

Andreas Weingand

# Strom und Spannung im Wohnmobil

Berechnung, Erzeugung, Speicherung  
3. Auflage

Aus der Reihe „rund ums Wohnmobil“

## Vorwort



Zuerst möchte ich mich bei Ihnen bedanken, dass Sie dieses Buch erworben haben.

Immer mehr Wohnmobilfahrer möchten den Komfort von Kaffeeautomaten, Mikrowelle und anderen elektrischen Geräten genießen. Und was dem Mann seine Nespresso-Maschine ist, ist der Frau vielleicht ein leistungsstarker Haarfön. Auch ein gasunabhängiger, jedoch kräftig an der Batterie saugender, Kompressorkühlschrank kann den Komfort erheblich erhöhen. Leider braucht das alles viel elektrische Energie und die ist rar, wenn man auf Stellplätzen oder frei und autark stehen möchte.

Es gibt jedoch Möglichkeiten, diese Energie zu erzeugen und auch im Wohnmobil zu speichern. Die Wege dazu möchte ich Ihnen mit diesem Buch nahe bringen. Strombedarfberechnungen, notwendige Dimensionierungen und konzeptionelle Unterschiede von Verschaltungen werde ich Ihnen hier aufzeigen. Damit können Wohnmobilnutzer, Hobbybastler und Selbstausbauer ihr Hintergrundwissen und Verständnis für Auswahl und Kauf von Solaranlagen, Batterien, Ladetechnik und der ganze Elektrik darum herum

vertiefen. Auch neue Themen wie busgesteuerte Stromverteilung, Steuerung per Smartphone und zukünftige Technologien werden angesprochen.

Allerdings sollte man sich zuerst einmal über seine Reise- und Standortgewohnheiten Gedanken machen und eine kleine Liste erstellen, was genau man eigentlich an Strom benötigt. Auf gut Deutsch, eine Bedarfsermittlung.

Wenn man sich im Klaren ist, was es alles zu versorgen gibt und ob man nur im Sommer oder auch im Winter unterwegs sein möchte, können die technischen Möglichkeiten erheblich gezielter eingesetzt werden.

In diesem Sinne, viel Spaß beim Lesen.  
Andreas Weingand

## Inhaltsverzeichnis

Zur Einstimmung ein kleiner Überblick über die Wohnmobil-Elektrik.

Energiebilanz, Berechnung und Simulation

Im Basisfahrzeug 24 V, im Aufbau 12V, oder wie?

Chassis 12V und die Aufbauelektrik in 24 V

Die Stromerzeugung im Überblick

Aus dem Landstrom Netz mit 230V Ladegerät

Stromgeneratoren,

Lichtmaschine, D+, MFR Regler, intelligentes Generator Mngt

Stromerzeuger und Stromaggregate 230 V, ggf. 12V

Windgenerator

Brennstoffzelle,

Solaranlage, Solargenerator, Photovoltaik

Batterien, Akkumulatoren, Stromspeicher

Blei Batterien (Pb)

Lithium (Ionen) Batterien, z.B.  $\text{LiFeYPO}_4$  (LYP) oder LFP

Batteriewahl

Ein kompakter Vergleich Blei zu Lithiumbatterie

Batteriepflege

Batterieladung und Ladekurven

Batterie Ladezustand (SoC)

Controlpanel und Batteriecomputer

Control Panel, Bedienungsfeld

Überwachung Batteriespannung und Temperatur

Batteriecomputer und Shunt

Ladebooster, Batterie zu Batterie Laderegler (B2B)

Laderegler Solaranlage

Kombi Ladegeräte

Batteriepulser, Batterierefrasher oder  
Batterieregeneratoren

Stand By Charger

Ladeverteiler

Batterie Balancer für Blei Batterien

Cell Logger

Batteriemanagementsystem BMS

Zell Balancing bei Lithium, OVP, UVP,  
Temperaturmanagement

Verschaltung eines  $\text{LiFeYPO}_4$  Systems an zwei  
Beispielen

Relais, Schutzschalter, Sicherungen, Wechselrichter

Trenn- / Koppelrelais für Batterien oder Kühlschränke

Trennschalter oder auch Natoknochen,

programmierbare Sicherung „SmartFuse“

Fehlerstromschutzschalter (FI / RCD / LS) Typ A

Spannungswächter

Überspannungsschutz, Blitzschutz

Sicherungen

Stromverteiler, Sicherungsverteiler, Sammelschienen

D+ Simulator, für ein spannungsgeführtes D+

Tiefentladungsschutz, UVP

USB Lader und Ladekabel

Ein Wechselrichter (WR),

Zusammenspiel FI Schutzschalter, Fehlerstrom und  
Erdung

Umwandlungsverluste, am Beispiel Pedelec  
Akkuladung,

Umsetzung im eigenen Wohnmobil

Verschaltung für kleinere Anforderungen

Gedanken zur Konzeption mit Lithiumbatterien

Verschaltung für größere Anforderungen

Bustechnologie, Anwendungen und Anbindung

Zuerst eine kleine Einführung in die Bus Technologie:

Bustechnologie zur Bedienung und Stromversorgung

Blick auf aktuelle Fahrzeug Entwicklungen

Wichtige Dinge, die man beachten bzw. wissen sollte:

Wann und wo brauche ich einen FI/LS Schutzschalter?

