

Nachrüstung von Stromspeicher- und Ladelösungen für Campingfahrzeuge

Im Jahre 2023 sind die **Ansprüche der meisten Campingurlauber hoch**: Auf viele elektrische Geräte kann nicht mehr verzichtet werden, sei es das Laden von Smartphones, Powerbanks, Soundboxen, Laptops, elektrischen Zahnbürsten oder Rasierapparaten, oder das Betreiben eines Haarglätters oder eines Reiseföhns für langhaarige Reisende. Doch auch TV und praktische Küchenhelfer erfordern oft eine Spannungsversorgung wie zuhause, kleine Spülmaschinen und auch Staubsauger finden immer mehr Anklang. Letztendlich sind spezielle Campingkühlschränke recht teuer, und so kann es je nach Energieversorgung, Platz und Zuladung sinnvoll sein, einen modernen Haushaltskühlschrank zu verbauen (eine Verriegelung zur Sicherung der Tür bei Fahrt sollte angebracht werden), denn die Effizienz ist relativ hoch.

Wohnmobile und Wohnwagen habe eine lange Nutzungsdauer, Fahrzeuge die 30 Jahre oder älter sind, findet man oft noch auf Camping- und Stellplätzen oder – wo zulässig – in freier Wildbahn. So ist es nicht verwunderlich, dass viele den Wunsch verspüren, ihr Fahrzeug nicht nur optisch innen und außen aufzubereiten, sondern auch die **Energieversorgung auf den neusten Stand zu bringen** und den aktuellen Bedürfnissen anzupassen.

Nicht zu unterschätzen sind die **Gefahren** bei einer mangelhaften Ausführung. Drohen bei Fehlern und ungenügender Absicherung im 12-Volt-System Schmor- und Fahrzeugbrände, so können Mängel in der Installation des 230-Volt-Teils zu tödlichen Stromschlägen führen. Daher ist ein Elektrikausbau nur etwas für Fachkundige. Ist man sich unsicher, sollte eine Fachkraft hinzugezogen werden, oder gleich die Ausrüstung einem Fachbetrieb übergeben werden, was zwar teurer ist, aber für ruhigere Nächte im geliebten Wohnwagen oder Reisemobil sorgt.

Inhaltsübersicht

1	Auswahl der Speicherbatterie	2
1.1	Kennzeichnung der Batterien	2
1.2	Bezeichnungen	3
1.3	Batterietypen	4
1.4	Blei-Säure-Batterie	4
1.4.1	Verschlossene, sogenannten wartungsfreie Blei-Säure-Batterie	4
1.4.2	EFB-Batterie.....	4
1.4.4	Gelbatterie	5
1.5	Lithium-Ionen-Batterie	5
2	Unabhängig und autark mit Photovoltaik	6
2.1	Die Solarmodule.....	6
2.1.1	Unterschied monokristallin zu polykristallinen Zellen	6
2.1.2	Solarmodularten	7
2.2	Der Solarladeregler.....	7
2.2.1	PWM-Laderegler	8
2.2.2	MPPT Laderegler	8
2.2.3	Der Temperatursensor für den Laderegler	8
2.3	230-Volt-Ladegerät	8
2.4	Batteriemonitoring.....	9
2.4.1	Spannungsanzeige	9
2.4.2	Intelligente Batterieüberwachung	9
3	Ladebooster	9
3.1	Der Lichtmaschinenregler	9
3.2	Ladeprobleme aufgrund von geringen Leitungslängen und - querschnitten	10

3.3	Der Ladebooster.....	10
3.3.1	Aufladen der Bordbatterien mit Euro6-Motoren per Ladebooster.....	11
4	Unabhängigkeit mit einem Generator	11
5	Spannungswandler auf 230 Volt (Wechselrichter)	11
5.1	Wandler mit sinusähnlicher Spannungskurve	12
5.2	Wandler mit reiner Sinuskurve	12
5.3	Hybridwandler.....	12
5.4	Power Station	13
5.5	Auslegung Spannungswandler.....	13
5.6	Integration ins 230-Volt-Bordnetz.....	13
6	Elektrische Leitungen	14
6.1	Leitungsart	14
6.2	Leitungsdurchmesser/-querschnitt	14
6.3	Leitungsverlegung.....	15
6.4	Verbindung von Leitungen	15
6.4.1	Lüsterklemmen.....	15
6.4.2	Flachstecker.....	15
6.4.3	Hebelklemmen.....	16
6.4.4	Verteilerdosen.....	16
7	Absicherung.....	16
7.1	12-Volt-Netz (auch bei 24 Volt).....	17
7.1.1	Schmelzsicherungen.....	17
7.1.2	Sicherungsautomaten	17
7.1.3	Batterie Hauptschalter.....	17
7.2	230-Volt-Netz.....	17
7.2.1	Leitungsschutzschalter (LS-Schalter).....	18
7.2.2	Fehlerstromschutzschalter (FI-Schalter)	18
7.2.3	FI/LS-Schalter.....	19
8	Auslegungsbeispiele:	19
8.1	Das Camperpaar im Wohnmobil-Kastenwagen.....	19
8.2	Die Familie im Wohnwagen.....	20
8.3	Schaltbild.....	20
8.4	Energieflussdiagramm.....	21
9	Tipps für den Verbraucher	21

1 Auswahl der Speicherbatterie

Bei der Auswahl der Speicherbatterie sollten zuallererst die eigenen Anforderungen sowie die technische Peripherie abgeklärt werden. Denn eine ungeeignete Batterie kann zu Funktionsausfällen, einem frühzeitigen Verschleiß und schlimmstenfalls sogar Defekten führen.

Ist die Frage Standard-Batterie, EFB, AGM, Gel oder Lithium-Ionen geklärt, muss die gewünschte Kapazität gewählt werden. Diese entscheidet nicht nur über die Ausdauer des Systems, sondern auch indirekt über die maximal abrufbare Leistung (mögliche Spitzenleistung).

1.1 Kennzeichnung der Batterien

Die erforderlichen technischen Daten lassen sich entweder von der alten Batterie ablesen oder ist das Ergebnis einer Bedarfsberechnung (Punkt 8, Auslegung). Auf der Kopfseite der Starterbatterien sind Kennzeichen angebracht. Zu lesen sind diese wie folgt:

Nach DIN EN 50342

Beispiel: 12 V, 95 Ah, 850 A, VRLA

Nennspannung	Nennkapazität	Kaltstartstrom	Batterietyp
12 V	95 Ah	850 A	VRLA (Bleibatterie mit Sicherheitsventil)

Beispielsbezeichnung nach DIN EN 50342

Nach europäischer Typennummer

Die europäische Typennummer ist nicht mehr genormt, sie wird dennoch oft noch angegeben. Die Typennummer besteht aus neun Ziffern: Die ersten drei stehen für die Nennspannung in Volt (verschlüsselt) und die Nennkapazität in Ampere-Stunden (Ah, unverschlüsselt). Die Ziffern vier bis sechs geben verschlüsselt weitere Auskünfte über technische Merkmale. Die Ziffern sieben und acht stehen in verschlüsselter Form (Angabe x 10) für den Kälteprüfstrom in Ampere.

1.2 Bezeichnungen

Nennspannung: Sie ergibt sich aus der Anzahl der in Reihe geschalteten Zellen (üblicherweise 6) und der Nennspannung einer einzelnen Zelle; im Auto üblicherweise 12 Volt.

Nennkapazität: Sie gibt Auskunft über die elektrische Kapazität in Amperestunden (Ah). Bei einer 12-Volt-Säurebatterie wird ermittelt, wie viel Ladungsmenge sie bei einer Säuretemperatur von ca. 25 Grad, während einer Entladezeit von 20 Stunden bis zu einer Entladeschlussspannung von 10,5 Volt liefert.



Batteriebezeichnung, Quelle: VARTA AG

Die Entladezeit hat einen enormen Einfluss auf die Kapazität. Es gilt: Je schneller eine Batterie entladen wird, umso geringer ist ihre Kapazität. Offenkundige Angaben über die Kapazitäten werden in den Parametern „c“ mit Zeitangabe angegeben. Die Zahl nach dem „c“ gibt dabei an, in welcher Zeit die Batterie bis zur Entladeschlussspannung entladen wird. „c100“ bedeutet, dass der gewählte Entladestrom die Batterie in 100 Stunden auf die Entladeschlussspannung abfallen lässt. Eine Batterie hat für gewöhnlich bei derart niedrigen Entnahmeströmen eine gute Kapazitätsleistung. Anders verhält es sich bei geringen c-Werten bzw. wenn die Batterie mit hohen Entladeströmen belastet wird. Die Kapazität sinkt bei „c5“ (fünfstündiger Entladedauer) gegenüber der Nennkapazitätsangabe „c20“ (zwanzigstündigen Entladedauer) um ca. 40-50 %. Die Gründe hierfür sind chemisch ungünstige Begleiterscheinungen wie z. B. die hohe Eigenerwärmung der Batterie bei hoher Lastabforderung.

Maximale Leistungsabgabe (Entladeleistung): Bleisäurestarterbatterien sind dahingehend entwickelt, dass sie kurzzeitig hohe Stromstärken liefern. Diese Ströme müssen sie in einem weiten Temperaturfenster liefern können. Diese Spitzenlasten müssen sie insbesondere beim Starten von großen Dieselmotoren kurzzeitig abgeben können. Die Angabe auf der Batterie – nach EN getestet – besagt: Stromstärke X, die eine 12-V-Batterie bei -18°C mindestens 10 Sekunden lang liefern kann, ohne dass die Klemmenspannung

unter 7,5 V sinkt. Diese Angabe soll aber nicht darauf abzielen, dass die Batterie mit dieser maximalen Kaltstartstrombelastung längere Zeiten belastet werden darf.

Für Bleisäurebatterien gilt: Der maximale Entladestrom sollte nicht höher als das 1,5-fache des vom Hersteller angegebenen, maximalen Ladestroms betragen.

Beispiel: Bleibatterie Typ Gel, 70Ah Kapazität

Max. Ladestrom: 12 A

Max. Entladestrom = Max. Ladestrom x 1,5 = 12 A x 1,5 = 18 A

Max. Entladeleistung = Max. Entladestrom x Spannung = 18 A x 12 V = 216 Watt

Die Summe aller Verbraucher sollte die 216 Watt somit nicht dauerhaft überschreiten.

Lithiumionenbatterien sind bezüglich des Stromabgabevermögens oft sehr viel genauer spezifiziert. Das C-Rating steht bei ihnen für die Stromabgabefähigkeit im Verhältnis zur Kapazität. In den technischen Daten finden sich bei Ihnen sehr viel öfter Angaben über den Maximal konstanten Entladestrom und Spitzen-Entladestrom. Die Stromabgabewerte liegen bei Ihnen meist weit über denen der Bleisäurebatterien. Sie eignen sich somit besser für Anwendungen mit hohen Dauerleistungen, beispielsweise Kaffeemaschinen, Haarföhn, Elektroküchengeräte.

