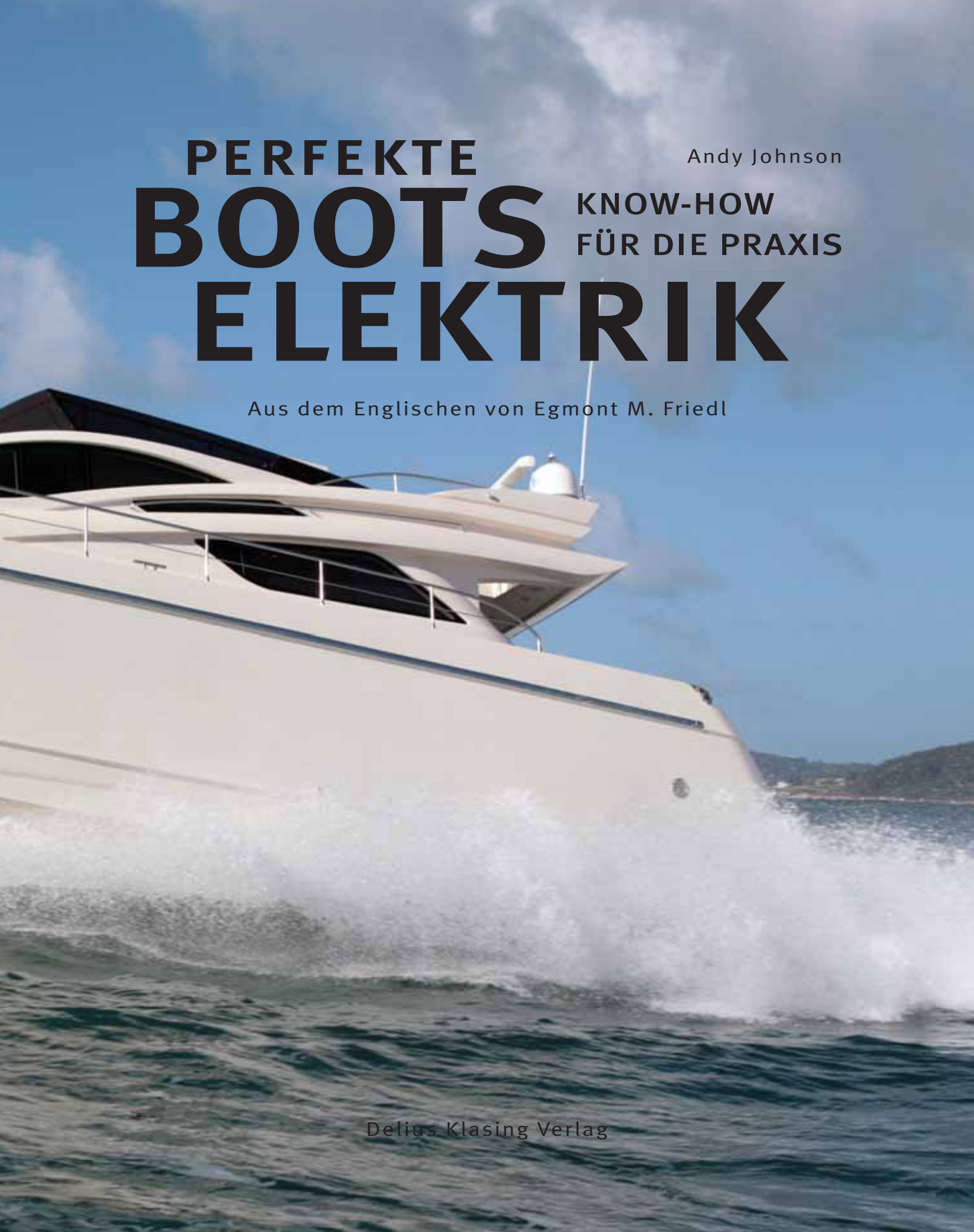
PERFEKTE BOOTS ELEKTRIK

KNOW-HOW FÜR DIE PRAXIS

Andy Johnson

DELIUS KLASING



PERFEKTE BOOTSELEKTRIK

KNOW-HOW FÜR DIE PRAXIS

Andy Johnson

Aus dem Englischen von Egmont M. Friedl

Delius Klasing Verlag

© Andy Johnson 2015, originally published by Bloomsbury Publishing UK
Die englische Originalausgabe mit dem Titel »The Boat Electrics Bible« erschien bei Adlard Coles Nautical, an imprint of Bloomsbury Publishing Plc London.

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über http://dnb.dnb.de abrufbar.

1. Auflage
ISBN 978-3-667-10684-1
Die Rechte für die deutsche Ausgabe liegen beim Verlag Delius Klasing & Co. KG, Bielefeld.

Aus dem Englischen von Egmont M. Friedl
Lektorat: Felix Wagner
Titelbild: Serg Shalimoff/shutterstock
Fotos: siehe Seite 192
Herausgeber: Judith Chamberlain-Webber, Sarah Doughty
Berater: Andrew Simpson
Layout: Kevin Knight
Einbandgestaltung: Gabriele Engel
Satz: Bernd Pettke · Digitale Dienste, Bielefeld
Printed in China 2016

Alle in diesem Buch enthaltenen Angaben und Daten wurden von dem Autor nach bestem Wissen erstellt und von ihm sowie vom Verlag mit der gebotenen Sorgfalt überprüft. Gleichwohl können wir keinerlei Gewähr oder Haftung für die Richtigkeit, Vollständigkeit und Aktualität der bereitgestellten Informationen übernehmen.

Alle Rechte vorbehalten! Ohne ausdrückliche Erlaubnis des Verlages darf das Werk weder komplett noch teilweise reproduziert, übertragen oder kopiert werden, wie z. B. manuell oder mithilfe elektronischer und mechanischer Systeme inklusive Fotokopieren, Bandaufzeichnung und Datenspeicherung.

Delius Klasing Verlag, Siekerwall 21,
D - 33602 Bielefeld
Tel.: 0521/559-0, Fax: 0521/559-115
E-Mail: info@delius-klasing.de
www.delius-klasing.de

Inhalt

Willkommen bei »Perfekte Bootselektrik« **8**

Die Grundlagen **10**

Was ist Elektrizität? 12
Volt, Ampere, Watt und Ohm 14
Die wichtigsten Formeln und Gesetze 16
Gleich- und Wechselstrom 18

Werkzeuge und Messinstrumente **20**

Werkzeuge für die Bordelektrik 22
Sicherheit geht vor 24
Das Multimeter 26
Messung von Spannung und Stromstärke 28
Messung größerer Stromstärken 30
Durchgang, Widerstand und Diodenprüfung 32
Fehlersuche in Niedervolt-Anlagen 34

Batterien **36**

Batterie-Grundwissen 38
Batteriearten 40
Spezifikation, Überprüfung und Wartung 42
Batterien laden 44
Wie viele Batterien? 46
Batteriekapazität an Bord erhöhen 48

Auf die Verbindung kommt es an **50**

Kabelart und Kabelquerschnitt 52
Verbindungen und Verbinder 54
Dünne Kabel verbinden 56

Strom-Management **58**

Lichtmaschinen 60
Pflege, Wartung und Fehlersuche 62
Bemessung und Umrüstung 64
Intelligente Ladetechnik 66
Strom aus Wind und Wasser 68
Solarpaneele 70
Installation von Ladegeräten 72
Brennstoffzellen 74
Gleichspannungswandler 76
Regler für mehrere Stromquellen 78
Batterie- und Ladestrom überwachen 80
Batterieanzeige und -überwachung 82
Stromverbrauch reduzieren 84

Das Gleichstrom-Bordnetz 86

Batterie-Hauptschalter 88
Batterieschaltungen 90
Einbau eines Spannungsrelais 92
Schalttafel oder Stromkreisverteiler 94
Sicherungen 96
Das Bordnetz erweitern 98
Fest installierte Volt- und Amperemeter 100
Datenaufzeichnung 102
Motorelektrik 104
Motorüberwachung 106
Überwachung der Motordaten – Setup und Kalibrierung 108
Anlasser 110
Elektronische Bordnetzsysteme (Bus) 112

Wechselstrom an Bord 114

Landstrom 116
Installation an Bord 118
Schutzeinrichtungen 120
Schutzerdung 122
Galvanische und elektrolytische Korrosion 124
Einbau eines galvanischen Isolators 126
Wechselrichter 128
Generatoren 132

Netzwerke 136

Bord-Netzwerke mit NMEA 0183 138
Vernetzung verschiedener Geräte 140
Multiplexer und Umwandler 142

Bord-Netzwerke mit NMEA 2000 144
Hochgeschwindigkeit-Netzwerke 146
Verwertung weiterer Daten 148
Unterschiedliche Netzwerke verbinden 150

Einbauarbeiten an Bord 152

AIS-Installation 154
Radar 156
NAVTEX und SSB-Empfänger 158
Amperemeter mit Halleffekt-Sensor 160
Blitzschutz 164
Unterwasserleuchten 166
Mastelektrik aufrüsten 170

Anhang 172

1 Bestimmung des Kabelquerschnitts 172
2 Bestimmung des Energieverbrauchs 174
3 Batterien und Batterieschalter 176
4 Motorelektrik 180
5 NMEA-Datensätze 182

Glossar 184

Register 188

Fotonachweis und Danksagung 192

Willkommen bei »Perfekte Bootselektrik«

Wer noch nie Arbeiten an der Bordelektrik durchgeführt hat oder vor den ersten Schritten zögert, dem hilft dieses Buch, Schalter, Kabel, Sicherungen und andere Bestandteile der batteriegespeisten elektrischen Ausrüstung an Bord besser zu verstehen. Wo nötig, erlauben die ausführlichen Erklärungen einen tieferen Einblick in die Arbeitsweise des Bordnetzes.

Viele Bootsbesitzer zögern, bei Problemen an der Elektrik selbst Hand anzulegen. Einfaches Grundwissen genügt jedoch, um die meisten Arbeiten am batteriegespeisten Niedervolt-Stromnetz, wie man es üblicherweise an Bord vorfindet, auszuführen.

Viele komplizierte Werkzeuge oder Spezialausrüstung sind nicht erforderlich. Eine einfache Grundausstattung inklusive eines Multimeters sollte genügen. Das Hauptaugenmerk richtet sich einerseits darauf, wie neue Ausrüstungsteile eingebaut werden, und andererseits darauf, wie Fehler im Bordnetz aufgespürt und behoben werden können.

Schalttafeln können verschiedenste Formen haben. Sie bestehen im Grunde aus Schaltern und Kontrollleuchten, über die der Strom zu den einzelnen Geräten verteilt wird. Oft sind auch die Sicherungen im Schaltpaneel integriert.

Die Sicherheit steht immer an erster Stelle, und alle Arbeiten an einem Boot bergen potenzielle Gefahren. Das Niedervolt-Stromnetz an Bord (12 und 24 Volt) ist im Prinzip ungefährlich, doch Sorgfalt ist nötig, denn die Batterien speichern beachtlich viel Energie. Auf Wechselstrom an Bord wird ebenfalls eingegangen, doch werden die Arbeiten an der höheren Netzspannung nicht gleichermaßen detailliert gezeigt.

