

SKIPPERS

PRAXIS, AUSTRUSTUNG
ELEKTRONIK

Magazin

INNOVATION, TIPPS & TRICKS
RECHT, BUCHER



Um den Energiebedarf zu decken,
sind nicht nur auf Langfahrt
effiziente Stromspeicher gefragt

VOLLE LADUNG

Bei der Wahl von Bordakkus konkurrieren **BLEI- UND LITHIUMTECHNOLOGIE**. Worin die Unterschiede der Systeme liegen und was die modernen Energiespeicher für Segler so interessant macht

FOTOS: J. ERDMANN (L.), YACHT/O. SCHMIDT (R. O.), YACHT/H. SCHMIDT (R. U. L.), L. SCHULZ (R. U. R.)

STROMFRESSER



Die Komfortausstattung moderner Yachten braucht viel Strom. **KÜHLSCHAPP, Autopilot und Haushaltsgeräte** sind die größten Verbraucher

Seit über 150 Jahren sind Akkus mit Blei-Säure-Technik auf dem Markt. 1854 konnte Wilhelm Sinstedden zum ersten Mal Strom aus Blei und Schwefelsäure produzieren. Später wurde seine Batterie vom Franzosen Gaston Panté weiterentwickelt. Doch erst 27 Jahre danach schaffte es Henri Tudor, einen massenproduzierbaren Akku zu bauen.

Seit damals hat sich – rein prinzipiell – nicht viel verändert. Mit der Einführung von gelförmig gebundener Säure wurden die Akkus auslaufsicher, schließlich hat Gates Rubber 1972 eine mit Säure getränkte Glasmatte entwickelt. Der „Absorbed Glass Mat“-Akkumulator (AGM) war geboren. Er darf tiefer entladen werden, kann große Ströme abgeben, neigt weniger stark zur Sulfatierung, gibt kein Knallgas ab und läuft nicht aus.

Bis vor Kurzem galten derartige AGM-Akkus als das Nonplusultra in Bezug auf Stromspeicherung – bis die Lithiumakkus auf den Markt kamen. Der Lithiumakku arbeitet mit einer völlig neuer Technologie (siehe Seite 79). Die Frage ist nun: Für welche Boote eignen sich die neuen Akkus, und für wen ist der bis vor Kurzem noch hoch gepriesene AGM-Akku weiterhin geeignet?

BLEI KANN BESSER SEIN

Eines vorab: Für Akkus, die ausschließlich für den Motorstart benutzt werden, eignet sich der Bleiakku, insbesondere als AGM-Variante, vorzüglich und sollte nicht mit Lithium ersetzt werden.

Ein AGM-Akku kann die zum Anlassen benötigten hohe Ströme während kurzer Zeit abgeben, eine gesonderte Lüftung ist nicht notwendig, und der Akku kann relativ klein sein, er muss ja nur den Motor starten. Als Anlasserbatterie hat der Bleiakku eine maximal lange Lebensdauer, da er – mit Ausnahme der wenigen Sekunden, bis der Diesel anspringt – immer voll geladen wird und bleibt.

Das wichtigste Argument für den Bleiakku an dieser Stelle ist, dass seine Spannung sofort auf unter 10 Volt sinkt, sobald der Anlasser Strom aus dem Akku entnimmt. Dieser oft als Nachteil gesehene Spannungsfall des Akkus wird aber in der Konstruktion des Starters berücksichtigt. Mit Lithiumbatterien bricht die Spannung unter Last lange nicht so stark ein, daher bekommt der Anlasser wesentlich mehr Leistung als vorge-

AUTOPILOT



Ein leistungsfähiger Steuer-
automat ersetzt ein Crew-
mitglied, benötigt aber
über die Zeit gesehen relativ
viel Energie

WASCHMASCHINE



Mit modernen Invertern und
ausreichender Batteriekapa-
zität ist der Betrieb großer
230-Volt-Verbraucher auch
ohne Generator möglich