1.3 Batterietypen

Am meisten verbreitet sind die sogenannten Bleiakkumulatoren. Lithium-Ionen-Batterien erobern zunehmend den Markt, insbesondere wenn höhere Ansprüche gefordert sind. Nachfolgend wird auf die Vor- und Nachteile der Batterietypen eingegangen.

1.4 Blei-Säure-Batterie

Zwei Elektroden aus porösem Blei (negativ) und porösem Bleidioxid (positiv) liefern in einer wässrigen Schwefelsäurelösung elektrische Energie. Dabei entstehen Bleisulfat und Wasser. Dieser Vorgang ist reversibel und beim Laden entsteht wieder Bleidioxid, Blei und Schwefelsäure. Blei-Säure-Batterien eignen sich gut als Aufbau-Batterie. Ein wichtiger Punkt bei Ihnen: Sie nehmen bei vollständiger Entladung oft Schaden und sollten deshalb, je nach Typ und Entladestrom, nur bis 30 – 75 % ihrer Kapazität entladen werden.

1.4.1 Verschlussene, sogenannten wartungsfreie Blei-Säure-Batterie

Standard Blei Säure Batterie SLI Batterie: Starting, Lighting, Ignition (Start, Licht, Zündung)

Das „wartungsfrei“ bezieht sich vorwiegend darauf, dass kein destilliertes Wasser nachgefüllt werden muss. Beim Laden entstehen Wasserstoff und Sauerstoff. Innerhalb der jeweiligen Zelle kann die wartungsfreie Batterie diese Gase wieder in Wasser zurückwandeln. Auf der Batterieoberseite befinden sich Entgasungsventile, die im Falle eines Überdrucks (z. B. bei Überladung) eine gezielte Gasableitung in den zentralen Entgasungskanal ermöglichen (sollte nach außen abgeführt werden).

- günstig in der Anschaffung
- geringe Energiedichte
- wartungsfrei
- schnelle Selbstentladung
- einfache Ladetechnik ausreichend
- moderate Zyklen-Festigkeit
- begrenzte Lagerfähigkeit
- empfindlich gegenüber Vibrationen
- erhöhter Innenwiderstand
- die Entladung sollte nicht über 30 % der Kapazitätsangabe betragen
- schwer

1.4.2 EFB-Batterie

Das Kürzel „EFB“ steht für „Enhanced Flooded Battery“, d. h. mit verbessertem Säurefluss. Dank eines Polyvlies-Materials auf der Oberfläche der positiven Platte garantiert die EFB eine längere Lebensdauer. Aufgrund der höheren Leistung ist sie als Versorger-Batterie besser geeignet als die Standard-Bleisäure-Batterie.

- wartungsfrei
- erhöhter Preis
- hohe Stromaufnahme möglich
- begrenzte Lagerfähigkeit

- hohe Zyklen-Festigkeit
- weniger wärmeempfindlich
- verträgt tiefere Entladung besser
- geringe Energiedichte
- die Entladung sollte nicht über 55 % der Kapazitätsangabe betragen
- schwer

1.4.4 Gelbatterie

Bei Gel-Batterien wird die Schwefelsäure durch Kieselsäure gebunden, was die enthaltene Säure eindickt und daher, wie eine Art Gel wirkt. Die Batterien haben eine Kapselung, die das Austreten des Gels verhindert. Der Innenwiderstand von Blei-Gel-Batterien ist höher als bei offenen Blei-Säure-Batterien, sodass sie weniger geeignet sind, hohe Ströme z. B. als Starterbatterie zu liefern. Ihre Vorteile bei der Selbstentladung, der lageunabhängigen Einbaulage und der Zyklen-Festigkeit macht Sie als Versorgungsbatterie für Wohnmobile und für den Einsatz in Motorrädern interessant.

- wartungsfrei
- lageunabhängig einbaubar
- widerstandsfähig gegenüber Vibration
- geringe Selbstentladung
- verbesserte Lagerfähigkeit
- verträgt tiefere Entladung besser
- die Entladung kann vereinzelt über 70 % der Kapazitätsangabe erfolgen
- geringe Energiedichte
- erhöhter Innenwiderstand
- geringer Maximalstrom
- spezielle Ladetechnik empfehlenswert
- schwer

1.5 Lithium-Ionen-Batterie

Sie stehen für Akkumulatoren auf der Basis von Lithium-Verbindungen in allen drei Phasen der elektrochemischen Zelle. Unterteilen lassen sich die Lithium-Ionen-Batterien in verschiedenste Typen, unterschieden wird dabei bei den reaktiven Materialien sowohl in der negativen als auch in der positiven Elektrode sowie der Elektrolyt enthaltenen Lithiumionen. Lithium-Ionen-Akkumulatoren weisen im Vergleich zu anderen Akkumulator-Typen eine sehr hohe spezifische Energie auf. Sie erfordern jedoch in den meisten Anwendungen elektronische Schutzschaltungen, da sie sowohl auf Tiefentladung als auch Überladung nachteilig reagieren. Im Vergleich zu den Blei-Säure-Batterien besitzen sie eine deutlich höhere Energiedichte. Für Hochleistungsanforderungen, aber auch als Nachrüslösung sind sie zur Verringerung des Gewichts im Einsatz.



LFP-Batterie mit eingebauter Heiztechnik zum Laden bei Frostgraden.
Foto: Renogy

- wartungsfrei
- geringe Selbstentladung
- sehr hohe Stromaufnahme möglich
- sehr hohe Stromabgabe möglich
- sehr hohe Zyklen-Festigkeit
- hohe Energiedichte
- vergleichsweise leicht
- Entladung kann annähernd 100% betragen
- Oft mit Batteriemonitoring und Statusübertragung via Bluetooth
- teuer
- benötigen elektrische Schutzschaltungen (sofern nicht intern verbaut)
- spezielle Ladetechnik notwendig (sofern nicht intern verbaut)
- kann bei geringen Temperaturen nicht geladen werden

In der **Praxis** kommen in Fahrzeugen als Versorgungsbatterie meist **LiFePO₄- oder LFP-Akkus** zum Einsatz – Lithium-Eisen-Phosphat-Batterien **mit implementiertem Batteriemanagementsystem**. Es sind

daher keine speziellen Ladegeräte mehr erforderlich, jedoch ist eigentlich zwingend ein Ladebooster vorzusehen, wenn die Starterbatterie im Fahrzeug eine Bleibatterie ist, die eine andere Ladekennlinie hat als eine Batterie in Lithium-Technik. Weiter bieten die Batterien mit eingebautem Batteriemanagement oft Datenanbindungen zu Bluetooth-Modulen, oder können selbst schon kabellos kommunizieren und über ihren Status informieren. Auch verfügen sie zum Teil schon über Standby-Modi, in dem die Batterie in einen Ruhemodus mit extrem geringer Selbstentladung gesetzt wird, um ein halbes bis ein Jahr ungepuffert schadlos zu überdauern.

Ein Manko jedoch ist bei dieser Batterietechnik die Unfähigkeit, bei Batterietemperaturen unter etwa 3° C zu laden (Entladung geht auch darunter). Sie kann es aus chemisch-physikalischen Gründen einfach nicht. Doch hier handeln einige Hersteller, die ersten Batterien mit eingebautem Heizsystem sind am Markt verfügbar – für Ganzjahres- und Wintercamper eine starke **Empfehlung!**

2 Unabhängig und autark mit Photovoltaik

Die Anzahl an elektrischen Verbrauchern nimmt im digitalen Zeitalter und dem Einzug von elektrisch betriebenen Gerätschaften stark zu. Daneben steigt der Wunsch nach Autarkie, um auch fernab von Steckdosen bzw. beim Freistehen keine entleerte Versorgungs- bzw. Starterbatterie fürchten zu müssen, oder einfach Nutzungsgebühren zu sparen. Aber auch das Thema Batterieschonung, z.B. bei längeren Standzeiten zwischen den Urlaubsphasen, spielt eine Rolle. Denn auch hier kann die Photo-voltaikanlage die teuren Batterien ohne Netzanschluss auf einem „gesunden“ Ladestand halten.

2.1 Die Solarmodule

Die Solarmodule sind die (vom Boden aus) unsichtbare und absolut geräuschlose Energiequelle für das elektrische Bordsystem, besonders dann, wenn es sich nicht bewegt, sondern bewohnt wird. Sie werden in aller Regel auf dem Dach des Caravans oder Wohnmobils montiert. Die meisten Camper benutzen ihr Fahrzeug überwiegend in den wärmeren Jahreszeiten, in denen auch die Anzahl der Sonnenscheinstunden höher ist als im Winter. Für den Sommer geht man in Deutschland von durchschnittlich etwa 6 Stunden pro Tag aus, im Winter aber von nur 1,5.

Hinzu kommt, dass im Winter die Sonne deutlich tiefer steht als im Sommer, und somit der Wirkungsgrad der Solarzellen erheblich schlechter ist als bei fast senkrecht über ihnen stehender Sonne. Berücksichtigt man diesen Faktor, so spenden Solarzellen im Winter nur ca. 10 % der Energie, die im Sommer durchschnittlich pro Tag zur Verfügung stehen würde – wenn sie nicht mit Schnee bedeckt sind. Auch sind für den Sommer Schlechtwetterperioden einzukalkulieren, in denen nur eine geringe Ladeaktivität stattfindet – besonders wenn man nicht im mediterranen Gebiet unterwegs ist.

Das ist bei der Berechnung der erforderlichen Anzahl und Größe der Module unbedingt zu berücksichtigen, wenn sie die einzige Energieversorgung zu Standzeiten sein sollen und die nutzbare Kapazität der Batterien nicht ausreicht, um den Stromverbrauch in den Phasen der Standzeiten abzudecken, bis bei der nächsten Fahrt die Aufbaubatterie durch die Lichtmaschine des (Zug-) Fahrzeugs wieder aufgeladen werden kann.

Wichtig bei der Wahl der Solarmodule ist die Art des Solarladereglers. Verwendet man einen einfachen PWM-Laderegler, sollte die maximale Spannung unter Last nur wenig über der Ladeschlussspannung der Batterie stehen, denn der PWM-Regler kann höhere Spannungen nicht in zusätzliche Ladeleistung umwandeln, sie verpufft schlichtweg, der günstige Betriebspunkt Spannung zu Strom der Solarzellen und die Nennleistung in Watt werden nicht erreicht und je nach Konfiguration um über 50 % unterschritten.

Bei einem MPPT-Regler sind hohe Spannungen indes erwünscht, da genügend Reserve besteht bei teilweiser Abschattung und selbst bei bedecktem Wetter noch etwas Ladeleistung gewandelt werden kann.