Die nötigen Voraussetzungen

Größen wie Spannung, Stromstärke, Widerstand und Leistung sind verantwortlich für das Funktionieren des Bordnetzes, denn:

- Bei zu geringer Bordspannung können die angeschlossenen Geräte nicht einwandfrei arbeiten.
- Der richtige Kabelquerschnitt und die korrekten Sicherungen zum Schutz der Kabel und Geräte richten sich nach dem Stromverbrauch der Ausrüstung.
- Der Arbeitsstrom einzelner Geräte kann entweder durch Messung bestimmt oder den Angaben auf dem Gerät bzw. der Gebrauchsanweisung entnommen werden.

Ein Multimeter ist überaus nützlich. Mit ihm können Spannung und Stromstärke sowie Durchgang und Widerstand gemessen werden. Ohne dieses Werkzeug ist die Möglichkeit am Bordnetz zu arbeiten oder Fehler zu finden stark eingeschränkt.

Das gesamte Niedervolt-Stromnetz hängt von den Batterien ab, sodass eine fundierte Kenntnis über die unterschiedlichen Batteriearten, deren Arbeitsweise und die Größe der benötigten Batteriebank vonnöten ist. Es handelt sich zwar um wartungsarme Ausrüstungsgegenstände, aber die Einsatzart und die Art der Aufladung haben Auswirkungen auf die Leistung und die Lebensdauer einer Batterie.

Von den Batterien wird der Strom über einzelne Schaltkreise zu den vielen elektrischen Geräten an Bord geleitet. Zwischen den Batterien

Die Batterien bilden das Herzstück des Bordnetzes. Hier ist die gesamte Energie gespeichert und stets abrufbereit.

und den Verbrauchern befinden sich Schalter, Sicherungen, Verteiler, Kontrollleuchten und natürlich viele Meter Kabel.

Zum Laden der Batterien steht unter Umständen nur eine einzige Stromquelle zur Verfügung, nämlich der Motor, genauer gesagt die Lichtmaschine am Motor. Verfügt man jedoch über eine größere Auswahl an Stromquellen, wie Landstrom, Wind- bzw. Wassergeneratoren oder Solaranlagen, so ist es wichtig, über die Abstimmung und die Laderegelung dieser unterschiedlichen Quellen Bescheid zu wissen, um die Funktion des Bordnetzes zu verbessern.

Elektronik und Instrumente

Heutzutage ist die Vernetzung der einzelnen Geräte, wie Radar, AIS und andere Navigations- und Überwachungsinstrumente, ein grundlegender Teil der Schiffsführung. Um mit den unterschiedlichen Netzwerken, besonders NMEA 0183 und NMEA 2000 oder den proprietären Netzwerken der Hersteller, das bestmögliche Ergebnis zu erzielen, ist es wichtig, sich sowohl mit der Theorie als auch mit der praktischen Anwendung zu befassen. Instrumente unterschiedlicher Hersteller können mit beiden Netzwerken, entweder einzeln oder simultan, verbunden werden.

Sobald man mit den Konzepten vertraut ist und weiß, was man selbst an Bord haben möchte, wird das Niedervolt-Bordnetz keine größere Schwierigkeit mehr darstellen.

Kabelscheren und Seitenschneider sind in verschiedenen Größen für alle Kabeldurchmesser erhältlich.

Mit einer Crimpzange werden unterschiedliche Verbinder und Kabelschuhe verpresst.

Nach dem Abschneiden des Kabels wird das Ende mit einer automatischen Abisolierzange von der Plastikummantelung befreit, ohne den Leiter zu beschädigen.

Verbinder, Stecker und Kabelschuhe sind in allen Abmessungen erhältlich, ebenso Kabelbinder für die Befestigung der Kabel (oben).

Windgeneratoren sind eine beliebte Stromquelle, um beim Laden der Batterien zu helfen (links).

Fehlersuche in Niedervolt-Anlagen

Bei der Fehlersuche geht man nach dem Ausschlussverfahren vor. Man kann stundenlang über einem unerklärlichen Phänomen brüten, aber mit methodischem Vorgehen sollte der Fehler entdeckt und eine Lösung gefunden werden.

Ein elektrisches Gerät kann gar nicht mehr funktionieren oder nur noch mit Unterbrechungen arbeiten. Da jedes elektrische Gerät auf eine Stromversorgung angewiesen ist, macht es Sinn, diese zuerst zu überprüfen. Am besten misst man zunächst die Batteriespannung, um sie mit der Spannung an anderen Stellen im Bordnetz zu vergleichen.

Ein Schaltplan kann sehr nützlich sein, – bei manchen Booten muss man selbst einen Schaltplan erstellen. Jeder Verbraucher, von der Glühbirne bis zu einem Multifunktionsdisplay, kann auf gleiche Art als Box mit einem positiven und einem negativen Anschlusskabel betrachtet werden.

Es funktioniert einfach nicht

Funktioniert ein Gerät nicht mehr, ist entweder das Gerät selbst kaputt oder die Stromversorgung unterbrochen. Überprüfen Sie zunächst die naheliegenden Ursachen: Ist die Glühbirne durchgebrannt, hat sich ein Kabel abgelöst oder ist die Sicherung durchgebrannt? Liegt es nicht daran, ist der nächste Schritt, die Stromversorgung zu überprüfen.

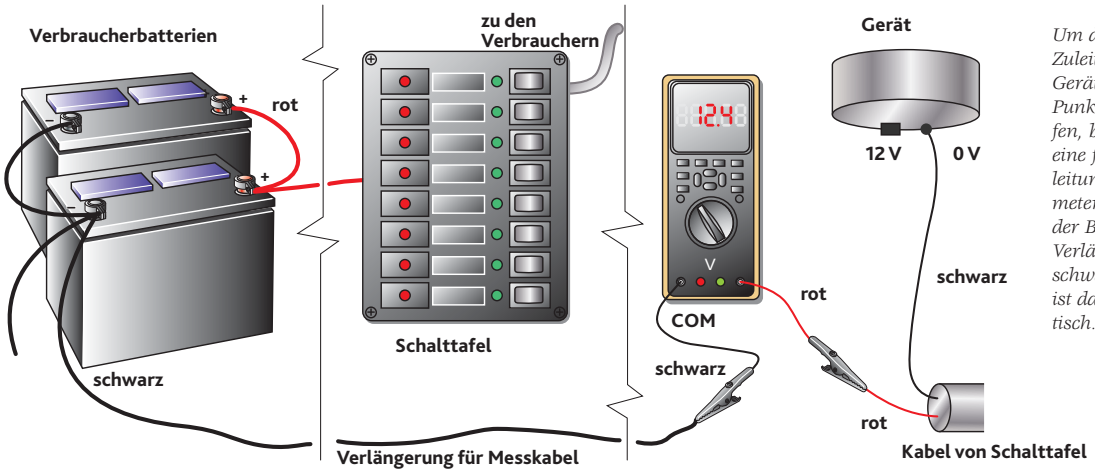
- Schalten Sie die Stromversorgung wie üblich ein, und achten Sie auf Brand- oder Hitzespuren an Kabeln und Verbindungen, die sich durch Verfärbung oder Brandgeruch bemerkbar machen können. Fühlen Sie an den Verbindungen, ob dort Hitze entsteht.
- Liegt am Gerät keine Spannung an, kann der Fehler in der Plus- oder Minusleitung des Stromkreises liegen.

Überprüfung der Plusleitung

Um die positive Leitung einzeln zu überprüfen, muss das Pluskabel am Gerät abgeklemmt werden. Dann misst man die Spannung zwischen diesem Kabel und dem Minuspol der Batterie (0 V) mithilfe eines Verlängerungskabels. Legt man die Messleitung mit dem Verlängerungskabel bis zum Minuspol der Batterie zurück, vermeidet man, dass der Strom über irgendeine andere Masseleitung (0 V) fließen und die Messung beeinflussen kann.

Stellen Sie das Multimeter auf den passenden Messbereich für Gleichspannung, und verbinden Sie das schwarze Messkabel aus der COM-Buchse mit dem Verlängerungskabel, das an seinem anderen Ende mit dem Minuspol der Batterie verbunden ist. Dann wird das rote Messkabel mit dem Pluskabel verbunden, um die Spannung zu messen. Diese sollte gleich groß sein wie die Spannung direkt an der Batterie, die man zuvor bereits gemessen hat.

Arbeitet ein Verbraucher nicht, kann es an einer fehlerhaften Minusleitung liegen. Lösen Sie die Minusleitung vom Schalter, und prüfen Sie sie mit dem Verlängerungskabel auf Durchgang bis zurück zum Minuspol (–) der Batterie.



Um die positive Zuleitung zu einem Gerät an mehreren Punkten zu überprüfen, benötigt man eine fehlerfreie Rückleitung vom Multimeter zum Minuspol der Batterie. Eine Verlängerung für das schwarze Messkabel ist dafür sehr praktisch.

Sicherungen, Zu- und Rückleitungen

- Liegt bei dem zuvor beschriebenen Test keine Spannung am Ende des Pluskabels beim Gerät an, wird als nächstes die Zuleitung zur Schalttafel überprüft. Das schwarze Messkabel bleibt wie zuvor an Masse (0 V), und mit dem roten Messkabel prüft man am Schalter und an der Sicherung. Liegt dort Spannung an, liegt der Fehler am Kabel.
- Um die Rückleitung, das Minuskabel, zu überprüfen, muss es am Gerät abgeklemmt werden. Dann kann es auf Durchgang bis zurück zum Minuspol der Batterie getestet werden. Ist das Kabel in Ordnung, richtet sich der Verdacht zunehmend auf das Gerät selbst.
- Sicherungen brennen nicht ohne Grund durch. Deshalb muss die Ursache aufgespürt werden. Oft ist es ein Fehler im Gerät oder ein abgenutztes Kabel.

Geräte lassen sich nicht einschalten

Durch Spannungsverluste in der Verkabelung kann zu wenig Spannung am Gerät ankommen, um es einzuschalten. Bei einer Glühlampe führt weniger Spannung lediglich dazu, dass sie weniger hell leuchtet, aber einige Geräte können bei zu geringer Spannung nur unterbrochen arbeiten oder aus dem Stand-by-Modus nicht hochfahren.

Messen Sie zunächst die Spannung am Schalter des Geräts, während es ausgeschaltet ist, dann, während Sie es einschalten und laufen lassen. Verluste in den Leitungen führen zu einer verminderten Spannung an den Anschlüssen des Geräts.

Spannungsverluste messen

Bei einem abgeschalteten Verbraucher ist die positive Spannung am Schalter gleich der Batteriespannung von 13,52 V.

Sobald der Verbraucher eingeschaltet wird und einige Ampere Strom zieht, sinkt die Spannung um 0,5 V. Dieser Verlust entsteht durch einen Widerstand irgendwo im Stromkreis. Bei einem größeren Verlust sollte man der Sache auf den Grund gehen.

