

PERFEKTE BOOTS ELEKTRIK

Andy Johnson

KNOW-HOW
FÜR DIE PRAXIS



DELIUS KLASING



DELIUS KLASING



**PERFEKTE
BOOTS
ELEKTRIK**

Andy Johnson

KNOW-HOW
FÜR DIE PRAXIS

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.

3. Auflage 2024
Die Rechte für die deutsche Ausgabe liegen beim
Delius Klasing Verlag GmbH, Bielefeld

Folgende Ausgaben dieses Werkes sind verfügbar:
ISBN 978-3-667-10684-1 (Print)
ISBN 978-3-667-10828-9 (ePDF)

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

Datenkonvertierung E-Book: Bookwire - Gesellschaft
zum Vertrieb digitaler Medien mbH

Alle Rechte vorbehalten! Ohne ausdrückliche Erlaubnis
des Verlages darf das Werk, auch Teile daraus, nicht
vervielfältigt oder an Dritte weitergegeben werden.

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

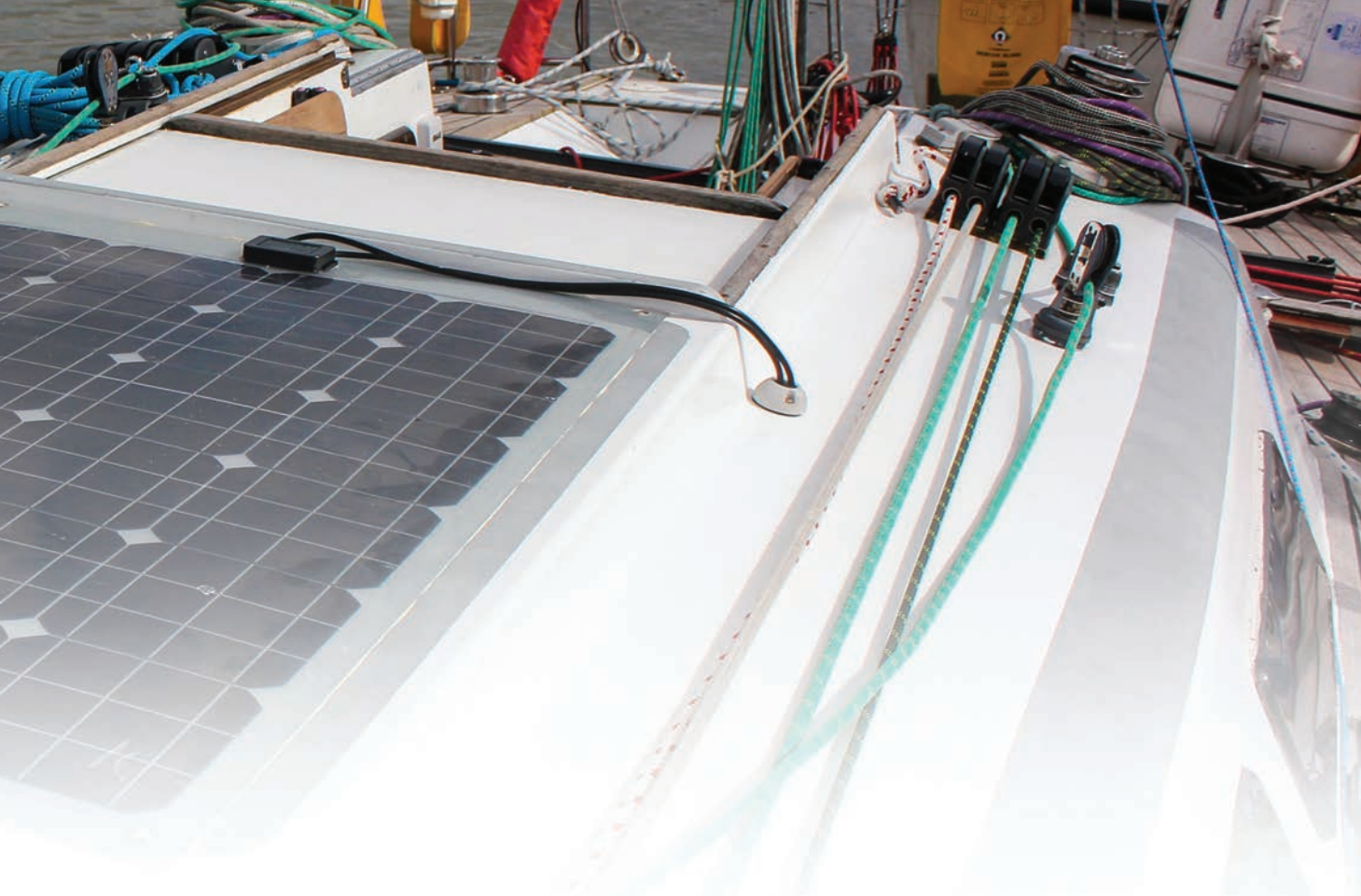
114

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	Anhang	172
Hochgeschwindigkeit-Netzwerke	146	1 Bestimmung des	
Verwertung weiterer Daten	148	Kabelquerschnitts	172
Unterschiedliche Netzwerke		2 Bestimmung des	
verbinden	150	Energieverbrauchs	174
Einbauarbeiten an Bord	152	3 Batterien	
AIS-Installation	154	und Batterieschalter	176
Radar	156	4 Motorelektrik	180
NAVTEX und SSB-Empfänger	158	5 NMEA-Datensätze	182
Amperemeter mit Halleffekt-Sensor	160	Glossar	184
Blitzschutz	164	Register	188
Unterwasserleuchten	166	Fotonachweis und Danksagung	192
Mastelektrik aufrüsten	170		

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



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.

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.

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 Laderegulation 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).



Die Grundlagen



Was ist Elektrizität?

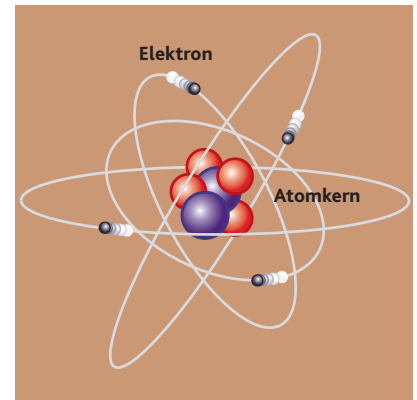
Elektrizität ist das Fließen elektrischer Ladung. In der Natur tritt dieses Phänomen bei einem Blitzschlag und statischer Aufladung von allein auf. Erfolgt jedoch eine kontrollierte Bewegung der elektrischen Ladungsträger, spricht man von elektrischem Strom, wie wir ihn alltäglich nutzen. Elektrizität wird auf einem Boot für mehr Komfort, zunehmend aber auch für mehr Sicherheit, benötigt.

