzen nach DIN VDE 0100-708 und DIN VDE 0100-721

Zitate aus dem Dokument:

„Elektrische Anlagen von Caravans bzw. Motorcaravans stellen beim Anschluss auf Campingplätzen ein typisches Schnittstellenthema zwischen der elektrischen Anlage des Wohnbereichs und der ortsfesten elektrischen Anlage des Campingplatzes dar. Steckvorrichtungen, Kabel und Leitungen sind entsprechend den Umgebungsbedingungen spritzwassergeschützt, mindestens mit der Schutzart IP44, auszuführen.

Anschlusskabel von Caravans dürfen eine Länge von 25 m nicht überschreiten. Seitens der ortsfesten elektrischen Anlage dürfen höchstens vier Steckdosen in einem Verteiler angeordnet werden, um die Leitungswege zu den Caravans möglichst gering zu halten.

Die Steckvorrichtungen am Caravan müssen leicht zugänglich in einer Höhe von höchstens 1,8 m angeordnet sein. Gleichzeitig darf die Steckvorrichtung die Fahrzeugmaße nicht beeinträchtigen.

Der Schutz durch automatische Abschaltung im Fehlerfall ist mit Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen (RCD) mit einem Bemessungsdifferenzstrom von höchstens 30 mA zu realisieren. Diese sind unmittelbar nach dem Anschlussstecker anzuordnen und müssen den gesamten Bereich schützen. Abgriffe vor der Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen (RCD) im Caravan sind somit unzulässig.

Die Schutzmaßnahme »Schutz durch Kleinspannung« gilt sowohl für Verbrauchsmittel als auch für Erzeugungsanlagen zur unterstützenden oder autarken Stromversorgung. Kleinspannungsquellen dürfen eine Spannung von 48 V (DC und AC) nicht überschreiten.

Die Schutzmaßnahme Schutztrennung ist ausschließlich bei Rasiersteckdosen zulässig“

3.2 Schutzkonzepte

3.2.1 Elektrische Sicherheit im Wohnmobil

Grundlegend orientiert man sich an der DIN VDE 100 Reihe.

Wesentlich ist die **Norm für Caravans und Motorcaravans DIN VDE 0100-721**

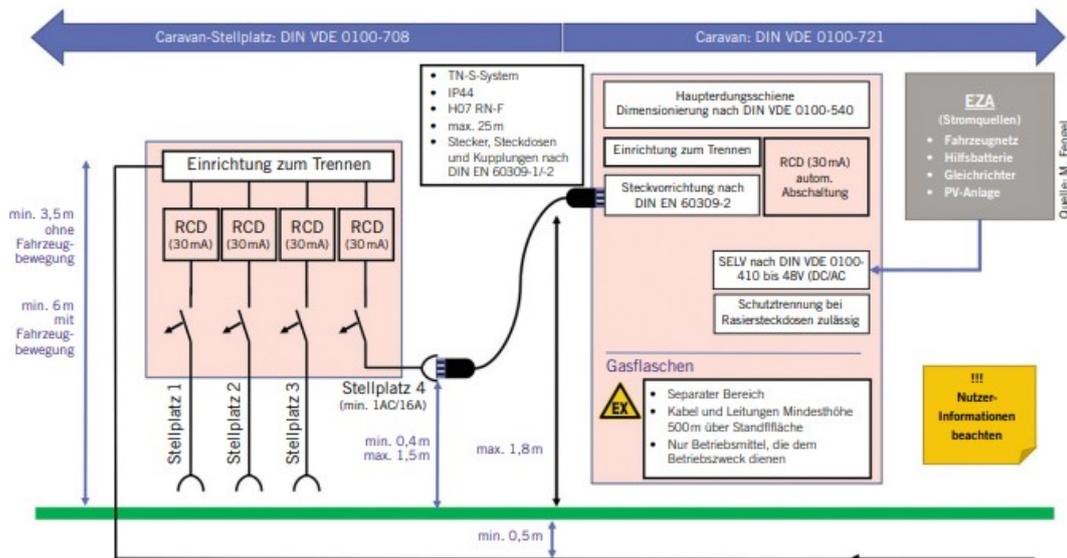


Bild: Übersicht der wesentlichen Anforderungen an Caravans / Motorcaravans auf Stellplätzen nach DIN VDE 0100-708 und DIN VDE 0100-721

Abhängig vom Anwendungsfall gelten dann weitere Regeln. (siehe eigener Abschnitt)

3.2.2 Schutz gegen elektrischen Schlag

https://www.haufe.de/arbeitschutz/arbeitschutz-office-professional/elektrischer-schlag-5-schutzmassnahmen_idesk_PI13633_HI2645258.html

Die grundlegenden Schutzmaßnahmen zum Schutz gegen elektrischen Schlag gliedern sich in 3 Stufen:

- den Schutz gegen direktes Berühren, **1. Stufe: Basisschutz**
- den Schutz bei indirekten Berührungen, **2. Stufe: Fehlerschutz**
- den Schutz bei direktem Berühren, **3. Stufe: Zusatzschutz.**

Die Schutzmaßnahmen werden grundsätzlich durch die 1. und die 2. Schutzstufe, im Basis- und Fehlerschutz realisiert. Falls es erforderlich wird, kommen die Maßnahmen der 3. Schutzstufe, des Zusatzschutzes hinzu.

Ein gleichzeitiger Schutz gegen direktes und bei indirektem Berühren wird dadurch erreicht, dass Beharrungsberührungsstrom und Ladung begrenzt werden sowie dadurch, dass Kleinspannung (Schutzkleinspannung – SELV – Safety Extra Low Voltage, Funktionskleinspannung mit sicherer Trennung – PELV – Protective Extra Low Voltage) verwendet wird.

3.2.2.1 Basisschutz

Der Basisschutz soll sicher stellen, dass Personen und Nutztiere aktive Teile unter normalen Betriebsbedingungen nicht berühren können, wenn die Nennspannungen über 25 Veff Wechselspannung bzw. 60 V Gleichspannung betragen.

Mögliche Maßnahmen sind:

Isolierung von aktiven Teilen:

- **Abdeckung oder Umhüllung aktiver Teile:** mindestens Schutzart IP 2Xn, stabil, sicher befestigt und nur mit Werkzeug entfernbar.
- **Aufbau von Hindernissen:** unbeabsichtigtes Annähern oder unbeabsichtigtes Berühren aktiver Teile beim betriebsmäßigen Bedienen verhindern.
- **Einhaltung der Schutzabstände:** unbeabsichtigtes Berühren aktiver Teile verhindern.

Im Rahmen des Basisschutzes muss auch verhindert werden, dass Fremdkörper oder Wasser in elektrische Anlagen und Betriebsmittel eindringen können. Je nach Beanspruchung der elektrischen Anlagen und Betriebsmittel ist eine unterschiedliche Schutzart erforderlich.

3.2.2.2 Fehlerschutz

Für den Fall, dass an elektrischen Anlagen und Betriebsmitteln Fehler auftreten, z. B. eine defekte Isolierung, die bei Berührung zu einer Gefährdung durch elektrischen Schlag führen, muss der Stromkreis sofort unterbrochen werden. Die dauernd zulässige Berührungsspannung darf 50 V Wechselspannung oder **120 V Gleichspannung** nicht überschreiten. Die Abschaltzeit muss je nach Anwendungsfall 0,1 – 5 Sek. betragen.

Als Schutzmaßnahmen kommen zur Anwendung:

- automatische Abschaltung der Stromversorgung: begrenzen des Bestehenbleibens einer gefährlichen Berührungsspannung nach Größe und Dauer.
- Meldung: Isolationsüberwachungseinrichtung.
- Betriebsmittel der Schutzklasse II oder gleichwertige Isolierung verwenden.
- nicht leitende Räume: Stromfluss im Fehlerfall verhindern durch isolierende Wände und Fußböden gegen Erde.
- erdfreier örtlicher Potenzialausgleich: zu hohe Berührungsspannung verhindern durch die Verbindung aller gleichzeitig berührbarer Körper und fremder, leitfähiger Teile.
- Schutztrennung Trenntransformator verwenden, der eine sichere elektrische Trennung zwischen Primär- und Sekundärnetz herstellt.

3.2.2.3 Zusatzschutz (RCD)

Der Zusatzschutz, der oftmals durch Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD) realisiert wird, bietet zusätzlichen Schutz bei fehlerhaften Geräten.

Er schützt bei indirektem Berühren sowie teilweise auch bei direktem Berühren. Bei einem RCD fließt maximal der zulässige Fehlerstrom, z.B. 30 mA bei einer Abschaltzeit von 0,2 Sek.

Hierdurch wird erreicht, dass z.B. bei einem Stromfluss durch den menschlichen Körper der Strom rechtzeitig abgeschaltet wird, bevor ein Körperschaden eintreten kann.

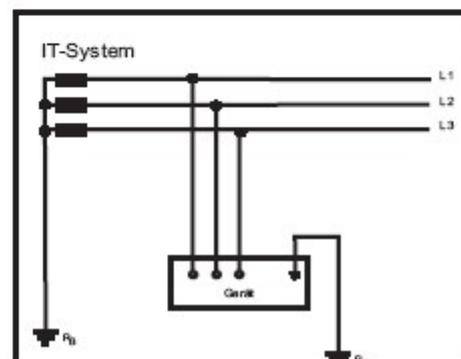
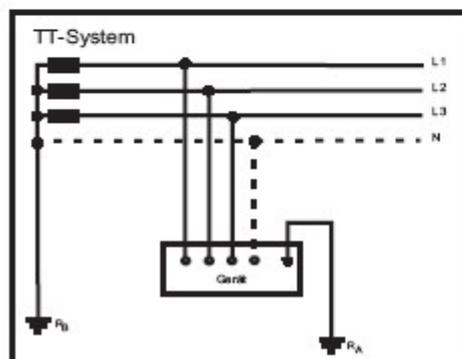
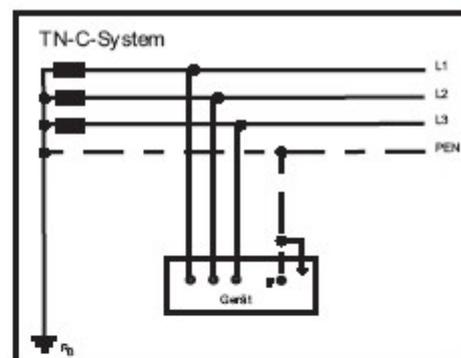
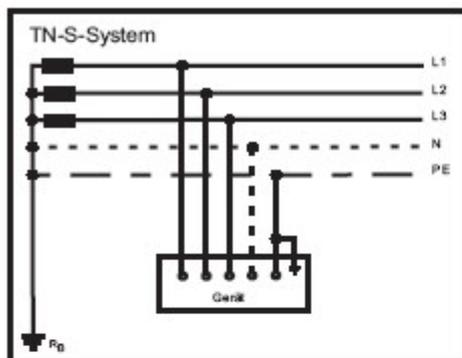
Um die Funktion der Fehlerstromeinrichtung (RCD) zu verstehen ist ein Grundverständnis zu den relevanten Netzformen zwingend erforderlich.

3.2.2.3.1 Netzformen

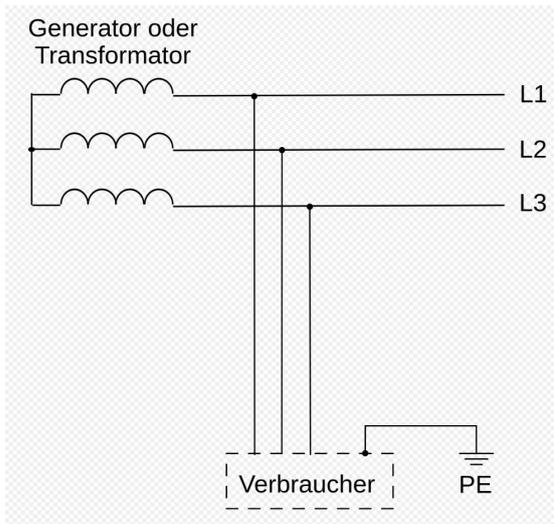
Die DIN VDE 0100 Errichten von Niederspannungsanlagen beschreibt die unterschiedlichen Netzformen.

Netzsysteme werden unter drei Gesichtspunkten beschrieben:

1. Erdungsverhältnisse der Stromquelle (des Niederspannungsverteilungsnetzes),
2. Erdungsverhältnisse der Betriebsmittel (Körper) in der [Verbraucheranlage](#) sowie
3. Ausführung des Neutralleiters und des Schutzleiters in Anlagen, in denen der [Schutzleiter](#) mit dem Betriebserder des Netzes verbunden ist.



3.2.2.3.2 IT Netz

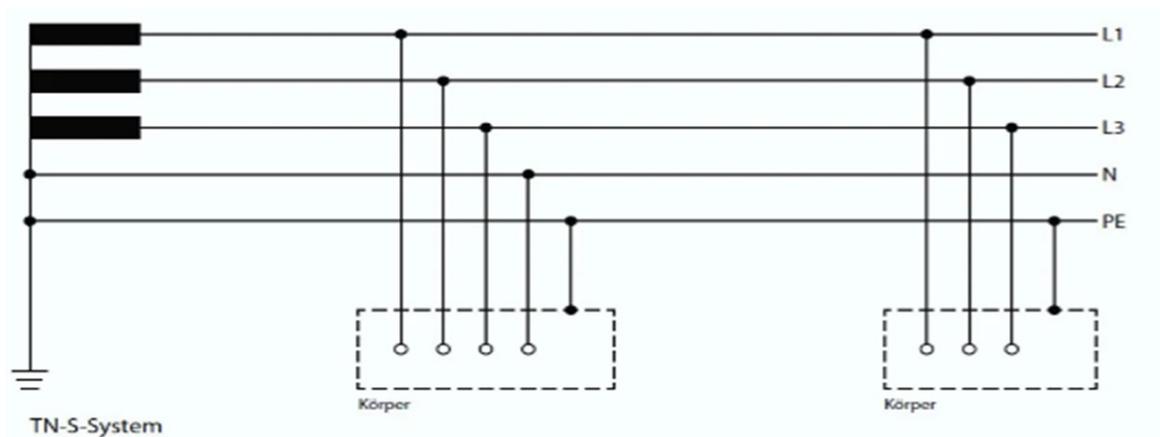


Beim IT Netz fließt kein Fehlerstrom bei einem Isolationsfehler gegen Erde. Solange nur ein Verbraucher angeschlossen ist, ist das 1 Fehlersicher. Bei mehreren Verbrauchern müssen Isolationswächter installiert werden um den Fehler aufzudecken.

3.2.2.3.3 TN Netz

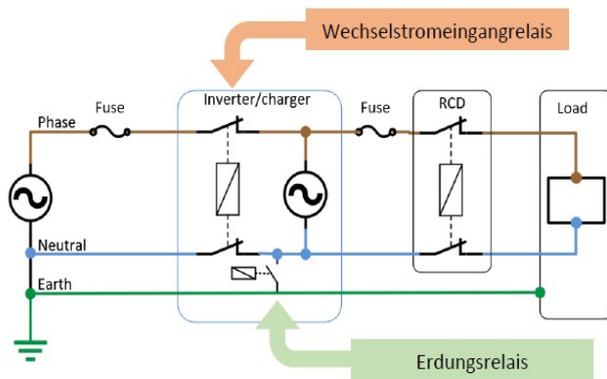
TN-System: Hierbei unterscheidet man je nach Anordnung von Neutralleiter N und Schutzleiter PE drei Ausführungsformen, die durch zusätzliche Buchstaben charakterisiert werden:

- TN-C-S-System: Neutralleiter N und Schutzleiter PE werden teilweise in einem Leiter kombiniert geführt (PEN), teilweise aber auch getrennt geführt (PE und N separat)



Das TN Netz ist gleichzeitig mit dem AC1 USV Ausgang des VE MULTIPLUS verbunden wo ein zertifiziertes Erdungsrelais die TN Eigenschaften garantiert. (PE-N Verbindung)

Quasi TN Netz im Wohnmobil



Das Bild zeigt das Erdungsrelais des VICTRON MULTIPLUS Wechselrichters für den „Inselbetrieb“.

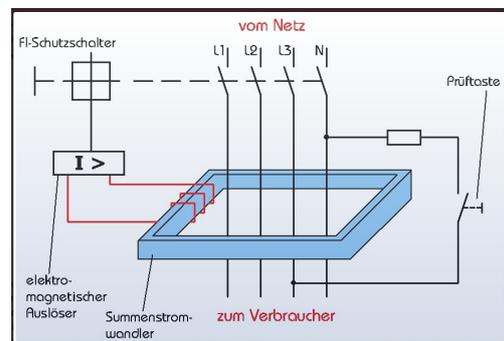
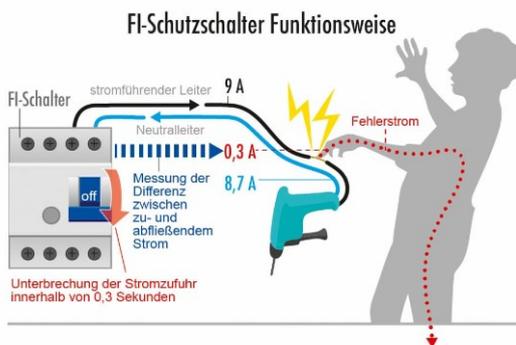
Das IT Netz des Wechselrichters wird durch ein Erdungsrelais zum TN Netz.
 (PE-N Verbindung)

Nur so kann der **FI Schutzschalter (RCD)** richtig funktionieren.

3.2.2.3.4 230V AC (FI Schutz bei Wechselrichter)

TIPP:

- Es gilt den (AC 50Hz) Fehlerstrom über das Herz des Menschen zu vermeiden um das lebensgefährliche Herzklammerflimmern auszuschließen.



L1 und N werden über einen FI Schutzschalter geführt. Dann werden die einzelnen Stromkreise individuell über Leistungsschutzschalter verdrahtet.

Somit wird die Summe des Stromkreises auf Null überwacht.
 Geht nun etwas Strom (Fehlerstrom über den Menschen) verloren löst das Gerät aus.

Siehe auch Kapitel: „ Schutz gegen elektrischen Schlag)

Beim TN Netzen mit rein sinusförmiger Spannung kommen in der Regel Typ A Fehlerstromschutzschalter zum Einsatz um den Personenschutz zu gewährleisten.

Sobald Gleichanteile (Frequenzrichter) die Spannungsform anreichern kann der Summenstromwandler nicht mehr exakt messen und der FI Schutzschalter **Typ B** ist einzusetzen.

3.3 EMV / Elektromog

Elektromagnetische Verträglichkeit – auch kurz als **EMV** bezeichnet, umfasst alle Fähigkeiten eines elektrischen Geräts, Werkzeugs oder einer Anlage, andere Geräte nicht durch elektromagnetische sowie elektrische Einflüsse in Ihrer Funktion zu beeinträchtigen.

Elektromog ist artverwandt, aber in der Bedeutung etwas anderes.

Wiki:

*„**Elektromog** oder **E-Smog** (aus Elektro- und Smog) ist ein umgangssprachlicher Ausdruck für die täglichen Belastungen des Menschen und der Umwelt durch technisch erzeugte (künstliche) elektrische, magnetische und elektromagnetische Felder, von denen teilweise angenommen wird, dass sie (unerwünschte) biologische Wirkungen haben könnten.*

Der Begriff Elektromog wird oft abwertend gebraucht. Sprachlich lässt sich der Ausdruck Elektromog als Dysphemismus einstufen. Ein neutrales Synonym hierzu ist die „elektromagnetische Strahlenbelastung“.

Die Verträglichkeit nachweisbarer Immissionen von elektromagnetischen Feldern für die Umwelt und insbesondere die gesundheitliche Verträglichkeit und Zumutbarkeit für den Menschen, werden mit dem Begriff der elektromagnetischen Umweltverträglichkeit (EMVU) bezeichnet. Menschen, die angeben, solche Wirkungen zu verspüren, gelten als elektrosensibel. Die dazu zulässigen Grenzwerte sind im Rahmen der elektromagnetischen Umweltverträglichkeit in verschiedenen Richtlinien, Normen und Gesetzen geregelt. Einflüsse elektromagnetischer Felder auf technische Einrichtungen werden im Rahmen der elektromagnetischen Verträglichkeit beschrieben.“

3.3.1 Cyber Security

Unter Cybersicherheit versteht man Maßnahmen, um Computer, Server, Mobilgeräte, elektronische Systeme, Netzwerke und Daten gegen böswillige Angriffe zu verteidigen. Sie wird auch als IT-Sicherheit oder elektronische Datensicherheit bezeichnet.

Beim Wohnmobil handelt es sich sicherlich nicht um kritische Infrastruktur (Kraftwerke etc.) und sensible Daten (Gesundheit, Strategie) sind es eher auch nicht.

Dennoch muss auch hier auf einige Basics geachtet werden.

Verwaltungsmöglichkeit aller drahtlosen Ports:

- Passwortschutz
- Gezielte Aktivierung
- Sichere Bereitstellung vom FW.

. . .

