

ALEXANDER WORMS

Watt, Volt und andere Schikanen

Troubleshooting
Yachtelektrik



DELIUS KLASING

ALEXANDER WORMS

Watt, Volt und andere Schikanen

Troubleshooting
Yachtelektrik

Delius Klasing Verlag

Inhalt

Vorwort	6
1.1 Ampere, Volt oder Watt?	7
1.2 Kabel, Sicherungen, Querschnitte, Widerstände und Verbindungen	12
1.3 12 Volt oder 230 Volt, was heißt hier gefährlich?	20
2.1 Benötigtes Werkzeug	23
2.2 Das Multimeter	26
2.3 Verbindungen	32
2.4 Schaltpläne	37
3.1 Energiebilanz	40
3.2 Oberste Devise: Strom sparen!	43
3.3 Flexible Auslegung des Bordnetzes	48
3.4 Welche Energiequelle für wen?	51
3.5 Typische Bordnetze	56
4.1 Der Akku – Parkplatz für den Strom	67
4.2 Landstromladegerät	78
4.3 Lichtmaschine, Regler, Trenndioden und Laderegler	84
4.4 Solarzellen	89
4.5 Windgeneratoren	95
4.6 Andere Energiequellen	99
5.1 Das 230-Volt-Bordnetz	108
5.2 Relaisschaltungen und Bussysteme	114
5.3 Der Umformer	117
5.4 Elektro- und Hybridantriebe	122
6.1 Neue Komponenten anklemmen	128
6.2 Typische Fehlerquellen und deren Behebung	133
Bezugsquellen	144

Vorwort

Wer sich auf dem Wasser fortbewegt muss eine Menge wissen. Es gilt die Verkehrsregeln zu kennen und das Boot zu beherrschen, dann kommen das Wetter, die Navigation, Motorkunde und Menschenführung hinzu. Was in den letzten Jahren zudem an Bedeutung gewinnt, ist das Wissen um die Elektrik. Denn während früher der Dieselmotor und der Außenborder sowieso noch von Hand gestartet werden konnten, geht das heute zumeist nicht mehr. Kurzum: Elektrik gehört mittlerweile an Bord einfach dazu. Also muss der verantwortungsbewusste Skipper sich mit dem Thema auseinandersetzen. Doch wie viel Wissen ist erforderlich? Die Frage ist kaum zu beantworten, und doch wurde hier in diesem Buch ein Antwortversuch gestartet. Die Zahl der am Markt verfügbaren Bücher zum Thema ist hoch, aber sie holten mich zumeist nicht da ab, wo ich stand. Zwar konnte ich dort theoretisch viel über die Funktion einer Batterie, die Berechnung von Widerständen oder gar »Das Wechselstrom-Konzept mit generatorfreier Periode« (Victron Energy, Immer Strom, Version 9, Juni 2011) lesen. Aber was das alles genau für das Arbeiten mit Strom an Bord bedeutete, erschloss sich mir oft nicht direkt. Ein Buch müsste her, das den kompletten Bordstromneuling, wie ich einer war, von Anfang an begleitet. Das die Grundlagen leicht verständlich erklärt und auch die nächsten Schritte des „Erwachsenwerdens“ als Eigner immer größerer und damit womöglich auch komplexerer Bordsysteme abdeckt. Zudem sollte es auch die Fragen von Charterern beantworten, denn schließlich kann so ein Charterschiff auch mal nicht funktionieren. Wer dann die Ankerwinch mit Bordmitteln wieder fit bekommt, muss keinen ganzen Urlaubstag damit verträdeln, auf den Techniker zu warten. Naja, und so ist dieses Buch entstanden. Eher kompakt, sprachlich für Nicht-Fachleute und dennoch sachlich richtig. Viel Spaß beim Lesen und viel Erfolg beim Basteln.