2.1.1 Unterschied monokristallin zu polykristallinen Zellen

Für Campingfahrzeuge relevant sind Solarmodule mit monokristallinen oder polykristallinen Zellen. Der Unterschied besteht in der Herstellungsart der Zellen, monokristalline Zellen bestehen aus einem ganzen gezüchteten Kristall, während bei polykristallinen Zellen mehrere kleine Kristalle zusammengesetzt werden. Das kann man leicht mit dem bloßen Auge erkennen, bei den monokristallinen Zellen ist die dunkle

Fläche homogen. Monokristalline Zellen sind reiner und haben daher einen höheren Wirkungsgrad, sie erzeugen mehr Leistung je Fläche. Dafür sind sie aber etwas teurer.

Da die Dachfläche bei Campingfahrzeugen begrenzt ist, der Preisunterschied moderat ist und auch das Gewicht auf dem Dach eine Rolle spielt (mehr Fläche = mehr Gewicht), **sind monokristalline Zellen in den Solarmodulen zu empfehlen.**

Dünnschichtmodule kommen derzeit aufgrund des geringen Wirkungsgrads und der beschränkten Dachfläche bei Campingfahrzeugen nicht infrage.

2.1.2 Solarmodularten

Solarmodule mit ca. 30 bis 40 mm hohen Aluminiumrahmen sind geläufig, sie finden Anwendung auf fest installierten Anlagen wie zum Beispiel auf Hausdächern. Die Solarzellen werden durch ein Sicherheitsglas gegen mechanische und wetterbedingte Einflüsse geschützt. In der Regel sind diese Module mit Leistungsgarantien angeboten, die noch nach 25 Jahren 80 % Leistung zusichern. Der stabile Rahmen macht die Montage einfach, sie werden mit einer vorhandenen Dachreling verschraubt oder in auf die Dachhaut aufzuklebenden Halterungen oder Hal-



ABS Montage Set Solarmodul Halterung mit Dachdurchführung. Foto: SolarV

tespoiler aus Kunststoff oder Aluminium fixiert. Sie sind also für den ganzjährigen Dauereinsatz konzipiert. Nachteil: sie sind relativ schwer, ein solides Modul mit ca. 100 Watt bringt doch fast 9 kg auf die Waage.

Inzwischen sind speziell für Camper auch Module erhältlich, die anstatt des Sicherheitsglases eine Abdeckung aus ETFE haben, einem recht schlagzähen und relativ witterungsfesten Kunststoff. Diese Module sind etwas leichter.

Semiflexible Module sind mit einer speziellen, strukturierten Kunststoffoberfläche versehen. Sie lassen sich an eine leichte Dachwölbung anpassen, die Biegsamkeit liegt jedoch nur bei

wenigen 10 Grad, sie lassen sich also nicht zusammenrollen. Sie haben ähnliche Leistungsdaten wie gerahmte Module, da „normale“ Solarzellen verbaut sind. Sie sind jedoch nur wenige Millimeter dick und deutlich leichter, ein 100 Watt Modul wiegt kaum mehr als 2 kg. Anders als die gerahmten Module werden sie direkt auf die Dachhaut verklebt. Die Dauerhaltbarkeit ist gegenüber den gerahmten und mit ESG geschützten Modulen jedoch eingeschränkt, auch die Leistungsgarantie beträgt bei guten Modulen nur etwa 5 Jahre. Da aber viele Campingfahrzeug nur in der Sommersaison eingesetzt und bei Nichtbenutzung zum Teil geschützt unter Dach abgestellt werden, sind sie durchaus eine Alternative besonders dann, wenn auf das Gewicht geschaut werden muss, auch wenn sie etwa doppelt so teuer wie gerahmte Module sind.

Für Camper mit Dachzelt, Zelt oder Zeltcaravan bieten sich **faltbare Panels** oder Module an, die sich gut ausrichten lassen zur Sonneneinstrahlung.

So genannte vollflexible Solarmodule neigen früher oder später meist zu Brüchen oder Knicken – und damit zu Defekten.



Semiflexibles Solarmodul mit ETFE-Beschichtung. Foto: SolarV



Semiflexibles Solarmodul mit ETFE-Beschichtung. Foto: SolarV

2.2 Der Solarladeregler

Eine Photovoltaikanlage liefert abhängig von deren Größe bzw. Zellenanzahl, Typ, der Sonnenintensität und Temperatur eine spezifische Spannung und Stromstärke. Der Solarregler verarbeitet diese wechselnden Parameter zu optimalen Batterieladebedingungen. Dieser wird zwischen der Solaranlage und den

Batterien eingebaut. Er sorgt daneben dafür, dass die Stromzufuhr unterbrochen wird, wenn der maximale Ladezustand erreicht ist. Wie bei den Ladeboostern und den Batterieladegeräten für die Steckdose schützt er die Batterien und hält sie optimal geladen. Unterschieden wird zwischen MPPT- und PWM-Laderegler.

2.2.1 PWM-Laderegler

Der PWM-Laderegler (Pulsweitenmodulation) ist ein einfach aufgebauter Regler. Er funktioniert im Prinzip wie ein Schalter und verbindet die Solaranlage und die Batterien direkt miteinander. Der Strom fließt dann durch den Regler in die Batterie. Als Resultat wird die Spannung (V) der Solarmodule fast auf die Spannung der Batterie heruntergeregelt. Damit werden die Solarzellen jedoch nicht auf ihrem optimalsten Leistungsbetriebspunkt gehalten, weshalb mit dem PWM Regler einen geringerer Wirkungsgrad erzielt wird. Abhängig vom Batterieladezustand schaltet sich der PWM-Regler automatisch an oder aus. Ist die Batterie vollgeladen, trennt der Regler die Verbindung zwischen Modul und Batterie. Sinkt die Batteriespannung, wird der Regler wieder zugeschaltet. Der PWM-Laderegler kann herangezogen werden, wenn:

- es ein begrenztes Budget einzuhalten gilt
- die produzierte Photovoltaikspannung an die der Batterien angepasst ist
- er oft in sonnigen, aber nicht zu heißen Gebieten Verwendung findet
- Solar nur zur Zusatzversorgung dient

2.2.2 MPPT Laderegler

Die Abkürzung MPPT steht für „Maximum Power Point Tracking“. Der Regler verfolgt die maximalen Leistungspunkte bzw. hält diese. Dabei scannt der Solarregler die Leistungskurve der Solarpanels und findet zielgerichtet den höchsten Leistungspunkt, hält das Modul also auf der Spannung, bei der sie den maximalen Strom liefern kann. Dieser wird zum Laden verwendet und vom MPPT-Laderegler auf die Ladespannung der Batterie umgeformt. Strom und Spannung wird somit optimal geregelt und für die jeweilige Batterievariante angepasst. Der größte Unterschied zum PWM Regler ist, dass der MPPT Regler die überschüssige Spannung (V) in einen zusätzlichen Ladestrom (A) umwandelt. Der erzeugte Strom wird dadurch effizienter genutzt.

Vorteile eines MPPT Ladereglers: Scheint die Sonne nur in kurzen Phasen bzw. an wolkenverhangenen Tagen, kann der MPPT Laderegler die einzelnen Sonnenstrahlen besser ausnutzen und sorgt durch die ständige Anpassung der Leistungsspitzen auch bei ungünstigen Bedingungen für ein gutes Ladeergebnis. Dabei kann die Umwandlung der überschüssigen Spannung in zusätzlichen Ladestrom das Laden deutlich beschleunigen. Besonders bei der Verwendung von Hochleistungsmodulen oder Modulen in Reihenschaltung und damit hohen Eingangsspannungen kann der MPPT Regler die Spannungsüberschüsse nahezu vollständig in Ladeleistung umwandeln. Daher ist diese Technik die **Empfehlung des ADAC**.

Ein MPPT-Regler hat große Vorteile, wenn:

- Teile der Panels oft im Schatten liegen
- Schnell viel Ladestrom produziert werden sollen
- Solarpanels mit hohen Zellenzahl verbaut werden sollen

2.2.3 Der Temperatursensor für den Laderegler

Bei 25 °C Batterietemperatur arbeitet die Solartechnik im optimalen Bereich. Oberhalb und unterhalb dieser Temperatur ist eine angepasste Volladespannung oder Ladekennlinie sinnvoll. Ein Solarladeregler mit einem Temperatursensor sorgt dafür, dass der Regler sowohl bei Wärme als auch bei Kälte effektiv arbeitet. Der Sensor meldet abweichende Temperaturen an den Laderegler und sorgt so dafür, dass die Ladekennlinie automatisch an die Gegebenheiten angepasst wird. Geschieht das nicht, können Schäden an den Batterien durch Überladen die Folge sein.

2.3 230-Volt-Ladegerät

Ist das Wetter mies und die Standzeit lang, kann es dazu führen, dass die gute Planung und die großzügige Auslegung der autarken Anlage nicht mehr ausreichen, die Batterie leert sich zusehends. Aus diesem Grund sollte immer ein Ladegerät implementiert werden, das über die CEE-Steckdose den Batteriesatz laden kann. Empfehlenswert sind hier Stromstärken oberhalb von 10 Ampere, so dass der Batteriesatz innerhalb eines Tages wieder aufgeladen werden kann, zum Beispiel auf einem Camping- oder Stellplatz mit Stromversorgung, oder vor der heimischen Garage.

Bei der Installation ist darauf zu achten, dass auch dieses Ladegerät Wärme erzeugt, die abfließen können muss. Auch ist darauf zu achten, dass dieses Ladegerät zwar nach der internen Absicherung mit FI- und LS-Schalter hängt, jedoch vor einem Umschalter externe Versorgung / interner Wandler, denn sonst würde der Wandler auch das Ladegerät versorgen, was natürlich Unsinn ist.

2.4 Batteriemonitoring

Wenn man autark unterwegs sein möchte, ist es wichtig über den Batteriestatus informiert zu sein, besonders über den Ladezustand. Immer mehr LiFePO₄-Batterien verfügen bereits über ein integriertes System, das über Bluetooth den SOC übermittelt und verschiedene Auswertungen anbietet.

Doch nicht jeder möchte die Investition in eine Lithium-Ionenbatterie tätigen, und so macht es Sinn, selbst ein Monitoringsystem vorzusehen. Hierfür sind verschiedene Anzeige-Panels am Markt verfügbar, die mehr oder weniger intelligent sind. Am sinnvollsten sind Anzeigepanels, die Lade- und Entladeströme anzeigen, die Batteriespannung und den Ladezustand. Wer die Informationen live auf seinem Smartphone sehen will, ordert eine Bluetooth-Anbindung.

2.4.1 Spannungsanzeige

Wirklich nur als Orientierungshilfe dient die Angabe der Batteriespannung. Bei Bleibatterien fällt die Spannung fast linear ab mit dem Ladezustand – wenn keine Verbraucher eingeschaltet sind und kein Ladevorgang stattfindet. Daher kann man bei Bleibatterien nur grob sagen:

- Über 12,4 Volt Spannung: Ladezustand über 60 %
- 12,0 bis 12,4 Volt: 25–60 % Ladestand, es sollte eine Ladung erfolgen
- Unter 12,0 Volt: Ladezustand unter 25 %, eine Ladung ist erforderlich

Bei Lilon- und LiFePO₄-Akkus bleibt die Spannung fast über den gesamten Ladezustand stabil. Hier hat die Spannungsanzeige kaum eine Aussagekraft. Zudem liegt die Nennspannung anstatt bei 12,0 Volt bei 12,8 Volt.