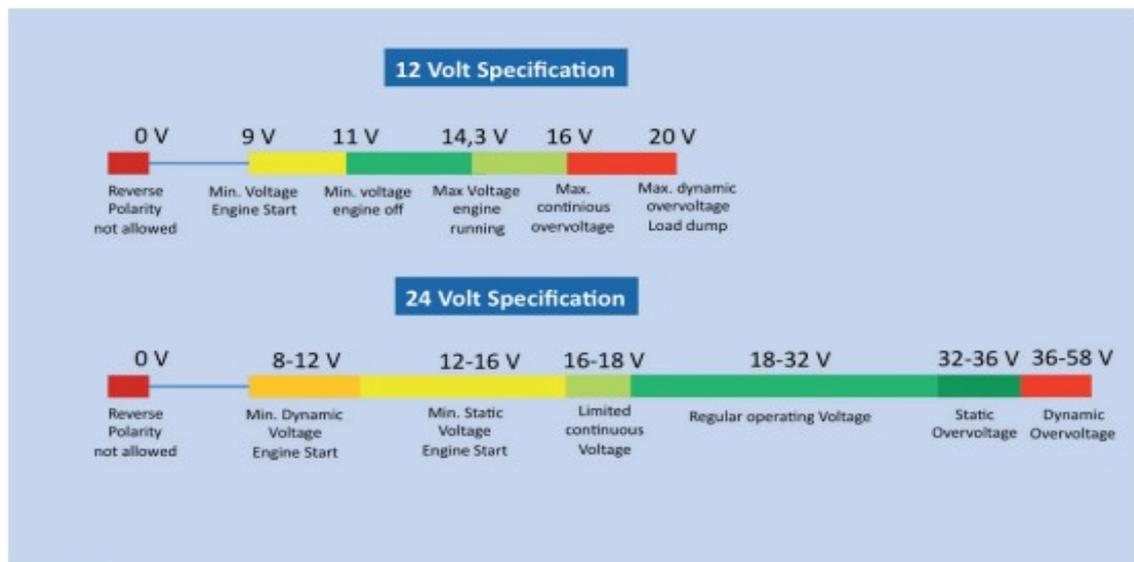
Praxisbeispiel: STUXNET <https://de.wikipedia.org/wiki/Stuxnet>

3.4 Spannungsebenen im KFZ

Siehe auch:

https://www.zvei.org/fileadmin/user_upload/Presse_und_Medien/Publikationen/2014/januar/Spannungsklassen_in_der_Elektromobilitaet/Spannungsklassen-Elektromobilitaet.pdf

Spannungsebenen im Automobilbereich							
Schutzklasse	Name	Obergrenze AC V _{eff}	Obergrenze DC V	geltende Norm	andere gebräuchliche Bezeichnungen	Berührungsschutz	Bemerkung
III	Funktionskleinspannung	25	60	kein Rechercheergebnis	FELV – Functional Extra Lowvoltage		Kein besonderer Schutz zur sicheren Trennung von anderen Stromkreisen mit höherer Spannung
III	Schutzkleinspannung	25	60	IEC 50178	PELV – Protective Extra Lowvoltage	ohne	Wenn man zwischen den Stromkreisen einen Potenzialausgleich sicherstellen muss um Funkenbildung zu vermeiden z. B. in Kesselanlagen mit explosiven Gasen, aber auch für HiFi Anlagen
III	Sicherheitskleinspannung	25	60	IEC 61140	SELV – Safty Extra Lowvoltage	ohne	Gegenüber Kleinspannung besonderer Schutz zu Stromkreisen mit höherer Spannung, wie z. B. Sicherheitstransformatoren
III	Kleinspannung	25	60	IEC 60449	ELV – Extra Lowvoltage	ohne	
III	Kleinspannung	50	120	IEC 60449	ELV – Extra Lowvoltage	mit	
II	Niederspannung	1.000	1.500	EN 50110		doppelt	Im Automobilbereich hat sich für diese Spannungsklasse die Bezeichnung ‚Hochvolt‘ durchgesetzt. Damit soll der Tatsache Ausdruck verliehen werden, dass diese Spannungsklasse nicht ohne zusätzliche Schutzmaßnahmen für den Menschen ungefährlich ist, wie es die 12/24 V Klasse ist
I	Mittelspannung	ca. 36.000		länder-spezifisch		mit Abstand	speziell ausgebildete Fachkräfte, national geprägte Vorschriften
0, I	Hochspannung	> 36.000		länder-spezifisch		mit Abstand	speziell ausgebildete Fachkräfte, national geprägte Vorschriften



Quelle: ZVEI

Mit **Berührungsschutz** wären demnach im Wohnmobil **120V** als **Kleinspannung** möglich.

3.5 Schutz gegen unzulässige Erwärmung

Die Erwärmung der Kabel wird durch den Strom hervorgerufen:
 Die Absicherung gegen zu hohe Temperaturen erfolgt durch Stromunterbrechung bei Überlasten.
 Leitungsschutzschalter und Schmelzsicherungen werden hier eingesetzt.

3.5.1 Schmelzsicherungen

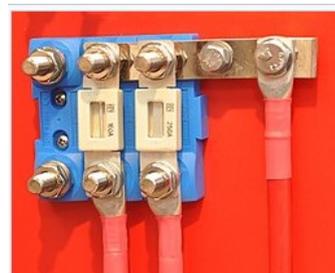
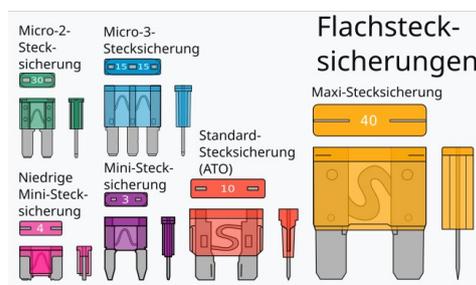
Wiki:

„Schmelzsicherungen bestehen aus einem isolierenden Körper, der zwei durch einen Schmelzleiter verbundene elektrische Kontakte aufnimmt.
 Der Schmelzleiter wird durch den ihn durchfließenden Strom erwärmt und schmilzt, wenn der Bemessungsstrom (Nennstrom) der Sicherung deutlich für eine bestimmte Zeit überschritten wird.
 Diese Schutzfunktion wird „Auslösen der Sicherung“ genannt.
 Ausgelöste Schmelzsicherungen sind unbrauchbar und müssen ersetzt werden.“

Streifensicherungen

	DIN 72581-2	DIN 43560-1
Länge	41 mm	82 mm
Breite	11 mm	20 mm
Kontaktabstand	30 mm	60 mm
Kontaktöffnung	5,5 mm (M5)	11 mm (M10)
Bemessungsstrom	30, 50, 80, 100 A	35, 50, 63, 80, 100, 125, 160, 200, 250, 300, 355, 425 A
Auslösezeit (minimal)	1 Stunde bei $1,3 \times I_N$	bis 200 A: 1 Stunde bei $1,5 \times I_N$ 250 bis 425 A: 1 Minute bei $1,6 \times I_N$
Auslösezeit (maximal)	1 Minute bei $2,5 \times I_N$	1 Minute bei $2,2 \times I_N$ 0,8 bis 10 Sekunden bei $2,5 \times I_N$ 0,2 bis 2 Sekunden bei $4,0 \times I_N$
Spannungsfall	maximal 80 mV	

Die Tabelle zeigt charakteristische Eigenschaften von Streifensicherungen.



Streifensicherungen nach DIN 43560

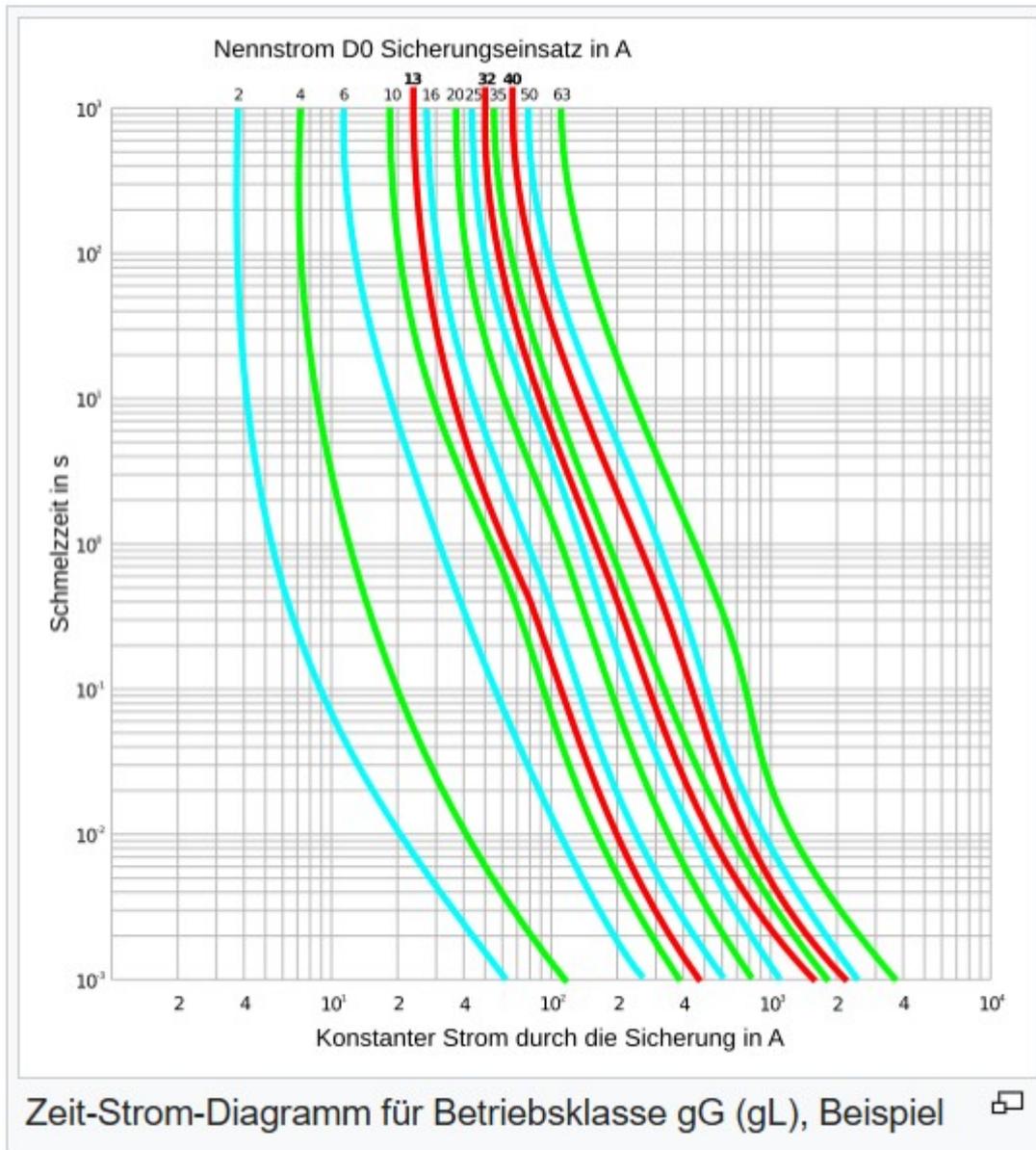
3.5.1.1 Auslösecharakteristik von Schmelzsicherungen

Wiki:

„Die Auslösecharakteristik beschreibt in einem Zeit-Strom-Diagramm das Toleranzfeld der Auslösezeit bei bestimmten auf den Nennstrom bezogenen relativen Überströmen. Die Toleranzen bei gleicher Charakteristik sind relativ groß.

Bei 1,5-facher Überlast beträgt die Auslösezeit etwa eine Stunde; beim 15-fachen Nennstrom (Kurzschluss) beispielsweise unter 50 ms.

Charakteristisch für alle Zeit-Strom-Diagramme von Sicherungselementen ist, dass die Toleranzbreite bei geringem Überstrom größer als bei relativ hohen Überströmen ist.“



4 AUSLEGUNG UND DIMENSIONIERUNG (KABEL / SICHERUNGEN)

2 Kriterien kommen zur Anwendung.

- Erwärmung
- Spannungsabfall

4.1 Erwärmung

Die Tabelle zeigt einen Auszug zur DIN VDE 0298-4 aus dem WEB.

Die dort aufgeführte Verlege Art B2 dürfte hier am ehesten zutreffen.

Die Tabelle hört bei einem Nennquerschnitt von 300 mm² auf.

Dann sind nach Spalte 8 394 A möglich. (300mm² = 394A, 70mm² = 168A)

Endsprechen sind diese Kabel durch Sicherungen zu schützen.

Erforderlich im für den Fall im Beispielvideo wären zwischen Batterie und Hauptverteiler wären nach dieser Tabelle 240 mm².

(Herleitung siehe Kapitel „Selektivität und Absicherung“)

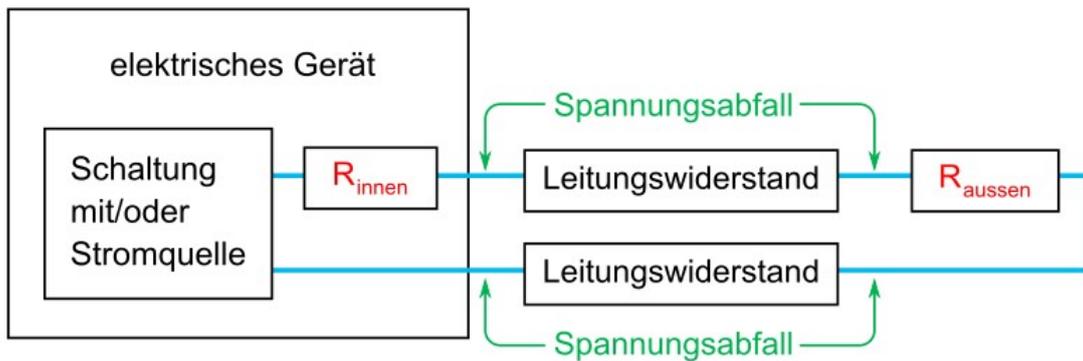
Wer sein Wissen dazu auffrischen möchte schaut hier:

<https://www.youtube.com/watch?v=Jq1tzAaw-yE>

Verlegeart	A1		A2		B1		B2		C	
	Verlegung in wärmeisolierten Wänden				Verlegung in Elektroinstallationsrohren				Verlegung auf einer Wand	
Anzahl belasteter Adern	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3
Nennquerschnitt in mm ²	Belastbarkeit in A									
1,5	15,5 ²⁾	13,5	15,5 ²⁾	13,0	17,5	15,5	16,5	15,0	19,5	17,5
2,5	19,5	18,0	18,5	17,5	24	21	23	20	27	24
4	26	24	25	23	32	28	30	27	36	32
4	–	–	–	–	–	–	–	–	–	33,02
6	34	31	32	29	41	36	38	34	46	41
10	46	42	43	39	57	50	52	46	63	57
10	–	–	–	–	–	–	–	47,17	–	59,43
16	61	56	57	52	76	68	69	62	85	76
25	80	73	75	68	101	89	90	80	112	96
35	99	89	92	83	125	110	111	99	138	119
50	119	108	110	99	151	134	133	118	168	144
70	151	136	139	125	192	171	168	149	213	184
95	182	164	167	150	232	207	201	179	258	223
120	210	188	192	172	269	239	232	206	299	259
150	240	216	219	196	300	262	258	225	344	299
185	273	245	248	223	341	296	294	255	392	341
240	321	286	291	261	400	346	344	297	461	403
300	367	328	334	298	458	394	394	339	530	464

Wenn man das nach Tabelle mit 50A auswählt reichen nach Verlege Art B2 10mm².

4.2 Spannungsabfall



Gleichstrom

$$\Delta U = \frac{2 \cdot l \cdot I}{\gamma \cdot A}$$

Zur Beurteilung wird der Spannungsabfall in Relation zur Systemspannung [%] bewertet.

Beispiel:

- 50 A Booster unter dem Fahrersitz mit 1 Meter bis Lichtmaschine
- 6 Meter Kabelweg zur Batterie in Heckgarage
- 16 mm² Kabelquerschnitt nach Tabelle Verlege Art B2 (69A)

	Kabel 1	Booster I
	Starter Batterie bis Booster	
Länge	6	[m]
Querschnitt	16	[mm ²]
Gamma	56,179	[S*m/mm ²]
Spez Gewicht	8,93	[g/cm ³]
Strom	50	[A]
Spannung	12,8	[V]
Spannungsabfall	0,668	[V]
Spannungsabfall	5,215	[%]
Verlustleistung	33,375	[W]
Leistung	640	[W]
Widerstand	6,675	[mΩ]
Gewicht	857,28	[g]

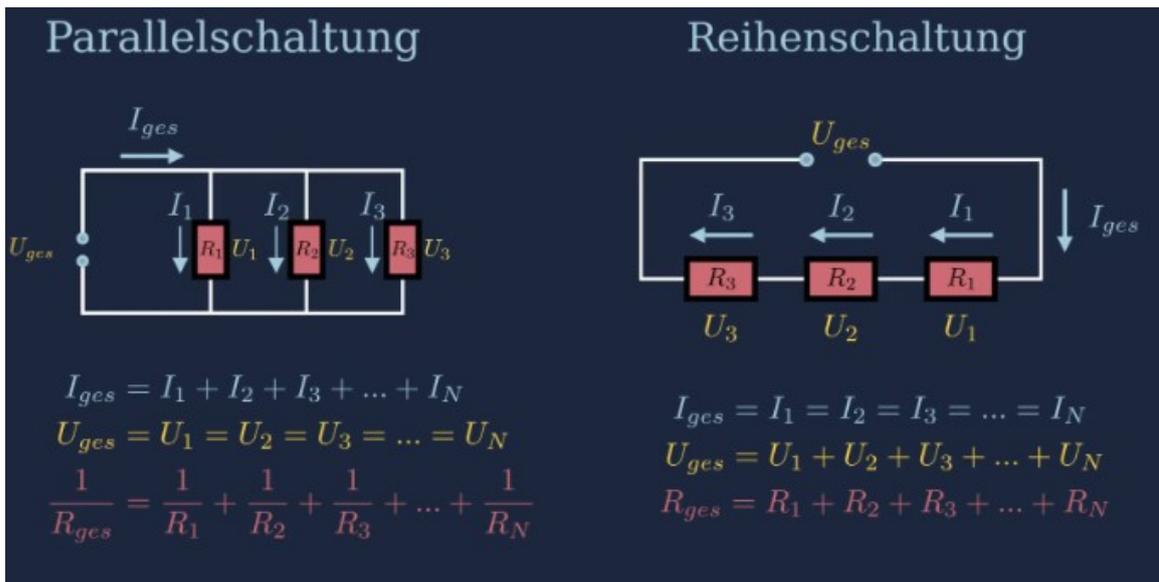
In diesem Beispiel beträgt der Spannungsabfall 668mV

Das sind 5,215% der Systemspannung. (zu viel!)

Mit 1,6V = 100% SOC

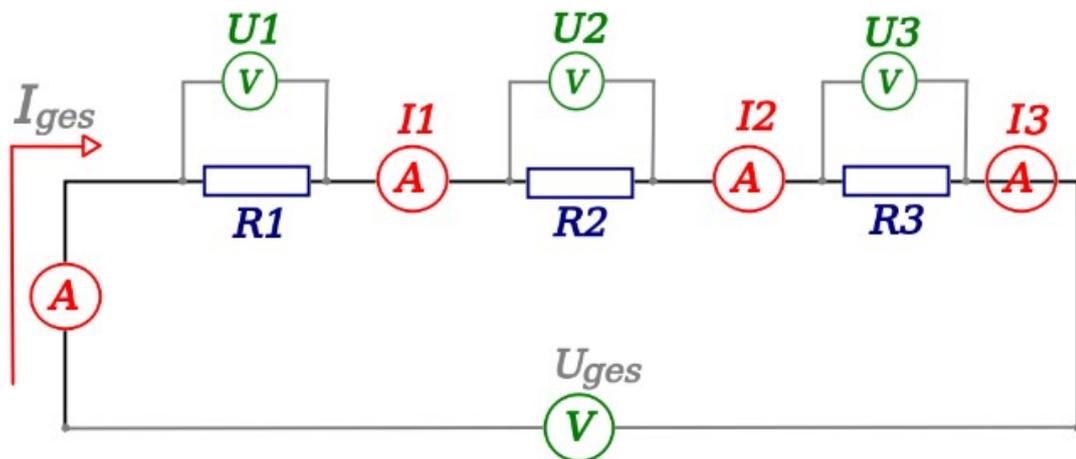
0,668V entspricht 41,7% SOC Verfälschung

4.2.1 Reihenschaltung Parallelschaltung und Spannungsabfall



Links: Parallelschaltung, eine Spannung, die Ströme werden addiert.
 Rechts: Reihenschaltung, ein Strom, die Spannungen werden addiert.

Der Spannungsabfall wird im Ersatzschaltbild als Reihenschaltung erfasst / dargestellt.



4.3 Selektivität und Absicherung (Vorschlag)

Aus MILTIPLUS II Doku: „5000 W Leistung bei nicht linearer Belastung 4000 W Dauerbelastung und 9000 W Spitzenleistung“

Bedarf: 1280 W 100A (1280W / 12,8V = 100A)

Lastspiel: Dauerleitung 1280 kW 100 A
Überlast 1 min 1700 kW 133 A
Überlast 10 min 2500 kW 200 A

(Sicherungscharakteristic bis 2.5 * In möglich)
Siehe auch Tabelle Sicherungen und Auslösezeiten.

Offene Frage: Ist das BMS Teil des Schutzkonzeptes?

Ein MOSFET eignet sich nicht zur sicheren Trennung da er durchlegieren kann.

4.4 Maßnahmen und Dimensionierung

BMS: Abschaltstrom pro Batterie 140A
Sicherung an Batterie: 160A
(löst dann auch nur bei Kurzschluss und defektem BMS aus)
Laut Tabelle Kabelquerschnitt bis Hauptverteiler 70 mm².
Sicherung Wechselrichter 125 A (4,5kW Dauerleistung)
Sicherung Weiterleitung an Unterverteiler 100 A (10 A bei 10 Abgängen)
Kabel zum WAGO Unterverteiler 70 mm² laut Tabelle.

Dann löst die 160A Batteriesicherung bei 440A Kurzschluss Strom (defektes BMS) innerhalb von 2 Sec aus und verhindert den Feuerwehreinsatz.

Selektiv bedeutet das je nach Fehlerort (Kurzschluss) zunächst die lokale Sicherung fällt (z.B. 100A) für die Unterverteilung) und erst im Extremfall eine übergeordnete Sicherung (an der Batterie).

Zur Verdeutlichung dient folgendes Rechenbeispiel:

3 Meter 70 mm² hat in etwa den Widerstand 0,75 mΩ
Die LiFePO4 hat in etwa einen Innenwiderstand 0,25 mΩ
Übergangswiderstände werden angenommen mit 1,00 mΩ
 $I = U/R = 12V/0,002\Omega = 6000A$ Kurzschluss Strom

Bei einer Batteriekapazität von 280 Ah wirkt dieser Strom 2,8 Minuten lang bis die Batterie leer ist. (ideal und linear ohne passende Sicherung)

In diesen 2,8 Minuten erwärmt der Kurzschluss mit $P = U \times I = 12V \times 6000A = 72 \text{ kW}$ die Leitungen.

Wichtig: Sicherungen mit ausreichendem Trennvermögen einsetzen.

4.4.1 Trennvermögen der Sicherungen

Wiki:

„Eine Schmelzsicherung ist eine Überstromschutzeinrichtung, die durch das Abschmelzen eines Schmelzleiters den Stromkreis unterbricht, wenn die Stromstärke einen bestimmten Wert während einer ausreichenden Zeit überschreitet.“

Schaltvermögen

Damit eine Sicherung im Kurzschlussfall sicher auslösen kann, ist es wichtig, dass ihr Schaltvermögen (Ausschaltvermögen) nicht überschritten wird. Das Schaltvermögen ist der maximale zu erwartende „prospektive“ (unbeeinflusste) Kurzschlussstrom, den die Sicherung noch sicher abschalten kann, ohne dass ein Lichtbogen stehenbleibt oder die Sicherung selbst zerstört wird (zum Beispiel beim Zerplatzen des Keramikkörpers).

Das Schaltvermögen für Gleichstrom ist wesentlich geringer als für Wechselstrom. Schmelzsicherungen, die für Gleichstrom vorgesehen sind, können bedenkenlos auch für Wechselstrom verwendet werden, jedoch nicht umgekehrt.