Normen & Vorschriften für alle Zubehör und

Einbauteile:

Anhang 1, Elektrik: Abkürzungen, Glossar,  
Erläuterungen

Anhang 2, Lieferantenadressen

Anhang 3, Anschlusswerte verschiedener  
Stromverbraucher

Anhang 4, Platz für eigene Notizen

## **Zur Einstimmung ein kleiner Überblick über die Wohnmobil-Elektrik.**

Jedes Fahrzeugchassis hat eine „Batterie“ zum Start und Betrieb des Fahrzeugs. Der Verständlichkeit halber verwende ich hier und im Rest des Buches diesen allgemein gebräuchlichen Ausdruck, richtig wäre allerdings der Begriff „Akkumulator“.

Läuft der Motor, wird die Startbatterie geladen und mit einem Steuersignal wird über ein Trenn/Koppelrelais oder einen Ladebooster die Aufbaubatterie zur Ladung parallel zu der Starterbatterie geschaltet.

Bei stehendem Motor werden Start- und Aufbaubatterie wieder getrennt, die Aufbaubatterie kann weiterhin über das eingebaute 230V-Ladegerät, ein Solarpanel, eine Brennstoffzelle oder einen Benzingenerator geladen werden.

Das Ladegerät und/oder die Aufbaubatterie versorgen dann über Sicherungen und Schalter die angeschlossenen 12V Verbraucher wie Licht, Wasserpumpe, Heizung, Kompressorkühlschrank oder Sat/TV. Die Bordspannung beträgt nominal 12V, in der Praxis sind es aber zwischen 12,5 V und 14,5 V!

Möchte man zusätzlich auch 230V Geräte, wie z.B. Kaffeemaschine oder Fön betreiben, muss man entweder eine 230V Zuleitung (Campingplatz) anschließen oder einen 12V zu 230V Wechselrichter benutzen.

Genügend Strom ist also eine Grundvoraussetzung für autarkes Stehen. Dieser Strom wird in der/den Aufbaubatterie(n) gespeichert. Entnommener Strom muss durch Ladung mittels Lichtmaschine, 230V Ladegerät oder Solarpanel ersetzt werden. Entscheidend für autarkes Stehen sind deshalb einerseits die Batteriekapazität (Ampere/Stunde) und andererseits Ladezeit und Ladestärke

von Lichtmaschine, Solarpanel oder anderen Stromerzeugern.

Diesen Überblick möchte ich nun vertiefen und mit der Ermittlung des Strombedarfs beginnen.



## **Energiebilanz, Berechnung und Simulation**

In Haus und Wohnung leben wir nach dem Motto: „Bei uns kommt der Strom aus der Steckdose, über die Menge brauche ich mir keine Gedanken machen, sie steht zur Verfügung“. Im Wohnmobil würden wir gerne diese Gewohnheit beibehalten, aber hier stimmt der Satz leider nicht mehr. Der Strom kommt zwar auch aus der Steckdose aber halt aus der auf 10A begrenzten CP Säule oder der limitierten Speicherkapazität der Batterie(n).

Eine wichtige Bemessungsgrundlage für die Auslegung des gesamten elektrischen Bordnetzes ist deshalb die Ermittlung des Strombedarfs um die begrenzten Lieferfähigkeiten bewusster zu verwalten. Aber Bedarf und Kapazität sind immer individuell und hängen außerdem stark von der Jahreszeit ab.

Große Stromverbraucher sind u.a.: Kompressorkühlschrank, Klimaanlage für den Aufbau, Fön, Mikrowelle, Toaster oder Senseo-bzw. Nespresso-Maschine und, nicht zu vergessen, die inzwischen im Dauerlauf betriebenen unverzichtbaren Reisebegleiter Notebook, Tablett und Smartphone. Durch die Betriebsdauer sind auch Gebläse bzw. Umwälzpumpe der Heizung ständige Verbraucher.

Kleinere Stromverbraucher sind Licht, Radio, TV, Sat-Anlage und Wasserpumpe, die aber in der Summe irgendwann auch ins Gewicht fallen.

Hat man eine externe 230V Landstromversorgung, kann einem der Stromverbrauch relativ egal sein. Steht man aber irgendwo autark und nimmt die Batterien in Anspruch, wird das Thema richtig interessant.

Gehen Sie als Beispiel einmal davon aus, dass Ihre Aufbauatterie mit einer Kapazität von 100 Ah mittels der serienmäßigen Lichtmaschine während der Fahrt zu 85%

geladen wurde und dass Sie die Bleibatterie aus Gründen der Lebensdauer höchstens auf 25% der Nennkapazität, keinesfalls aber unter 11V entladen können, dann stehen Ihnen ca. 60 Ah netto zur Verfügung.

Hier kurz ein Anschauungsbeispiel (keine Bilanz) an zwei Situationen: **Sommer**, hell von 6 bis 22 Uhr, keine Heizung, Radio oder Fernsehsehen ca. zwei Stunden. Hier ist der Verbrauch gering, ein bisschen Wasserpumpe, Fernseh-/Sat-Receiver, das ergibt ca. 10Ah Verbrauch bei einer Einschaltdauer von zwei Stunden. Ohne Ladung ist eine Standzeit von fünf Tagen möglich.

**Winter**, hell von 9 bis 16 Uhr, Heizungsgebläse, Radio/Fernseher ca. vier Stunden, Licht ca. fünf Stunden. Hier schlägt der Verbrauchsteufel richtig zu: Heizungsgebläse  $24h \times 0,5 \text{ Ah} = 12 \text{ Ah}$  Fernseher/Sat-Receiver ca. 16 Ah, Licht über fünf Stunden, vier Halogenlampen à 10 W = 16 Ah ergibt ca. 44 Ah Energieverbrauch.