2.4.2 Intelligente Batterieüberwachung

Eine smarte Batterieüberwachung erfasst alle Lade- und Entladeströme und setzt sich meist zurück bei Erreichen der Ladeschlussspannung. Auf diese Weise kann das System errechnen, welche Restkapazität noch in der Batterie vorhanden ist.

Dafür wird ein Mess-Shunt verbaut in die Hauptleitung zur Batterie, über die alle Ströme geführt werden. Sind an Batteriepol mehrere Leitungen angeschlossen, kann bei einigen Systemen dieser Mess-Shunt auch in die Masseleitung gehängt werden.

Im Zeitalter der Smartphones sind sogar Mess-Shunts erhältlich, die auf eine Anzeige verzichten und nur noch über Bluetooth die Daten weitergeben. Das vereinfacht auch die Installation, denn es müssen keine Leitungen zu einem Anzeigepanel gezogen werden.



Intelligenter Batterie-Monitor. Foto: Renogy

3 Ladebooster

Wann/Warum macht ein Ladebooster Sinn? Im Standbetrieb ohne Nachladung/Stromstütze kann sich die Batterie im Aufbau schnell entladen. Die Lichtmaschine bzw. die Photovoltaikanlage kann in ungünstigen Fällen die Ladung nicht vollständig bzw. in der gewünschten Zeit aufholen. Zwei Gründe können ursächlich sein:

3.1 Der Lichtmaschinenregler

Wie viel elektrische Energie die Lichtmaschine bei laufendem Motor an die Batterien abgibt, bestimmt der serienmäßige Lichtmaschinenregler des Fahrzeugs. Bei der Parallelschaltung zweier Batterien (Starterbatterie und Versorgungsbatterie) orientiert sich der Regler am Ladezustand beider. Da die Starterbatterie beim Anlassen des Motors meist nur geringfügig entladen wird – da vorher oft über ein Relais getrennt – wird recht schnell eine hohe Spannung erreicht. Der Generator erkennt die zwei unterschiedlichen Ladezustände nicht und behandelt beide Batterien als eine große. Demzufolge reduziert der Lichtmaschinenregler den Ladestrom des Generators, um die Starterbatterie nicht zu überladen. Dass die

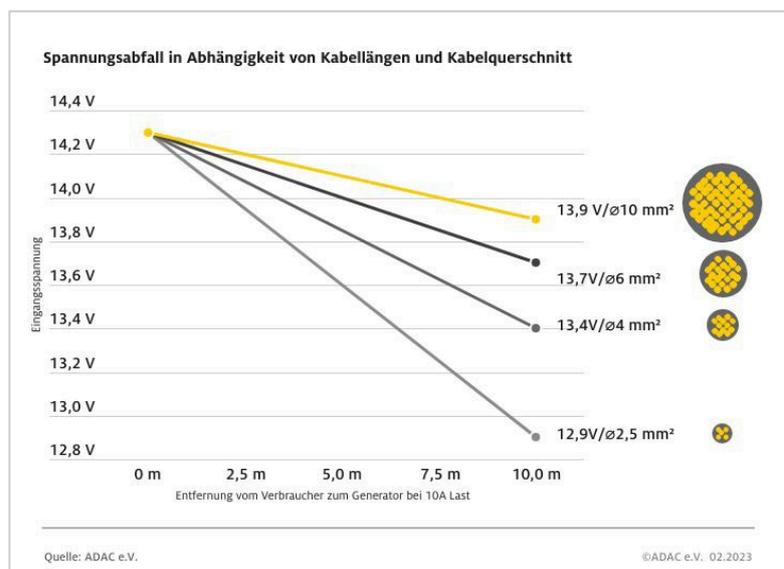
oft weit von der Lichtmaschine eingebaute Aufbauakku indessen meist noch lange nicht voll ist, erkennt der Laderegler deshalb oft nicht.

Aus diesem Grund wird die volle Leistungsfähigkeit der Lichtmaschine in der Praxis oft nur kurzzeitig ausgenutzt. Während einer mehrtägigen Campingtour mit wechselnden Stellplätzen kann die Versorgungsbatterie von Tag zu Tag stärker entladen, bis eines Tages, trotz täglichen Nachladens während der Fahrt, die Lichter ausgehen können.

3.2 Ladeprobleme aufgrund von geringen Leitungslängen und -querschnitten

Der Spannungsverlust auf dem Weg zum Akku kann eine Vollladung der Versorgerbatterie gänzlich verhindern. Die Verbindungslängen der Kabel zwischen Versorgungsbatterie und Generator können in nur seltenen Fällen kurz ausfallen. Besonders kritisch können sich die Längen bei der Verbindung von Versorgungsbatterien in Campinganhängern auswirken. Zwischen Generator und Versorgungsbatterien fallen diese oft mehrere Meter lang aus. Zudem sind die Kabelquerschnitte in der Anhängerleitung auf ungünstige 2,5 mm² begrenzt. Aufgrund dieser Umstände können Spannungsverluste von bis zu 1,5 Volt auftreten. Wie stark sich der verwendete Leiterquerschnitt und die -länge auf den Spannungsabfall bei einem Strom von 10 Ampere auswirkt, wird nachfolgend mit vier typischen Leiterquerschnitten dargestellt.

Dieser Spannungsverlust hat zur Folge, dass die Versorgungs- bzw. Aufbauakku nicht vollständig aufgeladen wird. Abhilfe bieten zum einen möglichst kurze Leitungen – darauf hat der Caravanbesitzer kaum Einfluss – und möglichst große Kabelquerschnitte.



Um eine 12-Volt-Batterie vollzuladen, muss eine Ladeschlussspannung von 13,8 Volt erreicht werden. Bei Wohnwagen wird diese Spannung jedoch nicht erreicht, die Zuleitung vom Zugfahrzeug zum Anhänger hat in der Regel nur einen Querschnitt von 2,5 mm². Schon auf dem Leitungsweg zur Steckdose an der Anhängerkupplung des Zugfahrzeugs kommt es zu einem Spannungsabfall zwischen Starterbatterie und Buchse.

Wird als Aufbauakku eine LiFePO₄-Batterie mit einer Nennspannung von 12,8 Volt eingesetzt, kann es sogar dazu kommen, dass diese Batterie das Bordnetz des (Zug-) Fahrzeugs versorgt, sie sich also entlädt, anstatt während der Fahrt geladen zu werden.

3.3 Der Ladebooster

Der Ladebooster schafft Abhilfe. Beide Probleme – den Spannungsabfall auf dem Weg zum Bordakku und den reduzierten Ladestrom von der Lichtmaschine – löst der sogenannte Lade-Booster. Sie transferieren die abgesunkene Ladespannung unmittelbar vor der Bordbatterie auf ein zur Akkuladung optimales Spannungsniveau, je nach Batterietyp. Sie können zudem den Ladestrom beeinflussen, indem sie dem Lichtmaschinenregler signalisieren, dass weitere Ladeleistung benötigt wird. Eine klare **Empfehlung des ADAC**.



Ladebooster mit UNECE Zertifizierung. Foto: Victron Energy

3.3.1 Aufladen der Bordbatterien mit Euro6-Motoren per Ladebooster

Intelligente Lichtmaschinen von Euro6-Motoren liefern oft nicht die Spannung, die zum Erreichen einer Vollladung notwendig ist, sondern versuchen diese so zu regeln, dass insgesamt möglichst wenig Energie verbraucht wird. So können moderne Fahrzeuge zum Beispiel beim Bremsen elektrische Energie gewinnen („Rekuperation“), laden also nur im Motorschubbetrieb. Deshalb lässt die Steuerelektronik etwas „Platz“ für die Rekuperation, die Batterie wird oft nur zu 80 % vollgeladen. Dieser Effekt wirkt sich ohne Ladebooster auch auf die Aufbau-Batterie aus. Das führt nicht nur dazu, dass sie nicht genügend aufgeladen wird, sondern kann daneben auch zu einem schnelleren Alterungsprozess der Batterien führen.

Die von den Herstellern angegebenen Mindestquerschnitte für die verlegten Kabel sollten bei der Installation beachtet werden. Andernfalls können die zu dünn gewählten Kabel aufgrund der hohen Ladeströme überhitzen. In Folge kann die Isolierung schmelzen und gefährliche Kurzschlüsse ausgelöst werden, die im schlimmsten Fall zum Brand führen. Zum Schutz sollten die Plusleitungen jeweils mit einer eigenen Sicherung bestückt werden.

4 Unabhängigkeit mit einem Generator

Werden mehrere Tage auf einem Stellplatz verbracht und sind hier weder Stromanschluss zum Nachladen vorhanden bzw. kann nicht genügend Sonnenlicht für die Photovoltaikanlage eingefangen werden, dann kann ein kleiner Generator Abhilfe schaffen. Den Motor vom Fahrzeug zu betreiben ist sicherlich ein weiterer Lösungsansatz. Schlechter kann die Effizienz dabei allerdings nicht ausfallen. Ein benzin-, diesel- oder gasbetriebener Generator kann über ein leistungsstarkes Ladegerät den Bordakku in kurzer Zeit aufladen.

Sofern der oft vorhandene Gleichstromausgang am Generator Verwendung finden soll, empfehlen wir die Ausgangsspannung zu überprüfen. Denn meist liefern sie nur wenig mehr als zwölf Volt – zu wenig für eine direkte Ladung eines Bleiakkus. In diesem Fall sollte besser die 230-Volt-Wechselspannungsquelle angezapft werden. Das Ladegerät und die Leistungsfähigkeit des Generators liefern den maximalen Ladestrom. Bei der Auswahl der Komponenten sollte der Generator stets leistungsfähiger als das Batterieladegerät gewählt werden.

5 Spannungswandler auf 230 Volt (Wechselrichter)

Im Jahre 2023 sind die Ansprüche der meisten Campingurlauber hoch: Auf viele elektrische Geräte kann nicht mehr verzichtet werden, sei es das Laden von Smartphones, Powerbanks, Soundboxen, Laptops, elektrischen Zahnbürsten oder Rasierapparaten oder das Betreiben eines Haarglätters oder eines Reifens für langhaarige Reisende. Doch auch TV und praktische Küchenhelfer erfordern oft eine Spannungsversorgung wie zuhause, kleine Spülmaschinen und auch Staubsauger finden immer mehr Anklang. Letztendlich sind spezielle Campingkühlschränke recht teuer, und so kann es je nach Energieversorgung, Platz und Zuladung sinnvoll sein, einen modernen Haushaltskühlschrank zu verbauen (eine Verriegelung zur Sicherung der Tür bei Fahrt sollte angebracht werden), denn die Effizienz ist relativ hoch.