Siehe auch: <https://www.youtube.com/watch?v=KgK6XCGayz0>



Vom Kanal: **Elektronik „EXTREM“**

5 ZUSAMMENWIRKEN DER GEWERKE

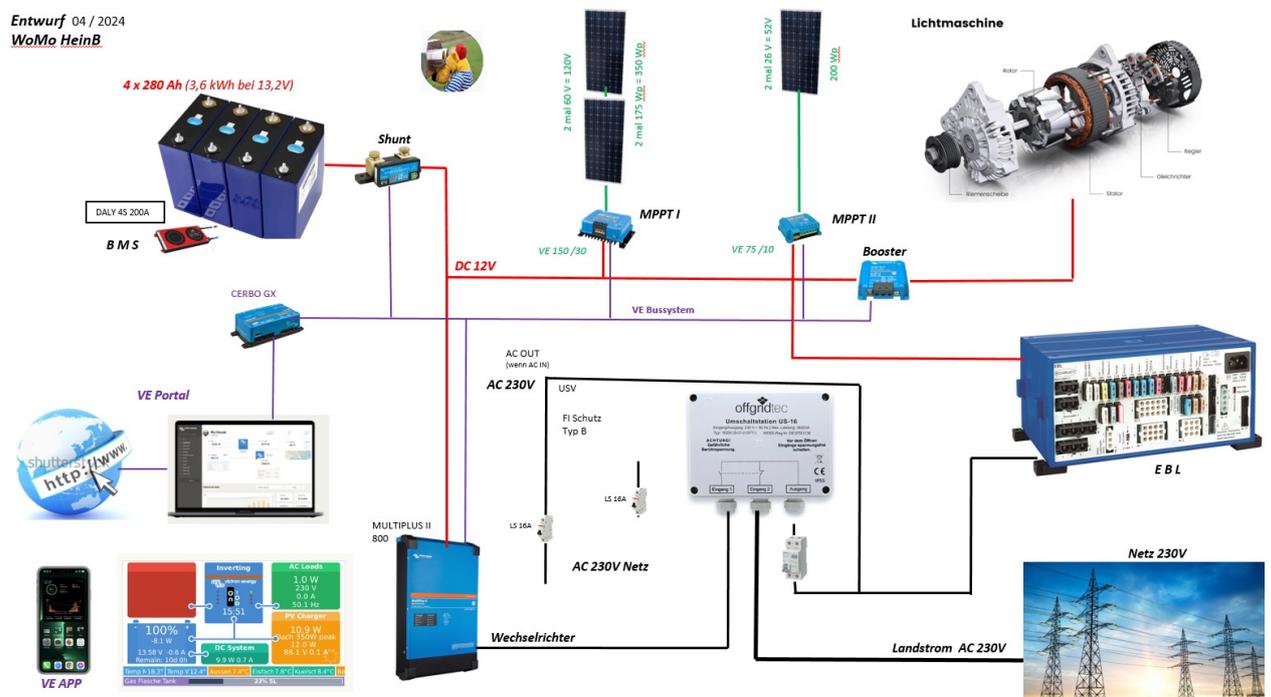
In diesem Kapitel wird auf ein funktionelles und sicheres Zusammenwirken aller Gewerke eingegangen.

- Übersichtsbild (mit Kommunikationsstrukturen) und Stromlaufpläne bilden die Basis.
- Stromlaufpläne und Parameterlisten begleiten die Umsetzung.

5.1 Stromlaufpläne und Dokumentation

Stromlaufpläne, Übersichtsbilder und Verlegepläne des Herstellers erleichtern das Hantieren mit der Bordelektrik ungemein.

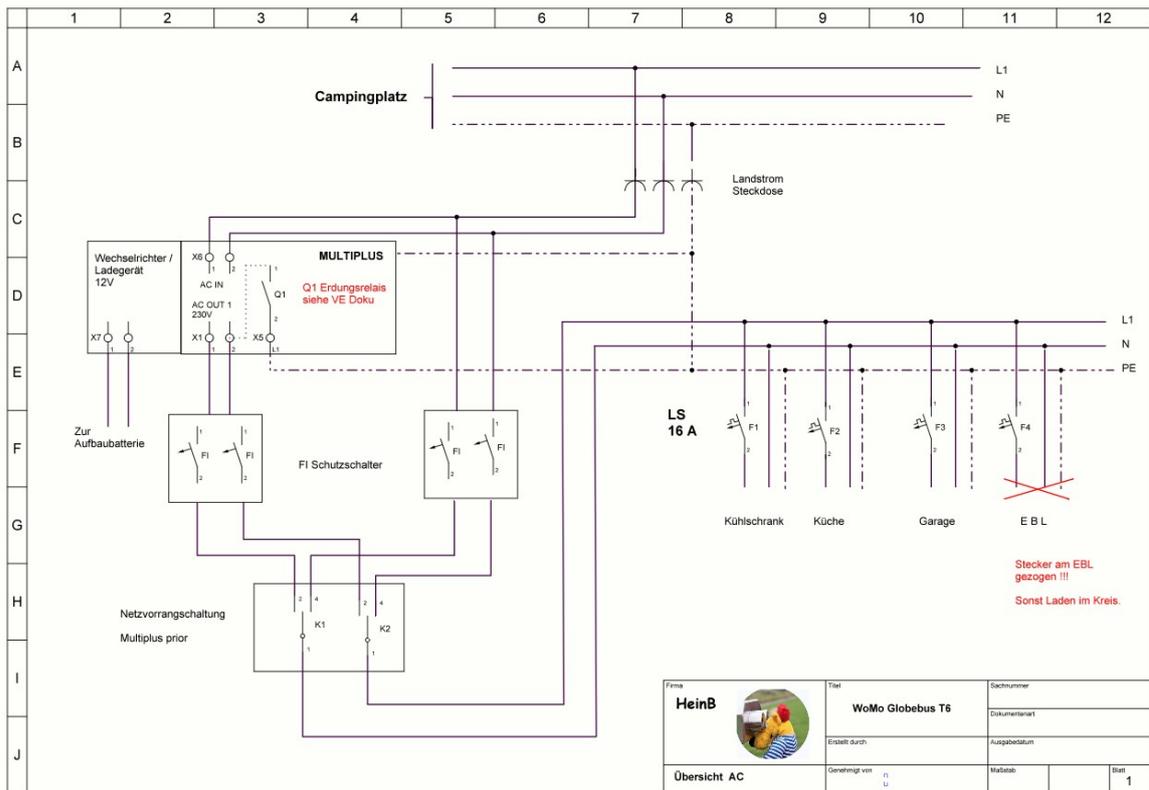
5.1.1 Übersichtsbild



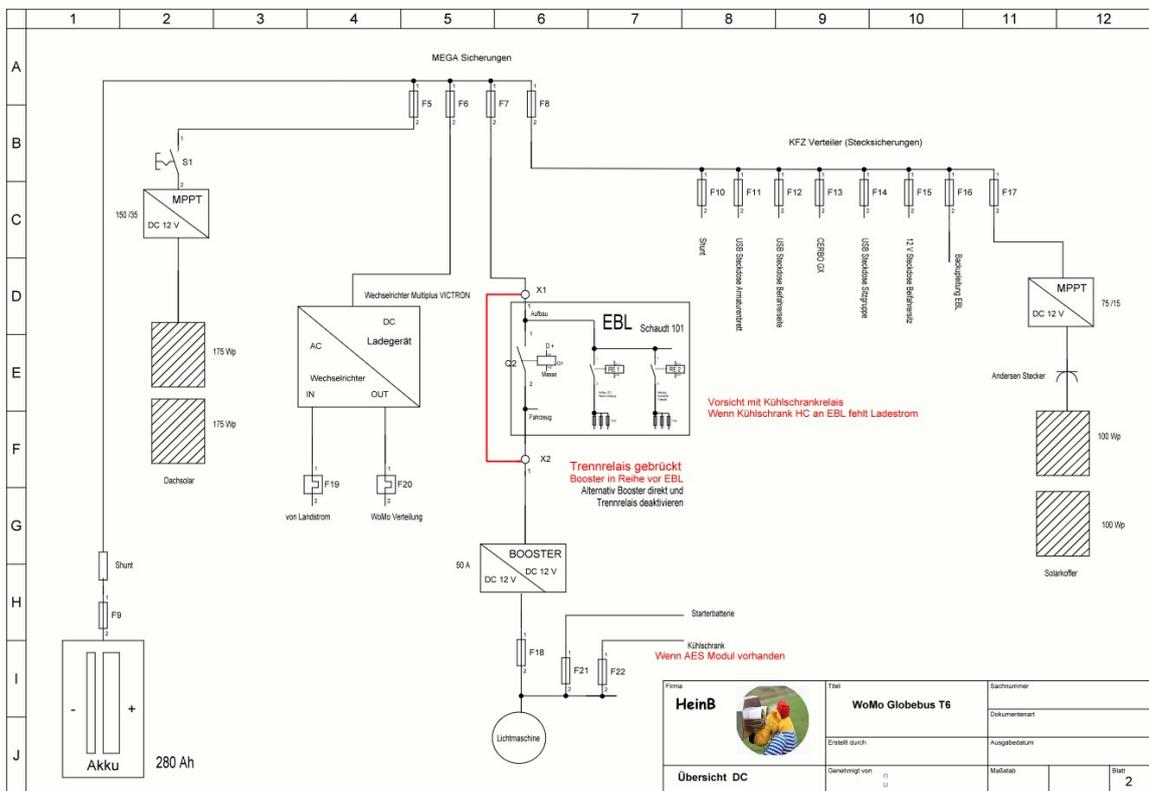
Grober erster Überblick

Alternative zum Bussystem wenn es um Regelung und Koordination der Komponenten geht: → BT smart Networking

5.1.2 Stromlaufpläne



Prinzipdarstellung AC (AC IN verdrahtet wegen Ladegerät)



Prinzipdarstellung DC (Booster an original Verdrahtung angeklemt)

5.2 Erhaltungsladen nach Umbau auf LiFePo4 und Wechselrichter

Bewährte ältere (AGM) Architekturen sehen an Landstrom Ladegeräte für die Starterbatterie und die Aufbaubatterie vor.

Das EBL 101 kann: 20A Aufbaubatterie
2A Straterbatterie

Um nicht mit dem nachgerüsteten Wechselrichter im Kreis zu laden (Aufbaubatterie → EBL Ladwegerät → Aufbaubatterie) werden beide Ladegeräte in der Regel deaktiviert. (Sicherung oder 230V am EBL entfernen) (siehe auch Stromlaufplan **Kap.: 5.1.2**)
Somit ist auch die Erhaltungsladung beider Batterie an Landstrom deaktiviert.

Man kann das bei ausgeschaltetem Wechselrichter wieder aktivieren oder zusätzliche Ladegeräte vorsehen.

5.2.1 Erhaltungsladung Aufbaubatterie

LiFePo4 Ladegerät am Landstromeingang (nicht Wechselrichter!) betreiben.

Wenn ein Kombiwechselrichter mit integriertem Ladegerät verbaut ist diesen an Landstrom einschalten. (EBL Lader bleiben deaktiviert)

5.2.2 Erhaltungsladung Starterbatterie

Geeigneter Stand-By Lader. (muss für LiFePo4 auf AGM geeignet sein)

Separates Batterieladegerät bereithalten.
(siehe Kapitel: 8.4.5)

5.3 Abstimmung der Einstellungen

Ziel dieser Übung ist die stabile, zuverlässige Funktion der Gesamtanlage.

5.3.1 Einstellungen Daly BMS

Schutzparameter			
PW 123456 --> XXXXXXXXXX	Preset	Setting WoMo	MISC
Zellenspannung Schutzabschaltung MAX	3,75	3,75	15
Zellenspannung Schutzabschaltung MIN	2,2	2,75	10
Gesamtspannung Schutzabschaltung MAX	15	15,0	
Gesamtspannung Schutzabschaltung MIN	8,3	10,0	
Zellen Differenzspannung	0,8		
Max Strom Aufladen	300	100	
Max Strom Entladen	300	125	

Zelleneigenschaften			
Art der Batterie	LIFePO4		
Nennkapazität	30	280 Ah	
Zellen Referenz Spannung	3,2		
Wartezeit bis Standby	3600		
SOC Setup	50		
Ballancer Start	3,4	3,2	13,8
Ballancer Differenz	0,05		

Einstellungen BMS		
Anzahl der Boards	1	
Bord 1 Zellenzahl	4	
Bord 2 Zellenzahl		
Bord 3 Zellenzahl		
Bord 1 Temperaturnummer	1	
Bord 2 Temperaturnummer		
Bord 3 Temperaturnummer		

Temperaturschutz		
Ladeschutz hohe Temperatur	65	
Ladeschutz niedrige Temperatur	-40	2 °C
Entladeschutz hohe Temperatur	70	
Entladeschutz niedrige Temperatur	-40	-20 °C
Temperaturdifferenzschalter	15	
Temperaturschutz des MOS FET	47	

5.3.2 Einstellungen Smart Shunt

Per Handy App kann der Smart Shunt parametrierbar werden

<https://www.victronenergy.com/media/pg/SmartShunt/de/all-features-and-settings.html>

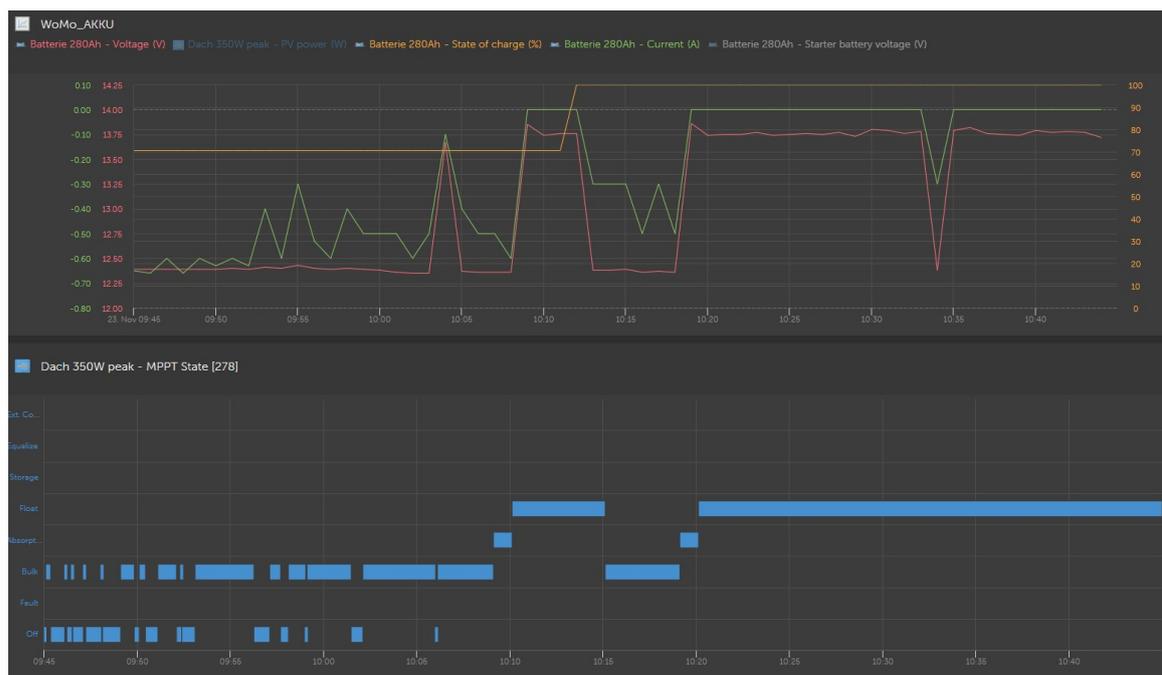
Parameter:

- Spannung SOC = 100% 14,0V
- Schweißstrom= 4%
- Entladeboden 50%
- Zeitfenster 3 Min
- Peukert Exponent 1,05
- Ladewirkungsgrad 98%
- Stromschwelle 0,1A

Ziel: keine Sprünge wenn der SOC spannungsabhängig nachgeführt wird.
Genauere SOC Abbildung in allen Lebenslagen

5.3.3 SOC Synchronisierung Batterie Computer

Zusatzbeobachtung Synchronisation per MPPT Solarregler am 23. November 2024



Um 10:10 wurde bei 0,0A Strom und 13,74V Spannung zum ersten Mal die Betriebsart Absorption angezeigt.

Der SOC wurde auf 100% synchronisiert.

Dieser Vorgang wurde nach 10 Minuten wiederholt, was noch zu untersuchen wäre.

LOP: Feinjustierung der SOC Synchronisierung bzw. MPPT Settings.

5.4 Zusammenspiel verschiedenen Regelkreise

Um verschiedene Regelkreise harmonisch miteinander wirken zu lassen sind 2 Grundvoraussetzungen wichtig.

- Aufeinander abgestimmte Parametrierungen.

Offenlegung aller Parameter und Abstimmung in einer gemeinsamen Tabelle

- Synchronisierung der Istwerte. (z.B. Batterie Spannung)

Lässt sich durch Kopplung per Bussystem oder auch per Kopplung über Bluetooth lösen.

5.4.1 Durch abgestimmte Parametrierung

Was	Wo	Wert pro Zelle	Wert 4S 12V	
Unterspannung	BMS	2,5 V	10,0 V	
SOC = 0 %	Kein Einstellwert bekannt			
Multiplus Unterspannung WR	Multiplus mit MK2 Adapter		12,5	
Freigabe passiver Ballancer	BMS	3,2 V ?		
Erhaltungsspannung	Multiplus / CERBO	3,375 V	13,5 V	
	Solar MPPT	3,4 V	13,6 V	
	Booster	3,4 V	13,6 V	
Freigabe passiver Ballancer	BMS	3,5 V	12,8 V	
Ladeschlußspannung	Multiplus / CERBO	3,55 V	14,2 V	
	Solar MPPT	3,425 V	13,7 V	
	Booster	3,425 V	13,7 V	
SOC = 100%	Shunt	3,55 V	14,0 V	
Absorptionsspannung	Alle	3,6 V	14,2 V	
Überspannung	BMS	3,7 V	15,0 V	

6 PLANUNG, TESTSYSTEMATIK UND ANALYSEN

Um wirklich zu Erkennen ob denn das funktionale Zusammenwirken der Gewerke nutzerdienlich gegeben ist sind Analysetools unverzichtbar.
Es ist zu hoffen dass die Hersteller bei ihren Funktions- und Freigabetests ähnlich vorgehen.

Der Verfasser möchte hier als Beispiel auf permanente geräteübergreifende Signalaufzeichnung mit nachgelagerter konfigurierbarer Analyse hinweisen.

TIPP:

- Das braucht ein Wohnmobilbesitzer der damit reisen möchte nicht zwingend.
- Und auch nicht jeder DIY Veredler. (Bastler)
- Wirklich gute Fachwerkstätten und Geräteentwickler sichern damit die Qualität ihrer Arbeit ab.
- Nerds und Tüftlern hilft das alles zu durchdringen.

6.1 Entwicklertools

- Debugger
- Externe Datenlogger

Der Verfasser hat neben Siemens Onboard Tracern sein Berufsleben lang IBA Analyzer eingesetzt. <https://www.iba-ag.com/de/ibaanalyzer>

6.2 Usertools

- Integrierte Trace Funktionalität z.B. in einer App (z.B. Smart Battery)
- Integrierte Trace Funktionalität auf dem WEB Server eines Bus Systems (z.B. VRM Portal)

6.3 Auslegungstools

Auslegungstools dienen dazu Geräte und die Verkabelung richtig zu dimensionieren.

Dabei erhält man Daten zu:

- Größe der Geräte nach Bedarfsanalyse
- Dimensionierung der Kabel
- Platzierung der Komponenten (Kabelwehe und Gewichtsverteilung)
- Evtl. (Wahl der richtigen Systemspannung bei großen Anlagen)

6.3.1 Autarkierechner Reiseschrauber

Reiseschrauber-Autarkierechner						 Reiseschrauber.de				
Technische Daten						Autarkie - Ergebnis:				
Bordspannung	12,8					Energiebilanz im Bordakku		-69,4Ah		
Lithium Akku Ah	280					Energiebilanz im Bordakku		-24,8 %		
Lithium Akku kWh	3,584					Elektrische Autarkie in Tagen:		4,0 Tage		
Verbraucher pro 24h						Energiespender pro 24h				
Nach Dauer ¹⁾	Minuten	Watt	kWh	Ah	% Akku	Solaranlage in Mitteleuropa		kWh	Ah	% Akku
Induktionskochfeld	0	2000	0,00	0,0	0%	WP	350			
Truma Gas-Heizung	1440	15	0,36	28,1	10%	Sommer	FALSCH	0		
Föhne	0	1500	0,00	0,0	0%	Herbst	WAHR	0,525		
Wasserkocher	30	1500	0,75	58,6	21%	Verschattung	25%	-0,13		
Beleuchtung	0	15	0,00	0,0	0%	Ertrag/Tag		0,39	30,8	11,0%
Router etc.	1440	10	0,24	18,8	7%	Ladebooster		kWh	Ah	% Akku
Laptop (Laden)	0	65	0,00	0,0	0%	Ampere:	30			
TV Sat	0	10	0,00	0,0	0%	Stunden:	2			
TV Gerät	0	10	0,00	0,0	0%	Ertrag:		0,77	60,0	21,4%
Sonstiges	0	0	0,00	0,0	0%	Ladegerät an Landstrom		kWh	Ah	% Akku
Nach Anzahl ²⁾	Anzahl	kWh/Einheit	kWh	Ah	% Akku	Ampere:	30			
Kühlschrank Kompressor	0	0,500	0,00	0,0	0%	Stunden:	0			
Kühlschrank Absorber Gas	1	0,030	0,03	2,3	1%	Ertrag:		0,00	0,0	0,0%
E-Bike Akku 500Wh ³⁾	1	0,600	0,60	46,9	17%	Summe Laden pro Tag		1,16	90,76	32%
Nespresso Tasse	0	0,065	0,00	0,0	0%	Summe Verbrauch pro Tag		2,1	160,2	57%
Drohnenakku ³⁾	0	0,050	0,00	0,0	0%					
Kamera Akku ³⁾	1	0,030	0,03	2,3	1%					
Smartphone vollladen	2	0,020	0,04	3,1	1%					
Sonstige	0	0,000	0,00	0,0	0%					
Wert in Rot bitte individuell eintragen						1) Leistungsdaten typischer Geräte				
Wert in GRÜN: berechnete Werte						2) Werte aus Herstellerangaben				
Wert in Schwarz: Verbrauchswerte siehe 1) -3)						3) Akku Geräte die über 230V geladen werden mit 20% Mehrbedarf gerechnet für 2-fache Umwandlungsverluste				
Version 1.0 Reiseschrauber.de										

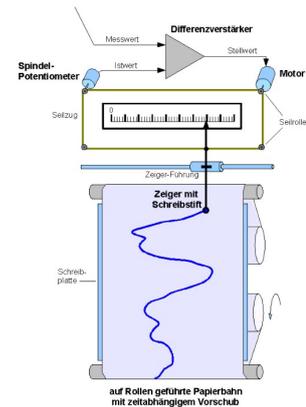
Der Autarkierechner ermöglicht es den individuellen elektrischen Energiebedarf zu ermitteln und ist Grundvoraussetzung für eine seriöse Planung.

6.4 Verifikation durch Datenanalyse

In der Industrie ist es üblich jede Abschätzung und Berechnung vor Freigabe durch Messungen zu überprüfen. (z.B. Systemtest für Produkte)

In der Vergangenheit waren dazu vielkanalige Messschieber erforderlich. (Bild rechts)

In der Neuzeit (digitale Systeme) werden unzählige Daten aufgezeichnet und anschließend mit geeigneten Analysetools ausgewertet.



6.4.1 Black Box Daten

Eine Möglichkeit das optimale Zusammenwirken und somit die Funktion zu beurteilen ist der Black Box Test.

Black-Box-Tests trennen den Tester vom Codeentwickler.

Diese Technik des Softwaretestens zwingt das Team, es aus der Sicht eines Außenstehenden zu betrachten.

Der Black-Box-Tester handelt aus der Sicht des Benutzers.

Grundvoraussetzung ist das Vorhandensein der Daten aller Komponenten einschließlich Zeitstempel.

