

Energieversorgung auf unserer SY Habiby eine Ta Chiao CT 54

Um das optimale Verhältnis zwischen Energieerzeugung und Energieverbrauch zu gewährleisten habe ich folgende Maßnahmen angewandt:

Energieerzeugung:

1. Solar: Ich habe 4 Paneele a' 160 Wp mit einer Gesamtleistung von 640 Wp installiert. Jeweils ein Panel an Bb und an Stb klappbar an der Heckreeleing und zwei auf den Davits.



Jedes Panel hat seinen eigenen MPPT Regler. Der theoretisch erzeugte Strom würde bei 13 V Ladespannung maximal ca. 50 A betragen. Im Mittelmeer liegt der erzeugte Maximalstrom um die 35 A. An den Anbringungsstellen werden die Paneele wenig abgeschattet. Dies entspricht einer Leistung von 70% der angegebenen Leistung der Solarpaneele. Wenn man also 1000 Wp Solarleistung installiert, sollte man sich im Klaren sein, dass da bei guten Bedingungen nur 700 W der herauskommen. Es sind halt keine Laborverhältnisse.

2. Windgenerator: Ich habe den Superwind 350 im Mast top installiert. Die Regattasegler werden sagen, Oh Gott so viel Extragewicht im Mast top! Erstens haben wir kein Regattaschiff – die Etmale über 150 sm resultieren aus der Wasserlinienlänge. Und bei einer Verdrängung von 32 Tonnen spielt das Extragewicht von 11,5 Kg im Masttopp so gut wie keine Rolle. Es besteht aber ein erheblicher Unterschied in der Stromerzeugung, denn es ist ein großer Unterschied in der Windgeschwindigkeit zwischen einer Anbringungshöhe von 5 m über Wasser an einem Geräteträger oder dem Masttop in einer Höhe von 22 m! Da sich die Stromerzeugung mit dem Quadrat der Windgeschwindigkeit ändert macht es einen deutlichen Unterschied. Selbst bei leichtem Wind vor Anker kommt da immer noch Strom vom Windgenerator.



- Wellengenerator: Ich habe einen Wellengenerator an der Propellerwelle installiert, da auch schon bei den Voreignern der letzten 30 Jahre die Propellerwelle immer mitlief. Die Welle beginnt bei 2,9 Kn an zu drehen und stoppt bei 1,9 Kn Fahrt durchs Wasser. Bei 2,9 kn dreht die Welle mit 72 rpm und bei 7,5 kn mit 240 rpm. Habiby wird durch einen großen dreiflügeligen Propeller angetrieben (Maschine 135 PS). Dadurch ergibt sich beim Segeln ein großes Drehmoment, so dass beim Segeln mit 7 kn ca. 30 A erzeugt werden.



Segeln wir bei z.B. raumen Wind mit 6 Kn im sommerlichen Mittelmeer dahin, kommen wir bequem auf einen durchschnittlichen Ladestrom von ca. 60A. Das ist über den Tag gerechnet deutlich mehr Strom als wir verbrauchen. Teilweise schalten wir den Wasserboiler über den 3 KW Inverter an um die überschüssige Energie zu verbrauchen.