Elektrizität ist eine Energieform, die auf kleinsten Ladungsträgern beruht. Jede Form von Materie besteht aus Atomen, die wiederum einen Atomkern besitzen, der von negativ geladenen Elektronen in unterschiedlichen Bahnen umkreist wird. Sie ähneln in ihren Umlaufbahnen den Satelliten, die unsere Erde umkreisen. Elektrischer Strom entsteht, wenn sich diese geladenen Teilchen von Atom zu Atom bewegen.

Bei elektrisch leitenden Materialien sind die Elektronen in den äußeren Umlaufbahnen instabil und springen von einem Atom zum nächsten, sobald eine elektrische Spannung anliegt. Die negativ geladenen Elektronen werden von positiver Ladung, wie beispielsweise dem Pluspol einer Batterie, angezogen.

Springt ein Elektron aus seiner Umlaufbahn in die Umlaufbahn eines anderen Atoms, hinterlässt es eine Lücke im ersten Atom, das nun etwas mehr positive Ladung aufweist. Dadurch zieht das erste Atom bereits das nächste Elektron an, das sich auf dem Weg zum Pluspol der Batterie befindet.

Das neue Elektron, das die Lücke nun ausfüllt, hinterlässt seinerseits eine Lücke in dem Atom, von dem es gerade kommt, und so geht es immer weiter. Während die Elektronen Richtung Pluspol wandern, setzen sich die zurückgelassenen Lücken in Richtung zum Minuspol fort. Diese Bewegung ist das Fließen von elektrischem Strom.



Festlegung der Stromrichtung

Frühe Wissenschaftler definierten die Richtung des Stroms so, dass er von einer positiven Ladung zu einer geringeren oder negativen Ladung fließt. Stromfluss ist somit die Bewegung der Lücken vom Pluspol der Batterie durch die Kabel und den

Atome sind die Bausteine aller Materie. In elektrisch gut leitenden Materialien haben die Atome lose Elektronen in den äußeren Umlaufbahnen, die sich weiterbewegen können, wenn sie sich zwischen unterschiedlich geladenen Polen befinden und dadurch elektrischer Spannung ausgesetzt sind (oben).

Blitzschlag ist eine natürliche Bewegungsform elektrischer Ladung (unten).



gesamten Stromkreis zum Minuspol und wird in einem Schaltplan mit einem Pfeil dargestellt.

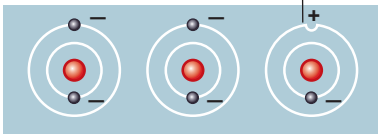
Die Ausrichtung elektrischer Spannung kann ebenfalls mit einem Pfeil zwischen zwei Punkten in einem Stromkreis dargestellt werden. Der Pfeil zeigt in Richtung der höheren Ladung. Bei einer Batterie würde er vom Minuspol zum Pluspol zeigen.