6.4.2 Auswertetool Digitale Daten

Datenanalyse-Tools sind Softwarelösungen, Anwendungen und Plattformen, die die Analyse großer Datenmengen vereinfachen und beschleunigen.

Das gibt es als APP und auch als PC Lösung. Des Weiteren sind WEB Applikationen bekannt.

Eine bekannte ganzheitliche Lösung im Bereich Wohnmobil ist das VRM Portal. (Bild rechts)

Im erweiterten Mode lassen sich durch den Anwender beliebige Daten zu einer definierten Zeit individuell in Charts darstellen und analysieren.



7 RECHENBEISPIELE UND ANALYSEN ZUR VERDEUTLICHUNG

TIPP:

- In diesem Kapitel werden die elektrotechnischen Gesetzmäßigkeiten an praktischen Beispielen aus dem Bereich Wohnmobile angewendet.
- Das braucht ein Wohnmobilbesitzer der damit reisen möchte nicht zwingend.
- Dieses Kapitel dient der Verdeutlichung und richtet sich eher an Perfektionisten.

7.1 Rechenbeispiele Kabelauslegung im Wohnmobil

Die zwei Kriterien zur Wahl des Kabelquerschnitts sind **Erwärmung** und **Spannungsabfall**.

Bei 12V DC und LFePO4 Batterie ist der Spannungsabfall das deutlich sensiblere Kriterium. Das wird im Folgenden anhand einiger Beispiele durch Beispielrechnungen verdeutlicht.

7.1.1 Platzierung der Komponenten und Kabelwege

In 3 Rechenbeispielen wird aufgezeigt wie sich Position (Leitungslängen) und Querschnitte (Spannungsabfall) auswirken.

Tipp 1: je kürzer, desto besser.

Tipp 2: Gewichtsverteilung im Fahrzeug beachten.

7.1.1.1 Beispiel 1: Booster unter Fahrersitz und Batterie in der Heckgarage

Beispiel 1:	Kabel 1	Booster I	Kabel 2	Booster II
	Starter Batterie bis Booster		Booster bis Aufbau Batterie	
50 A Booster unter dem Fahrersitz mit 1 m Kabelweg zur LiMa.	Länge	1 [m]	6 [m]	
6 Meter Kabelweg zur Batterie in Heckgarage	Querschnitt	16 [mm ²]	16 [mm ²]	
16 mm ² Kabelquerschnitt (laut Tabelle bis 69A)	Gamma	56,179 [S*m/mm ²]	56,179 [S*m/mm ²]	
Kabel 1 ist ok	Spez Gewicht	8,93 [g/cm ³]	8,93 [g/cm ³]	
Kabel 2 zeigt über 5% Spannungsabfall und müsste dicker dimensioniert werden.	Strom	50 [A]	50 [A]	
	Spannung	12,8 [V]	12,8 [V]	
	Spannungsabfall	0,111 [V]	0,668 [V]	
	Spannungsabfall	0,869 [%]	5,215 [%]	
	Verlustleistung	5,563 [W]	33,375 [W]	
	Leistung	640 [W]	640 [W]	
	Widerstand	1,113 [mΩ]	6,675 [mΩ]	
	Gewicht	142,88 [g]	857,28 [g]	

7.1.1.2 Beispiel 2: Booster unter Fahrersitz und Batterie unter Beifahrersitz

<p>Beispiel 2:</p> <p>50 A Booster unter dem Fahrersitz mit 1 m Kabelweg zur LiMa.</p> <p>1 Meter Kabelweg zur Batterie unter Beifahrersitz</p> <p>16 mm² Kabelquerschnitt (laut Tabelle bis 69A)</p> <p>Kabel 1 ist ok</p> <p>Kabel 2 zeigt 0,87% Spannungsabfall passt ebenfalls.</p>		Kabel 1	Booster I	Kabel 2	Booster II
		Starter Batterie bis Booster		Booster bis Aufbau Batterie	
	Länge	1	[m]	1	[m]
	Querschnitt	16	[mm ²]	16	[mm ²]
	Gamma	56,179	[S*m/mm ²]	56,179	[S*m/mm ²]
	Spez Gewicht	8,93	[g/cm ³]	8,93	[g/cm ³]
	Strom	50	[A]	50	[A]
	Spannung	12,8	[V]	12,8	[V]
	Spannungsabfall	0,111	[V]	0,111	[V]
	Spannungsabfall	0,869	[%]	0,869	[%]
	Verlustleistung	5,563	[W]	5,563	[W]
	Leistung	640	[W]	640	[W]
	Widerstand	1,113	[mΩ]	1,113	[mΩ]
	Gewicht	142,88	[g]	142,88	[g]

7.1.1.3 Beispiel 3: Booster und Batterie in der Heckgarage

<p>Beispiel 3:</p> <p>50 A Booster in der Heckgarage mit 6 m Kabelweg zur LiMa.</p> <p>1 Meter Kabelweg zur Batterie in der Heckgarage</p> <p>16 mm² Kabelquerschnitt (laut Tabelle bis 69A)</p> <p>Kabel 1 zeigt 5,21% Spannungsabfall und 33W Verlustleistung.</p> <p>Kabel 2 zeigt 0,87% Spannungsabfall und ist ok.</p>		Kabel 1	Booster I	Kabel 2	Booster II
		Starter Batterie bis Booster		Booster bis Aufbau Batterie	
	Länge	6	[m]	1	[m]
	Querschnitt	16	[mm ²]	16	[mm ²]
	Gamma	56,179	[S*m/mm ²]	56,179	[S*m/mm ²]
	Spez Gewicht	8,93	[g/cm ³]	8,93	[g/cm ³]
	Strom	50	[A]	50	[A]
	Spannung	12,8	[V]	12,8	[V]
	Spannungsabfall	0,668	[V]	0,111	[V]
	Spannungsabfall	5,215	[%]	0,869	[%]
	Verlustleistung	33,375	[W]	5,563	[W]
	Leistung	640	[W]	640	[W]
	Widerstand	6,675	[mΩ]	1,113	[mΩ]
	Gewicht	857,28	[g]	142,88	[g]

Achtung: automatische Stillstands Erkennung des Motors beeinträchtigt!
(Sensorleitungen oder Vernetzung erforderlich)

7.1.1.4 Ideale Auslegung und Platzierung Batterie und Booster:

Grenzwert **Delta U auf 1% SOC** festlegt und danach dimensioniert.

Beispiel 4:

50 A Booster in der Heckgarage mit 6 m Kabelweg zur LiMa.

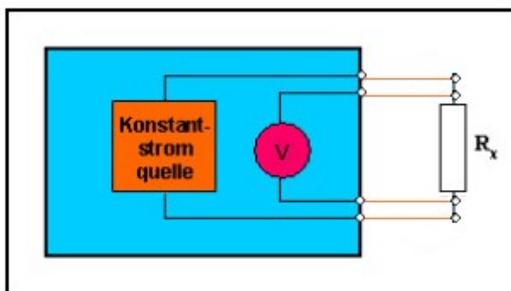
95 mm² Kabelquerschnitt wegen Spannungsabfall.
(laut Tabelle bis 201A)

Kabel 1 zeigt 0,87% Spannungsabfall und 5,6W Verlustleistung.

95 mm² Kabelquerschnitt sind **unrealistisch**.

	Kabel 1	Booster I
Starter Batterie bis Booster		
Länge	6 [m]	
Querschnitt	95 [mm ²]	
Gamma	56,179 [S*m/mm ²]	
Spez Gewicht	8,93 [g/cm ³]	
Strom	50 [A]	
Spannung	12,8 [V]	
Spannungsabfall	0,112 [V]	
Spannungsabfall	0,878 [%]	
Verlustleistung	5,621 [W]	
Leistung	640 [W]	
Widerstand	1,124 [mΩ]	
Gewicht	5090,1 [g]	

Besser: 4 Draht Spannungsmessung im Booster realisiert.



Die Spannungserfassung der Aufbaubatterie wird durch separate (nicht durch den Ladestrom beeinflusste) Messleitungen realisiert.

Batterie: Rx
Booster: Konstantstromquelle

7.1.2 Vergleich 24,6 V Systemspannung

Beispiel 5: 24 V System (bei identischer Ladeleistung 640W)

25 A Booster in der Heckgarage mit 6 m Kabelweg zur LiMa.

1 Meter Kabelweg zur Batterie in der Heckgarage

25 mm² Kabelquerschnitt ausreichend
(laut Tabelle bis 90A)

Kabel 1 zeigt 0,83% Spannungsabfall und 5,3W Verlustleistung.

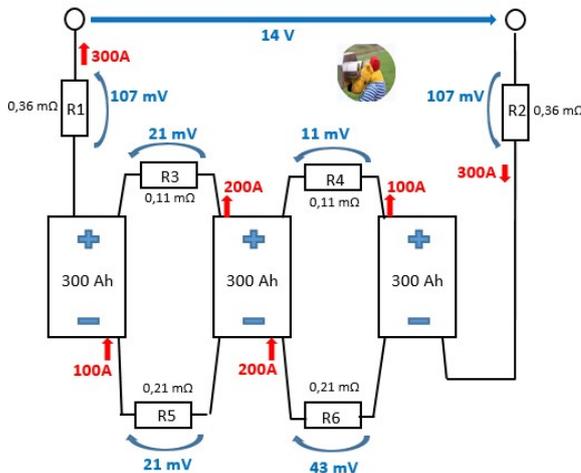
Verhältnis der Kabelquerschnitte 1 : 4 !

	Kabel 1	Booster I
Starter Batterie bis Booster		
Länge	6 [m]	
Querschnitt	25 [mm ²]	
Gamma	56,179 [S*m/mm ²]	
Spez Gewicht	8,93 [g/cm ³]	
Strom	25 [A]	
Spannung	25,6 [V]	
Spannungsabfall	0,214 [V]	
Spannungsabfall	0,834 [%]	
Verlustleistung	5,340 [W]	
Leistung	640 [W]	
Widerstand	4,272 [mΩ]	
Gewicht	1339,5 [g]	

7.2 Berechnung Akku Verschaltungen (nach Kirchhoff)

Parallelschaltung und Symmetrierung von mehr als 2 Batterien

Annahme: Die Brücken an den Minus Polen der Batterie sind **doppelt so lang** als die an den Plus Polen.



$$R [\Omega] = \frac{l}{\gamma \cdot A} \quad \text{mit } \gamma = 56 \frac{m}{\Omega \cdot mm^2}$$

$$R = \frac{1m}{56 \frac{m}{\Omega \cdot mm^2} \cdot 50mm^2} = \underline{\underline{0,36 m\Omega}}$$

$$U [V] = I[A] \cdot R[\Omega]$$

$$U [mV] = 300[A] \cdot 0,36[m\Omega] = \underline{\underline{107 [mV]}}$$

Mit 50 mm² Kupfer ergibt sich folgende Tabelle:

1 · m Ω	R1 α	0,36 · m Ω α	107 · mV α	300 · A α
· 1m α	R2 α	0,36 · m Ω α	107 · mV α	300 · A α
0,3 · m α	R3 α	0,11 · m Ω α	21 · mV α	200 · A α
0,3 · m α	R4 α	0,11 · m Ω α	11 · mV α	100 · A α
0,6 · m α	R5 α	0,21 · m Ω α	21 · mV α	100 · A α
0,6 · m α	R6 α	0,21 · m Ω α	43 · mV α	200 · A α

Bei diese Skizze sind die Leitungen auf der Minus Seite der Batterie doppelt so lang wie auf der Plus Seite. Daraus resultiert eine Spannungsverzerrung (R6 –R4) von 22mV.

Wenn nun 1600 mV = 0% = 100% Ladezustand der LiFePo4 Akkus abbilden dann bedeuten 20mV 1,375% Verfälschung.

Bleibt zu bewerten ob das Stress für die Batterien und Ungenauigkeit der Anzeigen nach sich zieht.

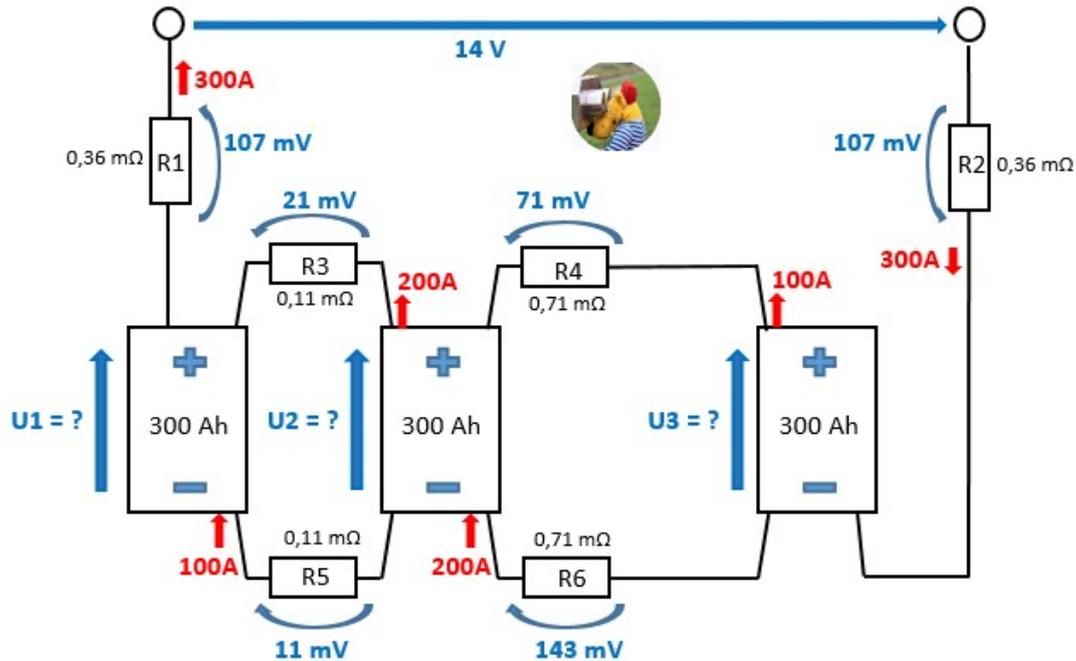
Unter Zuhilfenahme der „Kirchhoffschen Maschenregel“ lässt sich sicherlich abschätzen was das für die Verschaltung weiterer Batterien bedeutet.

Der Ausrüster welcher 3 Batterien verschaltete (Skizze) hat netterweise zurückgemeldet, dass die Verkabelung inzwischen symmetriert wurde.

Hinweis: professionelle Elektrounternehmen aus der Industrie simulieren solche Vorgänge mit Hilfe der Tools Matlab / Simulink.

<https://de.mathworks.com/products/matlab.html>

- Annahmen:
- Eine von 3 Batterien ist weiter entfernt. (2 Meter statt 0,3 Meter)
 - Der Batterieverbund ist diagonal ins Bordnetz eingebunden. (richtig)
 - Die Ströme verteilen sich ideal. (nach Kirchhoff)
 - Die Betrachtung ist statisch. (dynamisch müsste man simulieren oder messen)
 - Übergangswiderstände sind unberücksichtigt



Mit 50 mm² Kupfer ergibt sich folgende Tabelle:

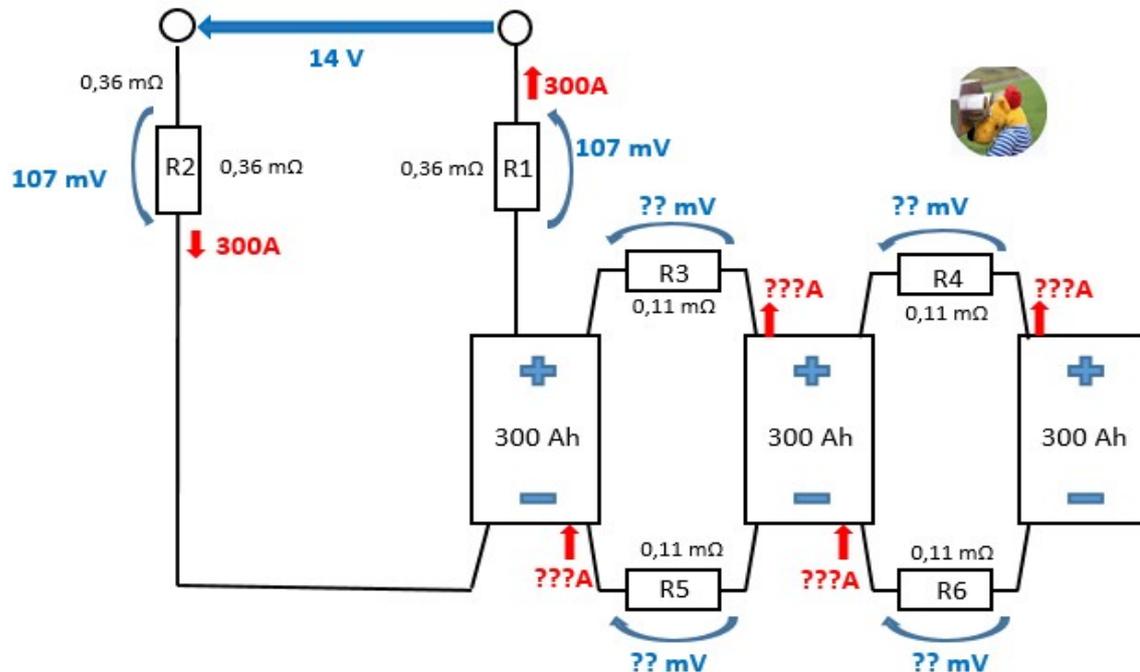
								U1 [V]	U2 [V]	U3 [V]
I [A]	L [m]	Gamma	A [mm ²]	R [mΩ]	U [mV]	PV [W]		14	14	14
300	1	56	50	0,36	107	32	R1	0,107	0,107	0,107
300	1	56	50	0,36	107	32	R2	0,107	0,107	0,107
200	0,3	56	50	0,11	21	4	R3		0,021	0,021
100	2	56	50	0,71	71	7	R4			0,071
100	0,3	56	50	0,11	11	1	R5	0,011		
200	2	56	50	0,71	143	29	R6	0,143	0,143	
						105		13,632	13,621	13,693

Beurteilungswerte: 107mV sind 0,84% von 12, 8V. (Nennspannung)
 U3 – U2 = 71 mV sind 0,45% von 1,6V (100%SOC)
 105W Kabelverluste (nur bei Stoßbelastung)

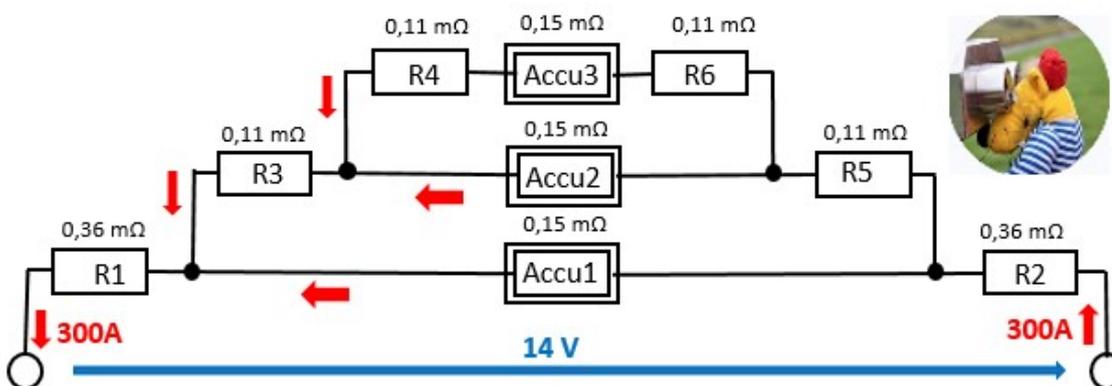
Fazit: Dimensionierung passt noch. (Erwärmung der Kabel beobachten)

7.2.1 Anwendung der Kirchhoffschen Knotenregel (Ströme)

- Annahmen:
- Alle 3 Batterien sind symmetrisch verbunden. (0,3 Meter)
 - Der Batterieverbund ist einseitig ins Bordnetz eingebunden. (falsch)
 - Die Ströme verteilen sich so gut es geht. (nach Kirchhoff)
 - Die Betrachtung ist statisch. (dynamisch müsste man simulieren oder messen)
 - Übergangswiderstände sind unberücksichtigt



Das Bild wird unter Berücksichtigung der Innenwiderstände (0,15 mΩ) wie folgt umgezeichnet:

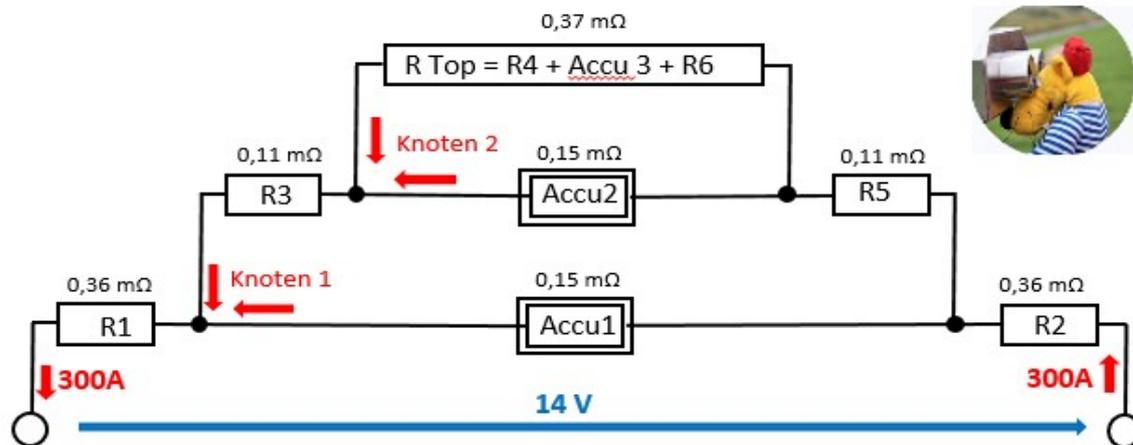
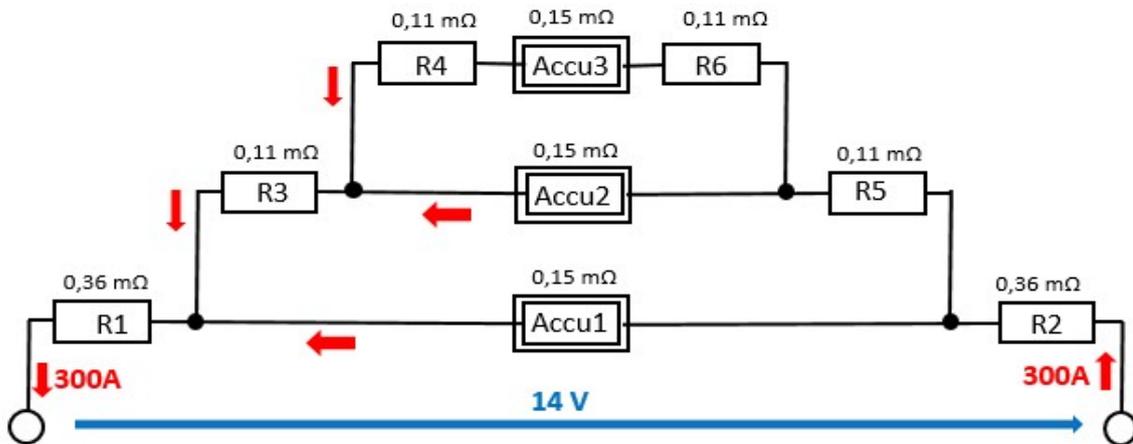


Die Herleitung der einzelnen Ströme erfolgt nach Kirchhoff.