Dies kann sogar so weit führen, dass nur noch eine 230-Volt-Versorgung aufgebaut und auf eine 12-Volt-Netz zur Versorgung von Verbrauchern verzichtet wird. Dann kann auch die Beleuchtung mit handelsüblichen Leuchten betrieben werden anstatt mit meist teureren 12-Volt-Leuchten aus dem Camping-Zubehör.

Um das zu ermöglichen, sind im Handel Spannungswandler erhältlich, die aus der Batteriespannung von 12 (oder 24) Volt die Wechselspannung von 230 Volt erzeugen. Diese Geräte sind heute elektronische Baugruppen, schwere Transformatoren beinhalten sie nicht mehr.

Beim Einbau sollte – neben einer sehr kurzen Anbindung an die Batterie – auf eine **gute Belüftung** geachtet werden. Verluste von 7-10 % bedeuten bei einem 1.200-Watt-Wandler eine Wärmeentwicklung von bis zu 120 Watt. Integrierte Lüfter führen diese Wärme in die Umgebung ab, ist jedoch das Fach, in dem der Wandler installiert ist, zu klein, bleibt die Wärme dort gefangen und kann zur Überhitzung des Wandlers führen, viele schalten dann einfach ab. Intelligente Systeme schalten die Lüftung nur hinzu, wenn es die anfallende Wärmemenge erfordert, sind in wenig beanspruchter Zeit aber geräuschlos. Das sollte bei der Beschaffung abgefragt werden, da ein ständig laufender Lüfter störend sein kann.

Weiter muss berücksichtigt werden, dass Wandler einen durchaus beträchtlichen Ruhestrom ziehen, auch wenn keine Verbraucher eingeschaltet sind. Bei einem 1.200-Watt-Wandler sind das rund 1 Ampere, die

ständig aus der Batterie abfließen. Ist eine 230-Volt-Lichtinstallation vorhanden, kann es sinnvoll sein, diese mit einem separaten, viel kleineren Wandler zu betreiben, der einen geringeren **Ruhestrom** zieht. Wichtig ist die ausreichend dimensionierte Verbindung zur Batterie. Zu bedenken ist, dass **1.200 Watt** auf der 12-Volt-Seite einen Dauerstrom von **100 Ampere** bedeuten – plus Wandlungsverluste.

5.1 Wandler mit sinusähnlicher Spannungskurve

Das Spannungsnetz zuhause liefert eine Wechselspannung von 230 Volt. Die Spannung verläuft in einer Sinuskurve und polt sich 100mal in der Sekunde um, das entspricht einer Wechselspannungsfrequenz von 50 Hertz (zwei Umpolungen, um wieder den Anfangszustand zu erreichen).

Die preisgünstigeren Wandler erzeugen eine sinusähnliche Rechteckspannung. In wenigen Stufen wird die Spannung auf 230 Volt erhöht und wieder abgebaut, nach der Umpolung das Gleiche in die andere Richtung. Diese Stufen, die von der reinen Sinusform abweichen, erzeugen jedoch bei vielen Verbrauchern Spannungs- oder Stromspitzen, so dass besonders Geräte mit Elektromotoren oder elektronischer Regelung damit ihre Probleme haben und nicht richtig funktionieren, im schlimmsten Fall sogar zu Schäden kommen.

Elektronische Vorschaltgeräte indes sind nahezu „Allesfresser“, die stört die sinusähnliche Rechteckspannung meist weniger. Es kommt also auf den Anwendungsfall an, ob ein solch einfaches Gerät genügt.

5.2 Wandler mit reiner Sinuskurve

Auch Wandler mit reiner Sinuskurve erzeugen die Wechselspannung durch stufenweisen Auf- und Abbau der Spannung. Doch hier sind es so viele kleine Stufen, dass der angeschlossene Verbraucher keinen Unterschied mehr „spürt“ zur echten Sinusspannung eines Generators oder eines großen Stromnetzes. Daher **empfiehlt der ADAC** – trotz des höheren Anschaffungspreises und der etwas größeren Bauform – **Wandler mit reiner Sinuskurve**.

Inzwischen sind auch Geräte auf dem Markt verfügbar, die **bidirektional** arbeiten: Sie können sowohl die Netzspannung von 230 Volt erzeugen aus der Batterie heraus, aber auch bei vorhandenem Netzstrom die Batterie laden mit hoher Ladeleistung.



12V auf 230V Reiner Sinus Kombi Wechselrichter 2000W mit Ladegerät 75 A. Foto: Renogy

5.3 Hybridwandler

Den Hybridwandler in eine Rubrik einzuordnen, ist schwierig. Denn wie der Name vermuten lässt, kann er viel, eigentlich alles, was man für eine Autarkie benötigt. Folgende Funktionen sind in Hybridwandlern meistens vereint:

- MPPT-Solarladeregler
- 230 Volt Wandler (reiner Sinus)
- Ladegerät für Aufbauakku aus 230-Volt-Netz
- Automatischer Umschalter Netz <-> Wandler auf das interne 230-Volt-Netz
- Information über Ladezustand und Energieversorgung

Konzipiert sind Hybridwandler eigentlich für Inselanlagen oder Orte, an denen das Netz nur gelegentlich zur Verfügung steht. Betrachtet man die Anzahl der Funktionen und die anstelle dessen sonst zu verbauenden Komponenten, sind Hybridwandler selbst im Preis-Leistungsverhältnis eine interessante Alternative zur Eigenkonfiguration und -montage.



Solar-Hybridwandler 12 Volt 1000 Watt. Foto: CSG S.A. GREEN CELL

Aufgrund der hohen Ströme zwischen Wandler und Batterie muss er wie alle Wandler auf 230 Volt nahe an der Batterie verbaut werden, die 12-Volt-Zuleitungen und deren Absicherung müssen für den Dauerstrom des Wandlers auf 230 Volt ausgelegt sein (100 bis 300 Ampere).

5.4 Power Station

Es geht auch einfach: Eine Power Station ist eine tragbare Einheit, in der alles integriert ist:

- MPPT-Solarladeregler
- 230 Volt Wandler (reiner Sinus)
- Ladung aus 230-Volt-Netz
- Ladung aus 12-Volt-Bordnetz
- Lithium-Eisen-Phosphat-Akku
- Information über Ladezustand und Energieversorgung
- Anschlüsse für 230-Volt-, 12-Volt- und USV-Verbraucher
- Hochstromanschluss 12 Volt bis hin zur Starthilfe
- Absicherung der Anschlüsse



ECTIVE All-in-One AccuBox 120s: tragbare Stromversorgung mit 120Ah Lithium Batterie, integriertem Wechselrichter und MPPT. Foto: batterium/ECTIVE

Da die Power Station in der Regel nicht fest mit dem Bordnetz verknüpft werden, kann man sie zum Laden – wenn die Solarenergie nicht ausreicht – einfach zur nächsten Steckdose tragen. Das ist eine gute Lösung für kleine Fahrzeuge, besonders aber interessant für das Zelten. Je nach Ausführung hat eine Power Station aber auch leistungsstarke 12-Volt-Ein- und -Ausgänge, um ins Netz des Fahrzeugs gehängt werden zu können.

5.5 Auslegung Spannungswandler

Nicht zu verachten sind die hohen Ströme, die ein Spannungswandler auf 230 Volt an der 12-Volt-Seite zieht. Hat der Verbraucher – zum Beispiel ein Reisefön – eine Leistung von 1.200 Watt, so zieht der Wandler auf der 12-Volt-Seite satte 100 Ampere – mindestens, denn die Wandlungsverluste von 7-10% kommen noch hinzu. Besonders die Spannung einfacher Bleibatterien bricht bei hohen Dauerströmen drastisch ein, so dass es schnell zu einer Abschaltung des Wandlers aufgrund von Unterspannung kommen kann.

Bei Bleibatterien sollte man als **Faustformel** eine **Kapazität für 2 Stunden Maximalbelastung** zur Verfügung stellen, um den Spannungswandler bei Spitzenlast ausreichend zu versorgen. Sprich: Für einen Wandler mit 1.200 Watt Dauerleistung sollte ein Batteriesatz mit 200 Ah bereitgestellt werden ($12\text{ V} \times 200\text{ Ah} = 2.400\text{ Wh}$). Bei LiFePO₄-Akkus reicht ein Faktor von 1 bis 1,5 aus, auch bei AGM-Batterien kann etwas knapper als der Faktor 2 kalkuliert werden.

5.6 Integration ins 230-Volt-Bordnetz

Bis auf den Hybridwandler sind Spannungswandler in der Regel schon mit Schukosteckdosen ausgestattet, manche verfügen sogar über USB-Ladeanschlüsse. Man kann direkt Verbraucher einstecken.

Will man aber nicht je nach Status der Stromversorgung an Caravan oder Wohnmobil die richtige 230-Volt-Steckdose wählen müssen, so müssen die interne Spannungsversorgung und die durch ein externes Netz (über CEE-Außendose am Fahrzeug) erfolgte Einspeisung so verknüpft werden, dass die 230-Volt-Steckdosen im Fahrzeug mit Energie versorgt werden, egal woher sie gerade kommt. Keinesfalls dürfen jedoch beide Quellen gleichzeitig einspeisen, dies kann zu Schäden am Wandler führen, im besten Fall fliegt nur die Sicherung raus.

Der Hybridwandler macht das automatisch. Ansonsten ist ein Umschalter erforderlich, mit dem man das Fremdnetz oder den 230-Volt-Wandler mit der intern verbauten 230-Volt-Installation verbindet. Die eleganteste Lösung ist ein automatischer Umschalter, der erkennt, ob Wandler und/oder Netz Strom liefern, wobei immer auf den Master geschaltet wird, wenn beide Energie liefern. Da an manchen Campingplätzen Versorgungsanlagen vorhanden sind, die nur 920 Watt leisten, ist es sinnvoll, den Wandler als Master anzuschließen, wenn er mehr Leistung hat. Mit dem Ein- und Ausschalten des Wandlers steuert man den Umschalter automatisch mit.

Wichtig und vorgeschrieben ist – siehe Kapitel „Absicherung“ – dass jede 230-Volt-Spannungsquelle mit einem eigenen, 2-poligen Fehlerstromschutzschalter abgesichert ist.

6 Elektrische Leitungen

Für die elektrische Installation in Wohnmobilen und Caravans gilt die DIN VDE 0100-721, die im Oktober 2019 in Kraft getreten ist. Nur bis Dezember 2021 gab es noch eine Übergangsphase, in der zum Beispiel noch Zuleitungen zum Fahrzeug nach älterer Norm zulässig waren (heute nur noch CEE-Verbindung, maximal 25 m lang, mindestens 2,5 mm² Leiterquerschnitt, Ho7BQ-F-Ummantelung).

Beschädigte Leitungen und Leitungsverbindungen können eine Ursache für Schmorbrände sein und schnell zum Vollbrand und Totalschaden führen, und auch für nahestehende Fremd-Fahrzeuge eine erhebliche Gefahr darstellen – wie auch für deren Insassen.