Ein vielseitiger Energieträger

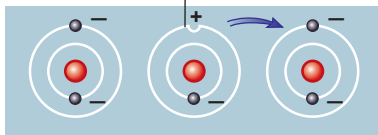
Elektrizität selbst ist nicht sichtbar, was das erschwerte Verständnis von Elektrizität erklären mag. Man kann

Negativ geladene Elektronen werden von positiver Ladung angezogen und wandern Richtung Pluspol. Die Lücken, die sie hinterlassen, wandern in die andere Richtung zum Minuspol.

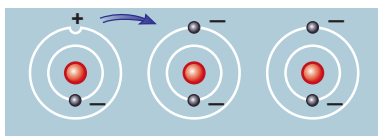
Leerraum oder Lücke, diesem Atom fehlt ein Elektron.



Ein anderes Elektron füllt die Lücke, hinterlässt aber selbst eine positiv geladene Lücke ...



... und so setzt sich die Bewegung fort.



— • — Bewegung der Elektronen →
+ — — Bewegung der Lücken ←

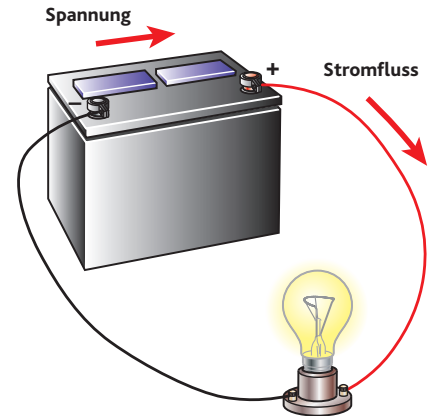
Ausrichtung der elektrischen Spannung →

den Strom im Leiter nicht fließen sehen wie Wasser in einem durchsichtigen Rohr. Nur das Ergebnis kann man sehen, wenn Strom in eine andere Energieform umgewandelt wird, wie Wärme, Licht oder Bewegung.

Elektrizität ist eine außerordentlich vielseitige Energieform, die für nahezu jede Aufgabe eingesetzt werden kann. Letztendlich wird Elektrizität fast immer in Wärme umgewandelt, aber auf dem Weg dorthin kann sie nützliche Arbeiten verrichten. Angefangen von Mikroprozessoren, in denen nur wenige Millionstel Volt (Mikrovolt, μV) arbeiten, über den Strom im Haushalt mit wenigen Hundert Volt, bis hin zu den Hochspannungsleitungen, die den Strom mit Zehntausenden Volt über das ganze Land verteilen, ist es immer das gleiche Grundprinzip der Elektrizität, nur dass der Strom in die jeweils geeignetste Form umgewandelt wird.

Dieses Buches möchte zum besten Nutzen der Bordelektrik verhelfen, damit man die Zeit auf dem Wasser sicher und komfortabel genießen kann.

Strom wird auf die passende Spannung transformiert, abhängig von den Anforderungen der angeschlossenen Geräte. Auf kleineren Booten sind es üblicherweise 12 oder 24 Volt. Oft muss die Spannung noch weiter verringert werden, beispielsweise für LED-Lampen (unten).



Zwischen den unterschiedlich geladenen Polen zeigt der Pfeil die Richtung der Spannung vom Minuspol zum Pluspol an. Der Strom fließt dagegen vom Pluspol durch das Kabel und die Glühlampe zum Minuspol (oben).



Volt, Ampere, Watt und Ohm

Theoretische Berechnungen sind beim praktischen Umgang mit der Bordelektrik zum Glück kaum nötig. Dieser Teil der Arbeit ist mit der Konzeption und der Erstinstallation abgeschlossen. Die Kenntnis der Grundbegriffe erleichtert jedoch das Verständnis.

Spannung (Formelzeichen U)

Elektrische Spannung entsteht zwischen zwei unterschiedlich geladenen Punkten in einem Stromkreis und wird in der Einheit Volt (V) gemessen. Denkt man an die Wasserleitung im Haushalt, so entspricht die Spannung dem Wasserdruck. Der Druck entsteht, weil sich der Vorratsbehälter in größerer Höhe als der Wasserhahn befindet. Je größer der Höhenunterschied, desto größer ist der Druck. Ähnlich ist es bei einer Batterie. Je größer der Ladungsunterschied der beiden Pole, desto höher ist die Spannung. Bei einer vollen Batterie beträgt der Unter-

schied 12,7 V zwischen dem Pluspol mit höherer Ladung und dem Minuspol. In einem Schaltplan wird die Richtung der Spannung mit einem Pfeil dargestellt, der zu dem Punkt mit höherer Ladung zeigt. Bei einer Batterie zeigt der Pfeil somit vom Minuspol zum Pluspol (siehe Seite 13).