Wiki:

„Die **Kirchhoffschen Regeln** werden im Rahmen der elektrischen Schaltungstechnik bei der Netzwerkanalyse verwendet. Sie unterteilen sich in zwei grundlegende und zusammenhängende Sätze, den **Knotenpunktsatz** und den **Maschensatz**, und beschreiben jeweils den Zusammenhang zwischen mehreren elektrischen Strömen und zwischen mehreren elektrischen Spannungen in elektrischen Netzwerken.“

Um an den Knotenpunkten die Stromverteilung zu errechnen müssen zunächst die Widerstände der einzelnen Zweige bestimmt werden.



$$R_{top} [\Omega] = R4[\Omega] + R_{Accu3} [\Omega] + R6[\Omega] = 0,11m\Omega + 0,15\Omega * 0,11m\Omega = \underline{0,37m\Omega}$$

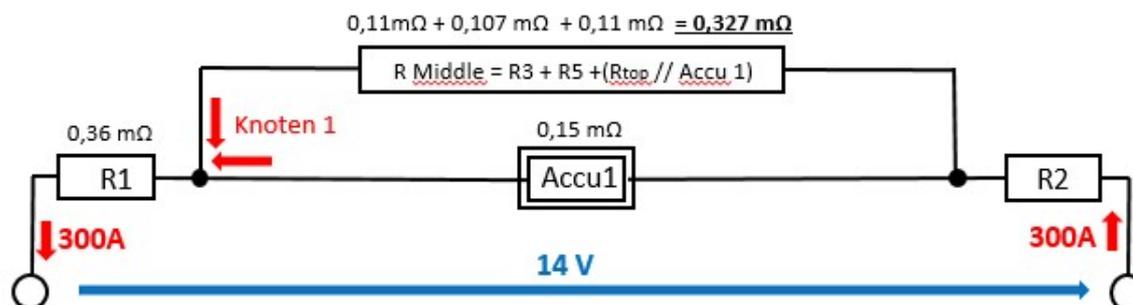
R_top liegt nun parallel zu R_Accu2.

Bei Parallelschaltung setzt sich der Gesamtwiderstand reziprok aus den Kehrwerten der Einzelwiderstände zusammen.

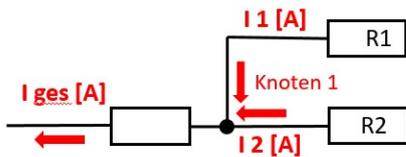
$$R_{ges} = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

R _{ges} =	0,1067
R ₁	0,37
R ₂	0,15

R_{ges} = 0,107 mΩ



An Knoten 1 verteilt sich der Gesamtstrom [300 A] nun im umgekehrten Verhältnissen zu den Widerständen. (Am kleinsten Widerstand fließt der größte Strom)



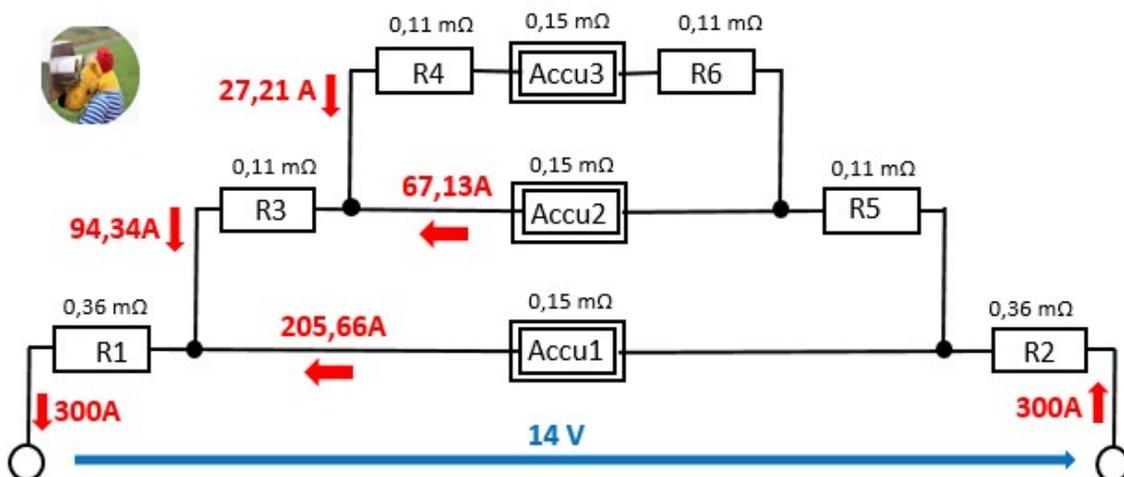
$$I_{ges} [A] = \frac{R1[\Omega]}{R2[\Omega]} * X [A] + 1 * X [A]$$

Ausgeklammert und umgestellt nach X ergibt sich an Knoten 1:

$$I1 [A] = \frac{I_{ges}[A]}{\frac{R1[\Omega]}{R2[\Omega]} + 1} = \frac{300 [A]}{\frac{0,327 m\Omega}{0,15 m\Omega} + 1} = \underline{205,66 A} \quad I2 [A] = 300A - 205,66A = \underline{94,34A}$$

Eingesetzt an Knoten 2 ergibt sich:

$$I1 [A] = \frac{I_{ges}[A]}{\frac{R1[\Omega]}{R2[\Omega]} + 1} = \frac{94,34 [A]}{\frac{0,37 m\Omega}{0,15 m\Omega} + 1} = \underline{67,13 A} \quad I2 [A] = 94,34A - 67,13A = \underline{27,21A}$$



Beurteilungswerte: Im unteren Zweig fließt der 2,05 fache erwartete Strom
 Im mittleren Zweig fließt der 0,67 fache erwartete Strom
 Im oberen Zweig fließt der 0,27 fache erwartete Strom

Im unteren Zweig fließt ein **7,6 mal größerer Strom** als oben.

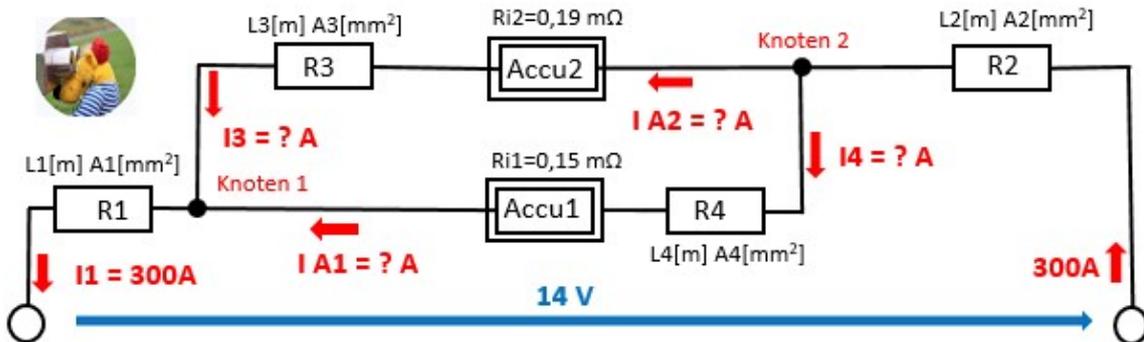
Fazit: **Fataler Fehler welcher die Akkukapazität nicht ausschöpft und die Akkus unterschiedlich altert.**

In diesem Beispiel ist das nun richtig (diagonal) verdrahtet.

Annahmen:

- Die Leitungslängen und Querschnitte sind individuell.
- Accu 3 wurde nachgerüstet und weist einen anderen Innenwiderstand auf.

Für diese Konstellation wird nun ein kleines EXCEL Tool geschaffen um die Auswirkungen zu bewerten.



Tool: Knoten 1: $I_1 = I_3 + I_{Accu1}$ Knoten 2: $I_1 = I_4 + I_{Accu2}$

L 1 =	2 [m]	A1 = [mm ²]	50	γ =	56 [m/(Ω*mm ²)]
L 2 =	2 [m]	A2 = [mm ²]	50	I 1 =	300 [A]
L 3 =	0,4 [m]	A3 = [mm ²]	50	Ri1 =	0,15 [mΩ]
L 4 =	0,4 [m]	A4 = [mm ²]	50	Ri2 =	0,19 [mΩ]
R 1 =	0,714 [mΩ]	Input		IA2 =	159,59 [A]
R 2 =	0,714 [mΩ]	Konstante		I4 =	IA1
R 3 =	0,143 [mΩ]	Calculated		IA1 =	140,41 [A]
R 4 =	0,143 [mΩ]			I3 =	IA2

Ein anderer Innenwiderstand bewirkt ebenso eine Verstimmung der Stromaufteilung wie unterschiedliche Kabelbrücken zwischen den Accus.

Hinweis: Der Verstimmung lässt sich durchaus durch gezielte unterschiedliche Dimensionierung der Brücken entgegenwirken.

Beispiel:

L 1 =	2 [m]	A1 = [mm ²]	50	γ =	56 [m/(Ω*mm ²)]
L 2 =	2 [m]	A2 = [mm ²]	50	I 1 =	300 [A]
L 3 =	0,43 [m]	A3 = [mm ²]	35	Ri1 =	0,15 [mΩ]
L 4 =	0,5 [m]	A4 = [mm ²]	50	Ri2 =	0,19 [mΩ]
R 1 =	0,714 [mΩ]	Input		IA2 =	149,83 [A]
R 2 =	0,714 [mΩ]	Konstante		I4 =	IA1
R 3 =	0,219 [mΩ]	Calculated		IA1 =	150,17 [A]
R 4 =	0,179 [mΩ]			I3 =	IA2

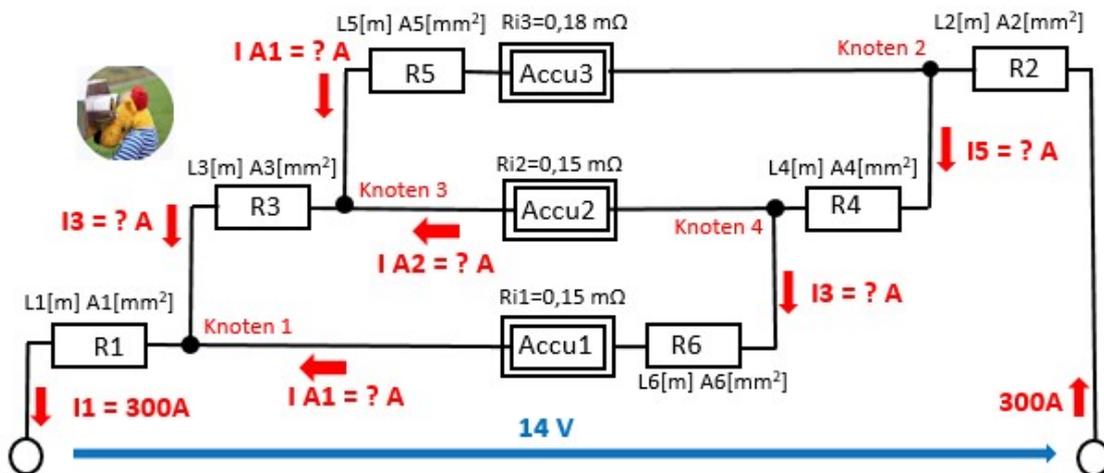
Der ACCU variiert identisch wie oben. (0,15mΩ zu 0,21 mΩ)

Durch Reduzierung eines Kabelquerschnitts bei geschickter Anpassung der Länge lässt sich die Verstimmung nahezu aufheben.

7.2.2 Fazit und Tipps zu Batterieveraltungen

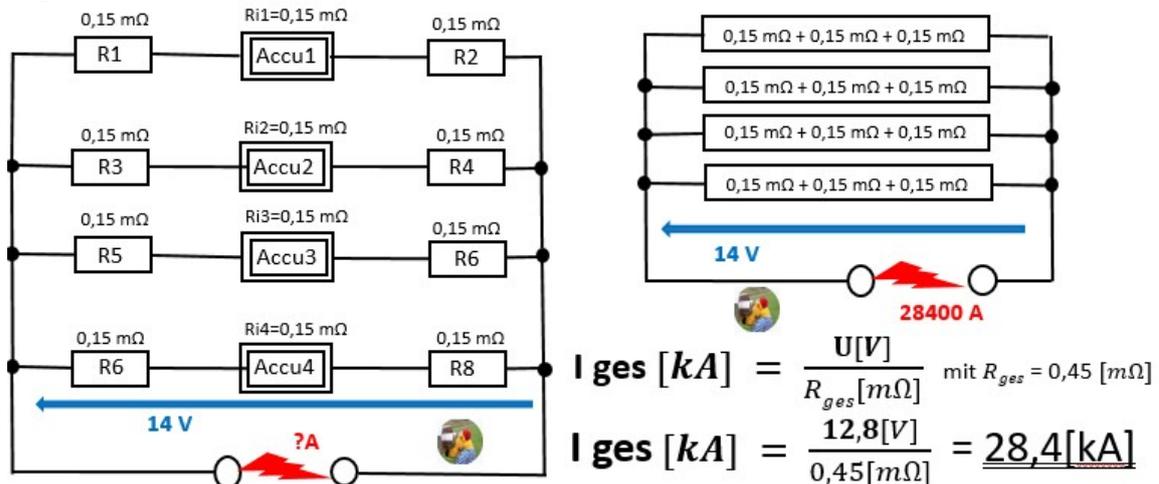
Wichtig sind die diagonale Verschaltung sowie die symmetrische Strombelastung der Batterien. (205A zu 67A zu 27A bei gleichen Batterien ist ungesund)
Wenn das richtig gemacht ist und vermieden wird die Lebensdauer der Batterien nicht beeinträchtigt.

Wer größere Batterieverbände beurteilen will löst folgende Aufgabe.



In diesem Dokument wird das nicht weiter verfolgt.

Der Verfasser ist der Auffassung dass Parallelschaltungen mit 4 Batterien oder auch 1000A die obere seriöse Grenze sind.
Neben der symmetrischen Stromverteilung ist vor allem das Kurzschlussverhalten ein Argument für diese These.



Siehe auch: <https://www.youtube.com/watch?v=KgK6XCGayz0&t=0s>
MEGA Sicherungen haben in der Regel ein Trennvermögen von 2 kA. (2000A)
Im ungünstigen Kurzschlussfall hat die Feuerwehr dann keine Chance!

Höhere Kapazitäten realisiert man professionell durch Skalierung der Spannung.

Mit 24 V Systemspannung (25,6V) und 3 * 320 Ah schafft man gesunde 24,5 kWh.
Mit 48 V Systemspannung das doppelte.

7.3 Fazit Rechenbeispiele (für Camper)

TIPP:

- Bei überschaubaren Anlagen (bis 300 Ah) .reichen oft Erfahrungswerte.
(Fachwerkstätten mit Augenmaß schaffen das)
- Bei großen Anlagen (ab 1000 Ah) sind spezifische Betrachtungen sehr wichtiges Themenfeld.
- Bei großen Anlagen (ab 1000 Ah) muss man sich mit 24V Systemspannung beschäftigt haben.
- Leicht unterschiedliche Batterien können parallel geschaltet werden sobald man das Prinzip verstanden und angewendet hat

7.3.1 Spannungen

Spannungsabfälle spielen gerade bei größeren Leistungen (ab 1kW) bei vergleichsweise kleiner Spannung (12V) in den Wohnmobilen die dominante Rolle.

Oft resultieren daraus Anzeigefehler welche unglücklich interpretiert werden können.

Aber auch konzeptionelle massive **regelungstechnische Fehlfunktionen** sind möglich. Dann ist nicht die Batterie kaputt, sie wird nur nicht richtig geladen da unglücklich platziert und verkabelt.

7.3.2 Ströme

Die **Stromverteilung** kann durch geschickte Dimensionierung optimiert werden. Das gilt auch für (leicht) unterschiedliche parallel geschaltete Batterien.

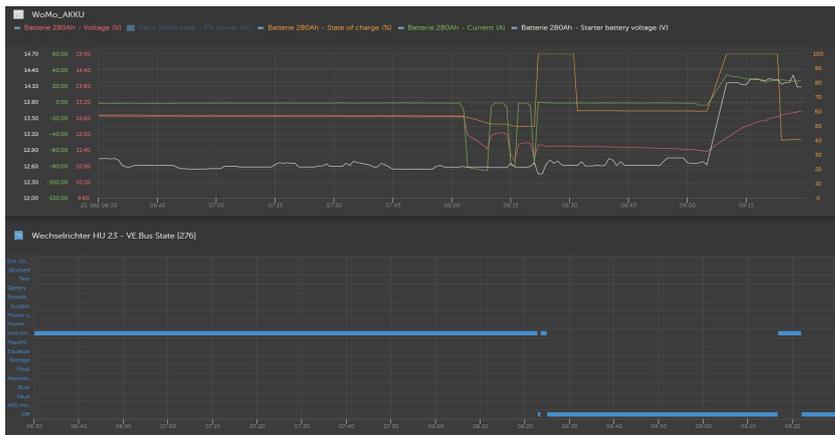
7.4 Analysebeispiele Wohnmobil

Anhand einiger Beispiele wird gezeigt wie man Fehlerbilder deutet wenn die Datenlage stimmt und ein Analysetool verfügbar ist.

7.4.1 Analyse LFP Batterie am Beispiel Booster

Während einer langen Norwegen Tour des Verfassers im Herbst traten unerwartet Probleme mit der Bordelektrik auf.

Neben ungenau wahrgenommener Anzeige des Ladezustandes (SOC) kam es auch zu einer Schutzabschaltung der leeren Batterie am 23. September.



Bei über 51,3% SOC brach die Akkuspannung beim Einschalten des Wasserkochers auf zunächst 11,83V ein. Nach einem weiteren Startversuch des Wechselrichters wurden 10,98V aufgezeichnet.

Danach war das System (CERBO) tot und wurde ohne Wechselrichter neu gestartet. Dabei sprang der SOC auf 100%.

Im Folgenden wurde der Motor (Booster) gestartet und später wurde die Ladung durch Landstrom (MULTIPLUS) unterstützt. Vorher wurde der SOC per APP händisch auf 40% eingestellt.

Am Ende des Tages wurde nach 4 Stunden Fahrt 13,15V Akkuspannung erreicht. SOC = 83,5% dürfte eine Hausnummer sein, eine Synchronisierung (Absorptionsphase) wurde nicht erreicht.

Fazit und Maßnahmen:

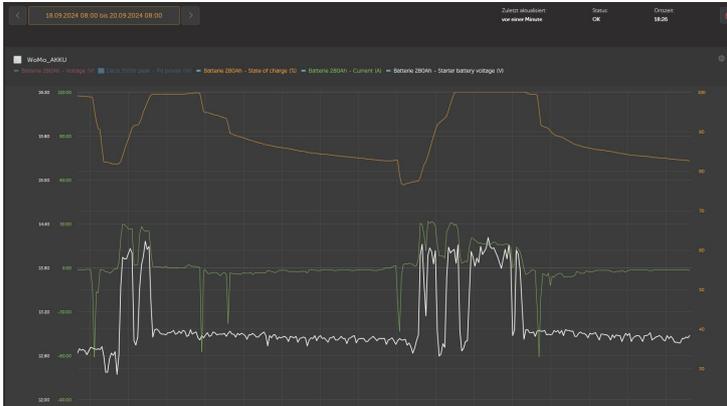
Überprüfung der einzelnen Ladequellen soweit im Campingbetrieb möglich.

Nachladen per Booster während der Fahrten. (Start Stopp abschalten und Motor bei kurzen Stopp laufenlassen.)

Auf temperaturunempfindlichen Booster umrüsten. (ORION XS 50 auf 30A stellen)

7.4.2 Beurteilung Ladebooster

Zunächst wurde die einwandfreie Funktion des **Lade Boosters** untersucht.
(30A VICTRON)



Unübersehbar fällt die Ladeleistung des Boosters mit der Fahrzeit ab, ohne auszusetzen. Der Grund dürfte Erwärmung des Boosters sein.

Der Strom (grün) wird nach anfangs 30A auf 20A reduziert.

Maßnahmen: Teperatursensor am Booster nachrüsten.

Orion XS 50A (parametrierbar und busfähig) nachrüsten.

SOC Abweichung analysieren und verstehen.

Update 4.12. : Der Orion ist mittlerweile verbaut und boostet.



Das Bild zeigt den nun vorhandenen Temperatursensor am Booster. (lila)

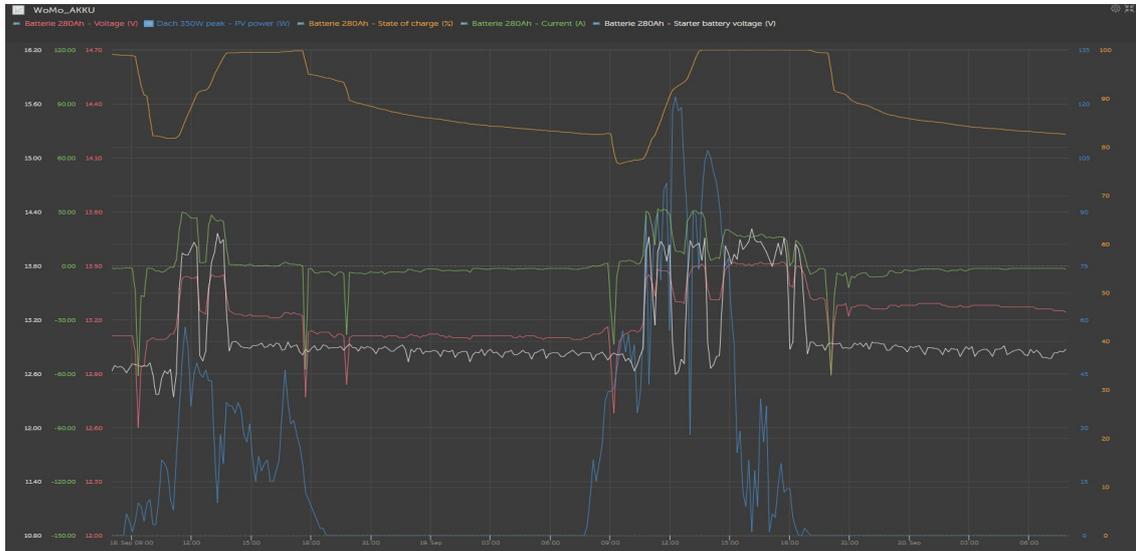
Hier max 40°C bei 30A Ladestrom.

→ Extremer Test steht noch aus.

