



8.
AUFLAGE

PRAXISWISSEN

JENS FEDDERN

THEORIE UND PRAXIS DER BORDELEKTRIK



DELIUS KLASING

PRAXISWISSEN

JENS FEDDERN

THEORIE UND PRAXIS DER BORDELEKTRIK

Delius Klasing Verlag

Inhalt

1. Grundlagen

- 1.1 Spannung, Strom, Leistung und ihr Zusammenhang
- 1.2 12 V oder 24 V - die richtige Wahl der Bordspannung
- 1.3 Minus und Masse - wo ist der Unterschied?
- 1.4 Galvanische Ströme - was verbirgt sich dahinter?
- 1.5 Kabelarten
- 1.6 Kabelquerschnitte und ihre Berechnung
- 1.7 Schaltpläne lesen und zeichnen
- 1.8 Messtechnik - wie misst man was?
 - 1.8.1 Prüfen
 - 1.8.2 Messen
 - 1.8.2.1 Gleichspannungsmessung
 - 1.8.2.2 Wechselspannungsmessung
 - 1.8.2.3 Strommessung
 - 1.8.2.4 Widerstandsmessung
 - 1.8.2.5 Diodenprüfung
 - 1.8.2.6 Sicherheitshinweise
- 2. Schiffsbatterien
 - 2.1 Batteriearten
 - 2.2 Dimensionierung der Batterie
 - 2.2.1 Batterieschaltungen
 - 2.2.1.1 Parallelschaltung
 - 2.2.1.2 Reihenschaltung
 - 2.2.1.3 Reihen-Parallelschaltung
 - 2.2.2 Ermittlung der Kapazität

- 2.3 Montage
- 2.4 Wie hält man die Batterie am Leben?
 - 2.4.1 Diagnose
 - 2.4.1.1 Spannungsmessung
 - 2.4.1.2 Messung der Säuredichte
 - 2.4.1.3 Messung unter Belastung
 - 2.4.1.4 Messung mit Spezialgeräten
 - 2.4.1.5 Diagnose mit Batteriemonitor
 - 2.4.2 Wartung
 - 2.4.3 Batterieauffrischer
 - 2.4.4 Batterien und Umwelt
- 3. Ladetechnik
 - 3.1 Lichtmaschinen für den Bordgebrauch
 - 3.1.1 Gerätevarianten
 - 3.1.2 Anschluss der Drehstromlichtmaschine
 - 3.1.3 Eine Lichtmaschine für mehrere Batterien
 - 3.2 Ladegeräte für den Bordeinsatz
 - 3.2.1 Geräte und Kennlinien
 - 3.2.2 Auswahl des Ladegerätes
 - 3.3 Gleichstromgenerator
 - 3.4 Brennstoffzelle
 - 3.5 Solartechnik für den Bordeinsatz
 - 3.5.1 Funktion der Solarzelle
 - 3.5.2 Kennlinien der Solarzellen
 - 3.5.3 Solarmodule für den Bordgebrauch
 - 3.5.4 Solarladeregler
 - 3.5.5 Auswahlkriterien
 - 3.6 Windgeneratoren
- 4. Das richtige Material für die Bordinstallation
 - 4.1 Schutzarten und PG-Verschraubungen
 - 4.2 Leitungsverbindung
 - 4.2.1 Crimpverbindung

- 4.2.2 Adernendhülsen
- 4.2.3 Steckverbindungen
- 4.3 Verteilung
 - 4.3.1 Klemmen
 - 4.3.2 Verteilerdosen
 - 4.3.3 Sammelschienen
 - 4.3.4 Hochstromverteiler
- 4.4 Schalter
 - 4.4.1 Schalterarten
 - 4.4.2 Batterietrennschalter
 - 4.4.3 Batteriewahlschalter
 - 4.4.4 Fernbedienbare Schalter (Relais)
- 4.5 Sicherungen
- 5. Die Arbeiten des Bordelektrikers
 - 5.1 Werkzeug
 - 5.2 Kabelverlegung
 - 5.3 Praxis der Schaltpaneele
 - 5.3.1 Zugänglichkeit und Montage
 - 5.3.2 Erstellung eines Schaltpaneels
- 6. Bordnetzwerke
 - 6.1 LAN-Netzwerk an Bord
 - 6.1.1 Stromversorgung über das Netzwerk
 - 6.1.2 Verbindung mit dem Internet
 - 6.1.3 Fernzugriff – aber sicher
 - 6.2 CAN-Bus
 - 6.2.1 NMEA 2000
 - 6.2.2 NMEA 0183
- 7. Gleichstromverteilung
 - 7.1 Struktur des Gleichstromnetzes
 - 7.2 Einfaches Gleichstromnetz mit zwei Batteriesätzen
 - 7.3 Komfortables Gleichstromnetz mit zwei Batteriesätzen

- 7.4 Komfortables Gleichstromnetz mit drei Batteriesätzen
- 7.5 Gleichstromverteilung über BusSysteme
 - 7.5.1 MasterBus
 - 7.5.2 CZone auf NMEA-2000-Basis
 - 7.5.3 P-Bus
- 7.6 Zentrale Gleichstromverteilung mit Stromstoßrelais
- 7.7 Automation der Bordelektrik im Eigenbau
 - 7.7.1 Programmierbares Steuerungsmodul Logo
 - 7.7.2 Smart Home an Bord mit Homematic
 - 7.7.3 Hardcore-Programmierung und Elektronik im Eigenbau
- 8. Energiemanagement an Bord
 - 8.1 Analyse des Bordnetzes
 - 8.1.1 Spannungsmessung
 - 8.1.2 Strommessung
 - 8.1.3 Batteriecomputer
 - 8.2 Lastabwurf
- 9. Beleuchtung
 - 9.1 LED-Technologie
 - 9.2 Navigationslichter
 - 9.2.1 Montage
 - 9.2.2 Der elektrische Anschluss
 - 9.2.3 Funktionsüberwachung
 - 9.3 Suchscheinwerfer
 - 9.4 Decksbeleuchtung
 - 9.5 Innenbeleuchtung
- 10. 230 V an Bord – aber sicher
 - 10.1 Aufbau des Netzes
 - 10.2 Die Gefahr von Elektrounfällen
 - 10.3 Normen und Richtlinien
 - 10.4 Schutzeinrichtungen
 - 10.4.1 Schutzerdung