HAUSHALTSGERÄTE



Haushalts-Kleingeräte
wie Kaffeeautomaten oder
ein Haarfön sind sehr be-
liebt. Sie brauchen kurzzeitig
viel Leistung

ENERGIEBEDARF

Ausrüstung	Leistung	Betriebszeit	Energiebedarf	Ah (= Wh/12 V)
Kühlung	42 W	1,5 h	63 Wh	5,3
Druckwasser	72 W	1 h	72 Wh	6
Musik	12 W	2 h	24 Wh	2
Autopilot	60 W	2 h	120 Wh	10
GPS	17 W	6 h	102 Wh	8,5
UKW: senden	48 W	0,1 h	4,8 Wh	0,4
UKW: empfangen	1 W	6 h	6 Wh	0,5
Übrige Navigation	24 W	2 h	48 Wh	4
Echolot	12 W	2 h	24 Wh	2
Summe				38,7

Beispielrechnung für einen sechsständigen Tagestörn. Es werden etwa 39 Amperestunden verbraucht. Mit Bleiakkus müsste mindestens die doppelte Kapazität vorgehalten werden

SCHNELL WIEDER VOLL

sehen, was er im Zweifel nicht lange übersteht. Für die immer vielfältigeren und größeren Stromschluckler an Bord wie Navigationsgeräte, Handys, Tablets, Notebooks, Autopilot, Kühlschrank, Beleuchtung oder die populären 230-Volt-Verbraucher wie Kaffeemaschinen, Toaster, Wasserkocher oder Haarfön, die mittels Inverter betrieben werden, ist die Frage nach dem geeigneten Batterietyp nicht einheitlich zu beantworten. Vielmehr sollte man sich folgende Fragen stellen:

1. Wie hoch ist der tägliche Stromverbrauch?
2. Wie oft soll geladen werden?
3. Wie schnell soll geladen werden?
4. Womit soll geladen werden?

WIE VIEL ENERGIE NÖTIG IST

Bei der Berechnung des Energiebedarfs geht man am besten von der Leistung des jeweiligen Verbrauchers aus, die in Watt (W) angegeben wird. Multipliziert man diese mit der erwarteten Benutzungszeit des Geräts, erhält man den täglichen Energieverbrauch in Wattstunden (Wh). Anschließend werden die Werte durch die Bordspannung – 12 Volt oder bei größeren Schiffen eventuell 24 Volt – geteilt, daraus ergibt sich für jedes Gerät die notwendige Energie in Amperestunden (Ah). Summiert ergibt sich die Energiemenge, die von den Akkus jeden Tag geliefert werden muss (siehe Seite 77).

Folgende Richtwerte können zur Orientierung dienen: Für einen Tagestörn, das heißt, wenn man morgens mit vollgeladenen Batterien ausläuft und am Nachmittag wieder in den Hafen zurücksegelt, hat man typischerweise einen Energieverbrauch von etwa 39 Amperestunden.

Für Küstensegler, die etwas mehr Strom verbrauchen und ab und zu auch ankern oder durch die Nacht segeln, werden rund 100 Amperestunden für 24 Stunden Betriebszeit berechnet. Langfahrtsegler, die mehr Zeit an Bord verbringen und viele Annehmlichkeiten wie an Land nutzen, inklusive eines Inverters für 230-Volt-Haushaltsgeräte, verbrauchen in 24 Stunden nicht selten 250 Amperestunden.

WIE HÄUFIG WIRD GELADEN?