Wichtig: eine Reduzierung des Ladestroms wurde nicht beobachtet.
(Einstellung: Eingang 35A / Ausgang 30A)
Anhebung wegen Originalkabel nur bei Bedarf vorgesehen

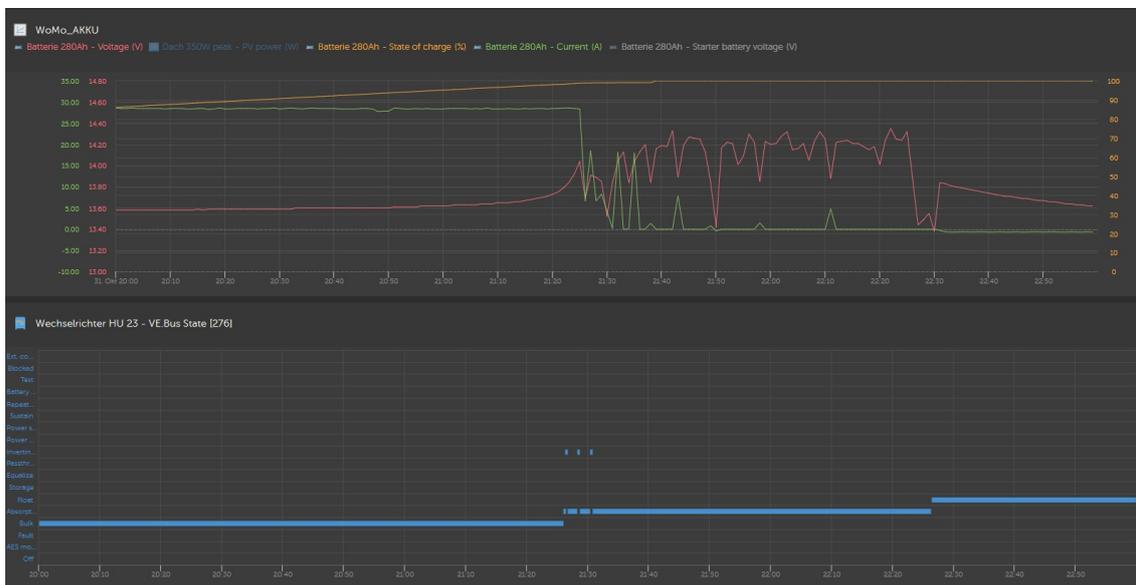
7.4.3 Analyse SOC

7.4.3.1 Synchronisierung SOC in der Absorptionsphase



Das obere Bild zeigt den Vorgang im Zusammenwirken mit dem Ladebooster.

Unten: Synchronisierung SOC in der Absorptionsphase während der Fehlernachstellung im Zusammenwirken mit dem Landstromladegerät.



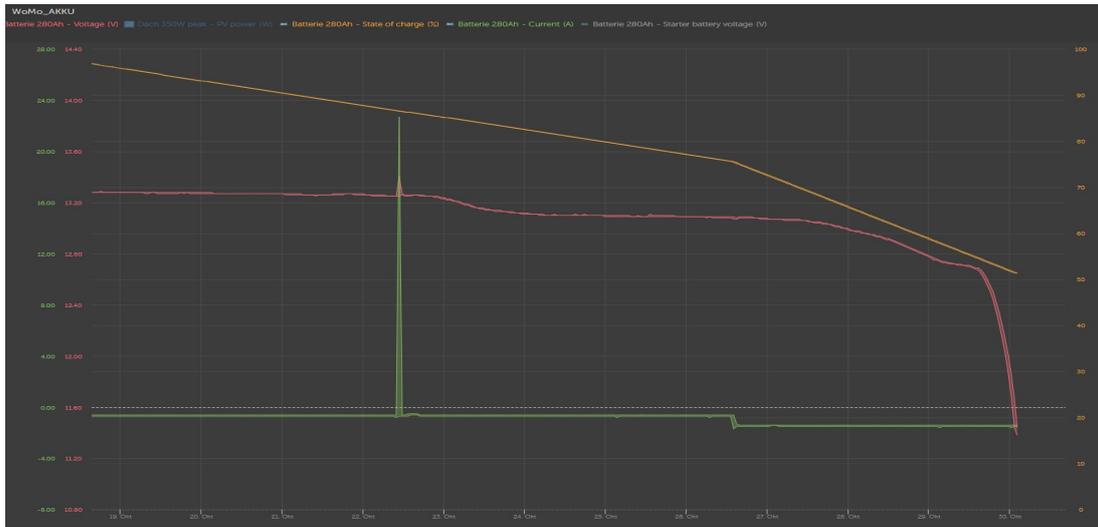
Um 21:25 geht der Ladestrom (grün) zurück und die Absorptionsphase beginnt
(noch unterbrochen durch WR?)

Um 21:31 ist der Ladestrom abgebaut und die Spannung (rot) steigt auf über 14 V
(Absorptionsphase stabil bis 22:26)

Um 21:39 wird der SOC auf 100 % synchronisiert. (okker)

7.4.3.2 Kontrollierte Entladung bis Abschaltung durch BMS

Folgende Versuche fanden auf dem Hof an der „Homebase“ statt.



Das Bild zeigt einen kontrollierten Entladevorgang bis zum Ausfall der Batterie. In dem Moment wo das BMS die Schutzabschaltung auslöst ist der CERBO tot und es stehen keine Daten in der Cloud zur Verfügung. Im ersten Teil des Entladezyklus ist nur die 12V Versorgung des WoMos eingeschaltet, aber kein Licht. (Solar abgeschaltet) Im zweiten Teil kommt der Wechselrichter im Leerlauf hinzu um den Vorgang zu beschleunigen. Erkennbar ist das an der sich ändernden Steigung des SOC und natürlich am Strom. (grün) Der Peak im Strom bildet einen Rangiervorgang des Fahrzeugs ab. (Ladebooster)

Plausibilitätsbetrachtung durch Berechnungen:

Batteriekapazität: $12,8V \cdot 280Ah = 3584 Wh = \underline{\underline{3,58 kWh}}$

Die VRM Grafik zeigt 3,4 kWh (geringe Abweichung, war die Batterie randvoll 99% ?)

→ **Plausibel**  da nur 0,18 kWh in 13 Tagen (= 14 Wh / Tag)

Tagesverbrauch 220 Wh wenn nur WoMo 12V eingeschaltet.
440 Wh mit Wechselrichter im Leerlauf

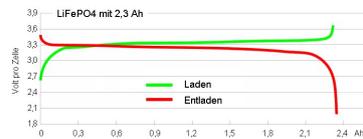
→ Restlaufzeit: 16,3 Tage wenn nur WoMo 12V mit 220 Wh / Tag
8,1 Tage wenn mit WR + 12V mit 440 Wh / Tag

→ **Plausibel**  da 13 Tage bis Schutzabschaltung BMS

Zum Zeitpunkt der Abschaltung zeigt das System 11,4 0,7 (1,4) A.V und 52 % SOC.

Damit ergibt sich die Zellenspannung zu $11,4 \text{ V} / 4 = 2,85\text{V}$

Siehe auch



→ **Plausibel**  da Abknicken der Entladekurve bei ca. 3V.

Einstellung 10,8V

→ **Nicht plausibel**  0,6 V Abweichung

SOC Anzeige 52 % SOC passt überhaupt nicht. Müsste nahe 0 % SOC sein.

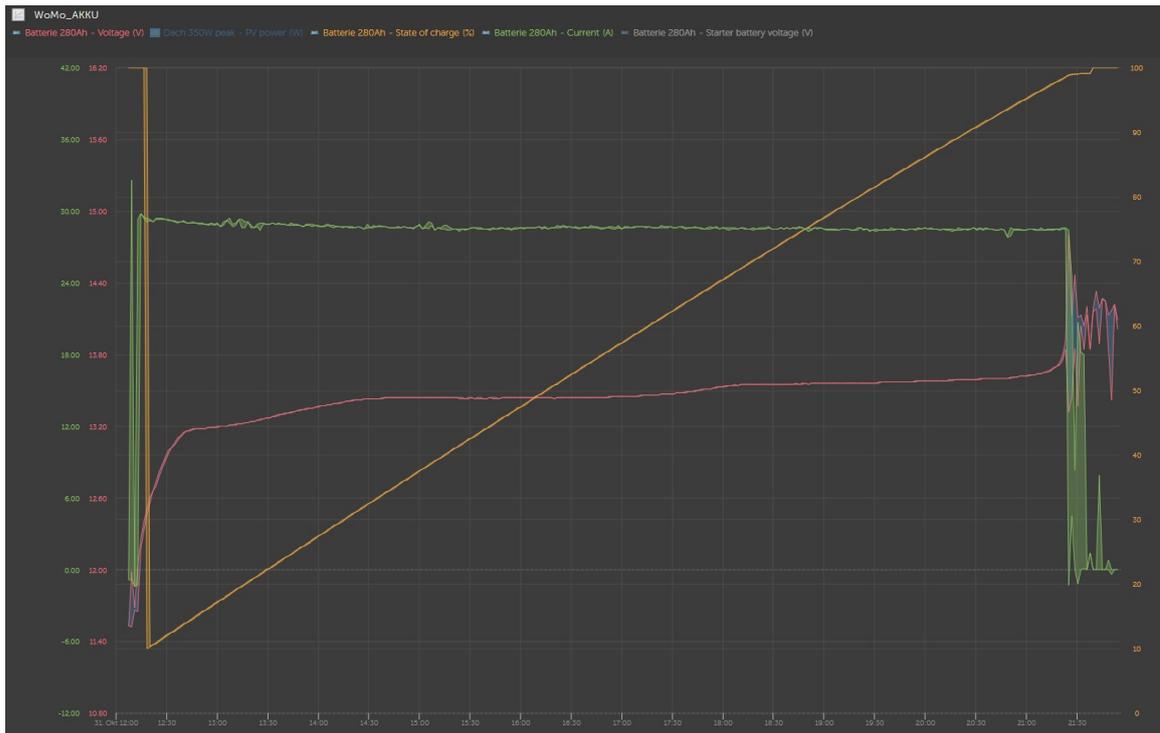
→ **Nicht plausibel**  50 % Abweichung

Erklärungsversuch SOC Abweichung:

die Entladeströme von 0,7A bzw. 1,4A sind zu gering um vom Shunt korrekt erfasst zu werden. Leider wurde Tagesgranular der BMS SOC Wert nicht mit notiert aber nach der Abschaltung zeigte die BMS App 94% was noch falscher ist!

Update Januar 2025: der Peukert Exponent wurde mittlerweile auf 1,05 korrigiert.

7.4.3.3 Kontrollierte Ladung bis Absorptionsphase



Das Bild zeigt kontrolliertes Laden der leeren Batterie per Ladegerät an Landstrom. Der VE Multiplus Ladestrom war auf 30A eingestellt.

Zu Beginn wurden die SOC vom VE Shunt und vom Daly BMS händisch auf 10% eingestellt. (Offset)

Am Ende sehr gut zu erkennen ist die Absorptionphase mit abschließendem Synchronisieren des SOC auf 100%

Plausibilitätsbetrachtung durch Berechnungen:

Ladedauer: $280\text{Ah} / 30\text{A} = 9,3$ Stunden

gemessene Ladedauer im Diagramm 12:15 bis 21:30 = 9,25 Stunden

→ **Plausibel** 

7.4.3.4 Vergleich BMS und Batteriecomputer (Shunt)

Während der Fehlernachstellung wurden einige Daten der Daly BMS APP notiert und mit dem Batteriecomputer verglichen.

Zustand während und nach der Notabschaltung:

Daly BMS	Maximale Zellenspannung	3,137 V
	Minimale Zellenspannung	2,928 V
	Durchschnittliche Z Spannung	3,000 V
	Max Differenzspannung	0,208 V
	Anzeige SOC	96,4 %

Zellendrift:

Zelle	Spannung Start	Spannung Aufladen 1	Spannung Aufladen 2	Spannung Aufladen 3	Spannung Leer
1	3,147 V	3,35 V	3,39 V	3,394 V	
2	2,990 V	3,34 V	3,384 V	3,337 V	
3	2,950 V	3,344 V	3,3481 V	3,336 V	
4	3,080 V	3,337 V	3,386 V	3,383 V	
Diff Max	0,197 V	0,012 V	0,013 V	0,056 V	
Ballancer	OFF	OFF	ON	Off	OFF
VE SOC	10 %	40 %	93 %	100%	
BMS SOC	10 %	41,2 %	97,6 %	100 %	
VE [V]	11,95 V	13,44 V	13,6 V	13,45 V	
BMS [V]	11,9 V	13,3 V	13,5 V	13,4 V	
Bemerkung:				Nächster Tag	2. Dez.

Der SOC wurde händisch am BMS und am Shunt auf 10% (Offset) gestellt.

Während der Aufladephase wurde nun in unregelmäßigen Abständen der Zellenzustand notiert.

TIPP:

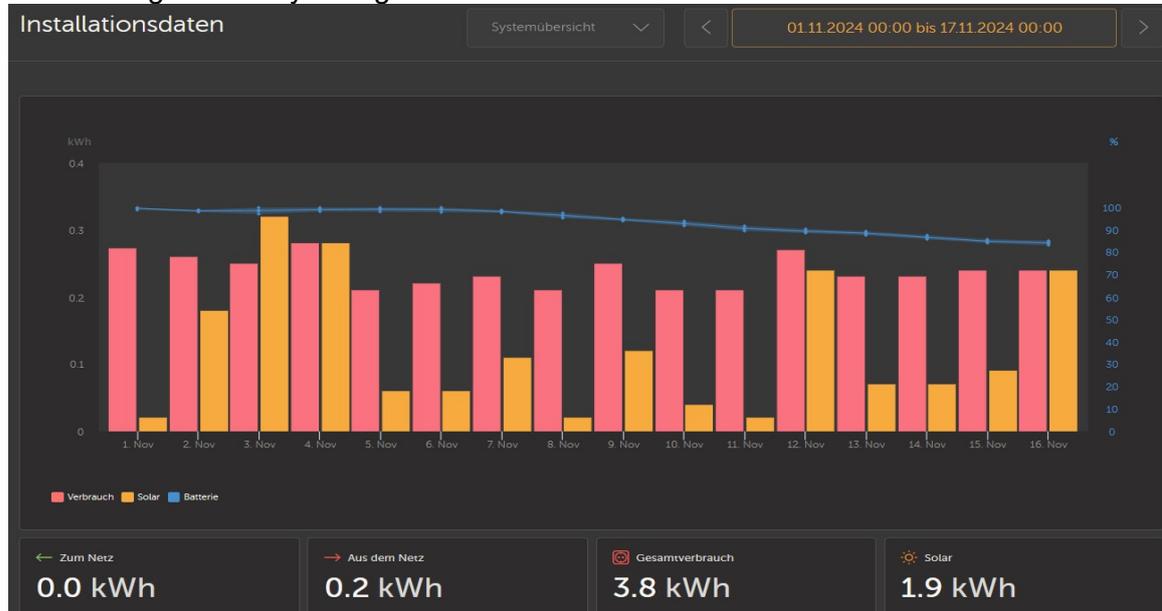
- Nerven behalten. (gerade wenn steile Kurve, also voll oder leer völlig normal)
- Wenn das nahe Null dargestellt wird, wurde die APP manipuliert.

7.4.3.5 Analyse Ruhebetrieb im Winter

Wird nun systematisch ausgetestet.

Ansatz: die Solarleistung Dach sollte ausreichen um den Ruheverbrauch des Aufbaus auch im Dezember und Januar zu kompensieren.

Auswertung und Analyse folgen.



Im Beobachtungszeitraum (16 Tage) wurden von der Batterie

3,8 kWh – 1,9 kWh = **1,9 kWh** verbraucht.

Der vom System errechnete SOC (83,0%) passt folglich nicht.

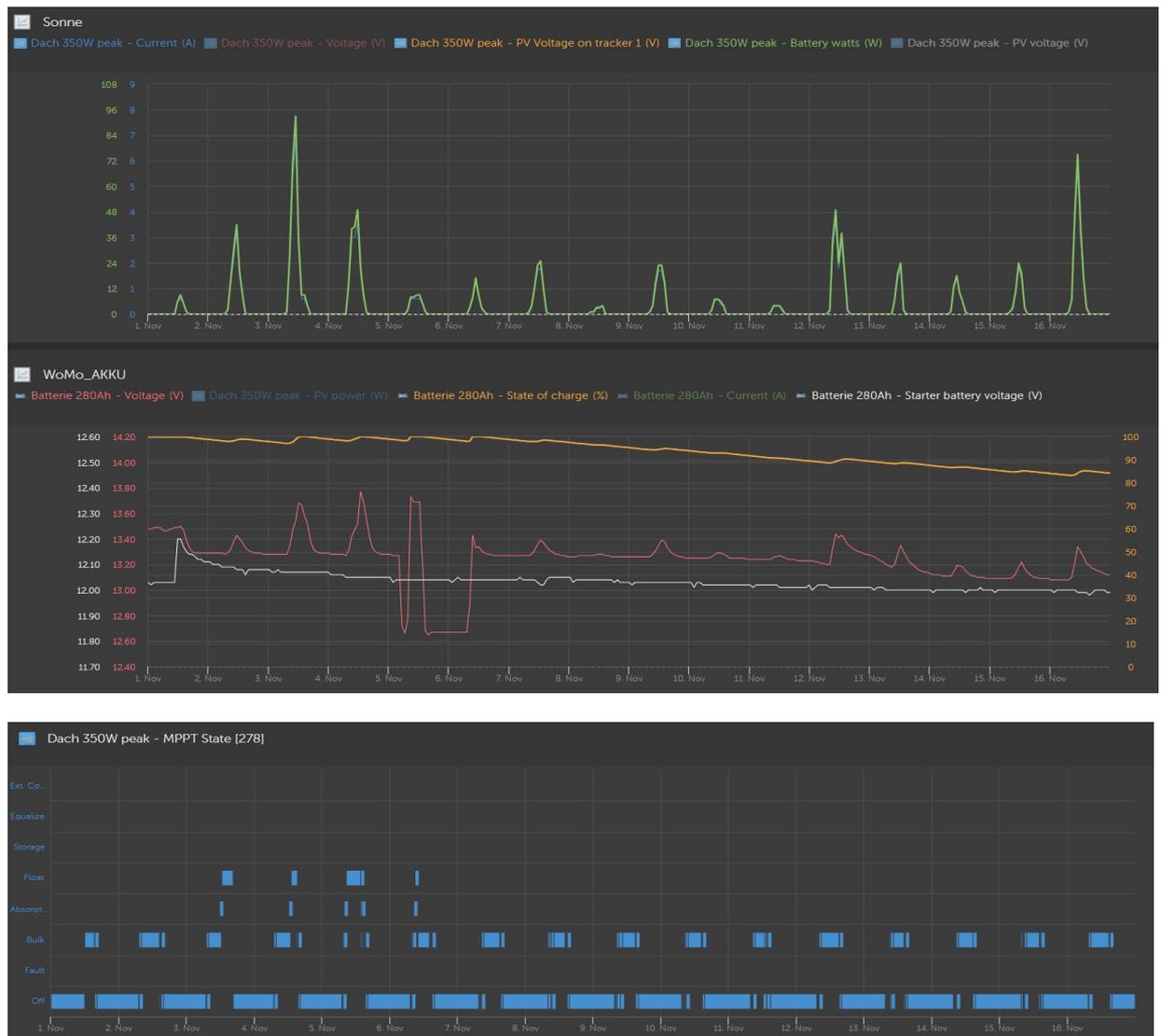
Denn: $100\% / 3,584 \text{ kWh} * (3,584 \text{ kWh} - 1,9 \text{ kWh}) = 47,0\%$

Zu überprüfen wäre auch wie oft und wann der SOC synchronisiert wurde.

LOP: SOC Abweichung analysieren → Nachtrag: Peukert Koeffizient.



7.4.3.6 Detaillierte Betrachtung Solarertrag und Betriebsarten MPPT



Ganz oben (grün): Bis zum 4 Nov. und am 12. Und 16 Nov. war brauchbarer **Solarertrag** (0,15 kWh pro Tag) vorhanden. Das streckt natürlich die Laufzeit.

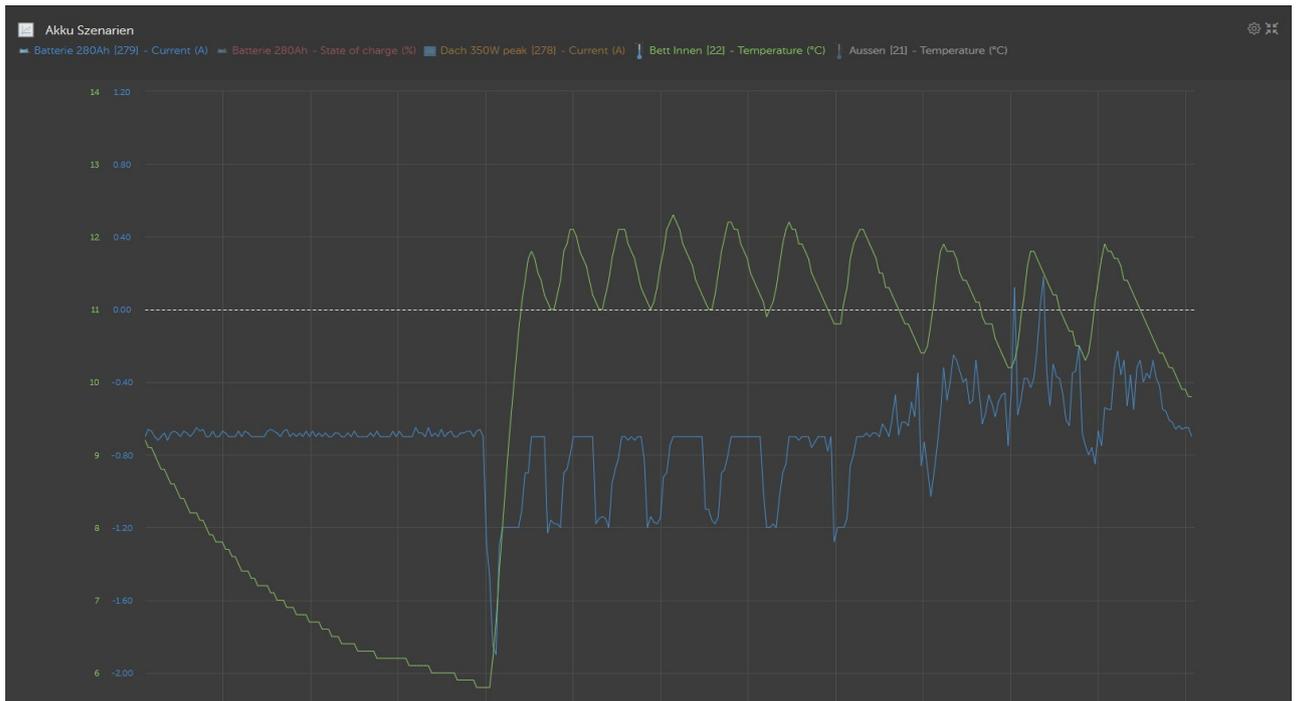
Mitte (okker und rot): SOC und Akkuspannung sind plausibel.
(weiß) : Spannung der Starterbatterie sinkt moderat. (12,08V → 11,99 V)

Unten (blau): Am 3. 4. 5. Und 6. Nov. wurde der Akku voll geladen und war im **Abssoptionsmode**. Der SOC wurde auch 4 mal auf 100% synchronisiert.