Tipp

Ein dünnes Kabel, etwa so lang wie das Boot, mit Krokodilklemmen an den Enden, kann als Verlängerung für das Multimeter dienen. Damit kann man einerseits Spannungsverluste in der Zuleitung zu weit von der Batterie entfernt installierten Geräten messen und andererseits lange Kabel auf Durchgang testen.

Wie viele Batterien?

Die Energiebilanz zwischen Ladung und Verbrauch an Bord muss langfristig ausgeglichen sein. Die Batterien speichern die Energie an Bord und müssen die elektrische Ausrüstung über die Zeitspanne zwischen den Lademöglichkeiten hinweg versorgen. Die nötige Batteriekapazität, und damit die Anzahl und Art der Batterien, richtet sich nach dem Umfang der elektrischen Ausrüstung und der Dauer, in der die jeweiligen Geräte üblicherweise eingeschaltet sind.

Eine detaillierte Auflistung aller elektrischen Verbraucher an Bord mit den üblichen Betriebszeiten der Geräte hilft bei der Feststellung, ob die vorhandene Batteriekapazität für den geplanten Einsatz des Bootes ausreicht. Ändert sich die Einsatzart, weil zum Beispiel statt der bisherigen Wochenendtörns nun größere Fahrten geplant sind, kann mithilfe des errechneten Verbrauchs überprüft werden, ob die Batteriekapazität erweitert werden muss.

Verbrauchsrechnung

Erstellen Sie eine Liste aller elektrischen Geräte an Bord, und tragen sie den jeweiligen Stromverbrauch in Ampere sowie die zu erwartenden Betriebsstunden pro Tag ein. Multiplizierten Sie den Stromverbrauch in Ampere mit der Betriebszeit in Stunden, um den Verbrauch in Amperestunden (Ah) für jedes einzelne Gerät zu erhalten. Addieren Sie den Verbrauch aller Geräte pro Tag und vergleichen Sie diesen Wert mit der Kapazität der Batterie, die ebenfalls in Amperestunden gemessen wird. Die Tabelle im Anhang auf Seite 174 zeigt ein typisches Rechenbeispiel.

Tatsächlich benötigte Batteriekapazität

Mit dem errechneten täglichen Verbrauch weiß man, wie viele Amperestunden der Batterie innerhalb von 24 Stunden entnommen werden. Zum Schutz der Batterien darf aber nur ein gewisser Prozentsatz der Nennkapazität verbraucht werden, bevor sie wieder aufgeladen wird. Deshalb gilt:

- Bei Booten mit nur einer Batteriebank für Verbraucher und Motorstart sollte nicht mehr als 40 % der zur Verfügung stehenden Kapazität entnommen werden, sodass zur Sicherheit immer 10 % Reserve übrig sind, um jederzeit den Motor starten zu können.
- Bei Booten mit einer separaten Starterbatterie können die Verbraucherbatterien bis auf 50 % ihrer Kapazität entladen werden, da der Motorstart abgesichert ist.
- Bei Standard-Lichtmaschinen muss man einkalkulieren, dass sie die Batterien nur auf ungefähr 80 % ihrer Kapazität aufladen können. Bei Verwendung eines intelligenten Ladereglers für die Lichtmaschine kann dieser Wert auf mindesten 95 % erhöht werden.
- Weitere 10 % Verlust sollten eingerechnet werden, da die Batteriekapazität mit dem Alter der Batterien abnimmt.

Die benötigte Batteriekapazität hängt allein von der Verwendungsart des Bootes ab. Hier sorgt eine riesige Batteriebank dafür, dass sogar 230-V-Netzstrom mithilfe eines Wechselrichters an Bord jederzeit zur Verfügung steht.

Arbeitsbeispiel

Aus der Verbrauchsrechnung im Anhang auf Seite 174 ergibt sich ein täglicher Verbrauch von 70 Ah. Die benötigte Gesamtkapazität, um die Batterien nicht unterhalb von 50 % ihrer Kapazität zu entladen, kann nun wie folgt berechnet und je nach Ausführung an Bord weiter angepasst werden:

$$C = \frac{Ah}{D}$$

C = Benötigte Batteriekapazität
Ah = Täglicher Verbrauch
D = Prozentsatz der Nennkapazität, der maximal entnommen werden darf, geteilt durch 100

- Bei 70 Ah täglichem Verbrauch und einer einzigen Batteriebank – das heißt maximal 40 % dürfen entnommen werden – ergibt sich eine benötigte Batteriekapazität von 70 : 0,4 = 175 Ah.
- Bei Verwendung einer Standard-Lichtmaschine stellen die 175 Ah wegen der begrenzten Ladefähigkeit nur 80 % der benötigten Kapazität dar. Die benötigte Kapazität erhöht sich somit auf 175 : 0,8 = 219 Ah.
- Rechnen Sie noch 10 % Verlust durch Alterung der Batterien hinzu, 219 x 1,1 = 241 Ah.

Aus diesem Beispiel ergibt sich, dass eine Nennkapazität von ungefähr 240 Ah nötig ist, um täglich 70 Ah verbrauchen zu können, ohne dass die Batterien um mehr als 40 % ihrer Kapazität entladen werden. Das könnte mit zwei parallel geschalteten 120-Ah-Batterien gewährleistet werden. Um die Energiebalance aufrecht zu halten, muss die Maschine jeden Tag so lange laufen, bis der Verbrauch ausgeglichen ist.

Kurz gefasst: Die maximal akzeptable Entladung in Prozent, die Einschränkung beim Laden mit einer Standard-Lichtmaschine und die Verluste durch Alterung müssen eingerechnet werden.

Bugstrahlruder verbrauchen extrem viel Energie und benötigen unter Umständen eine eigene Batteriebank mit eigener Ladevorrichtung. Wegen der hohen Stromstärken und der damit verbundenen starken Hitzeentwicklung gibt es oft eine zeitliche Begrenzung wie lang ein Bugstrahlruder laufen kann, bevor es abkühlen muss.

Zuerst muss der tägliche Verbrauch ermittelt werden, dann kann die Größe der Batteriebank bestimmt werden.

Elektrische Ankerwinden ziehen ebenfalls sehr viel Strom, wenngleich nicht so viel wie Bugstrahlruder.

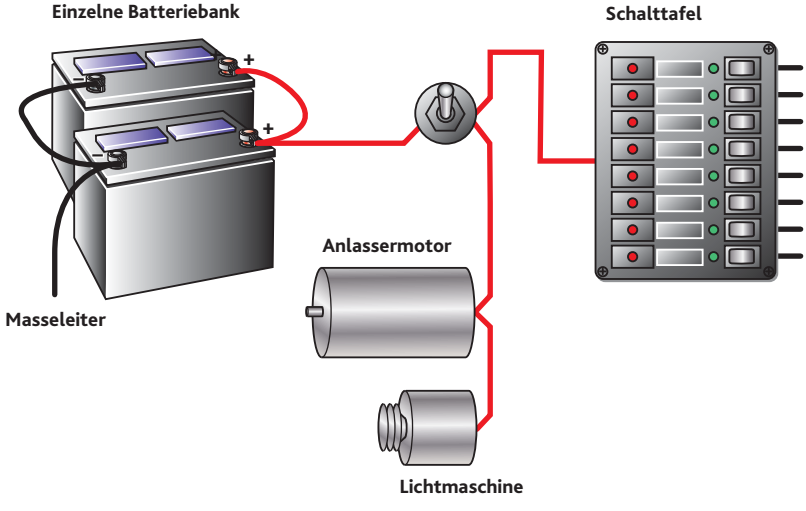
	Segelyacht 10,3 m			Segelyacht 11 m			Segelyacht 11,4 m			Segelyacht 10,7m		
	Hallberg Rassy 34			Hallberg Rassy 36			JeanneauS/Odd 37			Moody 35		
Einsatzart	Charter			Charter			Ausbildung /Charter			Charter		
Bordspannung	12,5V			12,5 V			12,5 V			12,5V		
Kapazität Verbraucherbatterien	180 Ah			160 Ah			120 Ah			100 Ah		
Dieseltank, Volumen in Litern	155 L			345 L			136 L			186 L		
	A	h	Wh / Tag	A	h	Wh / Tag	A	h	Wh / Tag	A	h	Wh / Tag
Solarpaneele			0			0			0			0
Windgenerator			0			0			0			0
Generator			0			0			0			0
Schleppgenerator			0			0			0			0
Brennstoffzelle			0			0			0			0
Lichtmaschine (Hauptmotor)	20	4	1000	30	3	1125	20	5	1250	20	4	1000
Ladegerät, Landstrom			0			0			0			0
Ladevermögen pro Tag			1000			1125			1250			1000
Täglicher Verbrauch (Berechnung s. unten)			1228			1443			1550			1230
Energiebalance in Ah		-18	Ah		-25	Ah		-32	Ah		-18	Ah
Verbraucher	A	h	Wh / Tag	A	h	Wh / Tag	A	h	Wh / Tag	A	h	Wh / Tag
Navigation												
Multifunktionsdisplay	1	4	50	1	4	50	1.2	4	60	1 .8	4	90
Tochteranzeigen			0			0	0.8	3	30			0
Radar	2,5	3	94	2,5	3	94	2,5	3	94	2,5	3	94
Fishfinder			0			0			0			0
AIS			0			0			0			0

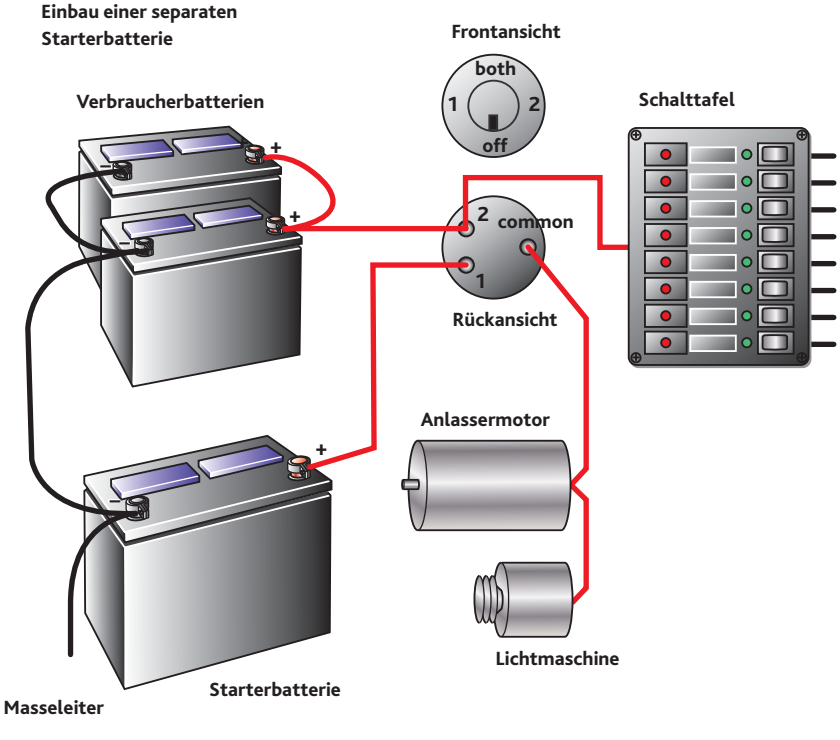
Batteriekapazität an Bord erhöhen

Wird das Bordnetz um ein zusätzliches Gerät erweitert, steigt der tägliche Stromverbrauch. Dies kann wiederum zur Folge haben, dass die Batteriekapazität nicht mehr ausreicht. Der Einbau erfordert in der Regel neben einer Aussparung für das Gerät, Kabeln und Schaltern auch einen höheren Ladestrom als Konsequenz des gestiegenen Energiebedarfs. Unter Umständen ist eine leistungsstärkere Lichtmaschine nötig, doch ist die Ausführung von der Einsatzart des Bootes abhängig.