Stromstärke (Formelzeichen I)

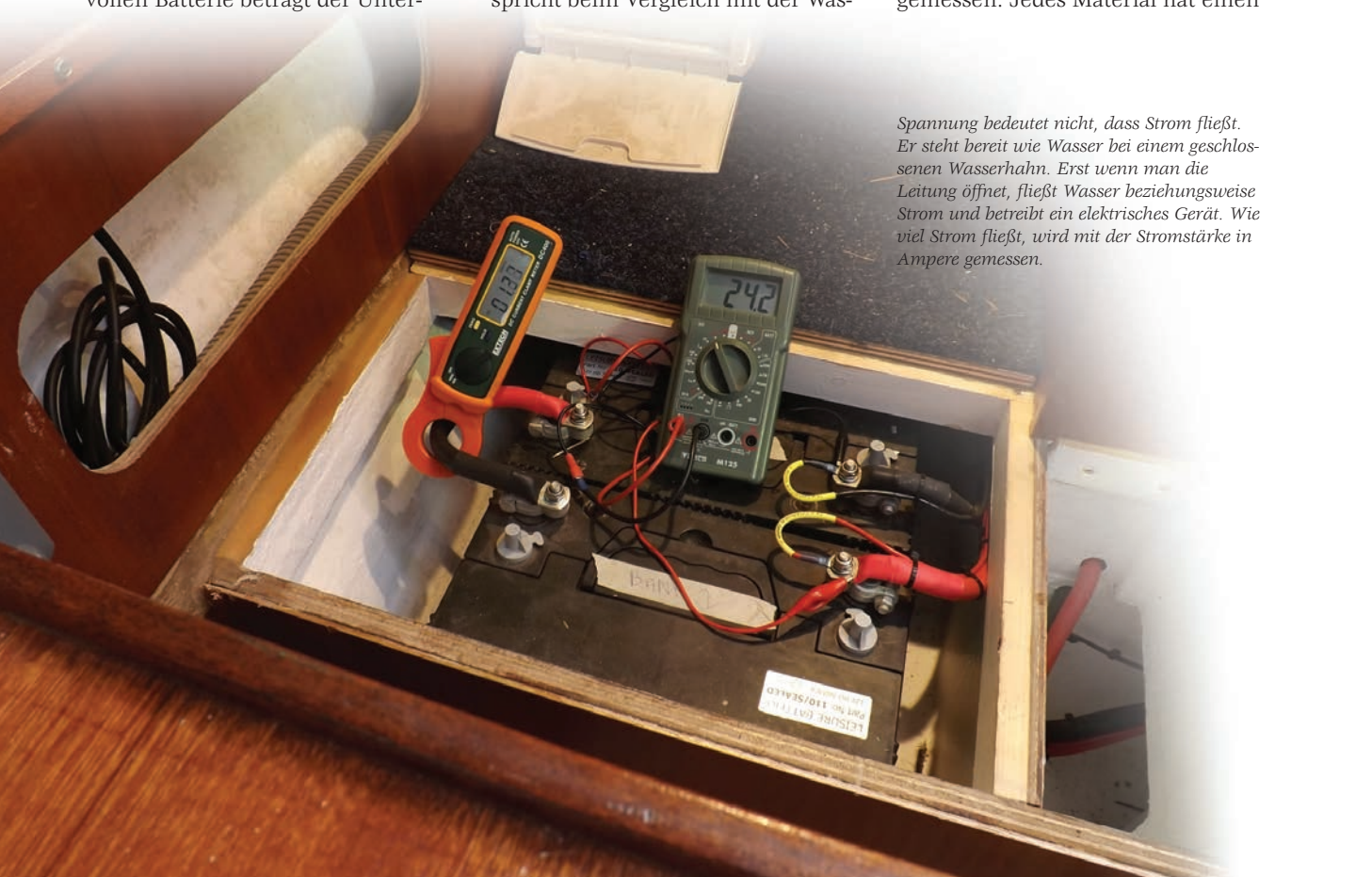
Die Stromstärke gibt an, wie viel elektrische Ladungsträger durch einen Leiter, zum Beispiel ein Kabel, fließen. Sie wird in Ampere (A) gemessen. Die Stromstärke entspricht beim Vergleich mit der Was-

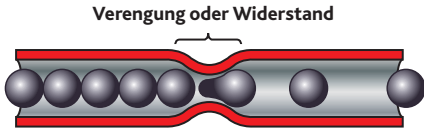
serleitung der Menge Wasser, die durch das Rohr fließt. Negativ geladene Elektronen werden vom Pluspol der Batterie angezogen. Sie hinterlassen Lücken in den Atomen. Die Lücken wandern in Richtung zum Minuspol. Die Bewegung dieser Lücken definiert den Stromfluss, sodass die Richtung des Stroms vom Pluspol durch den Stromkreis zum Minuspol führt.