Segeln am Spätabend

Tagsüber vor Anker bei leichtem Wind

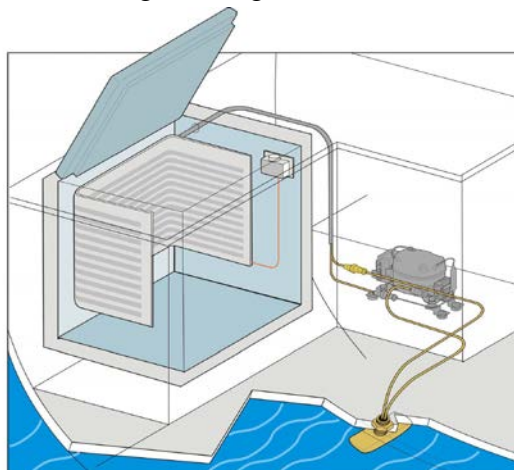
- Lichtmaschine: Installiert ist eine große 160 A Lichtmaschine, die auch dauerhaft 160 A erzeugt. Da die Lithiumbatterie (siehe unten) immer diesen Maximalstrom aufnimmt, habe ich ein manuelles Potentiometer zwischen Sterling Regler und Feldwicklung geschaltet. Damit kann ich bequem jederzeit den Ladestrom zwischen Null und 160 A regeln. Bei längerem motoren, was im Mittelmeer ja leicht vorkommt, regel ich so den Ladestrom genau auf den Verbrauchsstrom ein. Damit vermeide ich, dass die Lithiumbatteriebank über 90% geladen wird. Sonst würde das BMS auch die Ladung der Lichtmaschine bei knapp 100% abschalten.
- Generator: Ein 7,5 KVA Wechselstromgenerator war beim Kauf von Habiby mit relativ wenigen Betriebsstunden bereits an Bord. Dieser wird allerdings nur für den Tauchkompressor benötigt. Aber für den Notfall kann er ja nicht schaden.

Energieverbrauch:

1. Der wohl normalerweise größte Verbraucher über die Zeit dürfte wohl der Kühlschrank und der besonders der Tiefkühlschrank sein. Als ich Habiby vom Voreigner übernahm bestand die Kühlanlage aus zwei parallel geschalteten wassergekühlten BD35 Kompressoren, mit wassergekühltem Kondensator, einem Kühlraum mit Frontöffnung von ca. 150 Ltr Inhalt, ausgerüstet mit einer Speicherplatte von der Firma Frigoboat. Der Tiefkühlraum mit Toppöffnung war schon seit langem nicht mehr in Betrieb, war aber früher durch einen von der Maschine angetriebenen Kompressor betrieben.

Die Steuerung der beiden Kühlkompressoren erfolgte durch eine Elektronik von Frigoboat, welche natürlich nicht funktionierte. Der Voreigner übernahm dann noch die Reparatur, bevor wir zu dem Überführungstörn Ende September 2014 von der schottischen Westküste nach Hamburg aufbrachen. In den nächsten zwei Jahren auf dem Weg ins Mittelmeer funktionierte der Kühlschrank eigentlich ganz gut, aber als dann die Wasserkühlung des Kondensators anfang zu lecken und die Elektronische Steuerung anfang zu spinnen, entschloss ich mich zu einer kompletten Überholung des Kühlsystems. Dazu muss man wissen, dass die Frigoboat Kompressoren BD35, BD 50 etc. mit Drehzahlen zwischen 2000 und 3500 rpm betrieben werden können. Je langsamer und je länger sie laufen, desto sparsamer sind sie.

Dazu kommt, dass die Pumpe der Wasserkühlung (oder der Lüfter der Luftkühlung) Strom verbrauchen. Als Alternative gibt es die Kielkühlung. Die besteht aus einer Borddurchführung wo das warme gasförmige Kühlmittel zu einer Kühlschlange, welche mit Sintermaterial umgeben ist, geführt wird und das kondensierte flüssige Kältemittel durch eine Rohrleitung zurückgeführt wird.



Durch diese Anordnung wird die Kondensation des Kältemittels durch das Seewasser welches die Kühlschlange umgibt herbeigeführt. Dabei wird kein Strom verbraucht! Also alles umbauen, da Habiby ohnehin über Winter an Land stand wurde die Borddurchführung gebohrt und der Kielkühler installiert. Mit Schnellkupplungen wurde dann der Kühlkreislauf wieder hergestellt, das System evakuiert und neu befüllt. Die elektronische Steuerung flog raus. Nun werden die beiden Kompressoren