- 10.4.2 Trenntransformator
- 10.4.3 Fehlstromschutzschalter RCCB
- 10.4.4 Schutzschalter
- 10.4.5 Polaritätsanzeiger
- 10.5 Landanschluss
 - 10.5.1 Kennzeichnung
 - 10.5.2 Steckverbindungen
 - 10.5.3 Landanschlusseinheit
- 10.6 Wechselstrominstallation
 - 10.6.1 Einfaches Wechselstromnetz nur mit Ladegerät
 - 10.6.2 Das TN-S-Netz
 - 10.6.3 Das TN-S-Netz mit Trenntransformator
 - 10.6.4 Das TN-S-Netz mit mehreren Spannungserzeugern
- 10.7 Wechselstromgeneratoren
 - 10.7.1 Benzingeneratoren
 - 10.7.2 Dieselgeneratoren
 - 10.7.3 Montage und Betrieb
 - 10.7.4 Inverter-Generator
- 10.8 Wechselrichter
 - 10.8.1 Wechselrichtertypen
 - 10.8.2 Dimensionierung
 - 10.8.3 Kombiniertes Power-Paket
- 10.9 110-V-Installationen
- 11. Motorelektrik
 - 11.1 Digitale Motorüberwachung
 - 11.2 Analoge Motorbedienung und -überwachung
 - 11.2.1 Vorglühen und Starten
 - 11.2.2 Stoppeinrichtung für Dieselmotoren
 - 11.2.3 Bedienen und Beobachten
 - 11.2.4 Warnanlage
 - 11.2.5 Der zweite Steuerstand
 - 11.3 Elektrischer Bootsantrieb

11.3.1 Dimensionierung

11.3.2 Elektrische Installation

12. Entstörung und elektromagnetische Verträglichkeit

12.1 Reduzierung des Einflusses von elektromagnetischen Störungen

12.2 Vermeidung von Störaussendungen an der Quelle

13. Wartung und Fehlersuche

13.1 Wartung

13.2 Fehlersuche

13.2.1 Der Verbraucher arbeitet nicht, obwohl er eingeschaltet ist

13.2.2 Der Verbraucher arbeitet, obwohl er ausgeschaltet ist

13.2.3 Der Verbraucher arbeitet manchmal bzw. nicht mit voller Leistung

13.2.4 Eine Sicherung löst immer wieder aus

Bildverzeichnis

Literatur

Register

Vorwort zur 8. Auflage

Was gibt es Schöneres, als mit einem Boot auf einem See oder besser noch auf dem Meer bei steifer Brise hoch am Wind zu segeln oder mit dem Kajütkreuzer gemütlich die Flüsse und Kanäle zu erkunden? Ein echtes Stück Freiheit und Unabhängigkeit. Diese bedeuten aber auch Eigenverantwortung und die Möglichkeit, sich selbst helfen zu können.

Sowohl Segel- als auch Motorboote sind heutzutage mit einer Unmenge an elektrischen Hilfseinrichtungen versehen, die viel Komfort und Sicherheit bieten. Allen gemeinsam ist die Abhängigkeit vom Strom, der – im Gegensatz zur Installation an Land – an Bord erzeugt, gespeichert und verteilt werden möchte.

Als Skipper an Bord reicht es nicht, diese Systeme bedienen zu können, sondern man sollte auch seine Elektrik kennen und verstehen, um im Fehlerfall eine Diagnose oder sogar Reparaturen vornehmen zu können.

Noch schöner als das Fahren – oder zumindest genauso schön – ist für viele Skipper das Selbermachen. Wenn man nicht gerade zwei linke Hände hat und sich der Chancen, aber auch der Risiken von Strom an Bord bewusst ist, kann man vieles in der Bordelektrik selbst bewerkstelligen.

Von der Erweiterung oder Modernisierung der Ausrüstung bis zur Runderneuerung der elektrischen Installation gibt es viel Gestaltungsraum für die dunklen Monate im Winterlager.

Auf diesem Weg möchte ich Sie mit »Theorie und Praxis der Bordelektrik« in der nun aktualisierten 8. Auflage unterstützen. Entdecken Sie auf mehr als 240 Seiten komprimiertes Wissen sowie praxiserprobte Anregungen. Die Themenvielfalt rund um die Bordelektrik (und der installierten Systeme an Bord) ist so ausgefüllt, dass ein umfassender Ein- und Überblick diesen Platz benötigt: Innovative Energiespeicher, diverse Lademöglichkeiten, Kommunikation der Geräte untereinander, Beleuchtungskonzepte, Antriebssysteme und vieles mehr wollen beschrieben werden.

Das Gemeinsame an all diesen Systemen ist die Abhängigkeit von wenigen, aber sehr wichtigen Grundlagen: Wie komme ich von der Leistung zum notwendigen Kabelquerschnitt? Welche Batteriekapazität brauche ich? Welche Risiken hat Strom an Bord? Und welche Vorschriften muss ich beachten, um weder das Schiff, die Besatzung noch den Versicherungsschutz zu gefährden?

Kommt Ihnen die ein- oder andere Frage bekannt vor? Dann willkommen an Bord: Hier bekommen Sie Antworten!

Das Buch unterstützt Sie, sich mit der Materie vertraut zu machen, um in Fachgesprächen mit einer Werft und Handwerkern klar Ihre Interessen vertreten zu können.

Es bietet Ihnen Sicherheit, sich z. B. auf dem nächsten Chartersörn selbst zu helfen, wenn in der abgelegenen Ankerbucht die elektrische Ankerwinde nicht laufen will.

Sie werden wissen, welche Batterietypen und -größen für Ihre Anwendung und Bedürfnisse die optimale Lösung bei Ihnen an Bord sein werden.

Und es dient Ihnen als treuer Begleiter, um spezifische Themen rund um die Bordelektrik bei Bedarf nachzuschlagen.

Ich wünsche Ihnen viel Vergnügen bei der Lektüre und noch mehr Spaß bei der erfolgreichen Umsetzung an Bord.

Jens Feddern



1. Grundlagen

1.1 Spannung, Strom, Leistung und ihr Zusammenhang

Die Bordelektrik kann relativ komplexe Formen annehmen, lässt sich aber auf wenige Gesetzmäßigkeiten zurückführen. Kennt man diese, so sieht man die Planung, Nachrüstung und Fehlersuche mit ganz anderen Augen.

Die Elektrizität ist eine Energieform, die sich relativ einfach erzeugen (z. B. durch einen Generator), speichern (Batterie) und transportieren (Leitungen) lässt. Am Verbraucher wird diese Energie in mechanische Bewegung (Elektromotor), Licht oder Wärme umgewandelt.