Separate Starterbatterie einbauen

- Um die Kapazität einer einzigen Batteriebank zu erhöhen, ist es unter Umständen einfacher das Bordnetz um eine separate Starterbatterie zu erweitern, als eine zusätzliche Verbraucherbatterie anzuschließen.
- Bei der Neuberechnung der Batteriekapazität kann dann von einer maximalen Entladung der Verbraucherbatterie auf bis zu 50 % statt 40 % der Nennkapazität ausgegangen werden. In dem Beispiel auf Seite 47 steigt die verfügbare Kapazität somit auf 87 Ah.
- Die neue Starterbatterie muss an die Lichtmaschine und den Batterieschalter angeschlossen werden. Die Schaltung muss eventuell so geändert werden, dass die Verbraucherbatterie isoliert werden kann, aber dazu sind zum Glück nur einige Kabel nötig.
- Die zusätzliche Batterie muss sicher in einem neuen Batteriekasten befestigt werden, der sich nicht in der Nähe des Kraftstofftanks, der Filter oder Kraftstoffleitungen befinden darf. Eine Abdeckung mit Belüftung verhindert, dass Gegenstände in Kontakt zu den Batteriepolen kommen können.





Kapazität der Verbraucherbatterien erhöhen

Das kann entweder durch zusätzliche Batterien, andere Batterie-

typen, bessere Ladeverfahren oder eine Kombination dieser drei Faktoren erreicht werden.

- Der Einbau einer zusätzlichen Batterie des gleichen Typs erfordert eine neue Batteriebox und einige wenige neue Kabel, führt aber zu 50 % mehr Kapazität, wenn man die Batteriebank von zwei auf drei Batterien erweitert.
- Der Umstieg auf einen leistungsstärkeren Batterietyp, ohne die Anzahl der Batterien zu erhöhen, kann zu einer vergleichbaren Steigerung der Kapazität führen. Vorausgesetzt, die neuen Batterien passen in die vorhandenen Batteriekästen, kann sich der höhere Anschaffungspreis von AGM-Batterien lohnen, da im Gegenzug keine neuen Kabeln oder Schalter nötig sein sollten.
- Die vorhandene Batteriekapazität kann um bis zu 20 % durch Umstieg auf einen intelligenten Mehr-Stufen-Laderegler erhöht werden, mit dem die Lichtmaschine die Batterien auf annähernd 100 % laden kann.

12-V-Deep-Cycle-Batterien

Nennkapazität Ah	Kaltstartstrom in A bei –18 °C	Startstrom in A bei 0 °C	Übliche Maße in mm L x B x H
Blei-Säure-Batterie, nass			
110		650	348 x 173 x 228
135		900	345 x 175 x 275
Wartungsfrei verschlossene Batterie			
125	900		330 x 175 x 242
180	950		513 x 220 x 225
AGM-Batterie			
145			341 x 173 x 309
230	1300		513 x 273 x 242
260			521 x 269 x 224
Gelbatterie			
120	950		408 x 175 x 209

Auswirkung auf das Ladeverfahren

Wie sich die erhöhte Batteriekapazität auf das Ladeverfahren auswirkt, hängt von der Einsatzart des Bootes ab. Mit dem herkömmlichen Ladeverfahren dauert es lediglich länger, bis die Batterien aufgeladen sind. Steht jedoch diese zusätzliche Zeit nicht zur Verfügung, muss der Ladestrom erhöht werden.

Eine einfache Lösung besteht darin, eine leistungsstärkere Lichtmaschine einzubauen, die in der Regel problemlos an die vorhandene Aufnahme am Motor montiert werden kann. Nur beim Anschlusskabel muss man wegen der größeren Stromstärke einen größeren Querschnitt wählen. Als Faustregel für den maximalen Ladestrom gelten 20 % der Nennkapazität bei Blei-Säure-Batterien; bei AGM-Batterien kann der Ladestrom jedoch noch wesentlich höher sein.

Oft kann mit dem Umstieg auf einen hochwertigeren Batterietyp die gewünschte Kapazitätssteigerung erzielt werden, ohne dabei die Anzahl der Batterien zu erhöhen. AGM-Batterien haben zudem den Vorteil, wesentlich höheren Ladestrom zu tolerieren; Gelbatterien dagegen, dass man sie tiefer entladen kann.

Das ist die Rückansicht eines typischen Batterie-Trennschalters mit vier Schalterstellungen für Bordnetze, die aus zwei Batteriebänken gespeist werden. Die Abbildung links zeigt wie der Ladestrom der jeweiligen Batteriebank zugewiesen werden kann (oben und links).

Mit der leistungsstärkeren Ausführung (130 A) einer Standard-Lichtmaschine können die Batterien auch nach Erhöhung der Gesamtkapazität in ungefähr gleicher Zeit geladen werden.

Batterieschaltungen

Mit den Batterieschaltern wird der Ladestrom an die Batterien geleitet. Bei einer einzigen Batteriebank ist das ein simpler Vorgang, aber bereits bei zwei Batteriebänken kann die Reihenfolge der Aufladung eine wichtige Rolle spielen. Die zweite Aufgabe der Batterieschalter ist es, eine versehentliche Entladung der Starterbatterie zu verhindern.

Die einfachste Batterieschaltung besteht darin, zwei oder drei Batterien parallel zu schalten und mit einem Batterie-Hauptschalter mit nur einer ON- und OFF-Position vom Stromnetz zu trennen, wenn man nicht an Bord ist. Da alle Verbraucher von dieser einen Batteriebank versorgt werden, muss man aufpassen, sie nicht mehr als 40 % zu entladen, da auch der Motor von diesen Batterien gestartet werden muss.

Die Lichtmaschine, das Ladegerät und der Strom aus Solarzellen oder Windgeneratoren führt zu den Pluspolen der Batterien. Bei einem über die Stromstärke gesteuerten Batteriemanagement kann der Shunt in die Minusleitung eingesetzt werden.

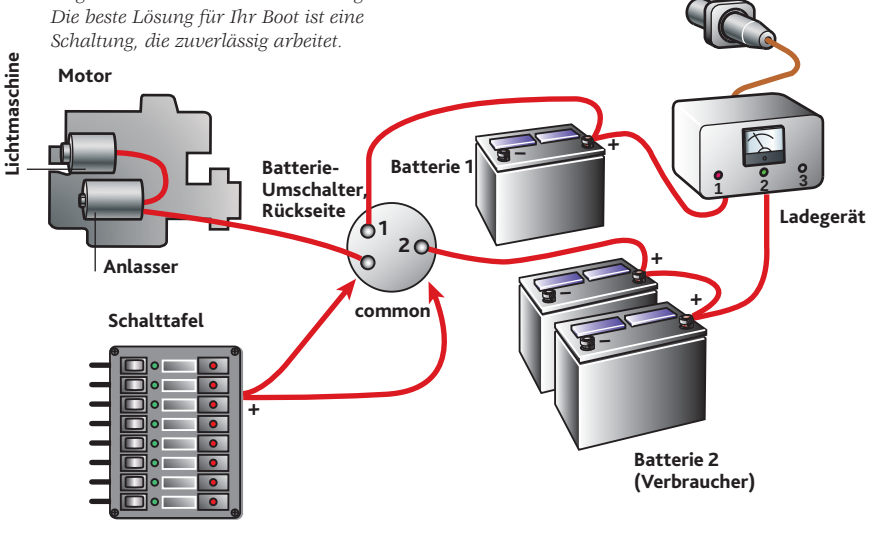
Sobald man eine Batterie nur für den Motorstart verwendet (Batterie 1) und sie deshalb von den Verbraucherbatterien (Batterie 2) trennt, benötigt man eine Batterieschaltung, die zwei Aufgaben erfüllen muss:

- Der Ladestrom der Lichtmaschine muss zur Starterbatterie geleitet werden. Nach 10–15 Minuten können die Verbraucherbatterien dazugeschaltet werden, um ebenfalls aufgeladen zu werden. Die stärker entladene Batterie bekommt dabei den Großteil des Ladestroms der Lichtmaschine ab.
- Wird der Motor gestoppt, müssen die zwei Batteriebänke erneut getrennt werden. Dadurch wird sichergestellt, dass die Verbraucher nur von der Verbraucherbatterie (Batterie 2) versorgt werden. Die Starterbatterie bleibt für den Motorstart auf voller Kapazität.

Diese Batterieschaltung kann auf drei unterschiedliche Arten ausgeführt werden:

- Mit einem manuellen Schalter, der die Positionen »OFF«, »Batterie 1«, »Batterie 2« und »BOTH« hat. Der gebräuchlichste Typ ist der bekannte Batterie-Umschalter mit dem Drehknauf. Wählen Sie »Batterie 1«, um den Motor zu starten, und »Batterie 2«, wenn der Motor nicht läuft. Die gleiche Funktionalität kann aber auch mit zwei Batterie-Trennschaltern mit nur ON- und OFF-Positionen erreicht werden.
- Mit zwei Batterie-Trenndioden oder einem Ladestromverteiler, der den Ladestrom automatisch an beide Batteriebänke leitet und einen rückläufigen Stromfluss ausschließt, der zur Entladung der Starterbatterie führen würde, wenn der Motor nicht läuft. Diese Lösung ist nicht ideal, da die Starterbatterie nicht vorrangig geladen wird, gilt aber allgemein als akzeptabel und hat den Vorteil, völlig automatisch zu arbeiten. Bei herkömmlichen Trenndioden muss der Spannungsabfall berücksichtigt werden, entweder durch einen in die Lichtmaschine eingebauten Laderegler mit Spannungssensor oder durch einen externen Hochleistungs- oder intelligenten Regler, der ebenfalls die Spannung überwacht.
- Mit einem einzigen Spannungsrelais, das die Trenndioden ersetzt. Spannungsrelais haben nahezu keinen Spannungsabfall, sodass der Laderegler der Lichtmaschine nicht geändert werden muss. Die Spannung der Starterbatterie wird überwacht und erst wenn 13,3 V erreicht sind, werden die Verbraucherbatterien zum Ladestrom zugeschaltet. Oft sind Spannungsrelais mit einem manuellen Schalter ausgestattet, der es erlaubt, den Motor bei Bedarf über die Verbraucherbatterien oder über beide Batteriebänke zu starten.