6.1 Leitungsart

Aufgrund der auftretenden Vibrationen im Fahrzeug während der Fahrt dürfen nur flexible Leitungen verbaut werden, sogenannte mehrdrähtige oder feindrähtige Leitungen der Klassen 2 oder 5. Eindrähtige Leitungen, wie man sie in der Festinstallation in einem Haus findet, können zu leicht brechen, deren Verwendung ist daher in Fahrzeugen untersagt.

Aus Gründen der Stabilität sind Leiterquerschnitte kleiner als 1,5 mm² (Kupfer oder gleichwertig) unzulässig. Während man für das 12-Volt-Netz Einzelleiter verwenden kann, sollte man wegen der doppelten Isolierung und dem damit verbesserten Schutz gegen Stromschlag bei der 230-Volt-Verkabelung auf Schlauchleitungen wie Ho5VV-F mit 3x 1,5 mm² zurückgreifen, die beispielsweise für den flexiblen Anschluss von elektrischen Geräten im Haushalt verwendet werden. Ohnehin benötigt jeder 230-Volt-Verbraucher und jede Steckdose Phase, Nullleiter und Erdung/Massekontakt, also drei Leiter.

Verläuft die Leitung außerhalb des Fahrzeugs, wie zum Beispiel unter dem Fahrzeug, müssen Leitungen des Typs Ho7RN-F (Gummi) oder Ho7BQ-F (PU) eingesetzt werden.

6.2 Leitungsdurchmesser/-querschnitt

Nach DIN VDE 0100-520 soll der Spannungsfall durch die Zuleitung 4 % nicht übersteigen. Während im 230-Volt-Netz eines Wohnmobils oder Caravans die Ströme unter 13 Ampere bleiben und ein Leiterquerschnitt von 1,5 mm² dafür ausreicht, ist im 12-Volt-Netz ein Spannungsfall stärker zu beachten. Sinkt die Spannung bei 230 Volt aufgrund des Leitungswiderstands um 3 Volt, so ist das für das Gerät oder den Verbraucher nicht spürbar. Sinkt jedoch die Spannung im 12-Volt-Netz um 3 Volt, so funktioniert das angeschlossene Gerät meist nicht oder bringt nur noch eine ungenügende Leistung. Daher sind im 12-Volt-Netz in der Regel größere Leiterquerschnitte erforderlich.

Der Spannungsfall ΔU für Gleichstrom lässt sich berechnen:

$$\Delta U = 2 \cdot L \cdot I_B / \kappa \cdot A$$

L = einfache Leitungslänge [m]

I_B = Betriebsstrom [A]

κ = materialabh. Leitfähigkeit (bei Kupfer = 56 [m/Ω·mm²])

A = Leiterquerschnitt [mm²]

So beträgt der Spannungsfall bei einer nur 5 Meter langen Leitung mit einem Leiterquerschnitt von 1,5 mm² und einer Belastung von 10 Ampere (zum Beispiel ein Absorber-Kühlschrank) bereits 1,2 Volt. Anstatt der 12 Volt Nennspannung kommen nur noch 10,8 Volt beim Verbraucher an, oft ein Wert, bei dem der Unterspannungsschutz des Geräts auslöst und der Verbraucher abgeschaltet wird, um die vermeintlich leere Batterie zu schützen. Würde man Leitungen mit 4 mm² einsetzen, würde die Spannung lediglich auf 11,5 Volt einbrechen, was für den Betrieb noch ausreicht.

Es gibt im Internet verschiedene, kostenlose **Online-Tools zur Berechnung des Spannungsfalls** in der Leitung oder umgekehrt die Bestimmung des Leiterquerschnitts, wie z.B.

<https://www.redcrab-software.com/de/Rechner/Elektro/Spannungsverlust>

<https://nordhimmel.de/strom.htm>

<https://www.wirsindheller.de/spannungsabfall-kabellaenge.3829.html>

6.3 Leitungsverlegung

Die elektrischen Leitungen sind zahlreichen Belastungen in einem mobilen Urlaubsheim ausgesetzt. Neben der ständigen Bewegung während der Fahrt kann es auch zu mechanischen Einflüssen durch Ladegut in den Stauräumen kommen, in denen und durch sie Leitungen und Kabel häufig verlegt sind.

Daher ist es wichtig, die Kabel gut zu fixieren und geschützt zu verlegen. Auch wenn bei der Kabelverlegung die untere Kante Boden zu Wand an der Seite oder der Rückwand förmlich ins Auge springt als Montageort, so sind das auch die Stellen, an denen Lade- und Staugut anliegen und Leitungen durch Verrutschen und Kanten verletzen können. Auch wenn die Verlegung kniffliger ist, ist eine Installation in Staufächern fern ab vom Boden besser geschützt.

Idealer Weise führt man die Kabel und Leitungen in Kabelkanälen. Dort sind sie optisch gut verpackt und mechanisch gut geschützt. Ist die Größe ausreichend gewählt, besteht die Möglichkeit, später weitere Leitungen darin zu verlegen für spätere Erweiterungen der elektrischen Infrastruktur.

Aber Achtung: **12-Volt- und 230-Volt-Kabel dürfen nicht in den gleichen Kanälen verlaufen, und nicht in den gleichen Dosen verklemmt werden, das muss sauber getrennt werden.** Selbst bei offener Verlegung müssen sie einen Abstand zueinander aufweisen.

Durchführungen durch Wände innerhalb des Fahrzeugs müssen so gestaltet sein, dass das Kabel nicht an scharfen Kanten aufscheuern oder abknicken kann. Dazu sollten die Kanten oder Bohrungen unbedingt entgratet und gefast sein, bei dünnem Material empfiehlt sich der Einsatz von Durchführungstüllen bei Bohrungen oder einem Kantenschutzprofil bei Ausschnitten und hervorstehenden Kanten.

6.4 Verbindung von Leitungen

Ein wichtiger Punkt ist das Verbinden der Geräte mit den Leitungen und Leitungen untereinander. Schlechte Verbindungen sind nicht nur eine Quelle für Störungen im Betrieb, sie kann auch der Grund für Überhitzungen an den Kontakten und damit für Schmorbrände und den damit verbundenen und mitunter erheblichen Folgen sein bis zum vollständigen Fahrzeugverlust mit Gefährdung von Menschenleben.

Sehr hilfreich ist, wenn man die Leitungen beschriftet. Möchte man die Anlage erweitern nach einigen Jahren, oder sucht man einen Fehler, können Nummerierungen mit entsprechendem Verzeichnis oder direkt Beschriftungen an der Leitung sehr das Leben vereinfachen. Eine simple Lösung ist zum Beispiel das Beschriften eines Streifens Gewebeklebebands, das danach um die Leitung befestigt wird, so dass es als lesbare Fahne absteht.

6.4.1 Lüsterklemmen

Lüsterklemmen haben nach Sicht des ADAC im Fahrzeug nichts verloren. Sie sind eine überholte Technik, die mit Schrauben ohne Klemmblech punktuell das Kabel verklemmen. Bewegt sich jedoch das Kabel aufgrund von Erschütterungen, kann sich diese Verbindung lockern oder lösen und der Leiter herausrutschen und das offene Ende Kurzschlüsse erzeugen mit Massekontakten oder anderen Leitern in der benachbarten Klemme. Zu hohe Anzugmomente können zudem den Leiter abquetschen und brechen lassen.

Zudem müssen bei feindräftigen Leitungen **Aderendhülsen** aufgebracht werden – wie bei allen Schraubverbindungen für feindräftige Leitungen, also auch bei Schraubanschlüssen an Geräten und Steckdosen. Lüsterklemmen bieten nur einen sehr geringen Schutz gegen das Abknicken des Leiters, da die Leiterisolierung nicht gefasst wird. Lüsterklemmen sind daher für die Verwendung in Fahrzeugen eher ungeeignet.

6.4.2 Flachstecker

Flachsteckhülsen werden im Fahrzeug häufig verwendet – für das 12 Volt (24 Volt) Bordnetz. Sie sind ausschließlich für feindräftige Leiter einzusetzen. Viele Geräte, Sicherungen, Steckdosen (12 Volt, USB) und Anzeigepanels verfügen über entsprechende Anschlüsse. Es gibt unterschiedliche Breiten, 4,8 und 6,3 mm (2,8 mm sind im Fahrzeug nicht geläufig).

Um eine gute Verbindung zu erreichen, müssen Leiterquerschnitt und Flachsteckhülse aufeinander abgestimmt sein. Wichtig ist die richtige Presszange, die in vielen einfachen FlachsteckhülSENSSETS mitgelieferte Blechzange erstellt nur unzureichende Klemmungen. Hierfür gibt es spezielle Crimpzangen, die die Hülsen auf die gesamte Länge fest um den Leiter pressen und in Hobby-Ausführung für unter 30 Euro erhältlich sind.

Idealer Weise werden die Flachsteckhülsen mit einer isolierenden Schutzhülle versehen, die vor dem Crimpen auf den Leiter geschoben und erst nach dem Anstecken vorgeschoben werden. Alternativ verwendet man dafür Schrumpfschläuche, möglichst mit einem Schrumpungsverhältnis 1:3. Für die Verbindung zweier oder mehrerer Leiter gibt es entsprechende Steckterminals oder Verteilpunkte. Kunststoffhüllen, die mitgepresst werden, können sich später lockern.

Leider sind diese Flachsteckhülsen mechanisch nur bedingt stabil, sie biegen leicht auf bei Schrägzug und können abgezogen werden, was zu Wackelkontakten und bei hoher Last zur Überhitzung führen kann – mit entsprechender Brandgefahr. Rutscht die Steckhülse ab, kann sie mit anderen Anschlüssen und Flachsteckhülsen ohne Isolation Kurzschlüsse erzeugen. Die Zuleitung muss daher unbedingt zugentlastet werden, der Flachstecker muss stramm auf dem Kontakt sitzen.

Aufgrund des mangelhaften Berührungsschutzes dürfen sie keinesfalls eingesetzt werden für die 230-Volt-Verkabelung!



Crimpzange mit Hebelmechanik für hohen Anpressdruck beim Aufpressen der Flachsteckerhülsen. Foto: Hoffmann SE

6.4.3 Hebelklemmen

Hebelklemmen sind am besten geeignet für die Verkabelung im Campingfahrzeug. Mittels eines Hebels wird der Leiter in einem isolierenden Gehäuse festgeklemmt. Die meisten Klemmen haben einen weiten Bereich für Leiterquerschnitte, und sind aufgrund des Berührungsschutzes für die 12 Volt und für die 230 Volt Installation geeignet. Aufgrund des Hebels ist kein Spezialwerkzeug erforderlich, auch Adernendhülsen entfallen. Es gibt die Klemmen für die Verbindung unterschiedlicher Anzahl von Leitern. Hebelklemmen dürfen für feindrähtige Leiter genauso eingesetzt werden wie für eindrähtige Leiter in der Festinstallation im Haus.