Ohne Ladung ist eine Standzeit von ein bis zwei Tagen möglich.

In diesen Beispielrechnungen ist weder der Verbrauch eines normalen Notebooks mit ca. 14 Ah bei dreistündiger Nutzung oder der Verbrauch eines Kompressorkühlschranks mit ca. 36 Ah bei 24h Betrieb, noch der Mehrverbrauch einer dieselbetriebenen Heizung eingerechnet!

Für die 230V Großverbraucher benötigen Sie ohne Landstrom einen Wechselrichter, der Ihnen die 12V Gleichspannung in 230V Wechselspannung umformt.

Als Beispiel: Die allseits beliebte Senseo-Kaffeemaschine hat eine Anschlussleistung von ca. 1.500 W. Schlägt man auf diese Leistung noch 15% Verlust im Wechselrichter auf, so werden aus der Batterie in kurzer Zeit rund  $1725 \text{ W} = 144 \text{ A}$  entnommen. Brüht die Kaffeemaschine vier Tassen in ca.

sechs Minuten, so benötigt sie dafür ca. 14 Ah. Die Nettokapazität der Beispielbatterie reicht also für ca. 16 Tassen Kaffee, mit Licht und TV müssen Sie dann aber schon sparsam umgehen. Falls Ihnen das zu hoch erscheint: Ein Test der beliebtesten Kaffee- bzw. (N)Espresso Maschinen ergab einen Energieaufwand von 2 - 3 Ah pro Tasse.

Dies sind angenommene Durchschnittswerte, der tatsächliche Verbrauch muss, anhand der technischen Angaben der Geräte und der Einschaltgewohnheiten, individuell errechnet werden.

Anhand dieser relativ groben Beispielberechnungen können Sie sehen wie wichtig es ist den individuellen Bedarf zu ermitteln, um dann davon ausgehend die Stromerzeugung und Stromspeicherung zu planen oder auszubauen.

Sie können natürlich auch Ihren persönlichen Bedarf einschränken, auf eine Batterieerweiterung verzichten und das Kaffeewasser wieder wie in alten Zeiten auf der Gasflamme erhitzen, den alten Melitta-Filter hervorkramen und den Kaffee nach althergebrachter Weise aufbrühen.

Aber Achtung:

Außer Sommer- oder Winterbetrieb gibt es auch noch den Betriebsmodus "Winterpause". Darin spielt die Nespresso-Maschine keine Rolle. Hier sind es die kleinen Helferlein, die stillen Verbraucher, die geduldig aber kontinuierlich an den Batterien saugen.

Unsere Bequemlichkeit und die tollen Apps fürs Smartphone verleiten uns dazu jederzeit den Status der aktuellen Batterieladung, Solarladung, Füllgrad der Gasflaschen oder der Innentemperatur aus der Ferne abzufragen oder gar zu steuern. Das kostet Strom, denn die abzufragenden Systeme müssen eingeschaltet sein. Auch die modernen Busverbundsysteme von EBL, Controlpanel und Verteilerhubs (siehe Einblick in die Bus-Technologie)

werden mit dem "Aus"-Schalter nicht komplett abgeschaltet, während sie auf Befehle zum "Wake-Up" warten suckeln sie am Strom.

Hier ein paar dieser "SmartControl" Möglichkeiten mit Ihrem Strombedarf, hochgerechnet auf zwei Monate Ruhepause:

EBL + Control Panel	0,02A	x 2 Mon. =	28 Ah
Bus Systeme mit Bluetooth	0,02A	x 2 Mon. =	28 Ah
Truma iNet Box mit WLAN/SMS	0,04A	x 2 Mon. =	58 Ah
Batterie Computer	0,002A	x 2 Mon. =	3 Ah
Blue Solar/VE direkt	0,002A	x 2 Mon. =	3 Ah

Bei all diesen Geräten sollte man berücksichtigen, dass der Ruhestromverbrauch auch vom Stand der Software abhängt. Beim busgesteuerten Schaudt EBL630/LT231 mit den Modulen KM630/TM630/AM630/PM630 z.B. beträgt der Ruhestrom pro Modul entweder 0,020 A (SW 1.x) oder 0,006 A (SW 3.x). Erkennen kann man den alten SW-Stand u.a. am raschen LED-Blinken der Anschlussmodule. Merke: auch LEDs brauchen Strom.

Diese stillen Verbraucher verrichten ihre Aufgaben im Hintergrund, was leider halt nicht heißt, dass sie es umsonst tun. Eine ständig eingeschaltete Truma iNet Box zusammen mit einer busgesteuerten 12V Versorgung können eine 100 Ah Batterie in zwei Monaten tiefentladen.

Sie sollten also auch darüber nachdenken, ob sie diese Informationen in der Winterpause benötigen und ob das Ladegerät, dessen Hubs und die iNet-Box mit dem 12V Ausschalter am Controlpanel auch tatsächlich ausgeschaltet werden! Auch die Elektronik eines LiFePO4 Akkus ist ein stiller Verbraucher und wird als interne Baugruppe zudem nicht einmal von einem Batteriecomputer erfasst.

Für Sie und mich habe ich ein Excelprogramm zur Erstellung einer Simulation bzw. Energiebilanz erstellt, der die Abhängigkeiten von gespeicherter Energie (Batterie), erzeugter Energie (Solar, Lichtmaschine) und dem Energieverbrauch berechnen und anzeigen soll. Die Defaultwerte der Simulation sind auf einem Angelurlaub im September in Norwegen aufgebaut, mit 100 Wp Solaranlage, Kaffeemaschine, Kompressorkühlschrank, Tiefkühlbox für den Fisch, Notebook und TV. Der Herd wird mit Heizgas und die Heizung pro Tag 2 Stunden mit Diesel betrieben.