Es gibt keine ideale Batterieschaltung. Die beste Lösung für Ihr Boot ist eine Schaltung, die zuverlässig arbeitet.

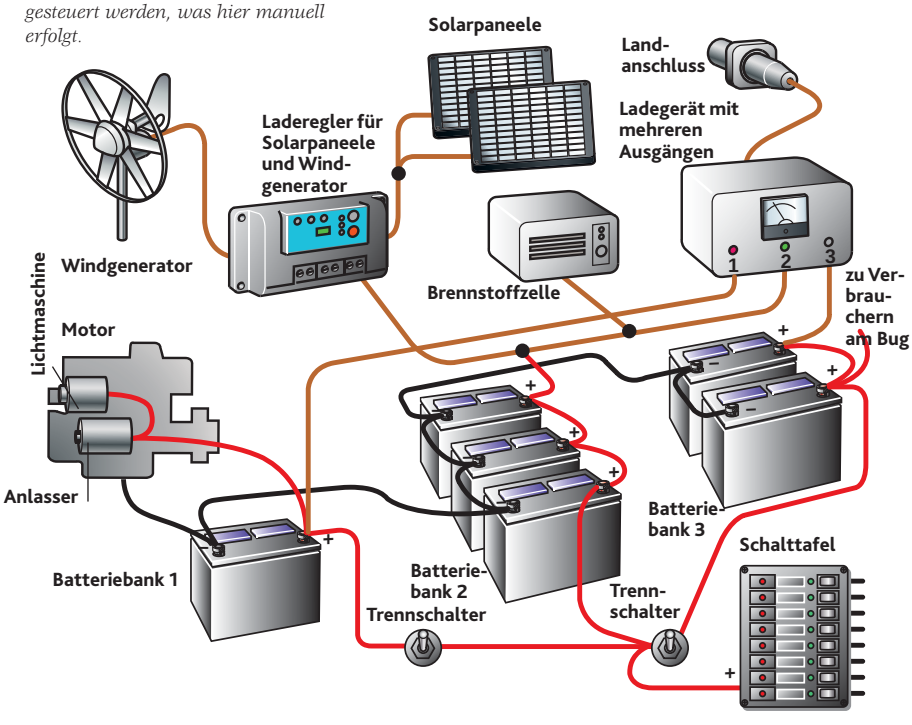


Mit Einbau einer dritten Batteriebank muss die Schaltung erweitert werden. Das Funktionsprinzip bleibt jedoch gleich. Die gebräuchlichste Anordnung ist:

- Batteriebank 1 besteht aus einer einzelnen Batterie zum Starten des Motors (und eines Dieselgenerators).
- Batteriebank 2 besteht aus zwei oder drei Batterien und versorgt alle üblichen Verbraucher über die Schalttafel.
- Batteriebank 3 besteht aus einer oder zwei Batterien für spezielle Verbraucher, wie Bugstrahlruder oder elektrische Ankerwinsch, mit sehr hohem Stromverbrauch. Diese Verbraucher arbeiten wegen des hohen Strombedarfs üblicherweise, aber nicht nur, wenn der Motor läuft.

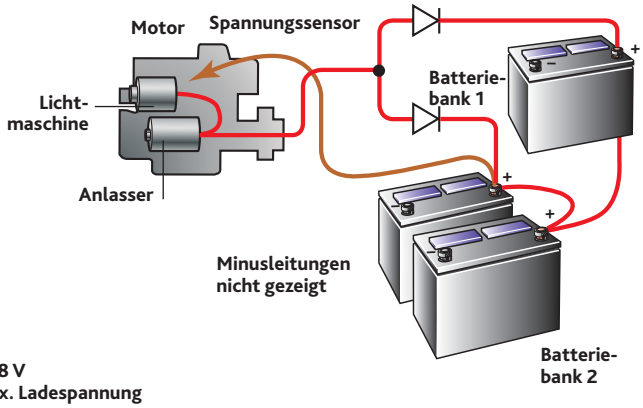
Ein 24-V-Bordnetz besteht aus doppelt so vielen Batterien, da jede 24-V-Batteriebank aus zwei in Reihe geschalteten 12-V-Batterien besteht.

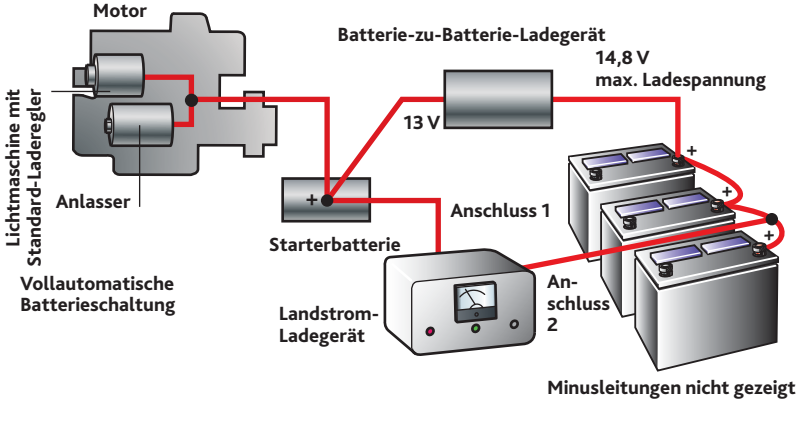
Eine separate Starterbatterie hat Vorteile, aber die Batterieschaltung muss gesteuert werden, was hier manuell erfolgt.



Hier wird davon ausgegangen, dass die Starterbatterie nur mit dem Standard-Ladestrom der Lichtmaschine geladen wird. Die Verbraucherbatterien profitieren dagegen von einer vierstufigen Ladung durch das Batterie-zu-Batterie-Ladegerät, das seinen Strombedarf über die Starterbatterie und die Lichtmaschine bezieht (unten).

Bei herkömmlichen Trenndioden entfällt das Umschalten. Die Lichtmaschine muss aber über einen Laderegler mit Spannungssensor verfügen, der den Spannungsabfall durch die Dioden und durch Kabelwiderstände ausgleicht und die korrekte Ladespannung an die Batterien leitet (rechts).





Anhang 2: Bestimmung des Energieverbrauchs

Der genaue Energieverbrauch einer Segelyacht ist sehr schwer zu bestimmen, da er je nach Gebrauch des Bootes von Tag zu Tag variiert. Eine Liste mit dem Stromverbrauch aller einzelnen Geräte, sowohl in Standby (sofern zutreffend) als auch in voll ausgelastetem Betrieb, ist jedoch sehr aufschlussreich.

Die Verbraucher können in drei Gruppen eingeteilt werden: Geräte, die öfters im Dauerbetrieb laufen, Geräte, die meist im Standby-Betrieb bleiben, und Geräte, die nur bei Bedarf eingeschaltet werden. So entsteht ein besseres Bild über den typischen Verbrauch innerhalb von 24 Stunden. Motorbootfahrer müssen sich um solche Berechnungen kaum kümmern, auch wenn sie oft über Nacht ankern, denn schon nach kurzer Fahrt am nächsten Tag sind die Batterien wieder randvoll.

Bedenken Sie, dass der Anteil am Stromverbrauch von Geräten, die in Fahrt dauerhaft eingeschaltet sein müssen, leicht abzuschätzen ist. Bei einem Kühlschrank ist der in der Betriebsanleitung angegebene Stromverbrauch dagegen höher als der tatsächliche, denn der Kühlschrank schaltet sich über das Thermostat immer wieder an und aus. Schaltet man ihn gar nur bei Bedarf von Hand ein, reduziert man den Stromverbrauch noch mehr – allerdings auf Kosten der Temperatur im Inneren. Oft wird das Radar zusammen mit dem Kartenplotter eingeschaltet, wechselt dann in den Standby-Modus und wird leicht ebenso vergessen wie dessen Stromverbrauch. Multifunktionsdisplays oder der Kartenplotter werden oft durchgehend betrieben, obwohl sie nicht wirklich gebraucht werden. In der Tabelle gegenüber ist die Leistung anstelle der Stromstärke verschiedener Geräte aufgelistet, damit sie für größere Yachten mit einem 24-V-Bordnetz ebenso verwendet werden kann. Da sich die Stromstärke aus der Leistung geteilt durch die Spannung ergibt, kann man die angegebene Wattzahl durch eine durchschnittliche Bordspannung von 12,5 V für ein 12-V-Bordnetz und durch 25 V für ein 24-V-Bordnetz dividieren.

Um abschließend den Verbrauch mit der Batteriekapazität in Ah vergleichen zu können, muss die Stromstärke mit der täglichen Betriebsdauer des jeweiligen Geräts in Stunden multipliziert werden. So lässt sich bestimmen, wie viele Amperestunden jedes Gerät innerhalb von 24 Stunden verbraucht. Da die Ausrüstung von Boot zu Boot sehr unterschiedlich ist, wurde in der Tabelle Platz gelassen, um selbst alle relevanten Werte eintragen zu können.

Geräte im Dauerbetrieb

Geräte, die bei Fahrt durchs Wasser meist durchgehend eingeschaltet bleiben	Typischer Stromverbrauch (A)	Verbrauch in 24 Stunden (Ah)
AIS mit eigenem Display	0,1	2,4
NAVTEX	0,1	2,4
Windinstrumente, Log und Echolot	0,3	7,2
Tochteranzeigen	0,1	2,4
Separater GPS-Empfänger	0,1	2,4
Gasfernschalter	0,1	2,4
Gasdetektor	0,1	2,4
UKW/DSC-Funkgerät	0,3	7
Kühlschrank (durchschnittlicher Verbrauch)	1,5	36
Batteriewächter	0,1	2,4
	Gesamt	**67 Ah**
Kartenplotter und Radar		
Modernes Multifunktionsdisplay (Plotter)	0,75	18
Radar in Standby-Modus	1,5	36
	Gesamt	**67–121 Ah**

Verbrauchsrechnung

Geräte im Standby-Modus	Leistung Standby (Watt)	Leistung Betrieb (Watt)	Stromverbrauch (Ampere)	Verbrauch/24 h (Ampere-Std.)
Navigation und Ausrüstung an Deck				
Multifunktionsdisplay (Kartenplotter)				
Zweites Multifunktionsdisplay				
Radar mit geschlossener Radomantenne				
Radar mit frei drehender Antenne				
Fishfinder				
Autopilot (Boote unter 10 Meter)				
Autopilot (Boote über 10 Meter)				
Navigationslichter				
Ankerlicht				
Decksstrahler / Salinglichter				
Cockpitbeleuchtung				
Zusätzliche Segelinstrumente				
Ankerwinde				
Bugstrahlruder				
Allg. Ausrüstung, Verbraucher unter Deck				
Innenbeleuchtung				
Wassermacher				
Musikanlage				
Ventilatoren				
Dieselheizung				
Wechselrichter / Inverter				
Wasserpumpen				
Fernseher				
Gefriertruhe				
MF/DSC-Funkgerät				
SSB-Empfänger				
Laptop-Computer				
Weitere Ausrüstung (hier nicht aufgelistet)				