Ein Herausziehen des Leiters ist so gut wie unmöglich, ebenso ist ein Lockern durch Vibrationen ausgeschlossen, da die Klemmung federnd ist. Die Isolierung des Leiters wird mit ins Gehäuse eingeführt (aber nicht verklemmt), was zu einem guten Knickschutz führt. Die richtige Länge der Abisolierung nach Herstellerangabe ist wichtig (meistens 11 mm). Das alles sind die besten Voraussetzungen für verlustarme und störungsfreie Kontakte, Schmorbrände sind so gut wie ausgeschlossen.



Hebelklemme für 3 Leiter. Foto: WAGO

6.4.4 Verteilerdosen

Alle Kabel- und Leiterverbindungen müssen in entsprechenden Dosen erfolgen, im Stauraum lose oder offen herumliegende Verbindungen sind nicht zulässig, besonders bei der 230 Volt Installation. **12 Volt und 230 Volt dürfen nicht in den gleichen Dosen verklemmt werden, das muss sauber getrennt sein.** Es gibt für Campingfahrzeuge formschöne Gehäuse, doch wenn die Verteilerdosen in Stauräumen fast unsichtbar sind, tun es auch Feuchtraumdosen für die Hausinstallation. Kabelbinder sichern die Leitungen gegen Zugkräfte. Eine Beschriftung, ob 230 Volt oder 12 Volt darin verklemmt wurde, schützt vor Gefahr.

7 Absicherung

Die Regel ist recht simpel: Jede Leitung muss abgesichert sein.

Die bei Kurzschluss auftretenden Ströme können hoch sein, die thermische Entwicklung in den dann überlasteten Leitungen und Verbindungen eine Ursache für einen verheerenden Fahrzeugbrand. Nicht zu unterschätzen ist die Gefahr, dass auch Geräte und Schalter aufgrund einer Fehlfunktion einen Kurzschluss verursachen können. Im Fahrzeug, das ständig Erschütterungen ausgesetzt ist durch den Fahrbetrieb, ist damit zu rechnen, dass Leitungen durchscheuern oder aus Klemmen rutschen, wenn die Installation nicht sorgfältig genug ausgeführt ist, oder eine Materialermüdung eintritt. Selbst Mess- oder Fühlerleitungen sollten abgesichert sein.



Die Reste eines automatischen Batterietrennschalters. Die Zuleitungen waren nicht abgesichert. Foto: Ade Berzl

7.1 12-Volt-Netz (auch bei 24 Volt)

7.1.1 Schmelzsicherungen

Weit verbreitet sind sogenannte Schmelzsicherungen, üblicherweise als Stecksicherung. Sie gibt es in verschiedensten Stärken, ab 1 Ampere. Halter bzw. Sockel dafür sind fliegend im Kabel verfügbar, die elegantere Lösung ist jedoch der Einsatz von Sicherungsblöcken, die gleichzeitig als Verteiler dienen können.

Erhältlich sind unterschiedliche Baugrößen: „Mini“ bis 30 A, „Standard“ bis 40 A und „Maxi“ für bis zu 100 A. Einige Varianten haben eine Lampe implementiert, die leuchtet, sobald die Sicherung geschmolzen ist und getrennt hat. Auch ist es möglich, Sicherungen mit gleichem Wert parallel zu schalten. Natürlich haben sie leichte Fertigungstoleranzen, doch schmilzt die schwächste durch, folgen die anderen unmittelbar aufgrund des für die verbliebenen Sicherungen dann ansteigenden Stroms.

Größere Schmelzsicherungen für bis zu 500 A werden mit Schraubanschlüssen angeboten, denn für diese Lasten ist jede Steckverbindung zu schwach. Sie können eingesetzt werden direkt in die Hauptleitung zur Batterie oder zum Spannungswandler 12 Volt auf 230 Volt.

7.1.2 Sicherungsautomaten

Eine Alternative zu Schmelzsicherungen sind Sicherungsautomaten. Sie lösen aus bei zu hohen Strömen, und können nach Behebung des Fehlers durch Hineindrücken erneut aktiviert werden. Sie sind kaum teurer als Schmelzsicherungen zusammen mit dessen Halter.

Jedoch sollte es, wenn alle Leitungen und Geräte richtig abgesichert sind, nur in Einzelfällen zur Auslösung von Sicherungen kommen. Sicherungsautomaten für die Hauptabsicherung von Batterien konnten in dieser Recherche nicht ermittelt werden.

Aber Achtung: Diese Sicherungsautomaten sind nicht für 230 Volt oder 400 Volt geeignet.

Aufgrund des mangelnden Berührungsschutzes sollten diese Automaten nicht für die Absicherung des 230-Volt-Netzes eingesetzt werden.

7.1.3 Batterieauptschalter

Will man nicht bei der Einlagerung des Fahrzeugs außerhalb der Nutzungssaison die Klemmen der Aufbauatterie abmontieren, so bietet sich an, einen Batterieauptschalter zu verbauen, der die Aufbauatterie komplett trennt von allen Verbrauchern und auch von jeglicher Ladeinfrastruktur. Auch bietet er den Vorteil, bei Störungen und nicht vorgesehenen „thermischen Ereignissen“ die Batterie rasch zu trennen.

Der Hauptschalter und auch die (möglichst kurzen) Leitungen dahin müssen mindestens auf die maximal zu erwartenden Ströme ausgelegt sein, also in der Regel für mehrere 100 Ampere.

7.2 230-Volt-Netz

Im Gegensatz zum 12-Volt- oder 24-Volt-Netz kann die Berührung von stromführenden Leitungen und Verbindungen, die mit 230 Volt betrieben werden, zum Tode führen. Nach dem ohmschen Gesetz steigen bei gleichem Widerstand im menschlichen Körper mit der Spannung auch die durchgeführten Ströme. Ströme von einigen 10 Milliampere können bereits zu einem Herzkammerflimmern führen, was tödlich ist, wenn das Herz nicht wieder zu einem regulären Schlagen reanimiert wird. Dem entsprechend ist die Installation von 230-Volt-Anlagen nur etwas für Profis und fachlich bewanderten Personen, die alle Regeln der elektrischen Verkabelung und Sicherheit kennen und sie strikt beachten.

Eine der Schutzmaßnahmen ist der Verbau von Verbindungselementen, die mit einem Berührungsschutz versehen sind, sodass es mit dem Finger nicht möglich ist, aus Versehen einen leitenden Kontakt herzustellen.



Typische Schmelzsicherung für die Absicherung von Leitungen bei 12 oder 24 Volt. Foto: MTA



Sicherungsautomat für bis zu 32 Volt Gleichspannung. Foto: MR

Dem entsprechend empfiehlt sich die Verwendung von passenden Kleinverteilern für die „Aufputzmontage“. Sie verfügen über Halteschienen für die Sicherungsautomaten wie auch über gemeinsame Klemmschienen für den Null- sowie den Schutzleiter. Das schützt die Installation auch vor mechanischen Belastungen durch umherrutschendes Ladegut, wenn sie in Staufächern verbaut sind. Nicht zu vergessen sind die Kabeldurchführungsstülpfen, damit die Kabel nicht durchscheuern können an der Durchführung ins Gehäuse.

7.2.1 Leitungsschutzschalter (LS-Schalter)

Zur Absicherung der Stromleitung bzw. der Leiter gegen Überlast werden so genannte Leitungsschutzschalter verbaut. Über ein Bimetall wird bei zu hohen Strömen der Schalter ausgelöst, er trennt dann die Leitung vom Netz. Über einen Hebel kann die Sicherung und damit die Leitung wieder aktiviert werden. So kann ein Überhitzen der Leitung – zum Beispiel bei einem Kurzschluss, oder aber auch bei einem zu starken Verbraucher – verhindert werden.

Aus Sicherheitsgründen verlangt die DIN VDE 0660 bei Schutzschaltern ein Schaltschloss mit Freiauslösung. Die Freiauslösung ermöglicht ein Auslösen der Sicherung auch dann, wenn der Schalterantrieb von Hand in der Einschaltstellung festgehalten wird.

Im Wohnmobil oder Wohnwagen müssen nach Norm flexible Leiter verbaut werden mit einem Querschnitt von 1,5 mm². Anders jedoch als bei der Absicherung mit eindrätigen Leitern in einer Gebäude-Festinstallation sind die 1,5 mm² starken feindrätigen Leitungen im Mobilheim mit einer Höchstlast von 13 Ampere abzusichern. Üblich ist die Verwendung von Schaltern mit der Auslösecharakteristik „B“, im Handel verfügbare LS-Schalter mit Auslösecharakteristik „C“ sind elektrischen Maschinen mit hohen Anlaufströmen vorbehalten (trägeres Verhalten für große E-Motoren).

Weil in Wohnwagen oder Wohnmobil nicht sichergestellt werden kann, welcher der beiden Leiter der spannungsführende Leiter ist (weil irgendwo doch unzulässiger Weise ein verpolbarer Schukostecker in der Zuleitung hängen könnte), muss in Fahrzeugen ein **zweipolig schaltender LS-Schalter** verbaut werden, um sicherzustellen, dass Leitungen und Verbraucher nach Auslösung spannungsfrei sind.

7.2.2 Fehlerstromschutzschalter (FI-Schalter)

Kommt es zu einer Beschädigung eines Leiters oder eines Gerätes im 230-Volt-Netz, so kann es vorkommen, dass das Metallgehäuse des Gerätes unter Spannung steht. Berührt eine Person den Leiter oder das Gerätegehäuse, so fließen kleine Ströme durch den Körper ab. Dieser Strom genügt nicht, um den Leitungsschutzschalter auszulösen, wohl aber um den Menschen schwer zu verletzen oder sogar durch einen Herzstillstand zu töten.

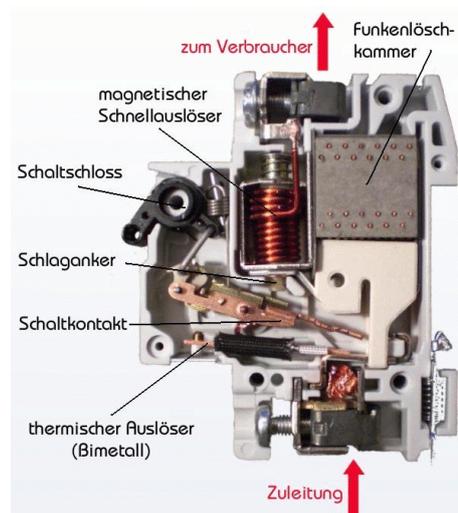
Damit Strom fließen kann, muss ein Stromkreis geschlossen sein. Strom, der durch einen Leiter fließt, muss durch den Rückleiter wieder zu 100 % zurückgeführt werden. Ist das nicht der Fall – zum Beispiel, weil ein Teil abfließt durch die Berührung oder auch durch eingedrungenes Wasser ins Gerät – so löst der Fehlerstromschutzschalter innerhalb einiger zehntel Sekunden aus.

Man geht davon aus, dass Ströme bis 30 mA, also 0,03 A, ein Menschenleben nicht ernsthaft gefährden können. Daher sind FI-Schalter mit **max. 30 mA** zu verbauen. Es gibt aber auch empfindlichere Fehlerstromschutzschalter, die schon bei 10 mA auslösen.