Widerstand (Formelzeichen R)

Der elektrische Widerstand gibt an, wie gut Strom durch ein Material fließen kann und wird in Ohm (Ω) gemessen. Jedes Material hat einen

Spannung bedeutet nicht, dass Strom fließt. Er steht bereit wie Wasser bei einem geschlossenen Wasserhahn. Erst wenn man die Leitung öffnet, fließt Wasser beziehungsweise Strom und betreibt ein elektrisches Gerät. Wie viel Strom fließt, wird mit der Stromstärke in Ampere gemessen.





Durch den elektrischen Widerstand eines Materials bewegen sich die Elektronen langsamer, sodass weniger Strom fließen kann.

unterschiedlichen elektrischen Widerstand. Bei Kupfer ist er sehr gering, weshalb Kupfer als Leiter weitverbreitet ist.

Viele Kunststoffe haben dagegen einen sehr hohen Widerstand, sodass Strom nicht durch sie hindurchfließen kann. Kupferleitungen werden deshalb mit Kunststoff zur Isolation überzogen. So sind sie vor Kontakt mit anderen Kabeln oder Gegenständen geschützt. Natürlich verhindert diese Isolation auch, dass man bei Berührung einen elektrischen Schlag erhält. Der Widerstand macht sich innerhalb eines Stromkreises durch Spannungsabfall bemerkbar. Energie aus der Batterie geht dabei durch Wärmeentwicklung verloren.

Leistung (Formelzeichen P)

Die Leistung ist im Grunde der Verbrauch an elektrischer Energie in einem Stromkreis und wird in Watt (W) ausgedrückt. Es ist wichtig, die Leistung der am Bordnetz angeschlossenen Geräte zu kennen, um danach den Kabelquerschnitt, die Batteriekapazität und den Ladebedarf auszurichten.

Bei jedem elektrischen Gerät ist die Leistung angegeben, entweder auf einem Aufdruck oder in der Betriebsanleitung oder auf der Verpackung. Kennt man die Leistung in Watt, kann man den vom Gerät benötigten Strom in Ampere ausrechnen.



Der Ladestrom muss mehr Spannung haben als die Batterie. Das Voltmeter zeigt einen Ladestrom von 13,7 V, um eine 12-V-Batteriebank aufzuladen. Die Stromstärke des Ladestroms wird ebenfalls angezeigt. Hier beträgt sie 6 A. An den Vorzeichen $\pm$ ist erkennbar, ob der Strom in oder aus der Batterie fließt (oben und Mitte).

Tipp

Auf vielen Booten ist ein Voltmeter in der Schalttafel eingebaut. Für sich allein genommen ist sein Nutzen begrenzt, aber man kann mit einem Blick erkennen, ob die Batterie gerade geladen wird oder nicht. Zeigt das Voltmeter bei einem 12-Volt-Bordnetz einen Wert zwischen 13 und 15 Volt an, so wird die Batterie geladen (26-28 V bei einem 24-V-Bordnetz).

Die Leistung eines Geräts ist üblicherweise auf der Rückseite oder in der Gebrauchsanweisung angegeben (unten).

Die wichtigsten Formeln und Gesetze

Elektrizität ist eine Energieform, die durch einen Stromkreis fließt. Mit Messungen und einfachen Berechnungen kann man ganz genau herausfinden, was in einem Stromkreis vor sich geht. Einige der Gesetze und Formeln wurden bereits vor Jahrhunderten entdeckt. Es lohnt sich, diese auch für das Stromnetz an Bord zu kennen und anzuwenden.

Kirchhoffs Knotenregel

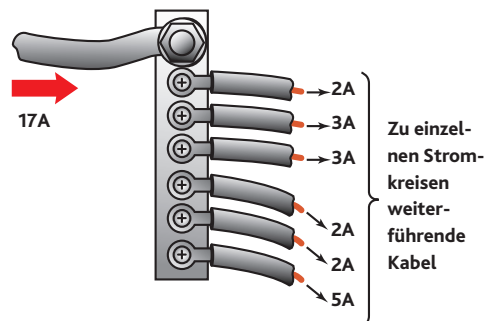
Der deutsche Physiker Gustav Robert Kirchhoff hat Mitte des 19. Jahrhunderts zwei Regeln über Ströme und Spannungen in elektrischen Schaltungen formuliert, die auch für das Bordnetz sehr nützlich sind. Die Knotenregel besagt, dass die Summe aller Ströme, die zu einem Knoten- oder Verbindungspunkt fließen, gleich der Summe aller vom Knotenpunkt abfließenden Ströme ist. Bei einem 12-V-Bordnetz bedeutet das, dass an einer Stelle, wo sich die Schaltung in mehrere Kabel aufteilt, wie bei einer Sammelschiene, der Strom in dem zuführenden Kabel gleich groß ist wie die Summe der Ströme in allen weiterführenden Kabeln.