Die erste wichtige Größe ist die **Leistung**, die mit dem Buchstaben **P** abgekürzt und in **Watt (W)** gemessen wird. Die Leistung gibt an, wie viel elektrische Energie an einem Verbraucher benötigt wird, z. B. 25 W für eine Positionsleuchte, 100 W für eine Trinkwasserpumpe oder 1.000 W für eine Kaffeemaschine. Für die Auslegung der Bordelektrik muss man die Leistung der Verbraucher kennen, denn die dafür erforderliche Energie muss an Bord zur Verfügung gestellt und transportiert werden.

Die Energie wird häufig in Batterien gespeichert. Eine wichtige Kenngröße der Batterie ist die **Spannung**, die mit **U** abgekürzt und in **Volt (V)** gemessen wird. Von der Batterie muss die elektrische Energie zum Verbraucher transportiert werden. Hierfür werden Leitungen verwendet, durch die der **Strom** mit der Abkürzung **I** fließt, gemessen in **Ampere (A)**.

Die drei Größen stehen im folgenden Zusammenhang und bilden praktisch das erste Grundgesetz für die Bordelektrik:

$$\text{Leistung} = \text{Spannung} \cdot \text{Strom } P = U \cdot I$$

Kennt man die Leistung (z. B. vom Typenschild) sowie die Spannung (Batterie), so lässt sich einfach durch Umstellung der fließende Strom berechnen:

$$\text{Strom} = \frac{\text{Leistung}}{\text{Spannung}} ; I = \frac{P}{U}$$

Der Strom ist eine sehr wichtige Kenngröße für den Bordelektriker, denn durch ihn wird entschieden, ob die Bordelektrik funktioniert oder in Rauch aufgeht. Kennt man den Strom, so kann man die Leitungen und Sicherungseinrichtungen entsprechend korrekt dimensionieren.

Der elektrische Strom, der durch die Zuleitung zur Positionslampe fließt, erhitzt die dünne Drahtwendel in der Lampe bis zur Weißglut. Die gleiche Stromstärke erwärmt die dicke Zuleitung aber kaum. Demnach hängt die Erwärmung von der Dicke (besser gesagt Querschnittsfläche), der Länge und dem Material der Leitung ab.

Die Erwärmung der Leitung ist ebenfalls eine Form von Energie, die durch den Widerstand der Leitung verursacht wird. Der **Widerstand** hat den Buchstaben **R** und wird in **Ohm (Ω)** gemessen.

Der spezifische Widerstand ist materialbedingt und beträgt für Kupfer z. B. $0,0178 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$.

$$\text{Widerstand (R)} = \frac{\text{spezifischer Widerstand } (\rho) \cdot \text{Leiterlänge (l)}}{\text{Querschnittsfläche (A)}} \quad R = \frac{\rho \cdot l}{A}$$

Je länger die Leitung wird, desto größer ist der Widerstand, und je dicker die Leitung ist, desto kleiner ist der Widerstand. Die Auswirkungen des Widerstands werden im zweiten Grundgesetz der Bordelektrik deutlich, dem ohmschen Gesetz:

$$\text{Spannung} = \text{Widerstand} \cdot \text{Strom } U = R \cdot I$$

Bei der Spannung handelt es sich um den Spannungsabfall, der an dem Leitungswiderstand abfällt und somit für den eigentlichen Verbraucher nicht mehr zur Verfügung steht.

Je größer der Widerstand ist (d.h. je dünner und länger die Leitung ist) und je höher der Strom ist, desto größer werden die Verluste in den Leitungen. Die Erwärmung der Leitung durch diese Verluste kann durchaus so groß werden, dass die Isolierung schmilzt und ein Brand verursacht wird!

Im 230-V-Netz zu Hause hat ein Toaster eine Leistungsaufnahme von 1.500 W.

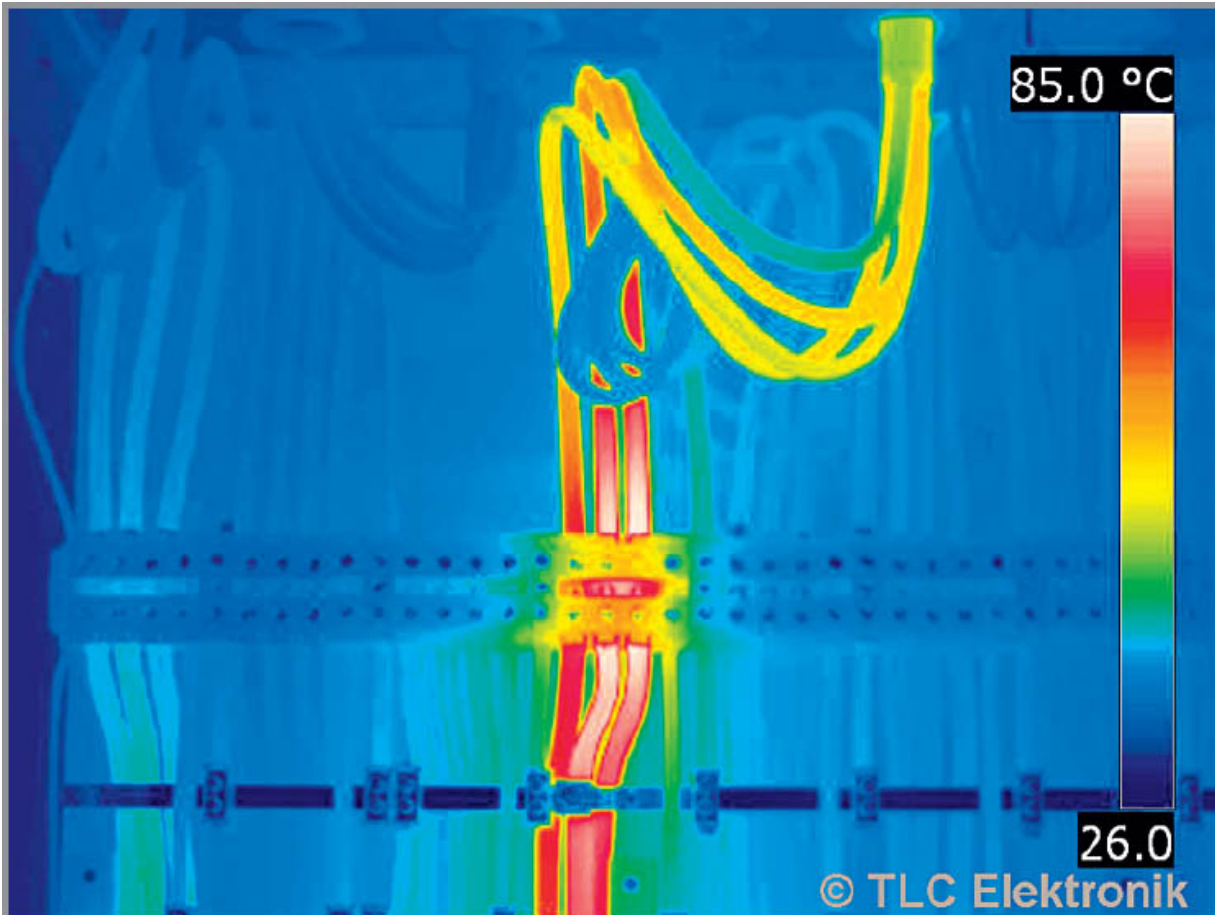


Abbildung 1-1: Mit der Wärmebildkamera können die Leitungsverluste gut veranschaulicht werden. (TLC Elektronik)