Natürlich kann solch ein Buch nie von einer Person alleine geschultert werden. Viele Menschen haben dabei geholfen. Zunächst meine Frau Tine, die mich auf jede erdenkliche Art unterstützt hat, die Verlagslektoren Alexander Failing und Felix Wagner, die Grafiker, alle Menschen die ich ansprechen und jederzeit um Rat bitten konnte. Besonderen Dank gilt zudem Fridtjof Gunkel, der mich letztlich zu diesem Buchprojekt ermutigte, meinem Physiklehrer Bernhard Wiesemann, Olaf Schmidt und Peter Bremen für die ersten gemeinsamen Schritte im Bordnetz meines ersten Segelbootes. Danke!

Alexander Worms

3.1 Energiebilanz

Das Wort Bilanz klingt schon nüchtern. Jemand, der Bilanz zieht, schaut genau hin und weiß nachher über den Zustand etwa seines Unternehmens genau Bescheid. Ganz nüchtern. Genauso sollte es auch bei der Aufstellung der Energiequellen und Verbraucher – nichts anderes ist eine Energiebilanz – an Bord sein. Ganz sachlich.

Einerseits wird gern mal ein viel zu großer und damit auch zu schwerer und teurer Akku installiert – schließlich wollen die Hersteller einem einreden, dass mehr auch besser ist. Andererseits jedoch wird der tatsächliche Bedarf an Bord auch mal unterschätzt. Es gibt drei sinnvolle Gründe, warum eine Energiebilanz aufgestellt werden sollte.

- ▶ Die Ermittlung der tatsächlich erforderlichen Akkukapazität, etwa bei Neukauf eines Schiffes oder beim Refit der elektrischen Anlage.
- ▶ Wie viel Batterieinhalt/Energiequellen benötige ich für eine definierte Anzahl an Tagen, an denen ich unabhängig von Landstrom sein möchte?
- ▶ Die Bilanz hilft bei der Beantwortung der Frage, ob sich etwa die Anschaffung einer LED-Navigationsbeleuchtung oder einer neuen, sparsamen Kühlbox lohnt. Man kann einfach in der Tabelle, sofern etwa in Excel angelegt, herumspielen. Veränderungen bei Quellen oder Verbrauchern spiegeln sich sofort in der Bilanz wider.

Was denken Sie? Wie viel Batteriekapazität muss zum Betrieb einer simplen Kompressorkühlbox mit 35 Litern Inhalt installiert sein? Wir rechnen nach: Verbrauch laut Hersteller 45 Wattstunden, macht bei 12 Volt also etwa vier Amperestunden ($\text{Watt} : \text{Volt} = \text{Ampere}$). Nun laufen die Kompressoren der Boxen – wie die in den Kühlschränken zuhause – nicht die ganze Zeit. Ein Thermostat steuert sie. Etwa 25 Prozent der Zeit arbeitet die Kühlbox und verbraucht Strom, ansonsten hält sie einfach durch gute Isolation die Kälte. Also: 25 Prozent von vier Ah ist ja nur ein Ah. Aber jetzt: Natürlich läuft der Kühlschrank während des Urlaubstörns den ganzen Tag, also 24 Stunden. So sind es schon 24 Ah. Da Akkus nur etwa zur Hälfte ihrer Kapazität genutzt

werden können, wird also das Doppelte an installierter Akkuleistung benötigt: 50 Ah Kapazität, nur für den Kühlschrank! Und so geht es weiter: Heizung, Navigation, Licht, Radio. Da kommt schnell einiges zusammen. Hat man nun keine weiteren Energie-



Kühlt bei niedrigem Stromverbrauch: Kompressorbox von Waeco.

lieferanten an Bord und möchte dennoch drei Tage autark sein, um die schöne Ankerbucht bei gutem Wetter ausgiebig zu genießen, so benötigt allein der Kühlschrank eine Akkukapazität von 150 Amperestunden.