Manuell eingeschaltet, entweder der Erste, der Zweite oder Beide. Weiterhin wurde mit Hilfe von Widerständen die Drehzahlregelung bei beiden Kompressoren ermöglicht. So können beide Kompressoren in den Drehzahlbereichen 2000, 2500, 3000 oder 3500 rpm laufen. Das temperaturbedingte Ein/Ausschalten durch einen Thermostaten wurde auch raus geschmissen und durch eine Intervallschaltung ersetzt, denn bei einer Temperatursteuerung taut die gefrorene eutektische Lösung in der Speicherplatte komplett auf, bevor die Temperatur ansteigt und dann muss der Kompressor sehr lange laufen um wieder alles durchzufrieren damit die Temperatur danach weiter abfällt und der Thermostat den Kompressor wieder ausschalten kann. Mit der Intervallschaltung wird der Kompressor regelmäßig Ein und Aus geschaltet, so dass die eutektische Lösung nie ganz auftaut. Die Länge der Intervalle muss man erstmal empirisch ermitteln. Bei mir liegt sie bei Betrieb im hochsommerlichen Mittelmeer bei 20 Minuten an und dann 40 Minuten aus (33% Einschaltdauer). Bei einer Drehzahl von 2000 rpm verbraucht nun unser Kühlschrank in 24 Stunden gemessene 25 Ah! Das erzeugen die Solarpanele tagsüber in 45 Minuten! Die Kühlraumtemperatur liegt zwischen Null und 8°C je nach Entfernung von der Speicherplatte. Als Luxus gibt es dann noch eine Beleuchtung, damit man das Bier findet



Die Speicherplatte ein wenig stark vereist

Gleichzeitig wurde auch der Tiefkühlraum wieder aktiviert. Dazu installierte ich den größeren BD 50 Kompressor, auch wieder mit Kielkühlung und maximal großer Verdampferplatte für den Raum. Natürlich wieder eine manuelle Drehzahlregelung. Dazu einen elektronischen Thermostat, weil er viel besser arbeitet als die Thermostaten welche durch die Ausdehnung einer Flüssigkeit in einem Rohr arbeiten. Das wichtigste war aber eine bessere Isolierung. Die vorhandene Isolierung bestand aus 70 mm Hartschaum. Da der Kühlraum sehr groß war, entschied ich mich ihn zusätzlich mit 40 mm dicken Vakuumpplatten auszukleiden. Diese Vakuumpplatten haben einen sehr niedrigen Wärmedurchgang. Eine bessere Isolierung gibt es nicht. Die Vakuumpplatten wurden auf der Innenseite mit 15 mm starken wasserfesten Sperrholzplatten verkleidet und mit Polyesterermatten überzogen. Weiß gemalt und die Verdampferplatte angebracht. Dadurch hatte der Tiefkühlschrank nun ein Volumen von 117 Litern. Die Verdampfungstemperatur habe ich auf Minus 20 °C eingestellt.



Tiefkühlraum auch beleuchtet

Bei einer Kühlraumtemperatur von Minus 20°C verbraucht der Kompressor und somit die gesamte Tiefkühlanlage bei 2000 rpm 38W = 2,9 A. Die Einschaltdauer liegt bei 60%. Somit liegt der Energieverbrauch bei etwa $2,9 \times 24 \times 0,6 = 41,7$ Ah in 24 Stunden.

Der Gesamtverbrauch in 24 Stunden für den Kühl- und Tiefkühlschrank zusammen beträgt also um die 70 Ah. Diese Energie wird alleine von den Solarpanelen in gut zwei Stunden erzeugt!

Selbststeuerung:

Diese ist auf Habiby elektrisch/hydraulisch, da für eine Windfahne mit Davits ohnehin kein Platz wäre. Die elektrische Hydraulik Pumpe läuft aber nur in ganz kurzen Intervallen für den Fall, dass eine Steuerkorrektur notwendig ist. Bei einem ausgeglichenen Segelplan gibt es ohnehin nur wenige Steuerkorrekturen.

Und da ja ohnehin der Wellengenerator beim Segeln mitläuft und Strom erzeugt fällt die Selbststeuerung überhaupt nicht ins Gewicht. Ich habe den Verbrauch über 24 Stunden noch nicht gemessen, werde dies aber noch mal interessehalber machen.