Ebenfalls eine Frage, deren Antwort stark vom Nutzungsverhalten der Yacht abhängt. Geht der Segler beispielsweise jeden Abend in eine Marina, wird dort höchstwahrscheinlich stets mittels Landstrom geladen. Soll ab und zu geankert werden, will man vielleicht



Das Ladeverhalten ist einer der Hauptvorteile von Lithiumbatterien. Um die LEISTUNG des Akkus voll zu nutzen, sollten Lichtmaschine und Ladegerät optimiert werden



Ein Batteriemonitor gibt zuverlässig Auskunft über den Ladezustand. Es ist aber nicht jedes Modell für Lithiumakkus geeignet

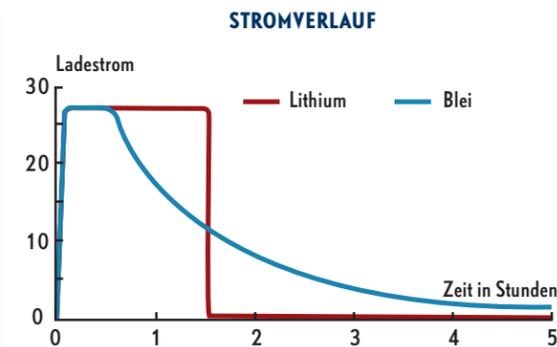
nur alle paar Tage laden. Viele Segler entscheiden sich trotz Ankern dafür, als Bordroutine jeden Tag die Batterien per Motor zu laden, um nebenbei heißes Wasser zum Spülen oder Duschen zu erzeugen.

WOMIT WIRD GELADEN?

Wenn die Batterie ihre Energie abgegeben hat, gilt es, diese möglichst schnell wieder aufzufüllen. Auf Motorbooten erfolgt dies kontinuierlich, denn kaum ist das Boot vom Landstrom getrennt, wird schon durch die Maschine geladen. Von ein paar kurzen Badesstopps abgesehen, lädt ein Motorboot praktisch ununterbrochen, es sei denn, die Crew ankert über Nacht. Sobald die Maschi-

ne wieder läuft, ist auch wieder Ladestrom vorhanden, und zwar die gesamte Fahrzeit über. Ähnlich geht es dem Tagestörn-Segler. Dieser kommt jede Nacht zurück in die Marina und hat die ganze Nacht Zeit, die Batterien wieder aufzufüllen.

In beiden Fällen spielt die Geschwindigkeit des Ladevorgangs keine große Rolle; es genügt, wenn die Akkus am nächsten Morgen wieder voll sind. Wer Solarzellen, Wind- oder Schlepptgenerator im Einsatz hat, lädt ebenfalls mehr oder weniger kontinuierlich und muss sich, wie ein Motorbootfahrer oder der Marinabesucher, kaum Sorgen um die Ladegeschwindigkeit machen. Anders verhält es sich, wenn Segler auf die Licht-



Lithiumakkus (rot) nehmen fast bis zum Vollzustand allen Strom auf, den das Ladegerät hergibt. Die Ladezeit ist daher wesentlich kürzer als bei Bleiakkus vergleichbarer Kapazität; bei diesen sinkt der Ladestrom schnell ab (blau). Die letzten 20 Prozent beanspruchen 80 Prozent der Ladezeit

maschine angewiesen sind oder einen Dieselmotor benutzen. In der Regel wird man die Laufzeit dieser Motoren so kurz wie möglich halten.

DIE NUTZBARE KAPAZITÄT

Ein Bleiakku sollte nie vollständig entladen werden. Wie tief ein Akku geleert werden darf, hängt von der Konstruktion der Bleiplatten ab. Sogenannte Deep-Cycle Batteries haben dickere Bleiplatten als jene, die für den Motorstart konstruiert sind.

Auch können AGM-Akkus meist tiefer entladen werden als offene, nasse Bleizellen. Die zu erwartende Lebensdauer des Akkus ist stark davon abhängig, wie oft und tief entladen wird und ganz besonders, wie schnell die Batterie nach dem Einsatz wieder auf volle Ladung gebracht wird. Generell gilt: Je tiefer der Akku entladen wird, je häufiger der Akku tiefentladen wird und je länger es dauert, bis er wieder voll geladen wird, desto kürzer ist die Lebensdauer. Ein offener Bleiakku kann viele Jahre halten, wenn er fast nie entladen und sofort wieder aufgeladen wird, wie das Beispiel des Motorstartakkus zeigt. Auf der anderen Seite kann ein Akku binnen Wochen zerstört werden, wenn er beispielsweise unter 50 Prozent entladen wurde und länger so verbleibt.