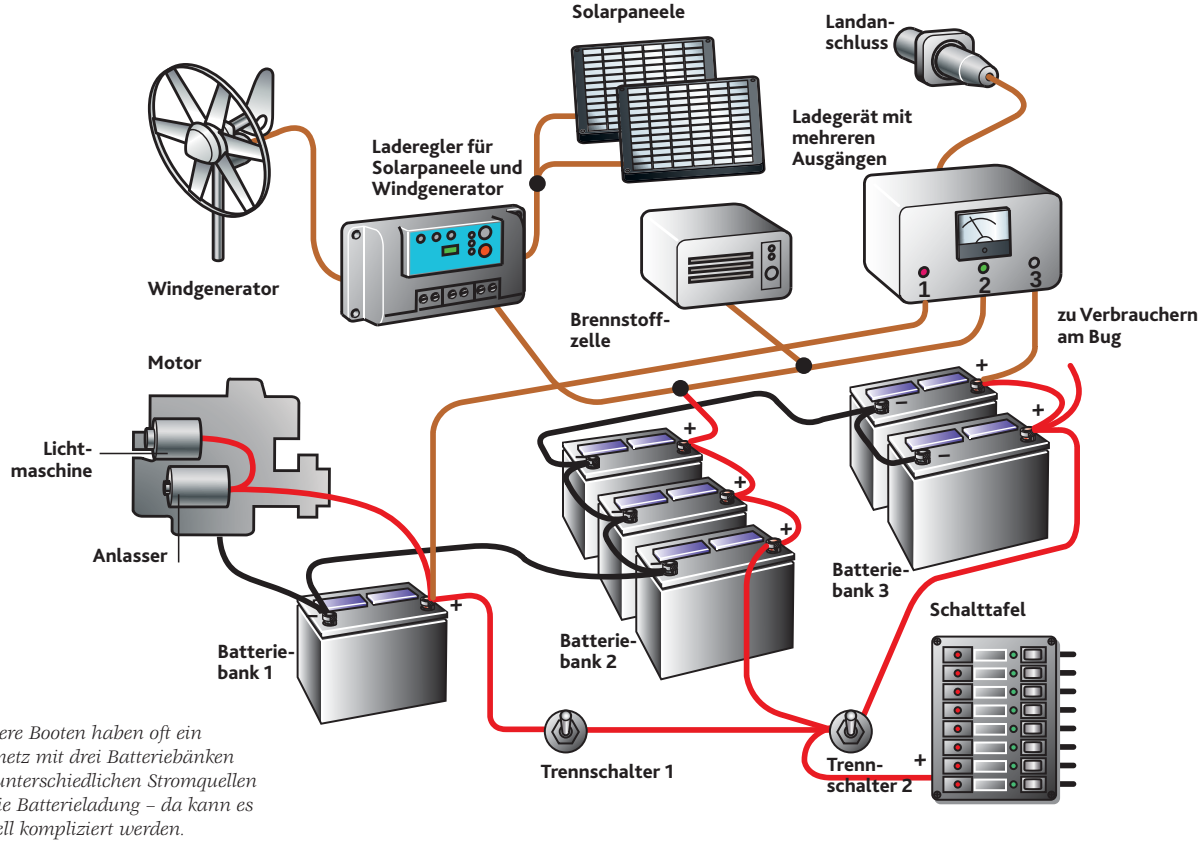
Anhang 3: Batterien und Batterieschalter

Bei zwei oder mehr Batteriebänken sind Batterieschalter nötig. Einerseits, um zu kontrollieren, welche Bank geladen wird, und anderseits, um zu verhindern, dass eine Bank versehentlich ganz entladen wird. Die einfachste Lösung sind Schalter, die rein mechanisch arbeiten und von Hand bedient werden müssen. Am anderen Ende der Skala stehen vollautomatische, elektronisch kontrollierte Schaltsysteme.

Warum Batterieschalter?
Nahezu jedes Boot hat zumindest eine Batterie und eine Möglichkeit sie aufzuladen. Auf kleinen und mittelgroßen Booten sind zwei getrennte Batteriebänke Standard. Mit steigender Bootsgröße kommt häufig eine dritte Batterie für starke Stromverbraucher, wie elektrische Winschen, Ankerwinden oder Bug- und Heckstrahlruder, hinzu. Gleichzeitig steigen auch häufig die Möglichkeiten der Batterieladung, da mehrere Stromquellen zur Verfügung stehen.

In diesem Fall muss das Bordnetz über Batterieschalter gesteuert werden. Die Hauptaufgaben der Batterieschalter sind:

- Steuerung des Ladestroms aus einer oder mehreren Stromquellen an die gewünschte Batteriebank.
- Steuerung, welche Batteriebank vorrangig geladen werden soll.
- Trennung der Batteriebänke, wenn keine Aufladung erfolgt, damit keine gegenseitige Entladung stattfinden kann.
- Vollständige Trennung der Batteriebänke, wenn das Boot nicht in Gebrauch ist.



Größere Booten haben oft ein Bordnetz mit drei Batteriebänken und unterschiedlichen Stromquellen für die Batterieladung – da kann es schnell kompliziert werden.

Batteriebänke und Stromquellen für Batterieladung

Batteriebank	Stromquelle für Batterieladung
Starterbatterien für Motor und Dieselgenerator	Lichtmaschine, 230-V-Ladegerät, 1. Ausgang
Verbraucherbatterien	230-V-Ladegerät, 2. Ausgang Solarpaneele Windgenerator Schlepp- oder Hydrogenerator Brennstoffzelle
Batterien für Bugstrahlruder / Ankerwinde / elektrische Winschen	230-V-Ladegerät, 3. Ausgang Alternativ können die Solarpaneele auch hier angeschlossen werden.

Ladezustand bei mehreren Batteriebänken

Ladestrom und Ladezustand		Aufgabe der Batterieschalter
Motor ausgeschaltet, kein Strom aus der Lichtmaschine	Verbraucherbatterien werden von anderen Stromquellen ausreichend geladen	Nach vollständiger Aufladung der Verbraucherbatterien kann der Ladestrom zur Starterbatterie oder zur dritten Batteriebank geleitet werden.
	Verbraucherbatterien entladen, bei schwacher Aufladung aus anderen Quellen	Trennung der Verbraucherbatterien von Starterbatterie und dritter Batteriebank, damit diese nicht durch Ausgleichsströme entladen werden.
	Dritte, zusätzliche Batteriebank stark entladen (z. B. nach langem Einsatz der Ankerwinde)	Trennung der dritten Batteriebank von Verbraucherbatterien und Starterbatterie. Die dritte Batteriebank kann erst bei genügend überschüssigem Ladestrom wieder aufgeladen werden, da sie die niedrigste Priorität hat. Oder zur Aufladung wird extra der Motor gestartet.
Motor läuft, Ladestrom aus der Lichtmaschine	Starterbatterie wird vorrangig geladen	Sobald die Starterbatterie vollständig aufgeladen ist, werden die Verbraucherbatterien geladen.
Dieselgenerator läuft	Liefert 230-V-Wechselstrom für das Ladegerät	Alle Batteriebänke werden gleichzeitig geladen. Die Verbraucherbatterien beanspruchen in der Regel den meisten Ladestrom. Das Ladegerät muss mehrere Stunden eingeschaltet bleiben.
Brennstoffzelle angeschaltet	Liefert Ladeerhaltungsspannung, kann lange Zeit (über Nacht) angeschaltet bleiben	Die Verbraucherbatterien werden vorrangig geladen. Bei vollständiger Aufladung kann die Ladeerhaltungsspannung der Starterbatterie oder der dritten Batteriebank zugutekommen.

Register

A

Abschlusswiderstand 144
Adapter 18, 196–197, 109, 143
Admirality List of Radio Signals 159
AGM Batterie 41, 43, 49, 65, 184
AIS (Automatisches Identifizierungssystem) 143, 149, 150, 182, 184
– Antenne 155, 170
– Installation 154–155
– Klassifikation 154
– Verbrauch 174
Alarm 82, 148, 180
– Sensor 105
– Warnschalter 108
Aluminium 124, 125
American Wire Gauge (AWG) 52, 53, 172
American Yacht and Boat Council (ABYC) 122, 123, 124, 126
Amorphe Siliziumzelle, Solarzelle 70
Ampere (A) 14
Amperemeter 80
Amperemeter, Einbau 100–101
Amperestunde (Ah) 42, 46
Amperestundenzähler 82
Analoges Signal 184
– Analog in NMEA 2000 Konverter 106–107, 109
Analoges Voltmeter 100
Ankerlicht 170
Ankerwinde 77
Anlasser 104, 110–111, 180
– Magnetschalter 104, 180
– Wartung 111
Anode 124–125, 126
Antenne
– AIS 155, 170
– Antennensplitter 155
– Blitzschutz 164
– Montage 159
– SSB und NAVTEX 170–171
– UKW 170
Atom 12
Auspuffanlage
– Bei Generatoren 134
– Temperatur 148
Autopilot 52, 77, 84

B

Backbone-Kabel 144, 145, 150–151, 171
Batterie 8, 36–49
– AGM-Batterie 41, 43, 49, 65, 184
– Anschluss 25
– Anzahl, Bedarf 46–47
– Batteriearten 40–41
– Batterieschaltung 176–179
– Batteriespannung 108
– Batterie-Trennschalter 62
– Batteriewächter 80–81
– Batterie-zu-Batterie-Ladegerät 76-7
– Blei-Säure-Batterie 41, 42, 49
– Datenaufzeichnung 149
– Gelbatterie 41, 43, 64, 185
– Generator 132
– Grundlagen 38–39
– Kapazität 46
– Kapazität erhöhen 48–49
– Ladegerät einbauen 72–73
– Ladezustand testen 42–43
– Ladung 8–9, 15, 18, 42–45, 49, 72–73, 76–77
– Lichtmaschine 60–65
– Nasszellen-Batterie 41, 43, 49
– Parallelschaltung 187
– Reihenschaltung 187
– Sicherheit 8
– Spannung 14, 63
– Spannungsrelais einbauen 92–93
– Spezifikation 42
– Starterbatterie 40, 42, 46, 48
– Stromrichtung 13
– Sulfatieren 39
– Überladung 186–187
– Verbraucherbatterie 30–31, 40–41, 46, 48, 49, 185
– Wartung 43
– Wartungsfrei 41, 187
– Wasser auffüllen 39
– Wechselrichter 128–129
Batterieladegerät 119
Batterieschalter 88–89
– Anordnung 90–91
– Kontrolle 82
– Spannungsrelais einbauen 92–93
Batteriespannung 187
Baudrate 138, 141, 142, 143, 184
Beleuchtung
– Deckleuchten 169
– LED-Leuchten 84, 85, 166–168, 170
– Mastleuchten 170
– Sicherung 97
– Stromkreis 94
– Unterwasserleuchten 166–169
– Verbrauch reduzieren 84, 85
Benzingenerator 132–135
Bilgepumpe, automatisch 95
Bilgepumpe, Sicherung 97
Bit 138
Blei-Säure-Batterie 41, 42, 49
Blitzschutz 164–165, 171
Bluetooth 146
Boiler 119, 130–131
Bord-Netzwerk 138–141
– Anschlüsse 140–141
– Hochgeschwindigkeit-Netzwerk 146–147
– NMEA 2000 143, 144–145
Brennstoffzelle 45, 65, 74–75
Bugstrahlruder 77, 97, 184