Durch die Zuleitung fließt daher ein Strom von ca. 7 A. Für diesen Strom ist ein Kabel mit einer Querschnittsfläche von $0,75 \text{ mm}^2$ ausreichend. Im 12-V-Bordnetz entspricht aber der gleiche Strom gerade mal einer Leistung von 84 W! Ein Scheinwerfer mit einer Leistung von 150 W hat bereits eine Stromaufnahme von 12,5 A, der die $0,75\text{-mm}^2$ -Leitung überlasten würde.

Daraus wird deutlich, dass an Bord dickere Kabelquerschnitte notwendig sind - Materialien für die Hausinstallation können nur bedingt verwendet werden.

1.2 12 V oder 24 V - die richtige Wahl der Bordspannung

Die Gleichspannungsnetze an Bord werden grundsätzlich aus Batterien gespeist, deren Spannung 12 V beträgt. Die Bordnetzspannung kann somit ganzzahlige Vielfache von 12 betragen: 12, 24, 36 oder 48 V.

Aus dem ersten Grundgesetz der Bordelektrik ($P = U \cdot I$) ist ersichtlich, dass je höher die Spannung ist, bei gleichem Strom mehr Leistung übertragen werden kann und die Spannungsabfälle durch den geringeren Stromfluss kleiner sind.

Die Betriebsspannung der angeschlossenen Verbraucher gibt die Anforderungen an das Bordnetz vor. Viele Geräte aus dem Kfz-Umfeld sind für eine Betriebsspannung von 12 V ausgelegt, daher hat sich dieses Spannungsniveau häufig an Bord etabliert.



Abbildung 1-2: Getaktete Gleichspannungswandler für den Bordbetrieb. (Mastervolt)

In der Berufsschifffahrt sind die Leitungslängen deutlich länger, daher ist hier eine Bordnetzspannung von 24 V üblich.

Ein Vorteil von vielen 24-V-Geräten der Berufsschifffahrt besteht darin, dass sie zum Großteil für den Einsatz an Bord konzipiert worden sind.

Elektrische Großverbraucher bekommen an Bord immer mehr Bedeutung. Ob elektrische Ankerwinde, das Bugstrahlruder oder die elektrische Winsch - sobald diese Geräte eine echte Hilfe sein sollen, äußern sie einen gnadenlosen Durst nach Strom.

Die Auswirkungen auf die Installation sind erheblich, denn das gesamte Material muss für diese Ströme ausgelegt sein: Die Batterie muss in der Lage sein, den erforderlichen Strom abzugeben, die Kabelquerschnitte bewegen sich häufig bei mehr als 100 mm², die Schalter und Schütze müssen mit dem Abrissfunken der hohen Ströme klarkommen, und der Rotor muss über die Kohlebürsten den hohen Strom aufnehmen. Hier stoßen 12-V-Anlagen sehr schnell an ihre Grenzen.

Elektrische Bugstrahlanlagen in 12 V gibt es bis maximal 5,7 kW. Für höhere Leistungen werden 24- oder 48-V-Systeme installiert.

Die Erzeugung von 230-V-Wechselspannung an Bord über einen Wechselrichter ist heute kein Luxus mehr, sondern fast Standard. Schnell die Espressomaschine anzuwerfen oder mit dem Staubsauger durchs Vorschiff zu saugen, sind Grundbedürfnisse.

Die Kaffeemaschine mit Effizienzklasse A benötigt trotzdem eine Leistung von 1.260 W, was einem Strom von weit über 100 A entspricht, den der Wechselrichter aus der 12-V-Batterie ziehen muss.

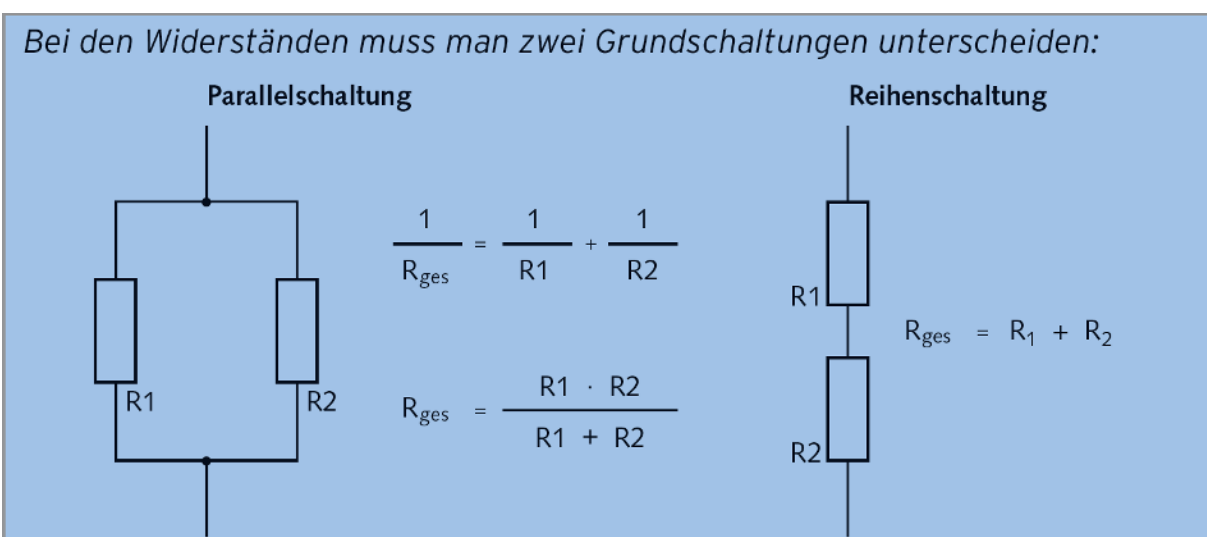


Abbildung 1-3: Parallel- und Reihenschaltung von elektrischen Widerständen.