Die FI-Schalter sind mit einer Auslösetaste ausgerüstet, mit der dieser Fehlerstrom im Schalter generiert wird, um die Funktion des Schutzschalters **regelmäßig prüfen** zu können (mind. 1-2x pro Saison).



Kleinverteiler für Aufputzmontage.
Foto: TEHNOPLAST



Innenleben eines Leitungsschutzschalters. Grafik: Stefan Schmid-Gaiser (elektro-wissen.de)

Weil in Wohnwagen oder Wohnmobil nicht sichergestellt werden kann, welcher der beiden Leiter der spannungsführende Leiter ist (Schukosteckverbindungen haben keine Polbindung), muss in Fahrzeugen ein **zweipolig trennender FI-Schalter** verbaut werden, um sicherzustellen, dass Leitungen und Verbraucher nach Auslösung spannungsfrei sind.

7.2.3 FI/LS-Schalter

Um Platz, Geld, Verdrahtungsaufwand und Gewicht zu sparen, sind Sicherungsautomaten erhältlich, die die Funktion des Leitungsschutzes und der Fehlerstromüberwachung vereinigen. Das ist klar die **Empfehlung des ADAC** für Campingfahrzeuge, deren 230-Volt-Netzverbraucher 3.000 Watt nicht überschreiten, und in denen nur ein 230-Volt-Stromkreis verbaut ist.

Sollen mehrere Leitungsstränge separat abgesichert werden, wird ein FI-Schalter verbaut nach jeder Spannungsquelle, danach erfolgt die Aufteilung auf mehrere Leitungsschutzschalter.

Weil in Wohnwagen oder Wohnmobil nicht sichergestellt werden kann, welcher der beiden Leiter der spannungsführende Leiter ist (Schukosteckverbindungen haben keine Polbindung), muss in Fahrzeugen ein **zweipolig trennender FI/LS-Schalter** verbaut werden um sicherzustellen, dass Leitung und Verbraucher nach Auslösung spannungsfrei sind. Die **Testtaste sollte etwa einmal im Monat oder vor Reiseantritt gedrückt werden**, um zu prüfen, ob der Schalter auslöst und vom Netz trennt.

Bei der Beschaffung lohnt sich der Preisvergleich besonders, da die 2-poligen Schalter in Haushalten keine Anwendung finden und daher nicht überall Lagerware sind. Eine Online-Recherche ergab Preisunterschiede von mehreren 100 %, realistische Preise liegen bei 30-40 Euro.



2-poliger FI/LS Schalter für 10 A Laststrom („B10“) und 30 mA Fehlerstrom. Foto: Schneider Electric

8 Auslegungsbeispiele:

8.1 Das Camperpaar im Wohnmobil-Kastenwagen

Verbraucher	Leistung W	Zeit/Tag h	Wh/Tag	Ah/Tag (12 Volt)
2 Smartphones laden	10	5	50	4,2
Powerbank laden	15	4	60	5,0
Wasserpumpe	60	0,5	30	2,5
Beleuchtung LED	30	4	120	10,0
TV LED	30	2	60	5,0
Laptop laden über Wandler	40	4	160	13,3
Verbrauch/Tag (Summe)			*480	*40,0
Ggf. Kompressorkühlbox	50	6	300	25
*Kühlschrank u. Kochen im Gasbetrieb				
Empfehlung				
Ladeleistung Solarmodule	200	6	1200	100,0
erforderliche nutzbare Batteriekapazität (3 Tage)				120,0

8.2 Die Familie im Wohnwagen

Verbraucher	Leistung W	Zeit/Tag h	Wh/Tag	Ah/Tag (12 Volt)
4 Smartphones laden	20	5	100	8,3
2 Powerbanks laden	30	4	120	10,0
Wasserpumpe	60	1	60	5,0
Beleuchtung LED	60	4	240	20,0
TV LED	30	3	90	7,5
Laptop laden via Wandler	40	6	240	20,0
Verbrauch/Tag (Summe)			*850	*70,8
Ggf. Kompressorkühlschrank	100	8,5	850	71
*Kühlschrank u. Kochen im Gasbetrieb				

Empfehlung

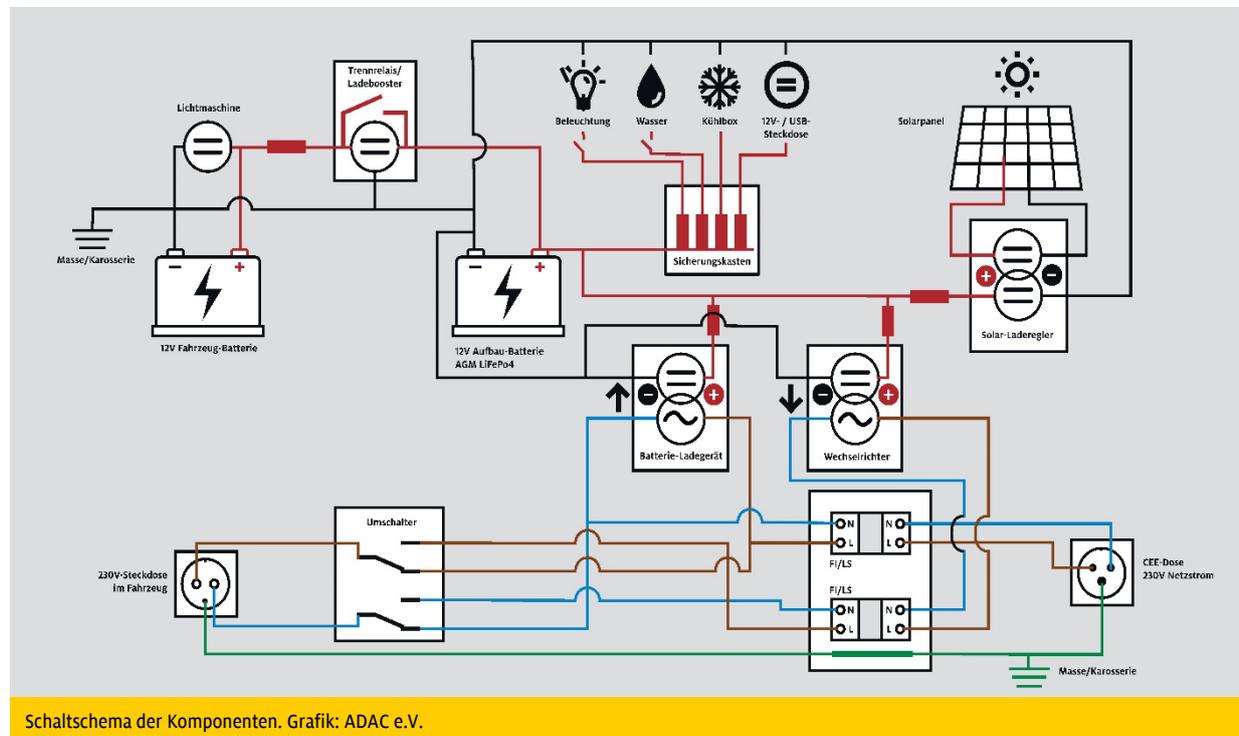
Ladeleistung Solarmodule	400	6	2400	200,0
erforderliche nutzbare Batteriekapazität (3 Tage)				210,0

Faustformel für die Auslegung:

- Nutzbare Batteriekapazität sollte mindestens für drei Tage reichen
- Spitzenleistung der Solarmodule in Watt peak sollte doppelt so hoch sein wie die nutzbare Batteriekapazität in Ah
- Die Solarmodule sollten den Batteriesatz an einem Sonnentag vollständig laden können

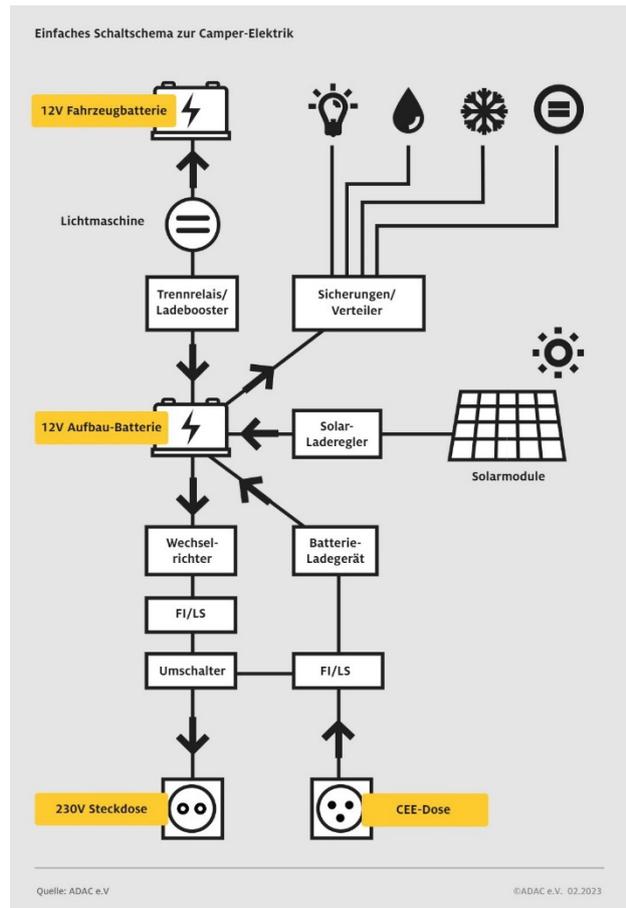
8.3 Schaltbild

So oder so ähnlich könnten die erforderlichen Komponenten miteinander verknüpft werden:



8.4 Energieflussdiagramm

So fließt die Energie in der Elektrik des mobilen Zuhauses:



9 Tipps für den Verbraucher

- Erst die Planung, dann die Umsetzung
- Leitungsplan erstellen
- Nicht an Kabelmaterial und Kabelverbindungen sparen
- Kabelquerschnitte gut dimensionieren
- Kabel beschriften
- Sorgfältig arbeiten, das erspart die Fehlersuche im Urlaub
- Komponenten möglichst von nur einem Hersteller verwenden, dann gibt es auch nur einen Ansprechpartner bei Problemen und kein Verweis auf eine andere, markenfremde Komponente
- Die schwere Batterie gut befestigen, am besten mit stabilen Batteriehalterungen, die aus-reißsicher mit dem Boden verschraubt sind
- Gewicht der Komponenten nicht unterschätzen, das geht von der Zuladung ab
- „Nur Mut“ ist riskant: Elektrik ist nur etwas für Fachkundige. Wenn man sich nicht aus-kennt, besser zu einem Fachbetrieb für Camperausbau gehen oder zumindest einen Elektriker zu Rate ziehen, und die Anlage abschließend prüfen lassen
- Rettungskarte aktualisieren

Herausgeber/Impressum

ADAC e.V.
Test und Technik
81360 München
E-Mail tet@adac.de
www.adac.de