C

CAN-Bussystem 144
Computer 128
Crimp 23, 54, 55, 56, 184–185
Crimpzange 22

D

Dampferlicht 170
Daten
– Datenaufzeichnung 102–103
– Datenkollision 147
– Datenrate 142
– Datenüberwachung 106–109
Decksbeleuchtung 169, 170
DeviceNet 144, 150, 151, 185
Dieselgenerator 132–135
Dieselmotor
– Abschalten 62, 105, 180
– Instrumente 105
– Motorelektrik 104–105
Differenzverstärker 109, 185
Digitaler Schalter 112–113
Digitales Voltmeter 26–29, 32–33, 100
Diode 26, 33, 78, 89, 126–127, 185
Display
– Multifunktionsdisplay 146–149, 156, 157, 174, 186
– Radar 157
Drehzahl, Motor 148
Drehzahlmesser 61, 105, 107, 108
Dreifarben-Topplaterne 170
Druckmessung 108
Drucksensor 105
Durchflusssensor 108
Durchgang 32, 33, 184

E

Echolot 138, 174, 185
Edelstahl 124
Einbauarbeiten 152–171
– AIS 154–155
– Blitzschutz 164–165
– Halleffekt-Amperemeter 160–163
– NAVTEX 158–159
– Radar 156–157
– SSB-Funkempfänger 158–159
– Unterwasserleuchten 166–169
Eindrähtiges Kabel 52
Einspritzung 104, 180
Elektrizität, Definition 12–13
Elektrolyse, Korrosion 124–125
Elektrolyt 41, 43, 124, 185
Elektromagnet 60
Elektronen 12
Elektrowerkzeuge 24, 128
Empfänger, NMEA 138–139, 142–143, 182–183
Energie
– Energiebalance 38, 44, 47
– Umrechnung184
– Verbrauch 174–175
Erdung 116, 122–123, 185
– Erdungskabel 120, 122
– Erdungsplatte 120
– Erdungsschleife 125, 126
– Erdungsstrom116, 126
Ethernet 146–147, 150, 157

F

Faraday, Michael 60, 165
Faradayscher Käfig 164–165
Fehlerstrom-Schutzschalter 24, 116, 118, 120, 121, 131
Fehlersuche, Niedervolt-Anlagen 34–35
Feindrahtiges Kabel 52
Fernseher 131
– Antenne 171
– Stromverbrauch reduzieren 84
Fön 119
Füllstand, Messung 108
Funkgerät 97, 131

G

Galvanische Korrosion 124–125
Galvanischer Isolator 123, 125, 126–127
Galvanische Spannungsreihe 124
Gasdetektor 174
Gasfernschalter 174
Gelbatterie 41, 43, 64, 185
Generator 132–135, 185
– Ausführungen 133
– Benzingenerator 74, 75
– Brennstoffzelle 74–75
– Dieselgenerator 74, 75
– Einbau 134–135
– Leistung 132
Gen-Set 133
Gleichrichter, Lichtmaschine 60
Gleichstrom18–19, 86–113,185
– Erdung 122
– Schalttafel 94–95
– Stromzange 30–31
– Wandler 76–77
Glühbirne 84
Glühkerze 104, 180
GPS 174, 185
– Antenne 155

H

Haartrockner 119
Halleffektsensor 81, 101, 103, 108–109, 160–163
Halogenlicht 84
Handwerkzeug 22–25
Handy 128
Hauptschalter 118, 119, 121
Heißluftpistole 22, 25
Heizlüfter 119
Herd, Ofen 165
Hochgeschwindigkeit-Netzwerk 146–147
Hochleistungsregler 185
HOLD-Funktion 26, 186
Hydrogenerator 68

I

Intelligenter Laderegler 45, 46, 66–67
International Maritime Organisation (IMO) 154
Instrumente 9
– Einbau 141
– Geber 171
– Stromverbrauch reduzieren 84
– Tochteranzeige 174
Inverter 128–131, 135
– Ausführungen 128
– Einbau 130
Isolator, galvanischer 123
Isolierung 15

J

Joule, James Prescott 17
Joulesches Gesetz 17

K

Kabel
– Auswahl 52–53
– Halleffektsensor 161
– Kabelquerschnitt 17
– Ladegerät 72–73
– Landstrom 116
– Lichtmaschine 65
– Löten 55, 56, 57
– NMEA 2000 150–151
– Querschnitt 8, 52, 98, 172–173, 187
– Radarkabel verlegen 156
– Schaltplan 98
– Spurkabel 144
– Verlegen 150
Kabelbinder 23
Kalibrierung 184
– Motordaten, Überwachung 109
Kaltstartstrom 42, 185
Kapazität 46, 48–49
Kartenplotter 84, 174
Kathode 124, 126
Keilriemen 62, 186
Kilovolt 186
Kirchhoff, Gustav 16–17
Kirchhoffsches Gesetz 16
Kirchhoffsche Knotenregel 16
Kirchhoffsche Maschenregel 16
Klimaanlage 119
Knotenregel 16
Kohlebürsten 61, 111, 186
Kontrollleuchte 94, 99
Konverter 18, 196–197, 109, 143
Korrosion 32
– Galvanisch und elektrolytisch 124–125
Kraftstoffleitung
– Generator 134–135
– Tankfüllstand 112, 149
Krokodilklemme 186
Kühlschrank
– Überwachung 103
– Verbrauch verringern 84, 85, 174
Kühlwasser, Generator 134
Kühlwassertemperatur 148
Kupfer 15
– Kupferdraht 172
Kurzschluss 25, 187

L

Ladegeräte und Aufladung
– Batterie-zu-Batterie-Ladegerät 76–77
– Dreistufige Ladung 66, 67
– Intelligente Ladegeräte 45, 46, 66–67
– Inverter 128–129
– Kapazität erhöhen 49
– Laderegler 44–45
– Ladestrom 64
– Ladezustand testen 42–43
– Landstrom 31, 67, 72–73
– Lichtmaschine 60–65
– Mehrstufige Ladung 66, 67
– Überladung 78–79, 186–187
– Vierstufige Ladung 66, 67
– Voltmeter 15
– Wechselrichter / Ladegerät 128
Laderegler 44, 46, 61, 78–79
– Intelligenter Regler 67, 89
– Solarzellen 70–71
– Windgenerator 68
LAN, Local Area Network 146–147
Landstrom
– An Bord 116–117
– Berechnung, Messung 118
– Erdung 122–123
– Erdungsschlaufe 122–123
– Sicherung 120–121
– Wechselrichter 128–131
Landstrom-Ladegerät 31, 44, 67
– Einbau 72–73
– Überwachung 80
Laptop-Computer 131
Lautsprecher 171
LED-Licht 85
– Auswahl 167
– Einbau 167–168
– Mastlichter 170
– Unterwasserleuchten 166
– Verbrauch 84
Leerlaufspannung 70, 186
Leistung 15
– Bedarf 132
– Energiemanagement 58–85
– Stromversorgung 72
– Überwachung 82–83, 174
– Verbrauch 8, 145
Leiter 15, 185
LEN-Zahl 145
Lichtmaschine 18, 44–46, 60–65, 105, 185
– Aufrüsten 49, 64–65
– Batterie-zu-Batterie-Ladegerät 76–77
– Dioden überprüfen 26
– Fehlersuche 63
– Größen 64–65
– Kabelstärke 63
– Keilriemen 62
– Laderegler 89
– Ladung 31
– Leistung 31
– Magnetfeld 186
– Shunt einbauen 81
– und Windgenerator 68
– Wartung 62
Local Area Network (LAN) 146–147
Log 174
Log, Tochteranzeige 138
Löten 54, 56, 57
Lötkolben 23, 24
Luftentfeuchter 119

M

Magnetfeld 186
Magnetschalter 186
– Anlasser 104, 110, 111
– Spannungsrelais 93
Marina, Landstrom 120
Maschenregel 16
Mastelektrik
– Mastlicht 169
– Verkabelung 52
Megafon 171
Mehradriges Kabel 52, 56, 118
Messer 24
Messinstrumente 106, 180
– Eingangssignal 109
– Halleffektsensor 162
– Sensor 148
MFD Multifunktionsdisplay 146–149, 156, 157, 174, 186

Register

Mikrovolt 13, 186
Millivolt 186
Minusleitung 104–105
– Überprüfung 35
Modifizierter Sinuswechselrichter 128
Mobiltelefon 128
Monokristalline Zellen 70
MOSFET 88, 112
Motor
– Batterien 40, 46, 48
– Datenaufzeichnung 148
– Drehzahl 148
– Elektrik 104–105, 180–181
– Motorstart 180
– Motorstopp 105, 180
– Sensoren 105
– Überwachung 106–109
Multifunktionsdisplay 146–149, 156, 157, 174, 186
Multimeter 8, 22, 26–29, 32–33, 35, 186
Multiplexer 142–143
Musikanlage 84

N

Nasszellen-Batterie 41, 43, 49
National Maritime Electronics Association 138
Navigationsinstrumente 84
Navigationslichter 52, 84, 170
NAVTEX 95, 158–159
– Antenne 170
– Stromverbrauch 174
Nebelhorn 171
Netzwerk 136–151
– Adapter 142–143
– AIS 134
– Anschlüsse 140–141
– Hochgeschwindigkeit-Netzwerk 146–147
– Motordaten 148
– Multiplexer 142–143
– NMEA 0183 138–141, 142, 143, 146, 148, 149–151, 182–183
– NMEA 2000 143, 144–145, 146, 148, 149–151, 182–183
– Protokoll 146
– Verkabelung
Netzwerkschalter 146–147
Neutralleiter 116, 117
Niedervolt-Anlagen, Fehlersuche 34–35
NMEA-Ausgänge 139
NOAA Marine Service Charts 159
Notebook-Computer 131

O

Ofen, Herd 165
Ohm (Ω) 15
Ohm, Georg 17
Ohmsches Gesetz 17, 52, 80, 83, 108, 172
Öldruck, Motor 148
Opferanode 124–125, 126, 187

P

Parallelschaltung 187
Parameter-Gruppennummer (PGN) 144
Pinzette 23
Polarität 187
– Prüfung 117
Polykristalline Zellen 70
Potenzialdifferenz 187
Power-Faktor 72, 132
Propeller, galvanische Korrosion 124
Protokoll, Netzwerk 146
Pumpen, Sicherung 97
PWM-Regler 71