Die Anzahl der Verbraucher/Erzeuger, deren Leistungsaufnahme und Betriebsdauer können aber jederzeit individuell geändert werden. Stromverbraucher oder Erzeuger können jederzeit hinzugefügt oder herausgerechnet werden. Als Ergebnis erhalten Sie eine Energiebilanz für die ersten drei Tage, sowohl ohne als auch mit Standortwechsel.

Falls Sie Interesse an dieser Excel-Tabelle haben, können Sie mir eine kurze Mail an [Womo-Beratung@T-Online.de](mailto:Womo-Beratung@T-Online.de) schicken, Sie erhalten die Excel-Datei dann per Mail.

Und nun ein konkretes **Beispiel** einer Bedarfsanalyse bzw. Simulation für den individuellen Strombedarf und die Stromspeicherung **für einen autarken Betrieb** ohne 230V Landstromeinspeisung.

Die Felder mit roten Zahlen sind für Ihre Eingaben, die Felder mit blauen Zahlen sind die errechneten Ergebnisse. Die schwarzen Zahlen sind änderbare Defaultwerte als Berechnungsgrundlage.

Alle Berechnungen erfolgen aus der Wattleistungsangabe auf dem Typenschild des Herstellers und der gewählten Bordspannung.

Daraus errechnet sich der Strom und zusammen mit der Laufzeit die Angaben Ah und Wh.

**Die Berechnung geht davon aus, dass die Batterien am Ende der Anfahrt voll geladen sind** und dann der Urlaub bzw. das autarke Stehen beginnt. Für den autarken Betrieb erfolgt dann eine Hochrechnung der Energiebilanz für den zweiten, dritten und den vierten Tag. Dann ist meist die Toilette voll, das Brot alle und man fährt wieder weiter.

Die Tabelle ist gegliedert, im ersten Abschnitt wählen Sie Ihre Bordspannung und die maximale Stromabgabe der Lichtmaschine, im zweiten Abschnitt erfolgen Angaben zur Batterie (Herstellerkapazität und individuelle Entladungstiefe DoD). Damit erhalten Sie Ihre netto verfügbare Batterieenergie bei voll geladener Batterie.

Im dritten Abschnitt sind die möglichen Stromerzeuger aufgeführt, aufgeteilt in Energieerzeugung während der Fahrt und im Stand.

Im vierten und fünften Abschnitt können Sie Ihre Stromverbraucher auswählen.

Im sechsten Abschnitt erhalten Sie eine Hochrechnung Ihrer Energiebilanz für die nächsten vier Tage, unterteilt in „mit“ oder „ohne“ Standortwechsel.

Im siebten Abschnitt können Sie die Stromkosten auf dem Campingplatz bzw. Stellplatz über die Urlaubsdauer errechnen wenn Sie an Landstrom angeschlossen wären.

Im achten Berechnungsabschnitt können Sie auch Ihren Gas- und Dieserverbrauch kalkulieren und sehen wie lange Ihr Gasvorrat reicht.

Im letzten Abschnitt können sie Anpassungsparameter für die Solaranlage wie Sommer/Winter, nördlicher bzw. südliche Breite eingeben und der nutzbaren Sonnenstunden angeben.

Das Simulations- bzw. Bilanzergebnis wird entweder positiv (Blau) oder negativ (Rot) dargestellt.

In der Exceltabelle selbst finden Sie noch weitere Erläuterungen und Erklärungen zur Berechnungsmethode.