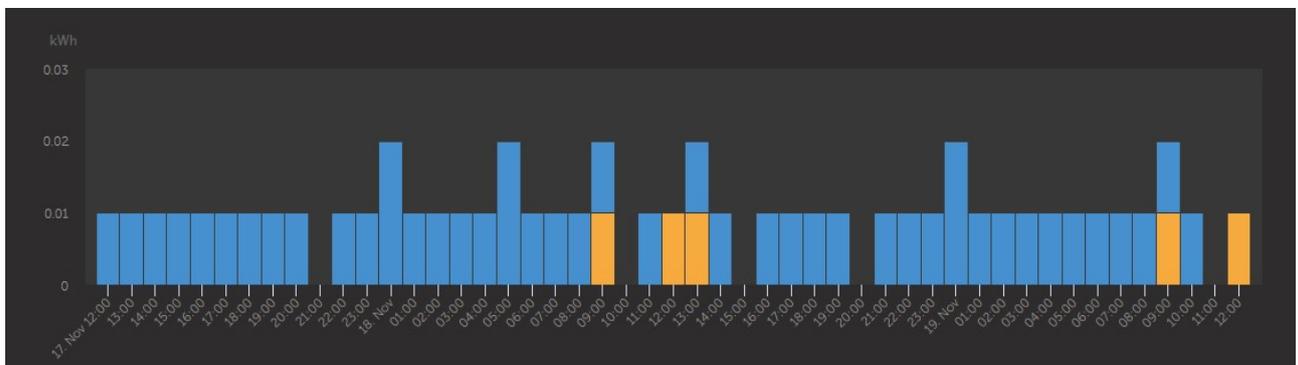
Verdacht: Seit dem 8. November wird nicht mehr syschronisiert und der SOC driftet weg. (es wird zuviel angezeigt)

Nachtrag: Nach Korrektur „Peukert Koeffizient“ ist die SOC Abbildung deutlich genauer.

7.4.3.7 Abstellbetrieb im Winter mit Heizung



Der Strom (Verbrauch) der Heizung ist nahe dem Ruhestrom 0,7A. (9 W)
 Sobald Heizleistung (10 °C) abgerufen wird steigt er auf 1,25A. (16 W)



In diesem Bild deutlich erkennbar das Einsetzen des Heizungslüfters anhand des Stromverbrauchs und geringer Solarertrag.

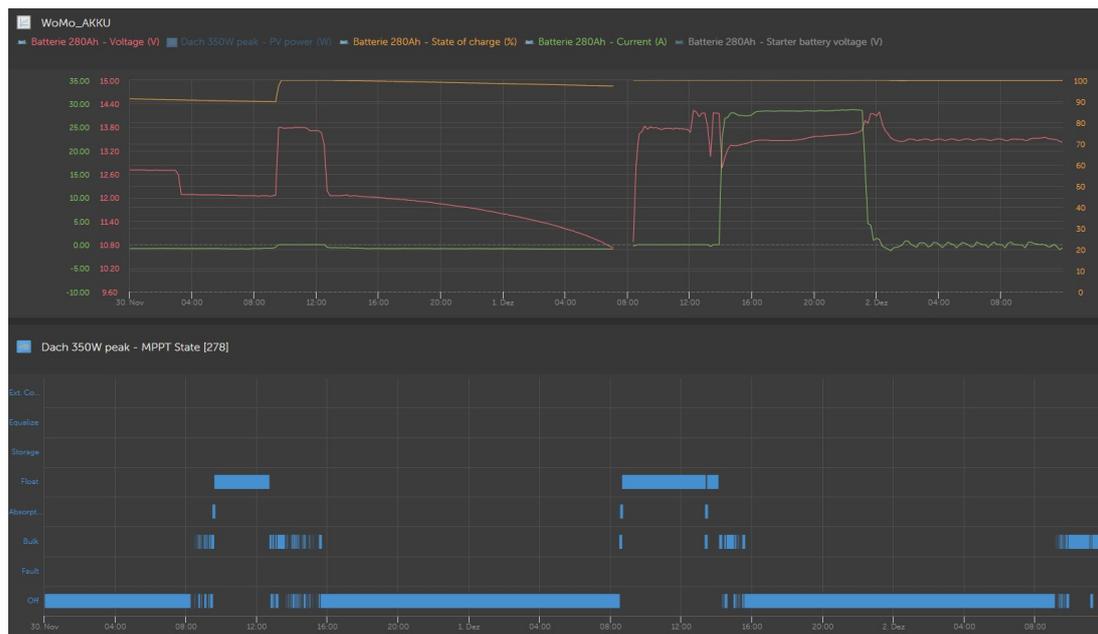
7.4.3.8 Abstellbetrieb im Winter ohne Heizung

Dieser Versuch ist ungeplant nach **restlosem Aufbrauchen der Gasreserven** entstanden.

Der Verfasser erlebte sein blaues Wunder und konnte das dann anhand der vorhandenen Daten analysieren.

Das blaue Wunder:

Nach einem sehr sonnigen Wintertag (1. Dez. 2024) fiel die Stromversorgung trotz SOC Anzeige 98% aus.



Das Diagramm zeigt folgenden Zeitraum

30.11.2024 00:00 bis 02.12.2024 12:00

Am 1.12. um 7:04 brach die Verbindung bei 10,73V ab. Das CERBO hatte abgeschaltet. Um 8:21 lief das System wieder hoch, 13,75V Batteriespannung wurden angezeigt. Eigentlich hätte man nun meinen können die Sonne hätte nun nachgeladen, hat sie aber nicht.

Der Verfasser entdeckte diesen Zustand am So. 2. 120. 2024 gegen 12:00 und beschloss per Landstrom über Multiplus nachzuladen. Zunächst blieb der Erfolg aus.

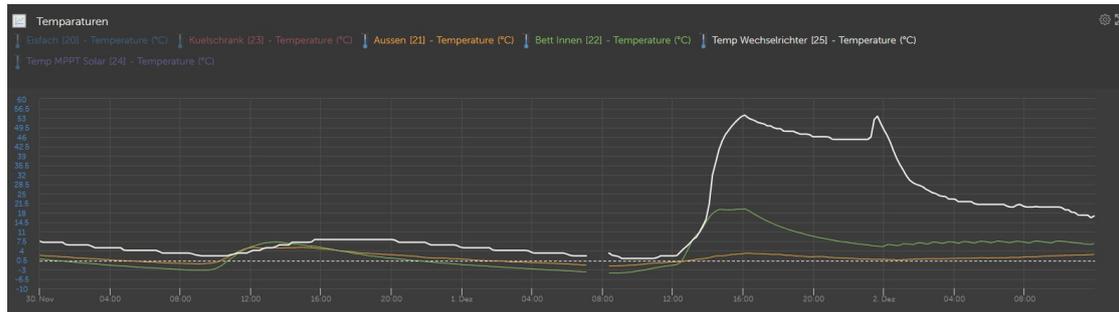
Per APP wurde das BMS analysiert. Der Lade MOS Fet war geöffnet, die Temperatur der Zellen betrug -3 °C.

Es folgte die Aktion per Heizung die Batterie auf eine ladefreundliche Temperatur zu hieven. Im Diagramm ist eindeutig erkennbar das dies 1 Std. 50 Min gedauert hat. (12:02 bis 13:52)

Anschließend wurde die Batterie 9 Stunden lang mit 30A aufgeladen. ($9 \times 30 = 270 \text{ Ah}$) Das war plausibel.

Was war passiert:

Ein Blick auf die Temperaturverläufe schafft endgültig Klarheit:



Um 21:41 wurde im WoMo die 0 °C Marke unterschritten. (Batterie 11,75V)

Als am 1. Dez. um 7:04 die Verbindung abbrach herrschten im WoMo -3,9 °C und außen 1,4 °C.

Als die Aufbauspannung um 8:54 mit 13,72V gemessen wurde war das nicht die Batterie, sondern der aktiv gewordene MPPT Solarregler welcher gegen eine abgekoppelte Batterie (MOS-FET) arbeitete.

Dieser Spannungswert reichte aus um bei Strom nahe Null (Schweifstrom) den SOC abermals auf 100% zu setzen.

Bemerkenswert: Weiß die Temperatur des Multiplus gemessen am Trafokern.

Erkenntnisse ohne Heizung:

Wer isoliert um es warm zu behalten hält (ohne Gas) die Dinge auch länger kalt.

Wenn die Sonne längst scheint ist die Batterie immer noch kalt genug um keine Ladung anzunehmen.

7.4.3.9 Überlegungen Solar Winterbetrieb mit Akku Heizung.

TIPP:

- Im Winter nur laden wenn die Batterie nicht zu kalt ist.
(z.B. Zusatzthermostat am Ladegerät)
- Im Winter Solarregler abschalten.
- Oder ein stimmiges Gesamtkonzept mit Batterieheizung und Spannungsstabilisierung aller Verbraucher erarbeiten.

Heizmatten (Arctik Paket etc.) helfen nur bedingt

Um beispielsweise mit Heizmatten aufzuwärmen hilft folgende Überschlagsrechnung zur Verdeutlichung der Problematik:

Um 30 Liter Wasser (ungefähres Batteriegewicht) um 10 C zu erwärmen benötigt man 348Wh.

Aber: Wasser hat eine extrem hohe spezifische Wärmekapazität von 4190 J/kg*K
Das ergibt die 348 Wattstunden für 10 Grad Plus und 30kg
Metalle haben eine wesentlich niedrigere Wärmekapazität .
Im Folgenden werden 600 J/kg*K angenommen.
Da kommt man auf nur noch ca. 40 Wh.

Unter Berücksichtigung von Isolationsverlusten wird weiter mit 100 Wh gerechnet.

Bei einem Winterertrag von 10% müssten also 1000 Wp verbaut sein um die Batterie in 1 Stunde ladefähig aufzuwärmen.

Wenn dann noch 4 Stunden voller Ertrag generiert werden sind das 0,4 kWh von denen der aktuelle Verbrauch abgezogen werden muss. (0,5 kWh nach Autarkierechner)

Fazit: Um ein WoMo im Winter ohne Heizung mit Arctic Batterien sicher draußen abzustellen braucht es eine irrsinnig große Solaranlage und berechenbar schönes Wetter..

Das ist unsinnig und unrealistisch.

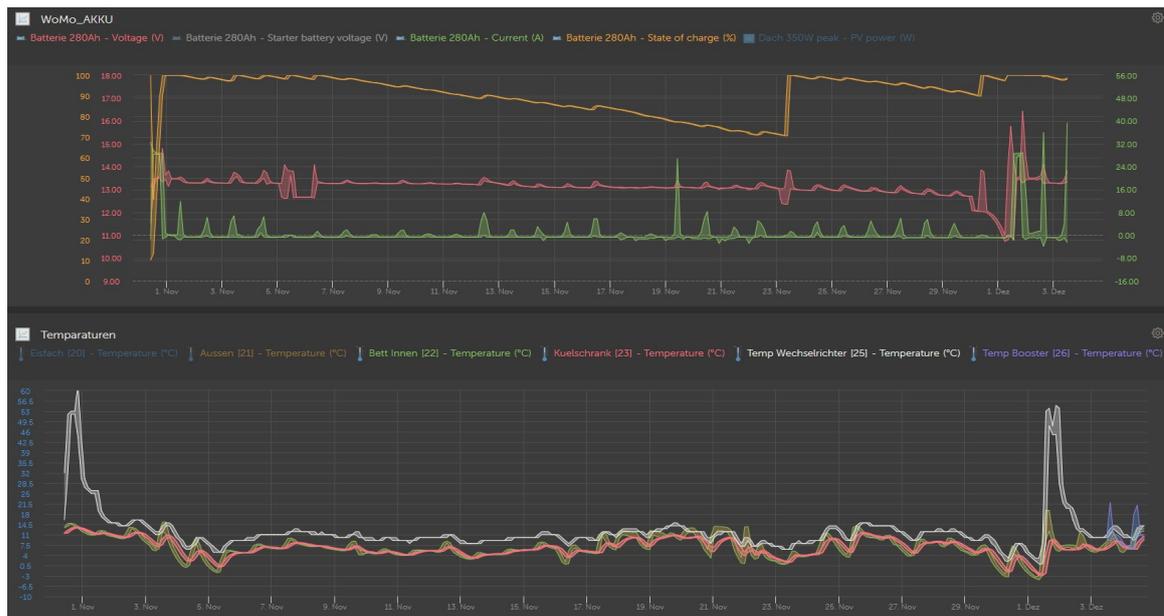
7.4.3.10 Analyse Überwintern mit Solarkoffer

Ab Feb. 2025 in Andalusien geplant.
Auf Landstrom soll verzichtet werden.

Ein Solarkoffer ist für alle Fälle an Bord.



7.4.3.11 Fazit und Maßnahmen Ladetechnik und SOC der Batterie



Das Bild zeigt wesentliche Werte im Zeitraum

30.10.2024 18:37 bis 04.12.2024 18:37

Vom 1. Nov bis zum 23. November hat das ganz gescheit funktioniert. (25% Solarertrag)
Das sind immerhin 3 Wochen.

Ab dem 20. Nov. wurde geheizt. (siehe Temperaturen)



Am 23. November 2024 wurde der SOC falsch nachsynchronisiert.
Minus Grade hatten den Lade MOS-FET geöffnet und als der Solarregler ohne
Gegenspannung erwachte ging er in die Absorptionsphase was die Parametrierung im
Batteriecomputer zu einer falsche Aktion bewegte.

Danach ist kaum noch etwas zu deuten.
Die Anlage zeigte ein sehr spannendes Verhalten.
Das Gas ging aus und die Sonne schien am 30. November wunderbar.
Der Verfasser war verreist und als er am Sonntag (1. Dez.2024) die Daten sichtete
erlebte er sein blaues Wunder.

Bei offenem Lade MOS-FET (wegen Frost) und Sonnenschein wirkt im Bordnetz die
Ladespannung der Solarregler. Das sind im Absorptionsmode über 14 V.

Den MAX Fan und andere Bauteile dürfte das belasten.

Rechenbeispiele und Analysen zur Verdeutlichung

Rev: 001

V 06.00.DE

Fazit:

Beide SOC Abbildungen arbeiteten nur während der Auflade Phase plausibel. Im Campingbetrieb und während des Tests waren die Abweichungen enorm. Der Shunt zeigt um den Faktor 2 zu viel an, die BMS APP noch viel mehr!

Als mögliche Ursache wird die schlechte, ungenaue Strommessung vermutet. Geladen wurde mit 30A, entladen wurde mit 0,7 (1,4) A.

SOC ist nur brauchbar bei regelmäßiger Synchronisierung im vollen Batteriezustand. In der Absorptionsphase steigt die Ladespannung bei gleichzeitigem deutlichem Rückgang des Ladestromes. Das ist das belastbare (elektrochemische) Signal der Akkuzellen dass sie gefüllt sind. Dieses Vorgehen ist alternativlos!

Das bedeutet dass bei allen Ladequellen dieses Szenario (isoliert) überprüft werden muss.

All das wird nun schrittweise durch gezieltes Abschalten einzelner Komponenten mit anschließenden kontrollierten Be- und Entladungen verifiziert.

Bei sehr kalter Umgebung (ohne Heizung) schafft es der MPPT Solarregler den SOC auf 100% zu synchronisieren. Spätestens nun ist die SOC Anzeige nutzlos.

Der Verfasser wird im Winter Wasser ablassen und / oder heizen und regelmäßig Landstrom zuführen.

Ohne Heizen bei Frost muss erst aufgeheizt werden bevor die Batterie nachgeladen werden kann.

Maßnahmen:

WR Sperre bei 12,8 V (einzustellen am MULTIPLUS)

Damit ergeben sich Reserven um ohne WR über die Nacht zu kommen:

Nachjustierung der SOC Berechnung des VE Batteriecomputers (Shunt)

Nachtrag: Nach Korrektur „Peukert Koeffizient“ ist die SOC Abbildung deutlich genauer.

Im Winter entweder an Landstrom gehen und Batterie mit Heiztechnik versehen oder immer genug Energie für die Heizung bereithalten.

Ein **aktiver Ballancer** ist gegenwärtig nicht erforderlich. Er müsste nur gesteckt werden da vorbereitet.

8 ERGÄNZUNGEN / HILFEN

8.1 Ausblick

Lithium Technik, Kompressor Kühlschränke, APPs und Vernetzung sind auf dem Vormarsch und werden sich durchsetzen.

Ein standardisiertes offenes Bussystem ist eine der Grundvoraussetzungen dafür.

Es ist zu hoffen das die ab Werk verbaute Bordelektrik künftig darauf besser vorbereitet ist. Die heutigen EBL Lösungen sind es nicht.

Bei den Komponenten bleibt abzuwarten ob sich auf Dauer Einzelkomponenten oder Kombigeräte durchsetzen werden.

Auch die Spannungsebene dürfte sich angesichts der steigenden Leistung künftig eher bei 24V (oder 48V) einstellen.

Beispiele sind „Power Kits“ (48V) von ECO FLOW oder Der ECTIVE SSI30 (24V)

SSI 30 4in1 Sinus-Wechsel- richter 24V

Wellenart
Spannung
Max. Leistung bis 2 s

Reine Sinuswelle
24 V zu 230 V
6000 W



8.2 Gas vs. Elektrizität

Der Heizwert (Energiegehalt) einer **11kg Propangasflasche** beträgt **141 kWh**.
Eine **280 Ah** 13,4V Batterie speichert ideal **3,75 kWh**.
Im Verhältnis ergibt das 37,5.

Um 1 kg Wasser um 1 Grad zu erwärmen werden 1,16 Wh benötigt oder um 1 m³ Wasser um 1 Grad zu erwärmen werden 1,16 kWh benötigt.

**Um 50l Wasser von 10 °C auf 60°C zu erwärmen werden also:
1,16 Wh * 50l * 50°C = 2,9kWh Energie benötigt**

Die Gasflasche schafft es 1520 Liter Wasser um 80 Grad zu erwärmen.
Die 280 Ah Batterie schafft es 40 Liter Wasser um 80 Grad zu erwärmen.

Elektrizität wird selten an Landstrom, immer während der Fahrt durch die Lichtmaschine und permanent im Stand durch eine Solaranlage nachgeladen.
Die Gasvorräte sind immer abhängig von der Infrastruktur.

All das gilt es neben den eigenen Campingverhalten und den Realisierungskosten zu berücksichtigen wenn die beste Dimensionierung gefunden werden soll.

Kennwerte:

- Täglicher Stromverbrauch
- Tägliche Stromerzeugung
- Gewünschte Standzeit unter Worst Case Bedingungen.

Gastankflasche:

Entspannt die Situation merklich wenn Länder mit Abdeckung bereist werden.
Adapterset erforderlich.

TÜV Eintragung ins gelbe Buch wurde durchgeführt.

8.3 Gewichtsverteilung im Wohnmobil

Ziel: Einhaltung der 3,5 t Grenze.
Keine partielle Überlastung einer Achse.

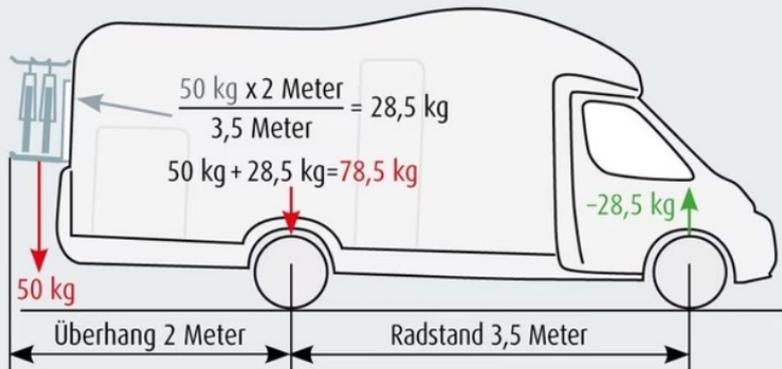
Zulässige Achslasten GLOBEBUS T6

Vorne: 1950 kg (gewogen 1500kg)
Hinten: 2000 kg

Maßnahmen:

- Luftfederung an der Hinterachse.
- Keinerlei Anbauten am Fahrzeugheck
- Elektrosetup komplett unter den Vordersitzen (wenig schwere Kabel)
- Solarpanels deutlich vor der Hinterachse

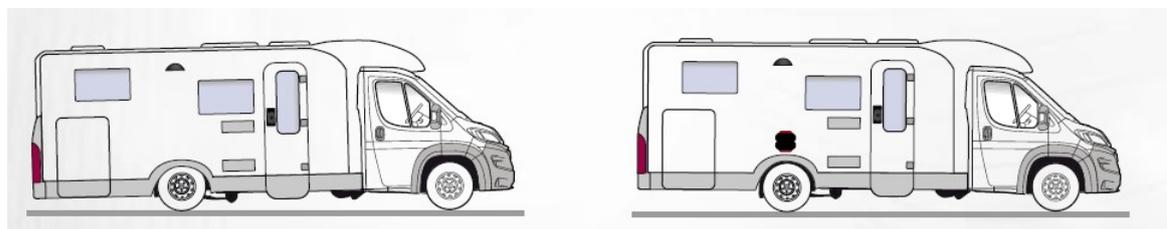
Ein wenig Reisemobil-Mathematik



Beispielrechnung:
3500 kg zul. Gesamtgewicht
- 2900 kg Trockengewicht
- 220 kg Gas, Wasser, Diesel
- 250 kg Passagiere

= 130 kg Rest-Zuladung

Je länger der Hecküberhang und je schwerer das Gepäck am Heck oder in der Garage, desto größer fällt die Hebelwirkung auf die Achsen aus. Beim Packen darauf achten.



Rechts: Zusatzluftfederung der Hinterachse.

Aufgrund der Hebelgesetze werden keinerlei Komponenten des Elektro Setups hinter der Hinterachse verbaut. Das gilt auch für die Panels auf dem Dach.

8.4 ADD ONs

Zusätzliche interessante Lösungen und Ansätze für Tüftler und Fortgeschrittene.

Hier folgt eine lose, unvollständige Sammlung.

8.4.1 Stellvertreter Handy als Fernsteuerung



https://www.youtube.com/watch?v=TIYFeO_fvnM

8.4.2 Überspannungen und Maßnahmen zur Spannungsstabilisierung

Prominentestes Beispiel in WoMo YOUTUBE Kreisen für Schäden durch Überspannungen oder Spannungsspitzen ist das Produkt MAXFAN.

Hier gab es bei einem Ausbauer gehäuft Ausfälle und statt nach den Ursachen zu forschen wurden Workarounds (DC/DC Wandler) oder gar Austausch des Produktes verfolgt.

MAX FAN selber hat dabei keine gute Figur abgegeben, den Workaround ins Spiel gebracht und die Spezifikationen nicht wirklich gekannt.