Angenommen, der zur Sammelschiene führende Strom ist positiv, und die abfließenden Ströme sind negativ, dann ergibt die Summe aller Ströme null. Das bedeutet auch, dass das zuführende Kabel stark genug dimensioniert sein muss, um die Summe aller Ströme aufzunehmen, die zu den Verbrauchern, wie Beleuchtung, Kartenplotter etc. weiterführen. Das ist auch dann wichtig, wenn später noch weitere Verbraucher eingebaut werden – denn auch das zur Sammelschiene führende Kabel muss den zusätzlichen Strom aufnehmen können.

Kirchhoffs Maschenregel

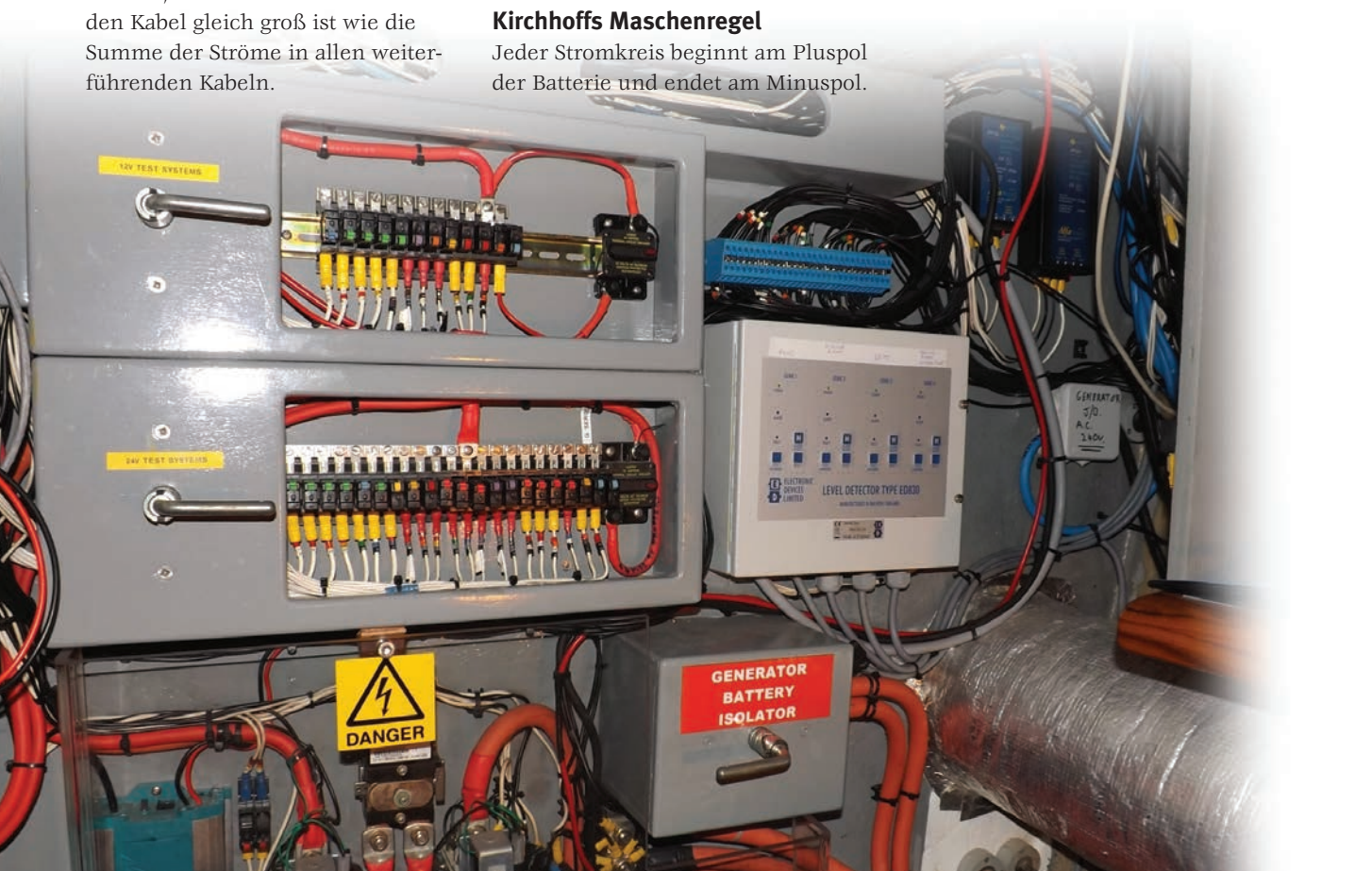
Jeder Stromkreis beginnt am Pluspol der Batterie und endet am Minuspol.