<b>Energiebilanz inkl. Gas &amp; Diesel</b>	B	C	D	E	F	G
<b>Energiebilanz 12/24/230V auf Ah/Wh</b> V40, Stand 13.1.2021, © A.Weingand	Anzahl (n)	Leist. (W)	Strom (A)	Std/ Tg	Strom (Ah)	Leist. (Wh)
<b>Spannung 12 od.24V?, Lichtma Ampere?</b>	12	1440	120			
<b>Batteriedaten, Blei 60%, Lithium 90%</b> Entladungstiefe, SoC, Kapazität	um DoD	auf SoC	Kapazität in Ah			Leist. (W)
Batteriekapazität lt Hersteller	%	%	brutto		180	2160
Entladung um DoD x% auf y% SoC	60	40	netto verfügb		108	1296
<b>Energiequellen, zur Ladung der Aufbaubatterie</b>	Anzahl (n)	Leist. (W)	Strom (A)	Zeit (h)	Strom (Ah)	Leist. (Wh)
zusätzl. LiMa nur für Aufbau?, Ampere?	0	0	120	0,0	0,0	0
Chassis LiMa, 30% für Lad. Aufbau Batt.	1	432	36	2,0	72,0	864
Kühlschrank bei Fahrt auf 12/24V?	1	-130	-10,8	2,0	-21,7	-260
<b>Solarmodule Anzahl &amp; Wp, nach STC</b>	1	100	5,1		61,0	732
Einstrahlung %, Ø April-Sept. oder Okt.-März	61			12,0		
Brennstoffzelle EFOY Comfort 140	0	72	0,0	24,0	0,0	0
Generator 230V intern/extern.	0	900	0,0	2,0	0,0	0
Windrad (Ø 1,35m, min 2m/sec)	0	200	0,0	8,0	0,0	0
<b>Σ Energieerzeugung bei Fahrt</b>			30		111	1336
<b>Σ Energieerzeugung im Stand</b>			5		61	732
<b>Verbrauch Beleuchtung &amp; Geräte 12/24V</b>	(n)	(W)	(A)	(h)	(Ah)	(Wh)
LED Beleuchtung, Spots	4	8	2,7	3,0	8,0	96
LED Ambiente Beleuchtung, Strip 5 m	1	30	2,5	3,0	7,5	90
Halogen Spots, Neonleuchte Küche/Decke	1	10	0,8	1,0	0,8	10
<b>Kompressor-Kühlschrank, Betrieb 12/24V</b>	1	35	2,9	12,0	35,0	420
<b>Absorber-Kühlschrank, Stromanteil AES</b>	0	6	0,0	24,0	0,0	0
Kühlbox Kompressor, Betrieb 12/24V	1	25	2,1	12,0	25,0	300
<b>Heizung Gas/Diesel, Stromanteil 12/24V</b>	1	17	1,4	2,0	2,8	34
<b>WW Boiler Gas/Diesel, Stromanteil 12/24V</b>	1	5	0,4	1,0	0,4	5
WW Boiler Stand alone, Betrieb 12/24V	0	400	0,0	0,5	0,0	0
Kfz-Standheizung, Betrieb Wasserpumpe	0	50	0,0	12,0	0,0	0
Dachentlüfter elektrisch, z.B. MaaxFan	0	24	0,0	4,0	0,0	0
<b>Wasserpumpe, Tauch/Membran</b>	1	55	4,6	0,5	2,3	28
Gebälse,Dunstabzug, Backofen, Dieselherd	0	20	0,0	1,0	0,0	0
Hubbett, elektrisch	0	200	0,0	0,2	0,0	0
Motor/Hydraulik für Hubstützen	0	800	0,0	0,5	0,0	0
<b>TV &amp; Sat-Receiver Betrieb 12/24V</b>	1	30	2,5	3,0	7,5	90
<b>Notebook, Tablett, Ladegeräte</b>	1	30	2,5	4,0	10,0	120
Apnoegerät CPAP, 12V oh. Befeucht.	0	25	0,0	8,0	0,0	0



Ruheströme iNet/STD-Bus/Bluetooth etc	1	1	0,0	24,0	1,0	12
+ weitere 12/24V-Geräte	0	0	0,0	0,0	0,0	0
<b>Σ Verbrauch 12/24V pro Tag</b>			<b>22</b>		<b>100</b>	<b>1205</b>

Verbrauch 230V, direkt oder über WR	(n)	(W)	(A)	(h)	(Ah)	(Wh)
Föhn, und/oder Wasserkocher 1,2l	0	1800	0,0	0,2	0,0	0
Kaffemaschine, Nespresso, Senseo	1	1500	125,0	0,3	31,3	375
Mikrowelle und/oder Toaster	0	1000	0,0	0,2	0,0	0
Elektro-/Induktionskochplatte, 0, 1 od 2 Pl	0	1400	0,0	0,5	0,0	0
Pedelec-Akkulader mit Akku 400W/36V	0	400	0,0	3,0	0,0	0
+ weitere 230V-Geräte via WR	0	0	0,0	0,0	0,0	0
Verluste im Wechselrichter (x % Zuschlag)	1	15%	125		4,7	56
<b>Σ Verbrauch 12/24V &amp; 230V via WR proTag</b>					<b>136</b>	<b>1636</b>
Combi E Zusatzheizung, Stufe 0,1 oder 2	0	900	0,00	8,0	0,0	0
Klimaanlage Aufbau, Betrieb 230V	0	900	0,0	4,0	0,0	0
Absorber Kühlschrank, Betrieb 230V	0	140	0,0	24,0	0,0	0
<b>Σ Verbrauch aller Geräte pro Tag</b>					<b>136</b>	<b>1636</b>
<b>Bilanz (gespeichert/Erzeugung/Verbrauch) im Stand</b>					<b>33</b>	<b>392</b>
<b>Autarkie ohne bzw. mit Standortwechsel</b>					<b>ohne</b>	<b>mit</b>
Energiebilanz am Ende Autark Tag 1 (Fr)					33	33
Energiebilanz am Ende Autark Tag 2 (Sa)					-43	8
Energiebilanz am Ende Autark Tag 3 (So)					-118	-68
<b>Berechnung Stromkosten CP/SP</b>						<b>kWh</b>
Hochrechnung auf n Urlaubs/Betriebstage	3					3,73
CP Kosten pro kW (1000W)	2,0 €					7 €
<b>Gas- bzw. Dieselskalkulation über Urlaub</b>	<b>Anz.</b>	<b>kg/l</b>	<b>% in Fl.</b>	<b>h</b>	<b>Σ kg</b>	<b>kg/lit</b>
Gasvorrat (Flaschen a 2,7, 5, 11 oder 14 kg)	1	5	100		5,0	
Gasbetrieb Kühlschrank 110l, Verbrauch	0	0,013		24		0,00
Gasbetrieb Herd, x Brennstellen Verbrauch	2	0,125		1		0,75
Gasbetrieb Heizung mit 0, 2, 4 oder 6 kW	2	0,160		2		1,92
<b>Σ Autarkie Tage für Gas über Urlaubstage</b>	<b>1,9</b>				<b>Summe Verbrauch=</b>	<b>2,67</b>
Dieselbetrieb Herd, 1 flammig	0	0,15		1		0,00
Dieselbetrieb Heiz. mit 0, 2, 4, oder 6 kW	0	0,10		2		0,00
<b>Σ Verbrauch Dieselbetrieb über Urlaub</b>						<b>0,00</b>
<b>Solar +/- Jahreszeit, lat Breitenengrad</b>	<b>Ja=1</b>	<b>%</b>		<b>h</b>		
Abzug liegend, Sommer April-Sept.	1	-19		12	Sonn.Std/Tag	
Abzug liegend, Winter Okt.-März		-36		6	Sonn.Std/Tag	
Abzug Standort nördlich ab Höhe Hamburg	1	-20	München ist Referenz			
Zuschlag Standort südlich ab Höhe Genua		20	München ist Referenz			
<b>Summe Abzug/Zuschlag auf STC in %</b>		<b>39</b>				