Demgegenüber stehen die Stromlieferanten (siehe Kapitel 4; dort wird hinlänglich auf die Ausbeute der einzelnen Lösungen eingegangen). Exemplarisch soll hier die Lichtmaschine betrachtet werden. Sie liefert bei laufendem Motor beispielsweise im Idealfall 55 Ah. Das ist eine ganze Menge, wird jedoch in der Realität aus verschiedenen Gründen nicht erreicht. Der Punkt ist jedoch ein anderer: die Einschätzung der Laufzeit. So wird an einem Tag vor Anker die Maschine gar nicht laufen, zumindest, wenn es sich vermeiden lässt. Es steht also auch kein Strom von dort zur Verfügung. Wie lange läuft die Maschine hingegen an einem normalen Segeltag? Für das Aus- und Einlaufen wird oft auch nicht einmal eine Stunde motort. Das Beispiel zeigt die Grenzen der Energiebilanz. Es gilt, eine Annahme für die mittlere Laufzeit zu treffen. Das ist bei der Lichtmaschine schwierig. Auch die Einschätzung der Ausbeute von Solarpaneelen und Windgeneratoren ist eben immer nur eine Schätzung. Dennoch bietet die Energiebilanz einen soliden Anhaltspunkt zur Ermittlung von Verbrauch und Erzeugung von Strom an Bord. Anbei das Beispiel einer Aufstellung für eine typische Neun-Meter-Fahrtenyacht, die allerdings in Excel einfach erweitert werden kann:

- ▶ Die Energiebilanz hilft bei der Auslegung des Bordnetzes.
- ▶ Weder zu große noch zu kleine Akkus sind an Bord sinnvoll.
- ▶ Mittels einer Excel-Tabelle lassen sich verschiedene Szenarien durchspielen.
- ▶ Beim Treffen der Annahmen für die Tabelle ist einiges Nachdenken erforderlich.
- ▶ Ausprobieren im Winter macht Spaß.

Verbraucher	Leistung in Watt	Dauer in h	Ah
Navigation	20	7	12
Funk	10	7	6
Kühlschrank (25% Lfz. bei 32 °C)	45	6	23
Radio	20	3	5
Nav. Bel. (entweder ...)	25	4	8
Ankerlicht (... oder)	10	6	5
Innenbel. (Petroleum geht auch)	25	2	4
Heizung	18	4	6
Sonstiges (Trinkwasserpumpe etc.)	40	1	3
Verbraucher x	0	0	0
Verbraucher y	0	0	0
Verbraucher z	0	0	0
Quellen			
Solarpanels in Wp	0	0	0
Generator Benzin / Diesel	0	0	0
Wellengenerator	0	0	0
Windgenerator	0	0	0
Brennstoffzelle	200	0	0
Quelle y	0	0	0
Lichtmaschine läuft, davon die Hälfte	420	0	0
Saldo Ah pro Tag			72
Benötigte Batterieleistung			244
Benötigte Ladeleistung in Ah (muss aber nicht)			49
Autarkie in Tagen			1,7

3.2 Oberste Devise: Strom sparen!

Die Möglichkeiten, an Bord Energie zu erzeugen, sind so vielfältig, dass eine besonders simple Alternative oft außer Acht gelassen wird: Strom sparen. Doch wie gelingt das, was kostet es und wie hoch ist der Nutzen tatsächlich? Anhand einiger Beispiele wird gezeigt, dass Sparsamkeit durchaus sinnvoll ist.

Eine Nachtfahrt gehört für viele Segler zu den schönsten Erlebnissen – allerdings nur, wenn die Technik mitspielt. Da benötigt man die volle Navigationselektronik und eben die Navigationslichter. Unter Segeln ist eine Dreifarbenlaterne im Masttop aus Stromsparsicht die ideale Lösung. Allerdings muss das Leuchtmittel in der Laterne recht stark sein: 25 Watt sind sinnvoll. Das macht bei 12 Volt gut zwei Ampere in der Stunde. Auf die Nacht gerechnet, von Dämmerung bis Sonnenaufgang auch schon mal zehn Stunden, also



Leuchtet hell, verbraucht sehr wenig: Dreifarben-LED mit Ankerlicht von Lopolight.