Q

Quasi-Sinuswechselrichter 128

R

Radar 174
– Einbau 156–157
– Radarreflektor 171
– Stromverbrauch 84, 174
Radom 156
RCD-Schutzschalter 24, 116, 118, 120, 121, 131
Reihenschaltung 187
Reihenschiene 54
Relais 88, 187
Repeater, Tochteranzeige 138, 174
Richtlinie, Sportboot 122, 124
Rostfreier Stahl 124

S

Salingslicht 169
Sammelschiene 54, 186
Sammelstützpunkt 54
Schalter 32–33
– Alarmschalter 108
– Ausführungen 88
– Batterieschalter 176–179
– Überbrückung 185
Schaltkreis 32, 186
Schalttafel 94–95
Schleppgenerator 68
Schraubendreher 22, 24
Schrumpfschlauch-Verbinder 23, 56, 57
Schutzschalter 96–97, 116, 118, 121
Schwefelsäure 38
Scotchlok 54
Seeventil, galvanische Korrosion 124
Sender, NMEA 138, 142–143, 182–183
Sensor 106, 108, 148–149
– Alarmsensor 105
– Drucksensor 105
Shunt 80–81, 100–101, 103
– Einbau 83
– Größen 81
– Spannungsabfall 83
– Strommessung 108–109
Sicherheit 8, 24–25
– Vorschriften 122
Sicherung 8, 35, 94, 95, 96–97
– Ausführungen 97
– Landstrom 96–97, 116
– Multimeter 29
– Überstrom 116
Sinuswechselrichter 128
Solarzellen 18, 45, 65, 70–71
– Diode 78
– Montage 71
– Regler 70–71
– Überwachung 80, 103
Spannung 8, 12, 14
– Batterie-zu-Batterie-Ladegerät 76–77
– Bei maximaler Leistung 70
– Datenaufzeichnung 102
– Kirchhoffsche Gesetze 17
– Leerlaufspannung 70
– Messung 28
– Potenzial 124
– Richtung 13
– Spannungsabfall 187
– Überwachung 112
– Umrechnung 18
– Verlust 186
Spannungsreihe 124
Spannungsrelais 88, 89, 90
– Ausführungen 93
– Einbau 92–93
– Nachteile 93
Splitter 155
Sportbootrichtlinie 122, 124
Spurkabel 144
SSB-Funkgerät 158–159
– Antenne 170–171
Stahl 125
Standby-Modus 84
Starterbatterie 40, 42, 46, 48
Stoßverbinder 56
Strom
– Bedarf 132
– Verbrauch 8, 145
– Energiemanagement 58–85
– Versorgung 72
– Überwachung 82–83, 174
Stromerzeuger 132–135
Stromstärke 8, 12, 13, 14, 186
– Fehlstrom 125
– Kirchhoff, Gesetze 16
– Maximale Leistung 70
– Messaufzeichnung 102–103
– Messung 28–29, 30–31, 73, 81, 108–109
– Shunt 80–81, 100–101, 103, 108–109
– Stromfluss 124
– Stromrichtung 31
– Strommessung 82–83
– Überwachung 80–81, 112
Stromwärmegleichung 17
Stromzange 30–31, 187
Sulfatierung 39, 41
Switch, Netzwerk 146–147

T

Tankfüllstand, Messung 108
Temperatur
– Kühlwasser, Motor 148
– Messung 108
– Sensor 105
Thermoelement 108, 187
Toaster 119
Topplaterne 170
Trapezwechselrichter 128
Trenndiode 78, 88, 90, 92

Trenntransformator 122–123
TV-Geräte, Fernseher 131
– Antenne 171
– Stromverbrauch reduzieren 84

U

Überladung 186–187
Überstrom-Sicherung 116
UKW/DSC-Funkgerät 95
– Antenne 170
– Blitzschutz 164
– Stromverbrauch 174
Umdrehung, Motor 148
Umdrehungsmesser 61, 105, 107, 108
Universal Input 72, 73
Unterwasserleuchten 166–169
– Auswahl 167
– Einbau 167–168

V

Ventilation 17, 19
– Beim Löten 24
– Wechselrichter 131
Verbinder 23, 54–55
– DeviceNet 150, 151
– Dünne Kabel 56–57
– Feuchtigkeit 55
– Kabelführung 150
– Sensor 160–161
– Spurkabel 144
Verbrauch, Energie 174–175
– Einsparung 84–85
Verbraucherbatterien 30–31, 40–41, 46, 187
– Kapazität erhöhen 48, 49
Verlängerungskabel 116–117, 120
Verschlossene Batterie 187
Verzinnen 57
Verzinntes Kabel 52
Voltmeter 15, 26–27, 32–33, 61, 94
– Einbauvoltmeter 100
– Messung 28–29
Vorschriften, Sicherheit 122

W

Warmwasserboiler 119, 130–131
Warnleuchten 108
Waschmaschine 119
Wasserkocher 119, 131
Wassermacher 77
Wasserstoff-Brennstoffzelle 74–75
Wassertank, Füllstand 112, 149
Watt 15
Wechselrichter 128–131, 135
– Ausführungen 128
– Einbau 130
Wechselstrom 18–19, 187
– an Bord 114–135
– Erdung 122–123
– Generatoren 132–135
– Installation 118–119
– messen / berechnen 118
– Sicherung 120–121
– Wechselrichter 128–131
Werkzeug 22–33
– Elektrowerkzeuge 24, 128
– Handwerkzeuge 22–25
– Multimeter 8, 22, 26–29, 32–33, 35, 186
Widerstand 15, 33, 52, 122, 172
Wi-Fi 146
Winde, Ankerwinde 77, 187
Windgenerator 45, 65, 68–69
– Betriebskosten 69
– Laderegler 78
– Leistung 80, 103
– Rotor stoppen 69
Windinstrumente 138, 174
Winschen, elektrisch 97

Z

Zangenstrommesser 30–31, 187
Zink 124, 125

Fotonachweis und Danksagung

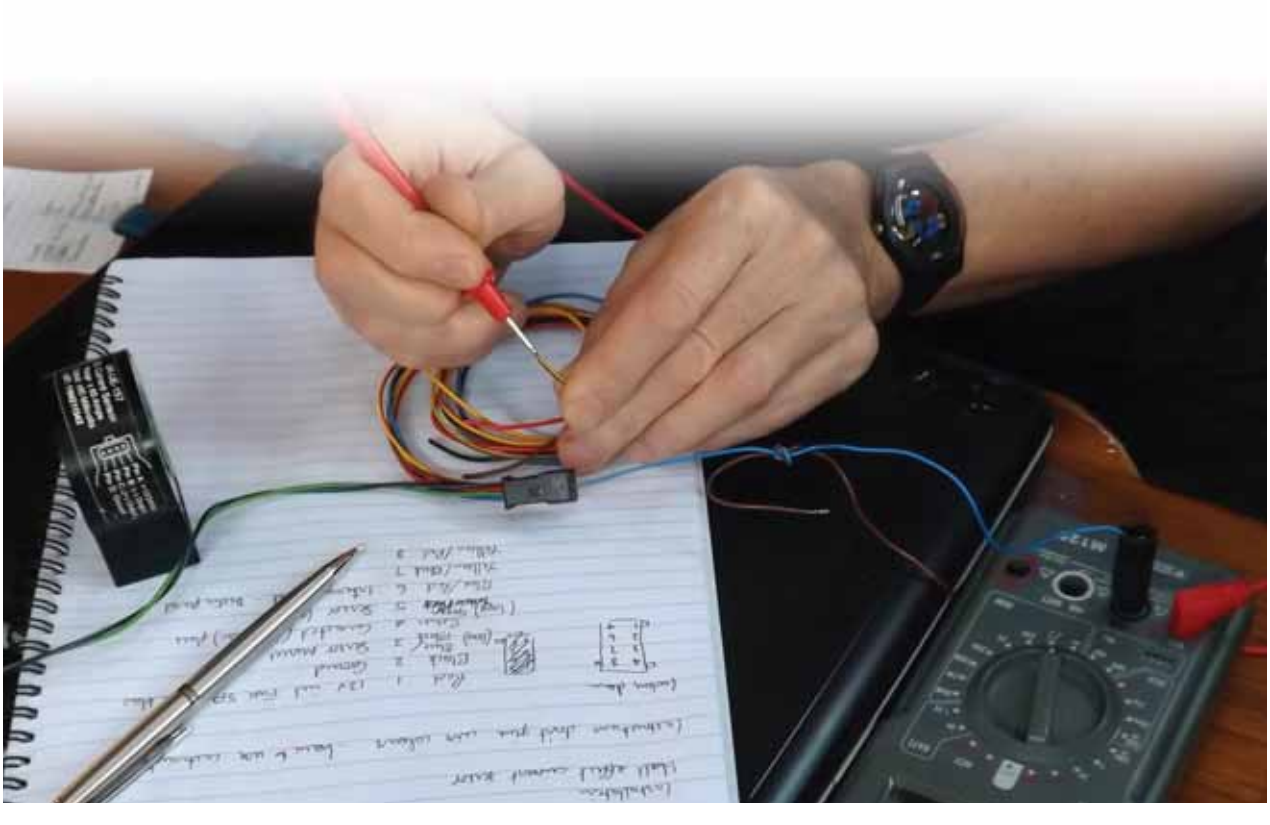
Der Verlag bedankt sich für die zur Verfügung gestellten Fotos und Abbildungen bei folgenden Agenturen und Fotografen:

Alamy 12, 36–37, 152–153
Peter Caplan 42
Corbis 40
istockphoto.com 2–3, 10–11, 20–21, 50–51, 62, 116, 164
Jake Kavanagh 166–169
The National Maritime Electronic Association (NMEA) 144–145
Rupert Holmes 86–87, 114–115
Shutterstock 58–59, 136–137

Der Autor dankt folgenden Firmen und Personen für die zur Verfügung gestellten Fotos und Abbildungen:

Active Research Ltd. (Actisense), Advanced Yacht Systems, Airmar Technology corporation, Ampair, Andrew Simpson (S. 173), Bardon Batteries, BOC (Linde Group) (S. 75), CC Marine, Eclectic Energy Ltd., Fuel Cell Systems Ltd., Furneaux Riddall, Marlec Engineering Ltd., Mastervolt, Merlin Power Systems, Murata Power Solutions, National Maritime Electronics Association, Optima Batteries UK, Richborough Consultants, Smart Gauge Electronics, Sterling Power Products Ltd., Victron Energy BV.

Der Autor bedankt sich für die Unterstützung bei Fotoaufnahmen bei:

Aspire Boat Sales Ltd., Sarisbury Green; Hamble School of Yachting, Hamble Pascoe International, Sarisbury Green; Quintessence Sea School, Sarisbury Green; Raymarine Ltd., Fareham; Universal Marina, Sarisbury Green; Vortec Marine, Port Solent.

Dank auch an: Sarah Doughty, Judith Chamberlain-Webber, Rupert Holmes und die Ivy-Group, Studio Peters & Zabranski für künstlerische Gestaltung und an Andrew Simpson für die technische Beratung, und »last but not least« möchte ich meiner Frau Sue Johnson für ihre unschätzbare Unterstützung und Ermutigung danken.