Damit die Akkus möglichst lange halten, entnehmen vorsichtige Segler aus AGM-Akkus nie mehr als 50 Prozent der nominellen Kapazität (State of Charge von 50 Prozent oder kurz SOC 50) und aus offenen Bleiakkus nie mehr als 35 Prozent der Kapazität (SOC 75). Nachteil dabei: Die nutzbare Energie ist höchstens halb so groß wie auf dem Etikett angegeben. Sprich: Es muss viel vermeintlich unnützes Blei durch die Gegend segelt werden.

WIE LANGE DAS LADEN DAUERT

Bleiakkus lassen sich nur bis zu etwa 75 bis 80 Prozent mit einer nennenswerten Geschwindigkeit laden. Ist der Akku voller als 80 Prozent, kann der Akku keine größeren Ströme mehr aufnehmen, und die Ladegeschwindigkeit nimmt rasch ab. Leider ist beim Segeln gerade der Bereich zwischen 80 und 100 Prozent interessant, denn der Akku sollte für ein langes Leben ja möglichst vollständig geladen sein.

Aber auch bei geringerem Füllstand als 80 Prozent ist der maximale Ladestrom begrenzt. Um die Lebensdauer nicht unnötigerweise zu verkürzen, sollte nicht mit Strö-

men geladen werden, die größer als 20 Prozent der Akkukapazität sind. Ein 100 Amperestunden großer Bleiakku sollte also mit nicht mehr als 20 Ampere geladen werden, was als 0,2 C angegeben wird. Denn: je sanfter das Laden, desto länger die Lebensdauer.

Hier unterscheiden sich die Bleiakkus im Detail: Offene Bleibatterien sollten besonders langsam geladen werden, idealerweise mit nur 0,1 C, während AGM mit bis zu 0,3 C geladen werden könnten.

Das ist auch der Grund, warum Ladegeräte von Bleiakkus drei Phasen haben. Die erste Phase heißt Bulk. Hier wird mit größtmöglichem Ladestrom geladen, also bei einem 100-Amperestunden-Akku mit nicht mehr als 20 Ampere. Die Bulkphase hält bis zum Erreichen einer voreingestellten Batteriespannung an, bei AGM sind dies typischerweise 14,4 Volt, was ungefähr SOC 80 entspricht.

Dann wechselt das Ladegerät in die Absorptionsphase. Jetzt wird bei konstanter Spannung immer langsamer geladen, denn

der Ladestrom nimmt rasch ab. Die Dauer der Absorptionsphase ist vom Ladegerät vorgegeben und beträgt in der Regel viele Stunden. Wenn sie endlich abgelaufen ist, kommt das Ladegerät zu dem Schluss, dass der Akku nun endlich voll sein müsste. Es wechselt in die dritte, Float genannte, Phase. Deren Aufgabe ist es, den Akku auf seiner Wohlfühl-Spannung zu halten, beispielsweise auf 13,2 Volt.

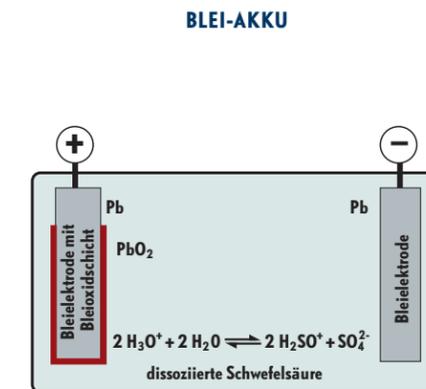
Einige besonders intelligente Ladegeräte gehen nicht nach Zeit, sondern interpretieren einen gegen Null gehenden Ladestrom als vollständig geladenen Akku und wechseln dann auf Float. Die vollständige Ladung dauert aber auch dann sehr, sehr lange.