20 Amperestunden. Nicht eben wenig, zumal die dafür vorgehaltene Akkukapazität ja doppelt so hoch sein muss. Verwendet man nun anstelle der herkömmlichen Lampe eine LED, so sinkt der Verbrauch in der gleichen Zeit auf nicht einmal drei Ampere.

Einen Haken hat die Sache: In der vorhandenen Laterne darf nicht einfach das vorhandene durch ein LED-Leuchtmittel ersetzt werden. Dadurch verliert die gesamte Lampe ihre Zulassung. Sie muss also komplett getauscht werden. Zusammen mit dem Ankerlicht kostet das etwa 300 Euro. Bewertet man das in alternativ vorzuhaltender Akkukapazität, also wie viel größer die Batterien sein müssten, damit bei gleicher Leuchtdauer die Autarkie in Tagen gleich bleibt, so amortisiert sich die LED-Laterne erst nach der dritten durchsegelten Nacht in Folge (300 Euro sind in etwa der Preis für einen 120 Ah großen AGM-Akku). Also eher etwas für Langfahrer. Wenn allerdings an Bord kein Platz für beliebig hohe Akkukapazität vorhanden ist, kann die LED-Lösung durchaus sinnvoll sein. Auch auf Regattaschiffen, die Gewicht sparen wollen, ist das der Fall. LED-Licht kann auch in der Kabine sinnvoll sein, denn hier können, anders als bei den Navigationslichtern, einfach in vorhandene Lampen LED-Leuchtmittel eingesetzt werden. Das kostet nur ein paar Euro und bringt bei einem langen Abend an Bord eine erhebliche Einsparung. Beim Austausch sollte darauf geachtet werden, Leuchtmittel zu wählen, die eine Elektronik vorgeschaltet haben, damit sie in der Lage sind, verschiedene Spannungen zu vertragen (mindestens zehn bis 15 Volt). Diese sind etwas teurer, halten dafür aber länger. Schließlich kann die Spannung im Bordnetz durchaus um einige Volt variieren.

Der größte Posten in den meisten Energiebilanzen kleinerer Yachten sind Kühlschränke. Auch hier gibt es deutliche Unterschiede. Die größten Energiefresser sind günstige Geräte, die auf dem Peltier-Prinzip basieren.

Hier wird mittels eines Halbleiters Kälte erzeugt. Damit das funktioniert, muss unentwegt Strom fließen. Beträgt die Nennleistung einer Box 45 Watt, so benötigt sie diese permanent. Die etwa vier Ampere in der Stunde fließen den ganzen Tag. Am Ende stehen also nach einem Tag etwa 100 Amperestunden auf der Stromuhr. Ein Akku müsste also 200 Amperestunden groß sein (nur die Hälfte der Kapazität ist sinnvoll nutzbar), um eine solche Kühlbox zu versorgen. Besser, man wählt eine Kompressorbox. Sie ist etwa drei- bis viermal so teuer (550 Euro zu rund 180 Euro bei einer 35-Liter-Box). Die Nennleistung ist zwar die gleiche, aber durch ein Thermostat gesteuert läuft der Kompressor je nach Außentemperatur nur etwa 20 bis 30 Prozent der Zeit. 45 Wattstunden sind bei 12 Volt etwa vier Amperestunden. Davon 25 Prozent entsprechen also nur noch einem Ampere in der Stunde oder 24 am Tag. Das Akkuäquivalent ist also nur 50 Ah groß. Schon am zweiten Tag im Einsatz hat sich die Kompressorbox amortisiert. Doch auch die Kompressorboxen haben einen Haken:



Kühlt und wärmt, aber mit hohem Stromverbrauch: in der Anschaffung günstige Peltierbox von Waeco.