Je höher die Ströme, desto aufwendiger und teurer wird die Installation. Geräte, die mit höherer Spannung betrieben werden, sind in der Regel kostspieliger. Aus diesem Grund werden häufig Mischformen an Bord installiert, z. B. 12-V-Systeme für das »normale« Bordnetz und separate 24-V-Installationen für das Bugstrahlruder und die Maschinenanlage.

Um Geräte mit unterschiedlicher Betriebsspannung im gleichen Netz verwenden zu können, sind elektronische Spannungswandler erforderlich. Es ist nicht zu empfehlen, die 12 V direkt an der Batterie abzuzapfen, da die Batterien damit ungleichmäßig entladen werden und sich ihre Lebensdauer deutlich verringert.

Spannungswandler sollten zusammen mit dem Verbraucher abgeschaltet werden, um Verluste durch Ruhestrome zu vermeiden.

Bei der Auswahl geeigneter Spannungswandler bieten sich getaktete Geräte an, die im Vergleich zu linearen Wandlern einen erheblich besseren Wirkungsgrad haben. Während lineare Wandler einen Großteil ihrer Energie in Wärme abgeben, erreichen getaktete Wandler einen Wirkungsgrad von mehr als 90 %. Der Schaltungsaufwand ist bei getakteten Systemen höher, um schädliche Störungen zu minimieren.

1.3 Minus und Masse - wo ist der Unterschied?

Zwei Begriffe, die häufig verwechselt werden, stehen in diesem Abschnitt im Vordergrund. Als **Minus** bezeichnet man grundsätzlich den negativen Pol einer Spannungsquelle.

Bei der Bordnetzatterie ist diese der kleinere Anschlusspol. Viele Geräte werden an den Anschlussklemmen mit dem Plus- und Minuseingang gekennzeichnet.

Ganz unabhängig davon ist die Bezeichnung **Masse**. Im ursprünglichen Sinne ist die Masse nur ein Potenzial, auf das man alle anderen Spannungen bezieht. Daher liegen an der Masse 0 V an. Dies ist nur eine Vereinbarung, um u. a. angegebene Spannungen zwischen den gleichen Punkten zu messen.

In der DIN EN ISO 13297 wird die Masse gleich der Erde des Wasserfahrzeugs gesetzt, und sie bedeutet eine leitende Verbindung (beabsichtigt oder unbeabsichtigt) mit der allgemeinen Erde, einschließlich jedes leitenden Teils der benetzten Oberfläche des Rumpfes.

Vorsatz	Abkürzung	Zahl	Beispiel
Mega	M	1.000.000	1 MW = 1.000.000 W
Kilo	k	1.000	1 kW = 1.000 W
Hekto	h	100	1 hV = 100 V
Dezi	d	0,1	1 dm = 0,1 m
Zenti	c	0,01	1 cm = 0,01m
Milli	m	0,001	1 mA = 0,001 A
Mikro	μ	0,000001	1 V = 0,000001 V

Tabelle 1-1: SI-Vorsätze für dezimale Vielfache und Teile (Auswahl).

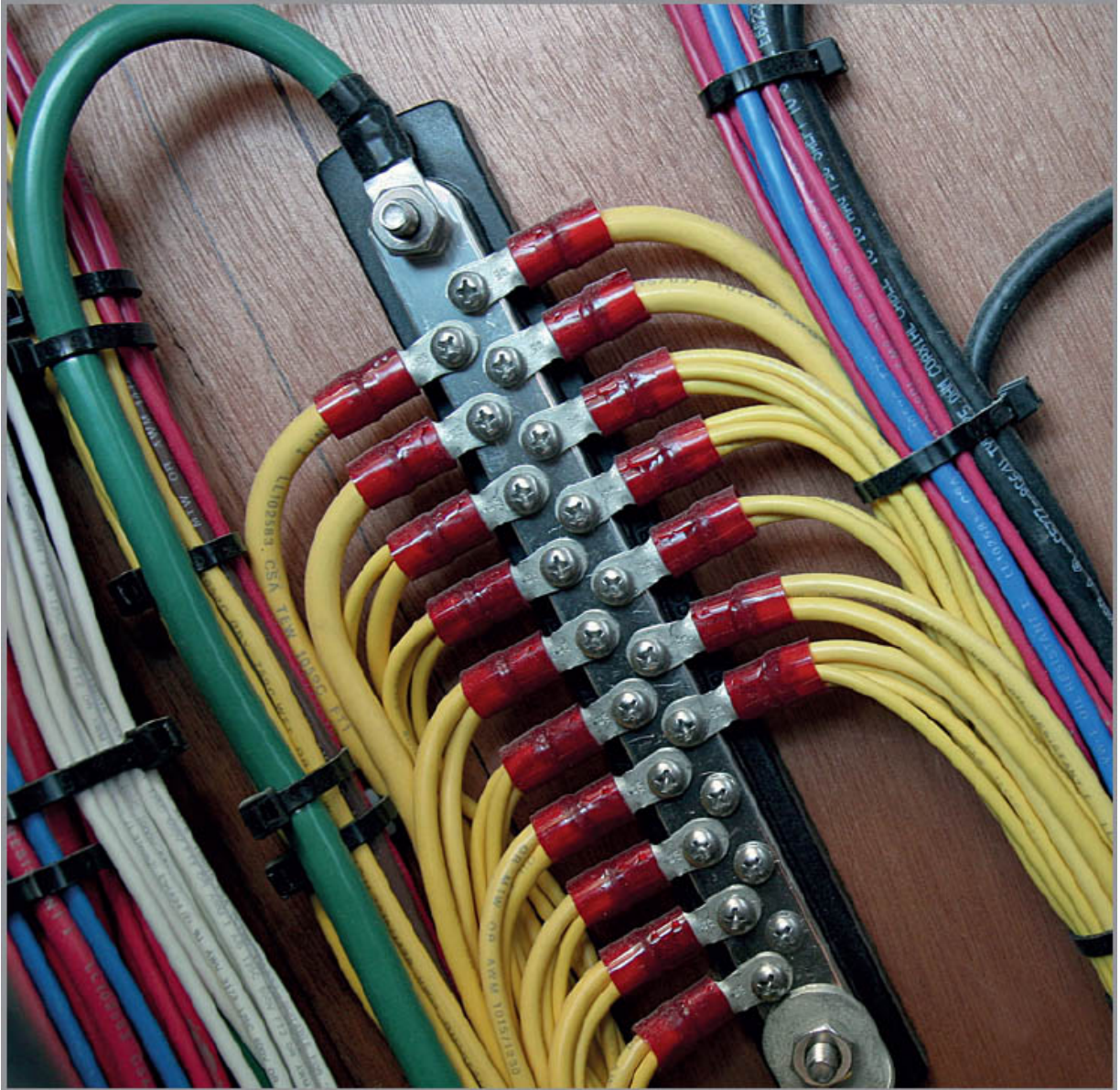


Abbildung 1-4: Massesammelschiene. (BlueSea) Die Massesammelschiene dient als zentraler Erdungspunkt an Bord. Von hier aus werden alle Masseleiter sternförmig zu den Verteilungen bzw. Verbrauchern geführt.