Schauen wir uns die beispielhafte Bedarfsanalyse einmal an. Wir sind am Urlaubsziel angekommen, unsere

Aufbaubatterien mit einer Kapazität von 180 Ah sind voll geladen.

Da wir aber die Blei-Batterien nicht auf Null entladen dürfen, können wir bei einem empfohlenen DoD = 60% nur ca. 108 Ah entnehmen. Der SoC läge dann bei 40% der vollen Kapazität.

Zur Energieerzeugung können wir selbst beitragen. In der Beispielrechnung laden über ein 100 Wp Solarpanel ca. 61 Ah nach.

Für die beispielhaft eingegebenen Verbraucher benötigen wir rund 162 Ah pro Tag. Den Strom für eine E-Heizung, Klimaanlage oder 230V Kühlschrank würde aufgrund der Leistung direkt aus dem Landstromnetz bezogen. Damit liegen wir, zusammen mit unserer vollen Batterie bei unserer Energiebilanz mit 7 Ah im Plus! Am zweiten Tag sind wir aber schon im Minus. .

Fahren wir am 2. Tag weiter (mit Standortwechsel) lädt die Lichtmaschine für die Fahrdauer die Batterie nach. Allerdings verbraucht der Kompressorkühlschrank einen Teil des möglichen Ladestroms.

Würden Sie allerdings am ersten Tag Ihre zwei Pedelec Akkus mit je 400 W über die Aufbaubatterie und den Wechselrichter laden, wären Sie bereits am Ende des ersten Standtages mit 9 Ah im Minus!! Mit zwei weiteren Solarpanels und einer Lithiumbatterie, die man zu 90% entladen kann ständen Sie besser da.

## **Im Basisfahrzeug 24 V, im Aufbau 12V, oder wie?**

Bevor ich in den weiteren Kapiteln in spannungsmäßige Details gehe möchte ich versuchen hier noch eine, meines Erachtens schon fast philosophische Frage vieler Ausbauer von Leicht-Lkw Basisfahrzeugen zu beleuchten. Eine generelle Antwort gibt es aber nicht.

Hat man ein LLkw oder ein Lkw-Chassis als Basisfahrzeug sorgt dort ab einer gewissen Größenklasse eine 24 V Lichtmaschine für Strom und Spannung. Die Startbatterie besteht dann aus zwei, in Reihe geschalteten, 12 V Batterien.

Und jetzt ist man auch schon beim ersten Kriterium für den Aufbau:

- Möchte man auch im Aufbau eine 24 V Versorgung muss man auch hier 2x12 V Batterien in Reihe schalten. Das ist erstmal kein Problem. Möchte man allerdings die Batteriekapazität erweitern braucht man nochmals 2x12 V Batterien, die dann parallel geschaltet werden.
- Das gleiche gilt mit kleinen Einschränkungen für die Solaranlage. Auch hier muss man, typabhängig, eventuell zwei Module in Reihe schalten um über den Regler eine Ladespannung von ca. 29 V zu erhalten. Auch hier benötigt man zur Erweiterung eventuell dann wieder zwei weitere Module.
- Man kann nicht auf „plug & play“ Lithium-Batterien umstellen. Diese Systeme können aufgrund interner Schutzfunktionen (OVP/UVS Schutz, Fernabfrage) nicht in Reihe geschaltet werden.
- Aber die Vorteile der gleichen 24 V Spannung in Chassis und Aufbau sind auch nicht von der Hand zu weisen:

- Man kann Start- und Aufbauatterie zum Laden zusammenschalten.
- Die zu verlegenden Kabel sind wesentlich dünner, das wirkt sich vor allem bei Großverbrauchern aus.
- Der Solarregler und das 230 V Ladegerät können die Startbatterien mit Erhaltungsladung versorgen.
- Nachteilig ist, dass es nicht alle eventuell gewünschten Komponenten in einer 24 V Ausführung gibt. Hier müsste man dann mit vorgeschaltetem 24 V zu 12V DC/DC Wandlern arbeiten.

Die andere Alternative ist, den Aufbau mit 12V zu betreiben:

- Aufgrund der Häufigkeit sind die 12V Versionen meist günstiger und schneller zu erhalten.
- Solaranlagen mit nur einem Modul lassen sich einfacher und preisgünstiger realisieren.
- Der Einbau oder Austausch auf „plug and play“ Lithium-Batterien ist einfacher.
- Nachteilig ist,
  - dass man Start- und Aufbauatterie zum Laden nicht mehr einfach zusammenschalten kann. Man benötigt zum Laden durch die Lima einen 24 V zu 12V DC/DC Wandler bzw. Ladebooster.
  - Auch kann man die Startbatterien nur bedingt über Solar- oder 230V Lader erhaltungsladen, man muss dann je einen 12V zu 24 V DC/DC Wandler dazwischen schalten.
  - Die Leitungsverluste sind größer, die Kabel, vor allem für Großverbraucher müssen dicker sein. D. h. auch größere Presswerkzeuge für Kabelschuhe.