Sie sind zwar gut isoliert, aber ihr Wärmetauscher wird mit Luft gekühlt. Nun kann Luft, etwa im Vergleich zu Wasser, Wärme nur sehr schlecht aufnehmen – etwa 20-mal schlechter. Ideal wäre es also, wenn der Kühlkompressor seine Wärme an Wasser abgeben könnte. Und diese Systeme gibt es. Der Wärmetauscher sitzt, um unnötig viele Öffnungen im Unterwasserschiff zu vermeiden, in einen Borddurchlass eingebaut. Der Kompressor pumpt hier das Kältemittel direkt am Außenwasser entlang.

Ein Ventilator, der Luft durch einen Wärmetauscher bewegen muss, entfällt. Das ist erstens leise und spart zweitens Strom. Anders als bei den fertigen Boxen bilden der Kompressor und die eigentliche Kühlbox mit der sogenannten Verdampferplatte darin keine feste Einheit. Sie können räumlich getrennt voneinander verbaut sein. Um die gewonnene Kälteleistung nicht unnötig zu vergeuden, ist es allerdings erforderlich, die eigentliche Kühlbox sowie den Kältemittelschlauch gut zu isolieren. Nutzer dieses Systems sind wegen zwei Dingen begeistert davon: Es ist nahezu unhörbar und der Stromverbrauch sinkt auf deutlich unter 20 Amperestunden am Tag. Ein weiterer Aspekt begünstigt



Spart viel Strom: Wärmetauscher für einen Kühlkompressor im Borddurchlass.

Wasser als Kühlmittel: Selbst wenn die Luft deutlich über 30 Grad warm ist, steigt die Wassertemperatur selten über 20 bis 25 Grad Celsius – zumal es im Schiffsinnen, also da, wo der Kompressor arbeitet, auch schnell noch viel wärmer wird als draußen an der Luft.

Gerade auf Langfahrtyachten wird in der Nacht oft auf den Annäherungsalarm des Radargerätes vertraut. Zwar geht jemand regelmäßig Wache, doch spätestens bei schlechter Sicht hilft das elektronische Auge sehr. Allerdings haben auch kleine Anlagen eine Leistungsaufnahme von 40 Watt. Läuft sie die Nacht durch, bedeutet das, dass nach zehn Stunden satte 35 Amperestunden dahin sind. Einige Anlagen bieten die Möglichkeit, gesteuert über einen Timer in bestimmten Zeitintervallen für wenige Sekunden Rundumchecks durchzuführen. In der restlichen Zeit läuft das Gerät im Stand-by-Modus mit deutlich geringerem Verbrauch.

Ein völlig unnötiger Stromfresser sind zu dünne Kabel. Wie in Kapitel 1.2 gezeigt, sinkt die Spannung an einem Widerstand ab. Ein dünnes Kabel hat einen höheren Widerstand als ein dickeres Kabel. Sinkt nun an dem

Widerstand die Spannung und bleibt die Leistungsaufnahme des Gerätes, etwa der Dreifarbenlaterne im Masttop, konstant, so steigt der fließende Strom an. Durch ein zu dünnes Kabel wird also Strom verschwendet und in Wärme umgewandelt. Da der Widerstand auch proportional mit der Länge eines Kabels steigt, sind lange Drähte hier besonders im Fokus. Etwa wenn es in den Mast geht, kommen schnell Kabellängen von 20 und mehr Metern zusammen. Das Mehrgewicht eines dickeren Kabels (20 Meter 2,5-Quadratmillimeter-Kabel wiegen 443 Gramm, 1,5-Quadratmillimeter-Kabel 266 Gramm – jeweils plus Mantel) ist zu vernachlässigen.



Große Unterschiede: verschiedene Kabelquerschnitte.