Bei elektrischen Anlagen und Verbrauchern bildet das Gehäuse die Masse. Wir sind es gewohnt, dass der Minuspol an der Masse angeklemmt ist und alle anderen Spannungen auf dieses Potenzial bezogen werden. Das bedeutet, dass

man z. B. zwischen dem Pluspol der Batterie und der Masse – sprich dem Rumpf oder dem Gehäuse – eine Spannung von 12 V misst. Viele Geräte haben bereits vom Hersteller aus den Minuspol auf Masse – sprich auf dem Gehäuse. Dies trifft man besonders bei Autoradios, Motoren und Radaranlagen an.

Würde man nun den Pluspol an Masse klemmen, so würde man von einem heftigen Funkenregen überrascht werden, da auf diese Weise ein perfekter Kurzschluss aufgebaut wird.

Wenn schon ein Potenzial an die Masse geklemmt werden muss, dann auf jeden Fall der Minuspol!

Die DIN EN ISO 13297 schreibt entweder ein vollständig isoliertes Zweileiter-Gleichstromsystem vor oder eines mit negativer Masse. Die Betonung liegt hierbei aber auf »Zweileitersystem«, d. h. jeder Verbraucher erhält ein Kabel mit einem Plus- und einem Minusleiter. Der Rumpf des Bootes darf – im Gegensatz zum Kfz – nicht als stromführender Leiter genutzt werden.

Die beste Lösung wäre, die elektrische Anlage komplett massefrei aufzubauen. Das hieße, dass überhaupt kein Potenzial am Rumpf anliegen würde. Dies wäre in der Praxis aber nur mit erheblichem Aufwand zu verwirklichen, da viele Geräte und Motoren bereits den Minuspol auf Masse haben. Massfreie Anlagen sind z. B. bei Tankschiffen Vorschrift und sollten besonders bei Aluminium-Booten angestrebt werden, um die galvanische Korrosion zu vermeiden. Da viele Geräte und Maschinen für den Bordeinsatz aus der Kfz-Industrie kommen, sind sie grundsätzlich auch für einen Betrieb mit »Minus an Masse« ausgelegt. Massfreie Geräte sind somit fast »Exoten«, zumindest für den Markt der Sportschiffahrt. Mittlerweile werden aber viele Geräte für den Bordeinsatz auch massfrei angeboten, wie z. B. die gesamte Sensorik für die Motorüberwachung und isolierte Lichtmaschinen.

Problematischer wird es beim Anlasser, der in der Regel die Masse am Gehäuse hat. Da dieser den Strom aber nur beim Anlassen benötigt, könnte man den Minusanschluss für die Motormasse im Moment des Startens über einen Leistungsschütz zuschalten. Dieser muss dann aber den gesamten Anlassstrom (mehrere Hundert Ampere) verkraften. Aufpassen muss man beim elektrischen Absteller. Hier kommen zum Teil Ventile mit Masseanschluss zum Einsatz, die während der gesamten Laufzeit des Motors Strom benötigen. Und somit ist die Anlage schon wieder nicht massefrei. Der Teufel einer massefreien Anlage liegt im Detail, und sobald wir zusätzlich die Erdung der 230-V-Installation betrachten, wird es noch eine Spur schwieriger. Daher wird man häufig einen Kompromiss finden müssen.

Bei massefreien Systemen müssen alle Schalter und Sicherungen grundsätzlich zweipolig ausgeführt werden. Verbraucher, die bereits Minus auf Masse haben, müssen besonders gute Minusverbindungen haben, da sie den Stromkreis sonst einfach über die Masse fortsetzen. An allen Anschlussklemmen können sich mit der Zeit durch Korrosion Übergangswiderstände bilden. Daher müssen die Klemmen regelmäßig kontrolliert und gegebenenfalls gereinigt werden.

Auch die Maschinenanlage muss über eine ausreichende Leitung mit dem Minuspol der Batterie verbunden sein, da besonders hier durch den Anlasser und die Lichtmaschine hohe Ströme auftreten können.

Befinden sich an Bord mehrere Batteriesätze, so müssen die einzelnen Minuspole auf einer Sammelschiene verbunden werden, von der aus die Einspeisung zu den Verbrauchern erfolgt. Alle geerdeten Geräte an Bord werden mit einem zentralen Erdanschluss mit ausreichendem Querschnitt verbunden. Nach den Vorschriften der Schiffsuntersuchungskommission (SUK) müssen

Navigationslichter allpolig abgesichert werden. Auch für die UKW-Funkanlage gelten ähnliche Vorschriften, die besagen, dass sowohl der Plus- als auch der Minuspol abgesichert und abschaltbar sein müssen.

Die Schäden, die durch falsche Minus- und Masseverkabelung entstehen, werden häufig unterschätzt, obwohl diese erheblich sein können - bis hin zum Verlust des gesamten Fahrzeugs. So praktisch eine Kfz-Verkabelung an Land ist, an Bord hat sie nichts zu suchen!

1.4 Galvanische Ströme - was verbirgt sich dahinter?

Ende des 18. Jahrhunderts beobachtete der italienische Arzt und Naturforscher Luigi Galvani, dass seine leblosen Frösche, die er auf eine Leine gespannt hatte, bei Regen auf einmal zuckten. Nach genauerer Untersuchung stellte er fest, dass zwei unterschiedliche Metalle, die leitend miteinander verbunden sind und sich in einem Elektrolyten (einer leitenden Flüssigkeit) befinden, einen Gleichstrom erzeugen. Diese Entdeckung prägt noch heute unsere gesamte Bordelektrik, auch wenn wir keine Frösche an Bord haben. Der galvanische Effekt wird zum einen verwendet, um elektrische Energie speichern zu können.

Die andere Seite des Effekts ist die Zersetzung von Metall unter dem Einfluss der Elektrizität. Beim Galvanisieren nutzt man diesen Effekt aus, um eine Oberfläche sehr dünn (0,001 bis 0,05 mm) zu veredeln, z. B. beim Vergolden. Und wie sieht es am Schiff aus? Häufig ist es aus einem Metall (Stahl, Aluminium) oder hat Metallteile (Welle, Propeller, Antrieb), die sich im Wasser befinden. Hier lohnt es sich, einen Blick hinter die Kulissen zu werfen.