Aber als Lösung kann man auch eine weitere Möglichkeit ins Auge fassen, nämlich der Einbau einer zweiten Lichtmaschine. Der Aufbau wird einfach getrennt versorgt und in jedes LLkw 24 V Chassis kann man eine 12V

Lichtmaschine zusätzlich einbauen. Das ist bei Iveco, MAN, und Sprinter bzw. Crafter kein Problem und ist wesentlich ausfallsicherer und preisgünstiger als Booster, Trennrelais und Step down Regler. Ich bin hier immer für Kis, nämlich Keep it simple!

Übrigens, in der Folge schreibe ich zwar immer von 12V, aber die Aussagen gelten genauso für 24 V Anlagen.

Eine Wasserpumpe hat z.B. eine Leistung von 80 Watt. Diese kann ich entweder auf eine Spannung von 12V auslegen, dann fließt ein Strom von 6,6 A oder ich benutze eine 24 V Version, dann fließt nur ein Strom von 3,3 A. Die Leistung ist in beiden Fällen die gleiche!

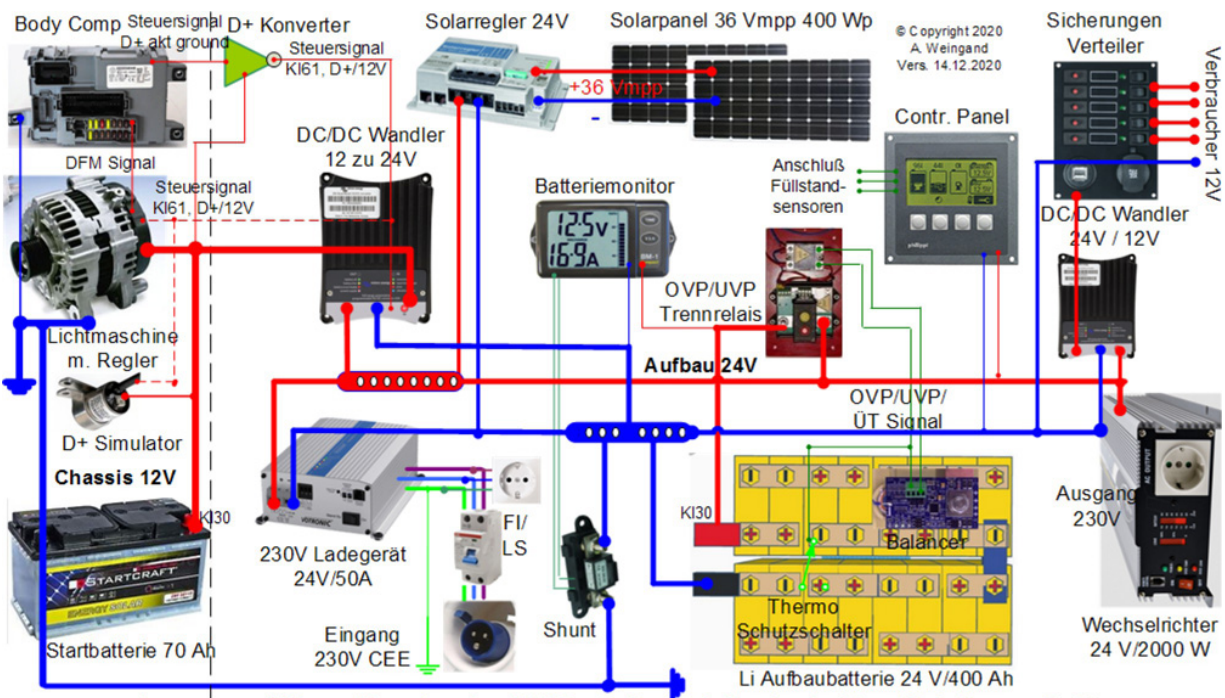
Aber es geht auch anders herum:

### **Chassis 12V und die Aufbauelektrik in 24 V**

Das hört sich im Augenblick vielleicht verrückt an, hat aber bei manchen Konfigurationen schon einen realen Hintergrund. Stellen sie sich eine 700 Wp Solaranlage, eine 600 Ah Lithiumbatterie und ein über Wechselrichter betriebenes Induktionskochfeld mit 3 kW und weitere 230V Verbraucher wie Nespressomaschine etc. vor.

Hier werden schnell Kabelquerschnitte von 100 mm<sup>2</sup> mit den entsprechenden Kabelschuhgrößen und großen Biegeradien notwendig. Bei einer 24 V Versorgung halbiert sich der Kabelquerschnitt bei gleicher Leistung! Auch bei eventuell längeren Kabeln spielt der Spannungsabfall auf der Leitung eine kleinere Rolle. Und die entsprechenden DC/DC Konverter werden preislich immer günstiger. Der Elektronikmarkt bietet hier die unglaublichsten Lösungen wie z.B. Buck Converter, auch Stepp up Wandler genannt mit MosFet Transistoren. Im folgenden Schalt- und Komponentenbild habe ich der Einfachheit halber Kompletteräte eingezeichnet, aber wie gesagt, es geht auch günstiger und einfacher.

Bei einigen Fahrzeugen kann es einfacher und preisgünstiger sein, den Aufbau bei steigender Stromanforderung auf eine 24 V Anlage umzubauen als die verlegten Kabel auf einen größeren Kabelquerschnitt auszutauschen.