Da am Ende so wenig geladen wird, nutzen viele vor Anker liegende Segler kaum mehr als 30 Prozent ihres Bleiakkus aus, wenn sie zwischen 50 und 80 Prozent der Kapazität und hin und her laden und entladen.

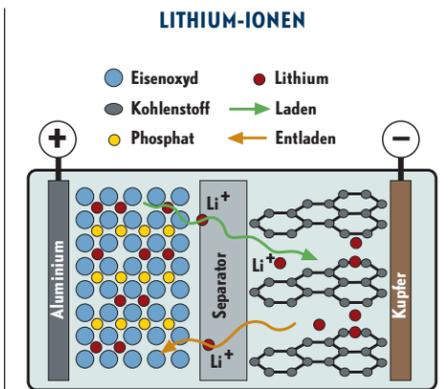
Doch genau das verkürzt die Lebensdauer des Bleiakkus, die regelmäßig vollständig geladen werden wollen. Beson- →

AKKU-CHEMIE

Bewährte Technik auf BLEI-SÄURE-BASIS oder platz- und gewichtssparende LITHIUM-AKKUS für schnelle Ladung



Der Speichervorgang basiert auf der Wandlung von Bleioxid (Anode) beziehungsweise Blei (Kathode) zu Bleisulfat beim Entladen und zurück beim Aufladen. Die Energiedichte ist gering, gute Modelle erreichen 40 Wattstunden pro Kilogramm. Nur 50 Prozent der Kapazität sollte man nutzen



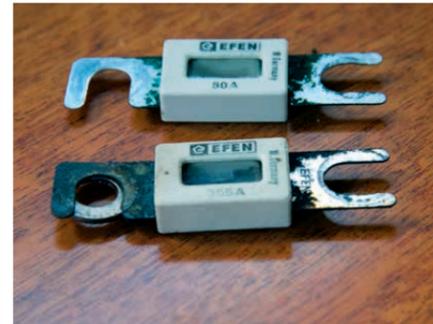
Der Speichervorgang basiert auf dem Umschichten von Lithium-Ionen zwischen positiver und negativer Elektrode. Für Yachten kommen Eisen-Phosphat-Akkus in Betracht. Energiedichte rund 88 Wattstunden pro Kilogramm, 80 bis 90 Prozent der Nennkapazität sind nutzbar



Mechanisch sind die Lithium-Eisen-Phosphat-Akkus den Blei-Typen sehr ähnlich, das macht den Austausch leicht



Schwer und langsam zu laden – Blei-Säure-Batterien sind nur noch als Starterakkus sinnvoll, dann am besten als AGM-Variante



Lithiumakkus können sehr viel höhere Ströme liefern. Korrodierte Kontakte oder zu dünne Kabel sind allerdings hochgefährlich

ders kritisch ist diese Teilladung für offene Bleiakkus. AGMs halten den halbentleerten Zustand etwas länger aus. Alle paar Wochen sollten aber auch AGM-Akkus durch Landstrom oder sehr langes Motoren wieder zu 100 Prozent voll werden.

DRIN, WAS DRAUF STEHT

Bei Lithiumakkus kann die angegebene Kapazität dagegen fast völlig ausgenutzt werden. Zwischen 80 und 90 Prozent der gespeicherten Energie kann entladen werden, ohne dass die Akkus Schaden nehmen. Lediglich die letzten 10 bis 20 Prozent sind für das in dem Akku integrierte Battery Management System (BMS) reserviert, ohne das Lithium-Eisen-Phosphat-Akku (LiFePO4) an Bord nicht eingesetzt werden sollten.