Kirchhoffs Maschenregel besagt, dass die Batteriespannung über alle Elemente des Schaltkreises aufgeteilt



Das zuführende Kabel muss die Summe aller abfließenden Ströme aufnehmen können.

Das dickere, rote Kabel führt von der Batterie zur Sammelschiene und muss – nach Kirchhoffs Knotenregel – die Summe aller zu den Verbrauchern weiterführenden Ströme liefern (unten).



wird, in erster Linie an den Hauptverbraucher. Angenommen, die positiven Teilspannungen führen im Uhrzeigersinn durch den Stromkreis und negative gegen den Uhrzeigersinn, so addieren sich diese Teilspannungen, oder Maschen, laut Kirchhoffs zweitem Gesetz zu null.

Diese Regel kann zur Fehlersuche im Bordnetz eingesetzt werden, denn der Unterschied der Spannung, den man zwischen den Batteriepolen misst, und der Spannung an einem Verbraucher ist der anderswo im Stromkreis auftretende Verlust.

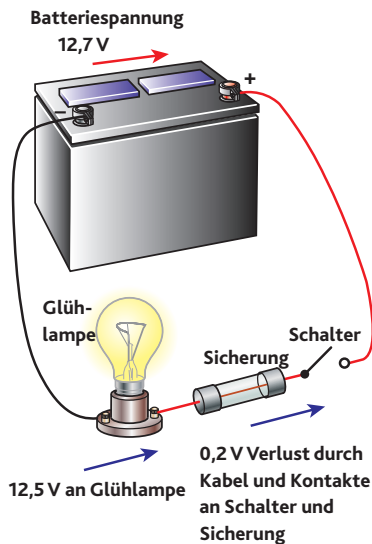
Erstes Joulesches Gesetz

Der englische Physiker James Prescott Joule formulierte den Zusammenhang von Leistung, Spannung und Stromstärke in dem ersten Jouleschen Gesetz, der Stromwärmegleichung. Daraus ergibt sich:

Leistung (in Watt) = Spannung (in Volt) x Stromstärke (in Ampere)

Oder umgeformt ergibt sich: Ampere = Watt geteilt durch Volt. Bei einer gemessenen Bordspannung von 12,5 Volt verbraucht eine 10-Watt-Glühlampe demnach einen Strom von 0,8 Ampere (10 Watt geteilt durch 12,5 Volt). Da der Großteil der Energie in Wärme umgewandelt wird, lässt sich erkennen, ob eine Kühlung durch Ventilation nötig ist.

Bei einer Leistung von 10 Watt ist die Hitzeentwicklung jedoch nicht maßgebend, hier wird lediglich die Glühlampe selbst heiß. Anders ist es bei Geräten mit 50–100 Watt Leistung, bei denen die Wärme durch Ventilation abgeführt werden muss. Außerdem kann man durch die Berechnung der Stromstärke den nötigen Kabelquerschnitt bestimmen.

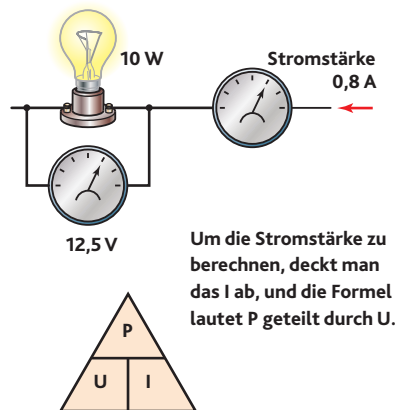


$$+ V (\text{Batterie}) - V (\text{Glühlampe}) - V (\text{Verlust}) = 0$$

$$+ 12,7 \text{ V} - 12,5 \text{ V} - 0,2 \text{ V} = 0$$

$$(\text{oder } 12,7 \text{ V} = 12,5 \text{ V} + 0,2 \text{ V})$$

Nach Kirchhoffs Maschenregel liegt die gesamte Batteriespannung an der Glühlampe an, abzüglich dem Verlust durch schlechte Kontakte, Korrosion etc. Bei größeren Spannungsverlusten leuchtet die Glühlampe schwächer.



Um die Stromstärke zu berechnen, deckt man das I ab, und die Formel lautet P geteilt durch U.

$$\text{Stromstärke (I)} = \frac{\text{Leistung (P)}}{\text{Spannung (U)}} = \frac{10 \text{ W}}{12,5 \text{ V}} = 0,8 \text{ A}$$

Mit Kenntnis der Stromstärke kann man die Auswirkungen auf die Lebensdauer der Batterie beurteilen, siehe S. 42.