Beleuchtung: Diese ist natürlich für alle Leuchtmittel inklusive Positionslichter und Saalinglichter auf LED umgestellt. Wurden vorher beim Einschalten aller Leuchtmittel 300 W (=25 A) verbraucht, so ist es jetzt ein Zehntel! Dazu noch ein komfortables Gimmick. Das Ankerlicht wird durch einen Dämmerungsschalter automatisch geschaltet. Das hat neben einer Stromeinsparung durch vergessenes oder spätes Ausschalten auch den Vorteil, dass es eben auch leuchtet wenn man Spätnachmittags doch länger an Land bleibt und es plötzlich Dunkel ist. Und morgens geht es aus, sowie es hell ist, auch wenn man noch schläft.

Sonstige Verbraucher: Die modernen Radargeräte brauchen ohnehin nur einen Bruchteil an Strom von dem was die alten Dinger schluckten. Außerdem hat unser Radargerät eine Standby Funktion, die den Sender nur alle paar Minuten kurz mal einschaltet.

Dadurch dass wir selbst vor Anker reichlich Strom haben, erhitzen wir das Tee- und Kaffeewasser mit einem elektrischen Wasserkocher. Und benutzen auch sonstige Küchenmaschinen. Dafür haben wir zwei Inverter, einen 1,5 KW und einen 3 KW Inverter einmal aus Redundanzgründen und außerdem verbraucht der 1,5 KW Inverter, welchen wir für die weniger stromfressenden Verbraucher benutzen weniger Standby Strom.

Energiespeicherung:

Anstatt Bleibatterien benutzen wir eine 700 Ah Lithiumbatteriebank (LiFePo4), welche aus vier Zellen a' 700 Ah besteht. Nun kann man nicht eine 700 Ah Lithiumbatteriebank mit einer 700 Ah Bleibatteriebank vergleichen, da man bei den Bleibatterien nur 50% auf Dauer nutzen kann/sollte, hingegen bei einer Lithiumbank prinzipiell 100 %, aber damit sie noch länger leben liegt der optimale Betrieb zwischen 10 und 90% SOC (state of charge). Somit entsprechen 700 Ah Lithiumbatterien 1120 Ah Bleibatterien. Aber der größte Vorteil liegt in den Wirkungsgraden beim Laden. Wenn man einer Bleibatterie 100 Ah entnimmt. Muss man 120 Ah wieder laden um wieder den gleichen SOC zu erreichen. Bei der Lithiumbatterie gehen 100 Ah raus und 100 Ah wieder rein und man hat den gleichen SOC. Das heißt man verheizt bei Bleibatterien 20% der mehr oder weniger mühsam gewonnenen Energie im Ladevorgang. Dazu kommt, dass man bei Lithiumbatterien bis zum Ladeende mit maximal vorhandener Ladeleistung laden kann. Die Bleibatterien können aber nach kurzer Zeit die zur Verfügung gestellte Energie nicht mehr aufnehmen. Der Ladestrom nimmt mit zunehmender Ladung immer mehr ab. Dadurch verlängert sich der Ladezyklus erheblich. Natürlich hat die Umstellung auf Lithium ihren Preis und der damit verbundene technische Aufwand in Regelung und dem Batterie Management System ist nicht unerheblich und für Laien kaum vernünftig durchführbar.

Diese Optimierungen in Energieerzeugung, Energieverbrauch und Energiespeicherung führt auf Habiby zu einem komplett autarken Leben aus erneuerbaren Energien. Selbst der Luxus wie Waschmaschine und Eiswürfelbereiter bei uns lassen sich so ausschließlich mit erneuerbaren Energien verwirklichen.

Falls Du lieber Bobby noch Zweifel an der Machbarkeit haben solltest, bist Du gerne eingeladen mal für ein paar Tage mit uns zu segeln und die Systeme selbst zu erleben. 2023 geht es über die Kapverden nach Brasilien und dann die Südamerikanische Küste hoch in die Karibik.

Nyeri, Kenia, den 20.12.2022 Knut Kähler