Ins Winterlager sollte man die Akkus jedoch nicht mit derart geringer Restkapazität stellen, denn sonst könnte es passieren, dass die noch verbleibende Energie unter die kritische Grenze fällt. Das BMS schaltet dann vollständig ab, und ein Aufladen ist nicht mehr ohne Weiteres möglich. Besser ist es, den Akku vor dem Winter auf 50 bis 80 Prozent zu laden. Einige Batterien sind auch mit einem speziellen Winterknopf versehen, der die Elektronik in den Tiefschlaf schickt, oder es lässt sich die Sicherung aus dem Akku entfernen, sodass der Computer des BMS während des Winters nicht angeschaltet bleibt und den Akku nicht entlädt.

Im Gegensatz zum Bleiakku schadet es dem Lithiumakku nicht, längere Zeit auf geringem Ladestand zu bleiben; im Gegenteil, er altert sogar langsamer als bei vollständiger Ladung. Immer an Landstrom gekoppelt zu sein, wie viele Blei-Akku-Segler es gewohnt sind, sollte man mit Lithiumakkus daher eher nicht; zumindest sollte das Ladegerät dabei abgeschaltet werden.

Um trotzdem mit vollen Batterien in See zu stechen, genügt es, den Lader eine Stunde von dem Auslaufen zu aktivieren, denn Lithiumakkus können in kürzester Zeit geladen werden. Während Bleiakku mit maximal 0,3 C geladen werden sollten, kann man eine LiFePO4-Batterie ohne Probleme mit einem C laden, einen 100-Ampere-Stunden-Akku also mit satten 100 Ampere Ladestrom. Zudem fließt dieser hohe Strom praktisch während des gesamten Ladevorgangs, was die Ladezeit weiter verkürzt.

Um die Vorteile voll auszunutzen, sollte das Ladegerät eine Lithiumkennlinie haben, die mit den Phasen Bulk und Float arbeitet. Steht nur ein Dreiphasen-Ladegerät zur Verfügung, so sollte die überflüssige Absorptionsphase so kurz wie möglich eingestellt werden.

GEWICHT

Beim Vergleich einer AGM-Batterie von 100 Amperestunden und eines gleich großen Lithiumakkus fällt sofort der Gewichtsunterschied auf: Eine AGM-Batterie wiegt um die 30 Kilogramm, die Lithium-Batterie dagegen nur um 14 Kilo.

Wird die Masse in Bezug zur nutzbaren Kapazität gesetzt, fällt der Unterschied noch krasser aus. Der Tagesstörn-Segler, der jeden Abend den Landstromanschluss zur Verfügung hat, kann rund 50 Prozent der Batteriekapazität bei Blei ausnutzen und kommt auf ein Gewicht von 0,6 Kilogramm je Amperestunde. Auf Langfahrt, wenn beim regelmäßigen Ankern nur zwischen 50 Prozent und 80 Prozent ge- und entladen wird, werden nur 30 Prozent der Kapazität genutzt, daraus resultiert ein Gewicht von etwa einem Kilogramm pro nutzbarer Amperestunde.

Bei Lithium sieht es anders aus: Da fast 100 Prozent der Kapazität genutzt werden

können, wiegt die Lithiumbatterie lediglich 150 Gramm pro Amperestunde.

PREISFRAGE

Der Preis von Lithiumakkus schreckt so manchen Bootsbesitzer ab. Während eine hochwertige AGM-Batterie von 100 Amperestunden knappe 300 Euro kostet, werden die gleich großen Lithiumakkus für Preise zwischen 1000 und 2000 Euro angeboten.

Um die Investition eines neuen Akkus durchzurechnen, sind die Kosten durch die nutzbaren Amperestunden zu teilen. Während die Investition einer AGM-Batterie – abhängig davon, ob man 50 oder 30 Prozent der Kapazität ausnutzt – sich auf 6 bis 10 Euro je Amperestunde beläuft, kostet die Lithiumbatterie zumindest in der teuersten Ausführung immerhin doppelt so viel, nämlich 20 Euro je Amperestunde.