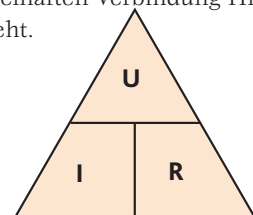
Tipp

Das Ohmsche Gesetz besagt, dass bei einer Spannung von 1 Volt ein Strom von 1 Ampere fließt, um einen Widerstand von 1 Ohm zu überwinden. Gleichermaßen fließt bei einer Spannung von 12,7 V ein Strom von 12,7 A, um einen Widerstand von 1 Ω zu überwinden.

Ohmsches Gesetz

Eine weitere Grundregel der Elektrizität wurde im 19. Jahrhundert von dem deutschen Physiker Georg Simon Ohm aufgestellt. Das Ohmsche Gesetz besagt, dass die Spannung (U) in einem Stromkreis gleich dem Produkt aus Stromstärke (I) und Widerstand (R) ist. Das bedeutet, dass der Widerstand, beispielsweise an einer schlechten Steckverbindung, zu einem Spannungsabfall führt, wenn Strom durch die Verbindung fließt.

Aus Kirchhoffs Maschenregel lässt sich folgern, dass bei dem Verlust von Spannung an einer schlechten Verbindung, weniger Spannung an der Glühlampe anliegt, wodurch sie weniger hell leuchtet, als dies eigentlich der Fall sein sollte. Joules Stromwärmegleichung besagt, dass aufgrund des Widerstands in der mangelhaften Verbindung Hitze entsteht.



$$\text{Spannung} = \text{Stromstärke} \times \text{Widerstand}$$

$$U = I \times R$$

Decken Sie die gesuchte Größe ab und das Dreieck zeigt die Formel an. Um zum Beispiel den Widerstand zu berechnen, decken Sie das R ab und im Dreieck steht U geteilt durch I (Volt geteilt durch Ampere).

Gleich- und Wechselstrom

Elektrischer Strom kann in zwei Formen produziert werden, als Dreh- oder Wechselstrom durch rotierende Bauteile wie bei einer Lichtmaschine oder als Gleichstrom durch chemische und andere Reaktionen wie bei einer Batterie, einer Solarzelle oder einer Brennstoffzelle. Der Strom kann von der einen in die andere Form gewandelt werden, zunächst soll aber die Erzeugung des Stroms genauer erklärt werden.

Wechselstrom

Bei einer Lichtmaschine dreht sich je nach Bauart zum Beispiel ein Magnet in einem Gehäuse, das mit einem langen isolierten Kabel umwickelt ist und somit eine Spule bildet. Jedes Mal, wenn sich der Nordpol des Magneten an der Spule vorbei dreht, induziert er einen Stromfluss in die eine Richtung, und bei der zweiten Hälfte jeder Umdrehung induziert der Südpol des Magneten einen Stromfluss in die andere Richtung. Das wiederholt sich mit jeder Umdrehung.

Die Spannung hat dabei die Form einer Sinuskurve mit einer Frequenz (in Hertz, Hz) in Abhängigkeit von der Zahl der Umdrehungen der Lichtmaschine pro Sekunde. Weltweit hat der Haushaltsstrom eine Frequenz von entweder 50 oder 60 Hz und eine Spannung zwischen 110 und 240 V. Wechselstrom hat viele Vorteile, aber auch einen entscheidenden Nachteil: Ohne Umformung kann er nicht gespeichert werden.

Die elektrische Spannung von Batterien hat gleichbleibende Polarität.

Gleichstrom

Bei Gleichstrom, wie ihn Batterien und Solarpaneele liefern, wechselt die Polarität nicht. An Bord sind Spannungen von 12 V oder 24 V üblich. In einer Solarzelle lösen sich durch das Sonnenlicht Elektronen, sodass Strom fließt. Dieser Prozess ist nicht umkehrbar. Anders bei der chemischen Reaktion in einer Batterie. Dieser Prozess wird umgekehrt, wenn Strom über ein Ladegerät in die Batterie zurückgeleitet wird. Batterien sind dadurch von unschätzbarem Wert als Energiespeicher an Bord, sorgen aber auch durch ihre Eigenheiten für endlosen Gesprächsstoff.

Stromrichter

Stromart und Spannung können ohne größere Probleme umgewandelt werden. Ein gutes Beispiel für einen solchen Stromrichter ist das Ladegerät an Bord, das den Wechselstrom mit der Netzspannung von 110–240 V in Gleichstrom mit einer Spannung von ungefähr 14 V (28 V) umwandelt, der dann als Ladestrom für die Batterien dient.

Auch die Lichtmaschine produziert zunächst Wechselstrom, der mit dem in die Lichtmaschine integrierten Gleichrichter und einem Lade-regler in Gleichstrom gewandelt wird, sodass er direkt an die Batterien weitergeleitet werden kann.