Der Widerstandskoeffizient eines Materials verhält sich umgekehrt linear zum Querschnitt. Das 2,5-Quadratmillimeter-Kabel bewirkt einen um 0,3 Volt geringeren Spannungsabfall. Bei den 25 Watt der Dreifarbenlaterne bedeutet das auf die Nacht gesehen ein halbes Ampere mehr Verbrauch. Nicht eben viel. Bedenkt man jedoch, wie viele Kabel im Schiff liegen, bei denen diese Rechnung anwendbar wäre, kommen schnell einige Ampere zusammen. Übrigens: Ebenso unnötig wie Verluste durch zu dünne Kabel sind solche durch schlechte Kontakte – im Fall der Dreifarbenlaterne etwa im Stecker am Mastfuß. Stromsparen war früher zugegebenermaßen mit weniger effizienten Akkus und schlechteren Möglichkeiten, Strom an Bord zu erzeugen, wichtiger als heute. Dennoch war es auch noch nie so einfach, weniger Energie an Bord zu verbrauchen. Warum also nicht?

- ▶ Trotz guter Stromquellen und Akkus lohnt Stromsparen an Bord immer noch.
- ▶ Die Möglichkeiten sind vielfältig.
- ▶ Bei den größten Stromfressern beginnen (Kühlschrank, Licht).
- ▶ Zu dünne Kabel verschwenden Strom unnötig.
- ▶ Ein optimales Bordnetz bietet größere Ausfallsicherheit.

Bezugsquellen

Ladegeräte und Wechselrichter:

- Mastervolt, HYPERLINK »<http://www.mastervolt.de>«www.mastervolt.de
- Quick, zu beziehen über Lindemann KG, www.lindemann-kg.de
- Sterling, zu beziehen über Gotthardt, www.gotthardt-yacht.de
- Victron, www.victronenergy.de
- Philippi, www.philippi-online.de
- Waeco, www.waeco.com
- C-Tek, www.ctek.com
- Efoy, www.efoy.com
- Enymotion, www.enymotion.de
- Fischer Panda, HYPERLINK »<http://www.fischerpanda.de>«www.fischerpanda.de
- Whisper Power, www.whisperpower.nl
- Benzingenerator (Compass, Honda), zum Beispiel über HYPERLINK »<http://www.compass24.de>«www.compass24.de oder www.honda.de/industrie

Akkus

- Transwatt, Li-Fe Akkus, www.transwatt.de
- Vetus, www.vetus.com
- Lifeline Akkus, www.lifeline-batterien.de
- Optima, www.optima-batterien.eu
- Varta, www.varta.de
- Torqeedo, www.torqeedo.com
- Mastervolt, s. o.
- Victron, s. o.

Stromerzeuger

- Watt&Sea, zu beziehen über www.bukh-bremen.de
- Wellengenerator, www.yachttechnik.de
- Superwind, www.superwind.com
- Leading Edge, Vertikalwindgenerator, HYPERLINK »<http://www.shipshop.de>«www.shipshop.de
- Marlec Rutland Windgeneratoren, www.shipshop.de
- Aquair, www.shipshop.de
- Solara, www.soalra.de

Elektro- und Hybridantriebe

- Torqeedo, s. o.
- Einmeier E-Antriebe, www.elektrobootsmotore.de
- Oceanvolt, www.oceanvolt.com
- African Cats Green Motion, www.africancats.com
- Mastervolt, s. o.

Diverses

- Knipex, Werkzeug, im Baumarkt oder unter www.knipex.de
- Lopolight, Navigationsbeleuchtung, HYPERLINK »<http://www.frisch-zentrale.de>«www.frisch-zentrale.de
- Hella, Auquasignal, Navigationsbeleuchtung, beides über www.bukh-bremen.de
- Borddurchlass Wärmetauscher z. B. von Isotherm über www.bukh-bremen.de