Jedes Metall verhält sich unterschiedlich in einem galvanischen Element. [Tabelle 1-2](#) gibt einen Überblick über die elektrochemische Spannungsreihe.

Die unterschiedlichen Metalle haben verschiedene Referenzspannungen. Wenn zwei verschiedene Metalle miteinander kurzgeschlossen werden und sich in einer leitenden Flüssigkeit befinden (Elektrolyt), beginnt ein elektrischer Strom zu fließen. Hierbei werden elektrisch geladene Metallteilchen transportiert. Der Strom fließt so lange, bis das Metall mit dem niedrigsten Potenzial (Spannung) verbraucht ist. Die Abnutzung des Metalls wird galvanische Korrosion genannt. Besonders zu beachten ist, dass der beliebte Werkstoff Aluminium aus galvanischer Sicht einer der unedelsten ($-0,9\text{ V}$) ist und daher geradezu prädestiniert dafür, sich aufzulösen.

Auf einem Schiff gibt es drei Situationen, in denen verschiedene Metalle in einen Elektrolyten getaucht werden. Salzwasser und sogar verschmutztes Frischwasser sind hervorragende Elektrolyten.

Der erste Effekt steht nicht im direkten Zusammenhang mit dem elektrischen System, ist aber dennoch sehr wichtig. Der Propeller, der z. B. aus Manganbronze ($-0,3\text{ V}$) besteht, ist mit dem Motor über den Propellerschaft und das Getriebe verbunden. Bei einem Stahlschiff liegt die Spannungsdifferenz zwischen Rumpf und Propeller bei $0,3\text{ V}$ ($-0,6$ bis $-0,3\text{ V}$), bei Aluminium bei $0,6\text{ V}$. Normalerweise ist das Schiff durch eine Lackierung geschützt. Durch einen Kratzer in der Lackierung kann jedoch ein elektrischer Strom zwischen zwei Metallen, die in einen Elektrolyten (Wasser) eingetaucht sind, zu fließen beginnen, und das unedlere Metall (in diesem Fall der Rumpf) löst sich auf. Die einzige Lösung dieses Problems besteht in der Installation einer Opferanode. Diese Anode besteht in der Regel aus Zink und hat ein niedrigeres Potenzial als Propeller oder Rumpf. Sie wird daher anstelle dieser »geopfert«. Besonders vorsichtig muss man beim Einsatz unterschiedlicher Metalle unterhalb der Wasserlinie sein. So schön Kühlschlangen, Ruderschaft,

Stabilisatoren u. Ä. aus Edelstahl sind, verbunden mit Stahl oder Aluminium im Wasser kann man dort böse Überraschungen erleben.

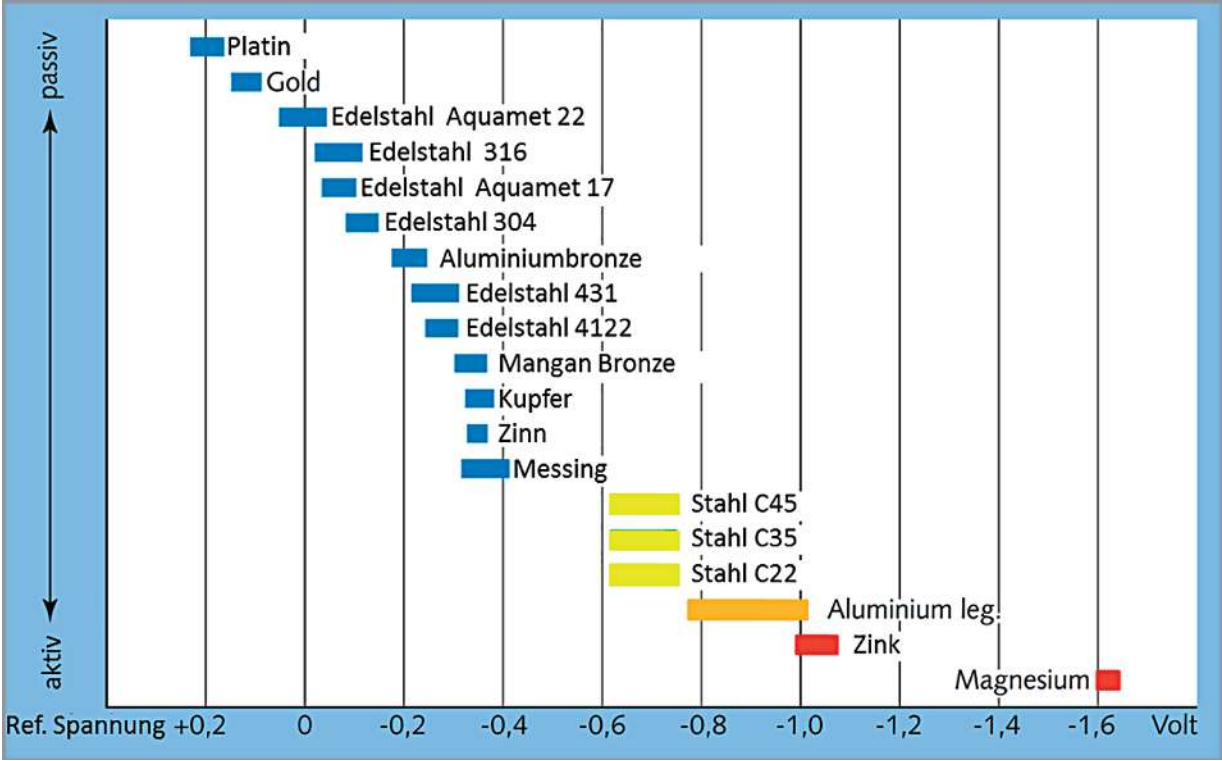


Tabelle 1-2: Elektrochemische Spannungsreihe. (Mastervolt)