**Spannung 12V am Chassis, aber 24V im Aufbau, dadurch niedriger Kabelquerschnitt.**



## **Die Stromerzeugung im Überblick**

In den dreißiger Jahren haben die Schrebergartenbesitzer in der Nähe des Langwellen-Radiosenders König-Wusterhausen einfach ein paar Metern Empfangsdraht in den Baum gehängt, eine Glühlampe angeschlossen, den anderen Pol in die Erde gesteckt, und schon hatten sie Licht in der Laube. So einfach geht es heute mit der autarken Stromversorgung leider nicht mehr.

Die Energieversorgung für elektrische Verbraucher im Wohnmobil erfolgt heute auf mehrere Arten, über deren Vorteile und Nachteile man stundenlang diskutieren kann.

Zuerst einmal ein Überblick über die verschiedenen Möglichkeiten:

Im Fahrbetrieb versorgt die Lichtmaschine des Basisfahrzeugs den Aufbau mit einer 12V Spannung und lädt sowohl die Starterbatterie als auch die Aufbauatterie(n). Die Konzeption des Fahrzeug-Herstellens bei der Auslegung der Lichtmaschinenleistung dient aber nur der Versorgung der Kfz-Elektrik und der Ladung der relativ kleinen Starterbatterie. Hier lässt sich die Versorgung wie folgt optimieren:

- Der serienmäßigen Lichtmaschinenladeregler wird mit einem Ladebooster (B2B-Regler) ergänzt und der Durchmesser der Ladekabel wird erhöht, um damit die Kabelverluste zu verkleinern.

Im Standbetrieb gibt es für die Versorgung mehrere Möglichkeiten:

- Einen externen 230V Anschluss. Über die CEE Eingangsdose und einen FI/LS Schutzschalter wird das

Ladegerät des Aufbaus angeschlossen, das über seinen 12V Ausgang die Aufbau-Batterie lädt und die anderen Verbraucher versorgt. Manche Wohnmobile haben zur Lastaufteilung (Klimaanlage) einen zweiten CEE Anschluss der natürlich auch mit einem FI/LS Schutzschalter ausgestattet sein muss.

- Eine Solaranlage, die Strom aus Sonnenlicht gewinnt und diesen in das 12V Netz des Aufbaus einspeist.
- Ein externer 230V Generator, der über einen Verbrennungsmotor (Gas oder Benzin) angetrieben wird. Er erzeugt eine Spannung von ca. 230V~, die über den 230V CEE Anschluss eingespeist wird.
  - Die Bereitstellung einer 12V Versorgung durch eine Brennstoffzelle. Hier wird mit Hilfe eines Brennstoffs (Methanol) geräusch- und abgasfrei eine 12V Versorgung zur Ladung der Aufbau-Batterien zur Verfügung gestellt.
  - Aus dem Yachtbereich gibt es auch Windkraft-Rotoranlagen zur Stromgewinnung. Deren Betrieb ist am Wohnmobil allerdings durch die entstehenden Rotorgeräusche und Vibrationen sehr problematisch.

Was man braucht oder für notwendig hält, ist eine sehr individuelle Entscheidung. Als kleine Hilfe zur Entscheidungsfindung kurz ein paar Punkte zum Einsatz von Lichtmaschine, B2B-Ladebooster, Solaranlage und externem Stromgenerator:

- Wer viel fährt und wenig steht, ist mit einer Lichtmaschine/B2B Ladebooster Kombination gut beraten, denn schon nach relativ kurzer Fahrt sind die Aufbau-Batterien voll geladen und man steht ja nicht lange.
- Wer im Sommer in der Sonne steht, ist mit einer Solaranlage bestimmt besser bedient, sucht man aber

den Schatten schaut es nicht ganz so positiv aus. Steht das Wohnmobil auch in der Winterpause im Freien, braucht man sich über Entladung der Start- und Aufbau-Batterien keine Sorgen zu machen, solange das Solarmodul nicht anhaltend mit Schnee bedeckt ist.

- Wer im Winter lange (mehr als zwei bis drei Tage) steht und nicht fährt, wird einen Stromgenerator bzw. eine Brennstoffzelle schätzen, da hier weder die Lima / B2B Booster Kombination noch die Solaranlage viel zur positiven Energiebilanz beitragen.
- Sowohl bei Lima / B2B Ladebooster als auch bei der Solaranlage nutzt aber die zusätzliche Stromerzeugung gar nichts, wenn der erzeugte Strom nicht gespeichert werden kann und das bedeutet, man benötigt ausreichend Batteriekapazität. Die Erzeugung, die Speicherung und der Verbrauch sollten in einem ausgewogenen Verhältnis stehen.

Hier einmal eine klassische Elektroverteilung 12V/230V in einem größeren Wohnmobil.



Sie sehen links oben zwei CBE Batterielader, rechts daneben die 12V Verteilerbox DS mit Kfz-Flachsicherungen und noch weiter rechts einen zweipoligen FI/RCD-Schutzschalter für den 230V Stromkreis.

Im unteren Teil sehen Sie links den Solarregler, rechts daneben die CBE Relaisboxen für die Trenn/Koppelrelais für Startbatterie und Kühlschrank. Unter dem grauen Deckel sind die Anschlusskabel verlegt und rechts daneben im oberen Teil ein zusätzlicher Sicherungsverteiler

Die Funktion des Relais direkt darunter sowie das braune "fliegende" Relais sind mir unbekannt. Darunter ist die 230V Verteilerdose für Kühlschrank und andere 230V Verbraucher montiert.