Welche Spannungen beherrscht werden müssen ist dem Kapitel Spannungsebenen im KFZ zu entnehmen. (16V permanent und 20V dynamisch)

(siehe Kap. 3.4)

Gründe für permanente Überspannungen:

- Erhöhte Systemspannungen (volle LiFePo4 z.B. 14,2V)
- Hohe Ladespannungen (Absorptionsspannung LiFePo4 z.B 14,8V)

Gründe für dynamische Überspannungen (Spannungsspitzen):

Wiki:

„Die kritischste Spannungsspitze in einem Automobil ist als „Lastabwurf“ bekannt und wird durch eine Unterbrechung des Batterieanschlusses verursacht, während die Batterie geladen wird.“

- Schalthandlungen (z.B. Trennschalter oder BMS Transistoren)
- Unstabile Regelkreise (viele unkoordinierte Regler auf ein System)
(siehe Kapitel 2.3.2)
- Induktionen und Einstreuungen

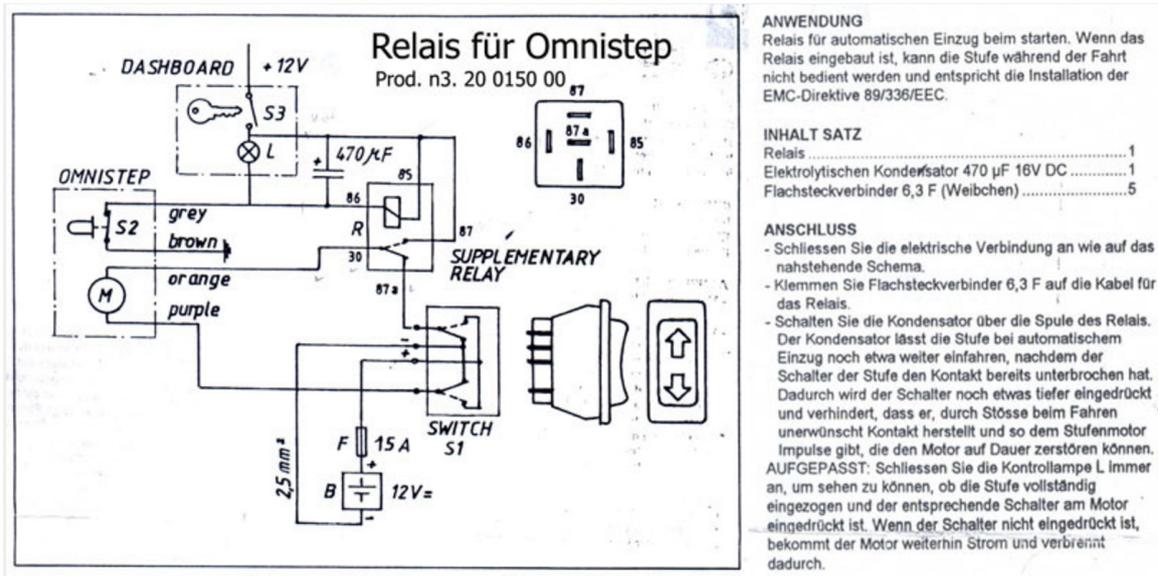
8.4.2.1 Maßnahmen zur Spannungsstabilisierung

- Saubere, zu Ende gedachte Konzeption.
- DC DC Wandler
- Glättungsspeicher auf Verbraucherseite

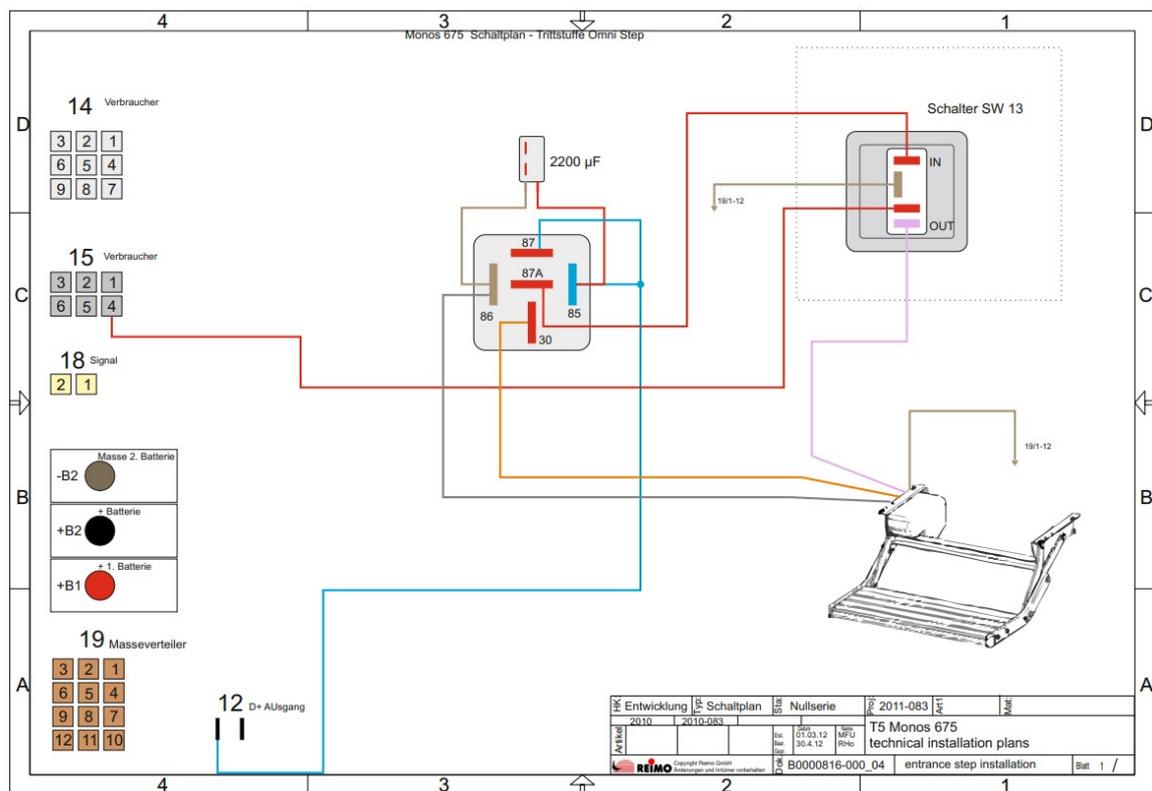
Hinweis:

der Verfasser hat seinen MAXFAN bewusst ohne DC/DC Steller verbaut da er Schalthandlungen vermeidet und ein Augenmerk auf die Regelkreise gelegt hat. Nach Übungen im Winter (Batterie Laderichtung wird getrennt, also doch Schalthandlung und Solarregler findet keine Batterie und speist ins Bordnetz) wird er ein Redesign durchführen um die Verbraucherseite (bis auf die Trittstufe) durch einen zentralen DC / DC Steller (ORION XS) zu schützen (anstelle Unterspannungsauslösung EBL) und damit auch frei schalten.

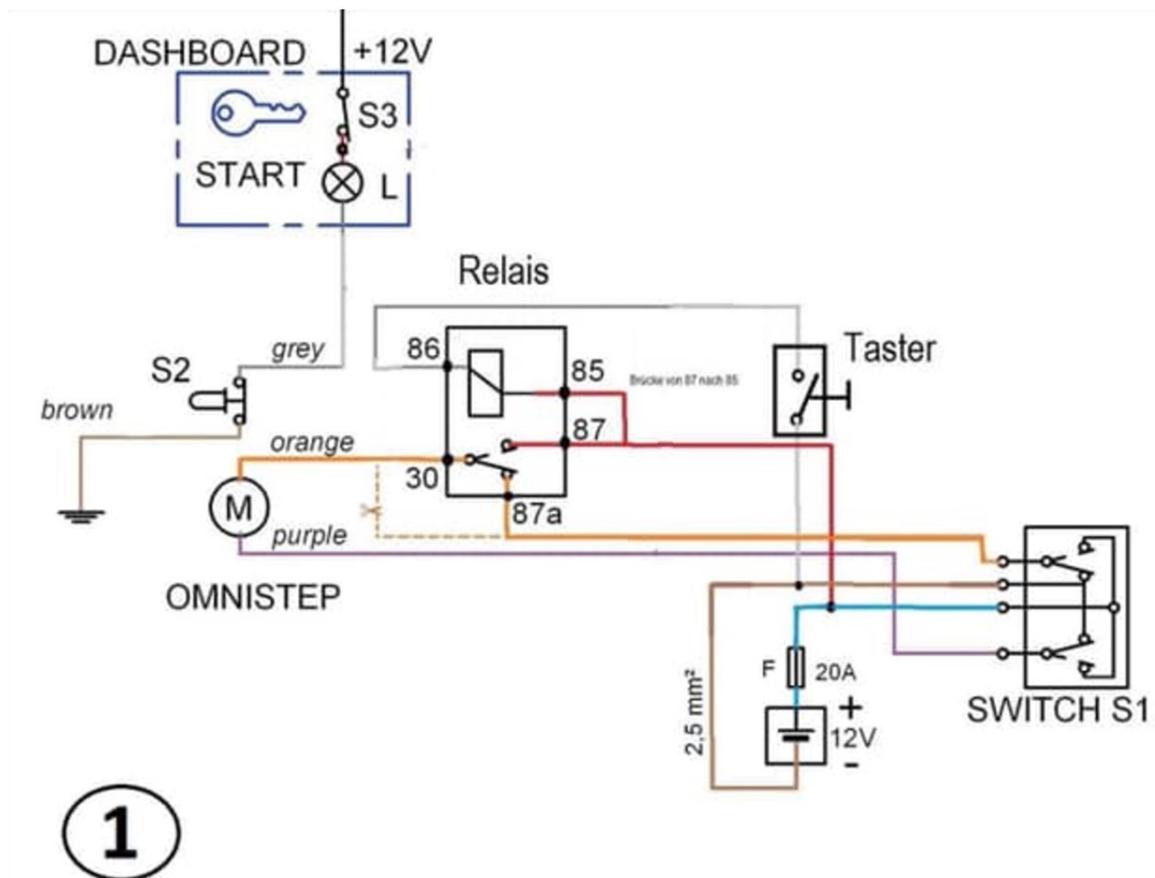
8.4.3 Zusatzschalter elektrische Trittstufe



https://www.wohnmobilforum.de/gallery/image.php?image_id=28633



Zusatzschalter Trittstufe



Zur Schaltung Nr.1:

Wenn der Taster nicht gedrückt ist, ist alles normal, die orangene Leitung ist über das Relais 30 und 87a durchgeschaltet.

Drückt man den Taster, zieht das Relais an und gibt + an die 30, also an den orangenen Anschluss, die Stufe fährt rein.

LOP: abchecken Fehlbedienung (beides ungünstig gedrückt)

8.4.4 Notkabel EBL

Mit diesen Notkabeln lassen sich die Relais RE01 und RE02 des EBL „überbrücken“

- Die PINs 2 und 7 decken die 12V Aufbauversorgung ab
- Die PINs 9 und 12 decken die 12V Heizung / Trittstufe ab

Die provisorische direkte Versorgung durch die Aufbaubatterie (*vor dem EBL abgreifen*) ist entsprechend abzusichern.

8.4.4.1 Einspeisung 12V auf BL5 „Rückseite“

braun (-) 10	<u>schwarz</u> Sideboard (-) 11	<u>schwarz</u> Noteinspeisung (Heizung, Trittstufe) (-) 12
<u>schwarz</u> Noteinspeisung (Aufbau) (-) 7	braun (-) 8	<u>rot</u> Noteinspeisung (Heizung, Trittstufe) (+) 9
blau (+) 4	braun (-) 5	<u>rot</u> Sideboard (+) 6
blau (+) 1	<u>rot</u> Noteinspeisung (Aufbau) (+) 2	blau (+) 3

Steckerbelegung BL5 12F:

- 1 -
- 2 - + Noteinspeisung Aufbau
- 3 -
- 4 -
- 5 -
- 6 - + USB Sideboard
- 7 - - Noteinspeisung Aufbau
- 8 -
- 9 - + Noteinspeisung Heizung, Trittstufe
- 10 -
- 11 - - USB Sideboard
- 12 - - Noteinspeisung Heizung, Trittstufe

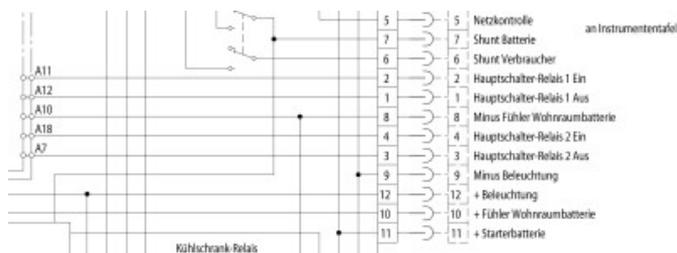


MATE-N-LOK Stiftkontakte 0,50mm² - 2,10mm²

3 Abgänge am Stecker waren belegt. (braun / blau) und verschwinden unbekannt im Aufbau.

LOP: Testen durch Sicherung ziehen oder Verlegepläne des Herstellers heranziehen.

8.4.4.2 Stiftleiste BL3 (Anschluss Control und Schalttafel)



Anschluss Control und Schalttafel

- 1 - Hauptschütz Relais 1 AUS
- 2 - **Hauptschütz Relais 1 EIN**
- 3 - Hauptschütz Relais 2 AUS
- 4 - Hauptschütz Relais 2 EIN
- 5 - Netzkontrolle
- 6 - Shunt Verbraucher
- 7 - Shunt Batterie
- 8 - - Minus Fühler Wohnraumbatterie
- 9 - - **Minus Beleuchtung**
- 10 - + Fühler Wohnraumbatterie
- 11 - + Starterbatterie
- 12 - + Beleuchtung



BUCHSENLEISTE - 12 POLE **BTWF12**

Mit der Leiste STFW12 lassen sich am EBL ohne Bedienpanel Messungen durchführen und Schalthandlungen auslösen.

Beispiel: Ein Impuls zwischen den PINs 2 und 11 (Masse) schaltet beide Relais des EBL bleibend ein ohne Bedienpanel.
In dem Zusammenhang ließ sich auch das „verwirrte“ Panel reanimieren.

8.4.5 Nachladen der Starterbatterie

Vorverdrahtung Ladegerät (7A Victron Energy) an Starterbatterie unter dem Fahrersitz..
Wahlweise über Landstrom oder Wechselrichter.



Blue Smart IP65 Ladegerät 12/7 + DC connector

- Kann Starterbatterie laden
- Kann auf LiFePo4 umgestellt werden
- Hat Bluetooth integriert (VE APP)

8.4.6 USB und Ladetechnik

Die Anzahl akkubetriebener Helfer steigt stetig.

Lampen, Smartphone, Tablet, Notebook, Kameras, Drohnen, Mückenvertreiber, E-Bike, Deko Artikel und noch viel mehr.

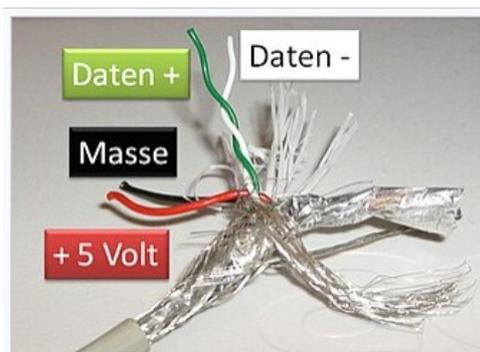
Früher war in PKW und Wohnmobilen dafür eine Zigarettenanzünder Steckdose verbaut was bald nicht mehr reichte bzw. unzählige Adapter erforderte.

Wohnmobilerhersteller verbauen mittlerweile spärlich USB Dosen. (in der Regel max. 15W)

Die Technik hat sich weiter entwickelt und USB Ladetechnik bis 240W ist realisierbar.

USB Kabel können in der Regel bei 3A bis 15W übertragen.

USB PD erhöht Spannung (bis 20) und Strom (bis 5A), was 100W ergibt.



Alternativ gibt es geeignete Ladegeräte (DC Steller) die direkt am 12V Bordnetz funktionieren.

Tipp:

- Bei Nachrüstungen auf USB-PD bestehen.
(Absicherung und Versorgung muss passen)
- Bei Anschaffungen darauf achten das die Landschaft der Ladegeräte überschaubar bleibt.
- Auch die (USB) Kabel müssen den Anforderungen gerecht werden.

8.4.6.1 USB Steckdosen und USB Tester

Wiki:

„Schon mit USB 1.0 war eine Stromversorgung angeschlossener Geräte über die USB-Kabelverbindungen möglich. Allerdings war die maximale Leistung nur für Geräte mit geringem Strombedarf (wie Maus oder Tastatur) ausreichend, für die meisten Festplatten aber nicht. Mitunter werden daher USB-Ports außerhalb der spezifizierten Leistungsgrenzen betrieben. Eine kurzzeitige Überlastung eines USB-Ports, die etwa beim Anlaufen von Festplatten auftritt, kann funktionieren oder den USB-Port beschädigen.“

Um die bei der Stromversorgung auftretenden Probleme zu lösen, wurden mit höheren Versionen der USB-Spezifikation erweiterte Möglichkeiten der Spannungsversorgung geschaffen. Dabei stieg die maximale Leistung von 100 W in der Version 3.0 auf maximal 240 W in Version 3.1, ausreichend beispielsweise für das Laden eines Notebooks.“

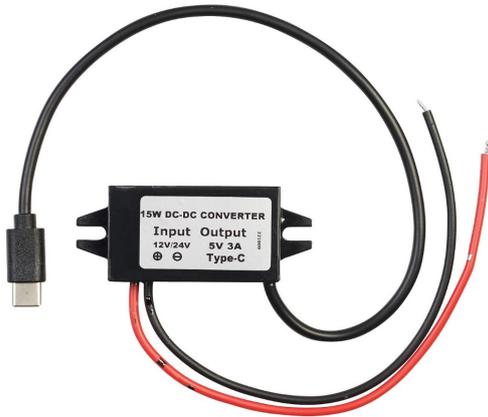
Spezifikation	Power Range	Spannung		Stromstärke	Leistung
		Nennwert	zulässig	max.	max.
USB 1.0 / 1.1	Low-Powered-Port ^[22]	5 V	4,40–5,25 V ^a	0,1 A	0,5 W
USB 2.0	High-Powered-Port		4,75–5,25 V	0,5 A ^d	2,5 W
USB 3.0 / 3.1 ^[23]				0,9 A ^e	4,5 W
USB-BC 1.2 ^[24] USB Battery Charging			4,45–5,25 V	1,5 A	7,5 W ^b
USB 3.2 ^[24]				3 A	15 W ^c
USB-PD ^[24] USB Power Delivery	SPR (Standard Power Range)	wie Typ C, jedoch zusätzlich: 9, 15 oder 20 V		5 A	100 W
	EPR (Extended Power Range)	wie SPR, jedoch zusätzlich: 28 V, 36 V, 48 V ^[21]			240 W



USB Tester

Der USB-C-PD-Standard lässt derzeit lediglich eine Leistung von 100 Watt zu. Diese wird jedoch nicht von sämtlichen Kabeln unterstützt. Somit kann das Kabel zum limitierenden Faktor für die Aufladung werden

8.4.7 Alternative Ladetechniken 12V



Mit einem solchen DC Wandler mit USB Anschluss betreibt der Verfasser erfolgreich seinen NETGEAR Router.



Mit einem solchen Akkuladegerät versorgt der Verfasser all seine standardisierten Akku Geräte im WoMo.
(12V 20A Dose extra nachgerüstet)

- Akku Lampen
- Akku Staubsauger
- Akku Powerbank mit USB
- Akku Schrauber
- Akku Kompressor



Mit einem solchen Lader kann man E-Bikes im Wohnmobil ohne Verwendung eines Wechselrichters und ohne Landstrom laden.

8.5 Verbände

Hier nur 2 Beispiele zur Info aufgeführt.

8.5.1 ZVEI

ZVEI: Verband der Elektro- und Digitalindustrie

„Grundlage der Arbeit ist der Erfahrungs- und Meinungsaustausch der Mitgliedsunternehmen über aktuelle technische, wirtschaftliche, rechtliche und gesellschaftspolitische Themen im Umfeld der Elektro- und Digitalindustrie. In rund 400 Gremien erarbeiten ZVEI gemeinsame Positionen für die Branche und bringen diese in den politischen Diskurs ein, in Deutschland, Europa und weltweit.“

8.5.2 CIVD

Der Caravaning Industrie Verband e.V. (CIVD) vertritt seit 1962 die Interessen des industriellen Zweigs der Caravaning-Branche. <https://www.civd.de/artikel/ueber-den-verband/>

Zitat:

„Normen legen Anforderungen an Produkte, Dienstleistungen oder Verfahren fest. Sie unterstützen die Qualitätssicherung in Wirtschaft, Technik, Wissenschaft und Verwaltung und dienen der Sicherheit von Menschen und Sachen. Das gilt auch für die Caravaningbranche.“

Die Kenntnis einschlägiger Normen, sowie deren richtiger Einsatz, ist ein nicht zu unterschätzender wirtschaftlicher Faktor. Sie sorgen durch eine gleichbleibende und vergleichbare Produktqualität für Vertrauen bei den Endkunden. Darüber hinaus schaffen Normen Rechtssicherheit für die Hersteller.

Die Anwendung von Normen ist freiwillig.

*Erst durch die Nennung in Verträgen oder Gesetzen wird ihre Einhaltung verpflichtend. **In Haftungsfragen werden Normen allerdings als anerkannte Regeln der Technik herangezogen.***

*Ein ordnungsgemäßes Verhalten kann so einfacher belegt werden.**

Europäische Normen für Freizeitfahrzeuge wurden erstmals 1998 veröffentlicht. Seither vertritt der CIVD die Interessen seiner Mitglieder national im DIN (Deutsches Institut für Normung), in der europäischen Normung bei CEN (Europäisches Komitee für Normung) und in der internationalen Normung bei ISO (Internationale Organisation für Normung). Die Normen unterliegen einer regelmäßigen Überarbeitung. Spätestens alle fünf Jahre werden Normen auf den Stand der Technik hin überprüft.“

9 LITERATURVERZEICHNIS

- /1/ VICTON ENERGY Wiring Unlimited
https://www.victronenergy.de/upload/documents/The_Wiring_Unlimited_book/43562-Wiring_Unlimited-pdf-de.pdf
- /2/ YouTube Meine Energiewende (Victron Setup)
<https://www.youtube.com/@MeineEnergiewende>
- /3/ YouTube Andreas Schmitz (PV Eigenbedarf Konzept)
<https://www.youtube.com/@Akkudoktor>
https://www.youtube.com/watch?v=gUHZMqk5rIk&list=PLQ2DhY8DrRvyt_o8eeLeKedzLWQ-huw0t&index=40&t=1555s
- /4/ YouTube Zerobrain (Alles über LiFePO4)
<https://www.youtube.com/watch?v=2I-QdZfQqP8&t=0s>
- /5/ YouTube G8N (Ballancing von LfFePO4)
<https://www.youtube.com/watch?v=k0500ApsxVs>
- /6/ YouTube Prof. Hundshausen (Energiewende in Erlangen)
<https://www.youtube.com/watch?v=HApQRiqdDsk>
- /7/ Handbücher aller verwendeten Komponenten
- /8/ Mikro Charge (Blog zu WoMo Lithium)
<https://www.microcharge.de/forum/forum/index.php?thread/917-wichtiges-zur-ladung-von-lfp-lifepo4-akkus/>
- /9/ EigenWatt (Hintergründe zu PV, Speicher, E Car)
<https://www.youtube.com/watch?v=MzLifzpzVhw&t=49s>
- /10/ SIEMENS Kältetechnik „h log p“ Diagramm
<https://www.youtube.com/watch?v=sgbryq60VKA>
- /11/ „Geladen“ Podcast der KIT (Karlsruher Institut Technologie)
(Allerbester Podcast zum Thema Batterie)
<https://www.youtube.com/watch?v=vxk8iQhFZaY&t=11s>

10 ÄNDERUNGSVERZEICHNIS

Februar 2025 V 1.0 ist die Ursprungsversion.