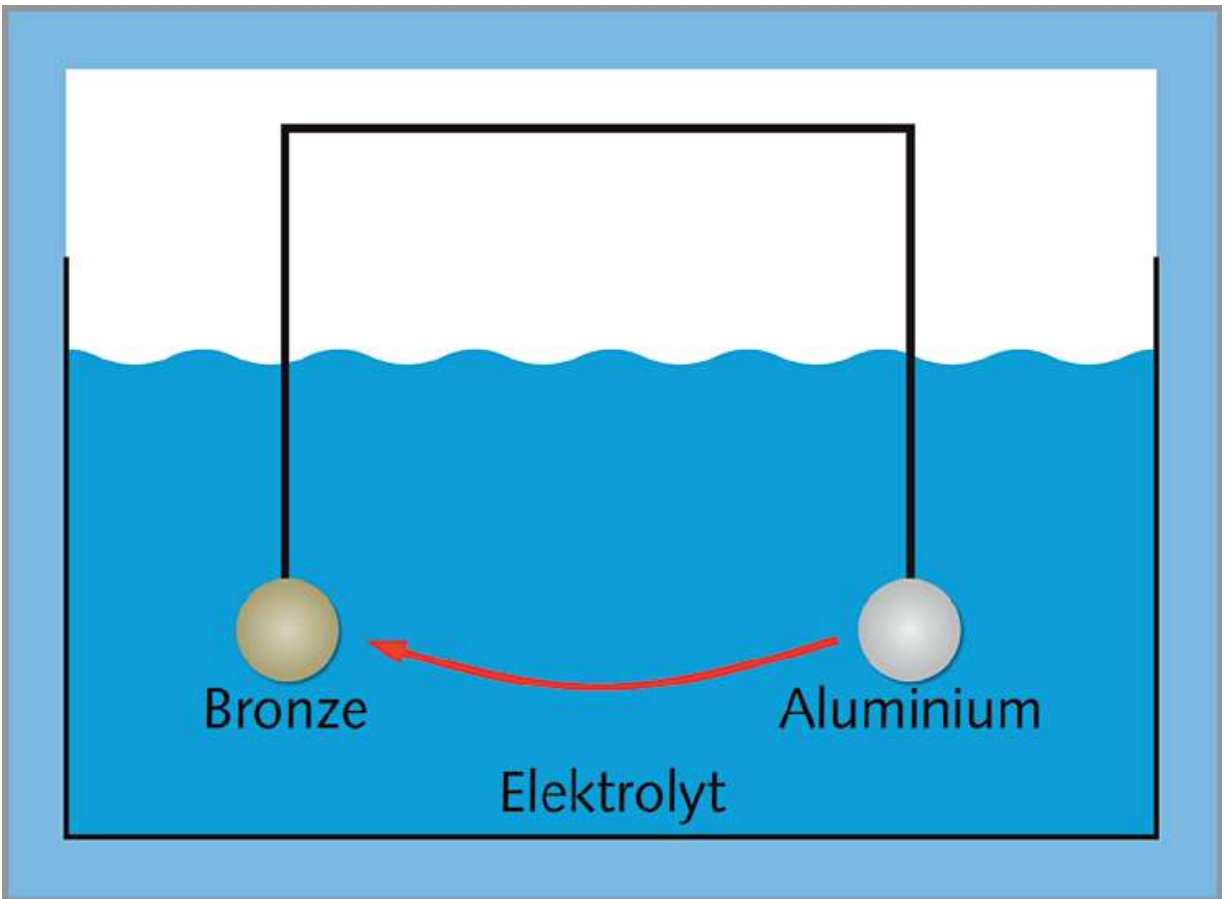


Abbildung 1-5: Ein galvanisches Element besteht aus zwei unterschiedlichen Metallen mit einer leitenden Verbindung, die sich in einem Elektrolyten befinden.



Abbildung 1-6: Opferanoden aus Zink oder Magnesium werden anstatt des Rumpfes abgetragen.

Im zweiten Fall sind die Batterien die »Schuldigen«. Der Minuspol der Batterie wird normalerweise geerdet, indem der Rumpf mit einem zentralen Erdanschluss verbunden wird.

Wenn andere Minuspole ebenfalls geerdet werden (z. B. vom Motor), kommt es zu kleinen Spannungsunterschieden zwischen den Erdanschlüssen, durch die ebenfalls der oben beschriebene elektrochemische Prozess verursacht wird. Noch schlimmer wird es, wenn man den Rumpf entgegen der geltenden Vorschriften als stromführenden Leiter verwendet. Alle geerdeten Geräte an Bord sollten daher mit einem zentralen Erdanschluss mit ausreichendem Querschnitt verbunden und der Rumpf nicht als stromführender Leiter verwendet werden.

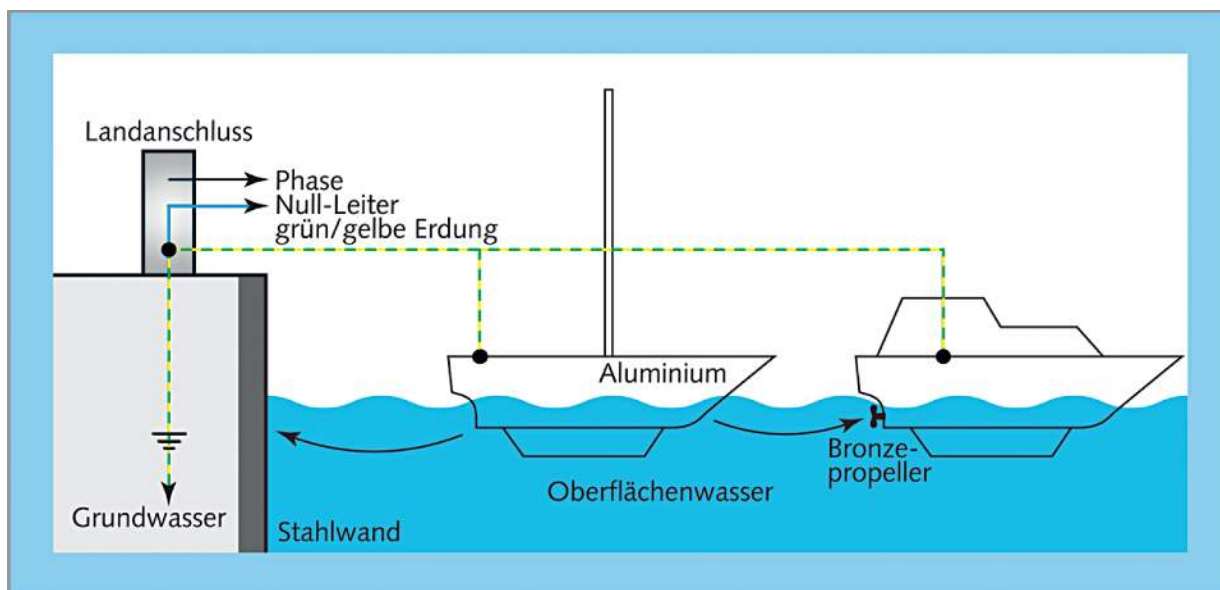


Abbildung 1-7: Galvanisches Element über den Landanschluss. (Mastervolt)

Der dritte Fall steht im Zusammenhang mit der Erdung des Landstroms, durch die ebenfalls Elektrolyse in Form einer galvanischen Korrosion entstehen kann. Der Landstrom wird über eine Stahlstütze im Boden geerdet und ist dadurch mit