Werden zusätzlich noch die Anzahl der Zyklen in Betracht gezogen, sieht das Bild vorteilhafter aus. Die Lebensdauer der AGM-Batterie wird im Datenblatt mit 400 Lade- und Entladevorgängen angegeben, bei Lithium sind es mehrere tausend Zyklen. Die Frage, für welche Entladungstiefe diese Zyklen bei AGM gelten, ist berechtigt, spielt in der Praxis aber keine so große Rolle, denn bei den meisten Segler endet das Akkuleben nicht nach Erreichen der Zyklenzahl, sondern bereits zuvor durch Sulfatierung.

Bleiakkus bestehen aus Bleiplatten und Schwefelsäure. Bleibt die Batterie über längere Zeit im teilgeladenen Zustand, so wachsen die Bleisulfatkristalle ständig größeren Verbänden zusammen, was die Kapazität der Batterie immer mehr verringert. Je tiefer die Entladung und je länger es bis zur nächsten Vollladung dauert, desto schneller schreitet die Sulfatierung voran. AGM-Batterien sind etwas unempfindlicher gegen Sul-

FOTOS: HERSTELLER (2), L. SCHULZ (O. R.)

fatierung als offene Bleiakkus. Dafür kann man bei offenen Batterien versuchen, die Kristalle durch Schockladen mit erhöhter Spannung aufzulösen; einige Ladegeräte bieten dafür spezielle Desulfatierungsprogramme. Durch diesen Prozess bildet sich Knallgas, und es geht Elektrolyt verloren, daher muss destilliertes Wasser nachgefüllt werden. Bei Gel- oder AGM-Akkus können einmal gebildete Sulfate nicht wieder rückgängig gemacht werden. Desulfatierungsprogramme dürfen bei diesen Typen nicht eingesetzt werden.

Setzt man die Lebensdauer der Bleiakkus trotz Sulfatierung mit 400 Zyklen an, so kostet jede Amperestunde 1,5 bis 2,5 Cent, während Lithium mit einem Cent pro Amperestunde und Zyklus die kostengünstigere Lösung ist. Lithiumakkus können durchaus wirtschaftlich sinnvoll sein, rentieren sich allerdings erst nach Jahren.

Wird mit Diesel geladen, kommt noch die verkürzte Ladezeit und damit verbundene Kraftstoffeinsparung hinzu – vom verminderten CO₂-Ausstoß ganz abgesehen.

DAS STROMSYSTEM

Sollen Lithiumbatterien eingebaut werden, muss das gesamte Stromkonzept an Bord überdacht werden. Neue Lithiumakkus einzubauen, um beispielsweise die Dieselzeit zu verkürzen, wird enttäuschen, wenn nicht tatsächlich die Lichtmaschine dafür ausgelegt ist, kontinuierlich hohe Ladeströme zu liefern. Ebenso verkürzt sich die Laufzeit des noch so großen 230-Volt-Dieselgenerators nicht, wenn dieser an einem Ladegerät hängt, das weit unter der Ladekapazität des Akkus liegt.

Eine zweite Hochleistungslichtmaschine an den Motor zu bauen kann deshalb sehr sinnvoll sein. Sie sollte eine Ladekennlinie für Lithiumakkus haben und auch im warmen Zustand hohe Amperezahlen liefern. Nebeneffekt: Ist eines der Ladesysteme defekt, kann mittels Umschalten oder provisorischer Verkabelung die noch funktionierende Lichtmaschine Motor- und Verbraucherakkus laden.

Schließlich sollten sämtliche Kabel an Bord, Sicherungen und Kontakte kontrolliert und gegebenenfalls erneuert werden. Denn wenn plötzlich hohe Ladeströme fließen, muss das komplette System gut aufeinander abgestimmt sein.

LEON SCHULZ

FINDEN SIE IHR E-BIKE!

Citybikes
Tiefensteiger
Trekkingbikes
Mountainbikes



JETZT IM HANDEL

Portofreie Direktbestellung (Heftpreis 6,90 €)

www.deliuss-klassing.de/e-bike-katalog | Telefon: 0521/55 99 55



AUCH DIGITAL ERHÄLTICH IN DER MYBIKE-APP

