

wurde diese Bezeichnung der Pole trotzdem beibehalten. Wechseln sich Plus- und Minuspol der „Elektronenquelle“ ab, bewegen sich die Elektronen im Leiter hin und her und es entsteht Wechselstrom. Hier kann man keinen Pol festlegen, da er mit der Frequenz der Spannung wechselt. Als Frequenz wird die Anzahl der vollständigen Schwingungen je Sekunde bezeichnet, die Einheit dafür ist Hertz (Hz) oder s^{-1} . Unser Landstrom kommt mit 50 Hertz, während zum Beispiel in den USA die Frequenz 60 Hertz beträgt. Dies kann unter bestimmten Bedingungen zu Schwierigkeiten führen, weil zum Beispiel die Drehzahl von netzbetriebenen Elektromotoren von der Frequenz bestimmt wird, ebenso wie die Spannungsverhältnisse in Transformatoren.

Spannung

Die Spannung wird in Volt (V) angegeben und bezeichnet den Unterschied zwischen den Ladungen an Plus- und Minuspol. Sie lässt sich anschaulich in unserem Wassermodell mit der Druckdifferenz der Wassersäulen vergleichen. Je höher die Spannung (je größer die Zahl der Ladungsträger), desto höher ist der Druck (die Spannung) und desto mehr Elektronen bewegen sich bei ansonsten gleichen Bedingungen durch den Leiter. Das Formelzeichen für die Spannung ist U .

Schaltzeichen

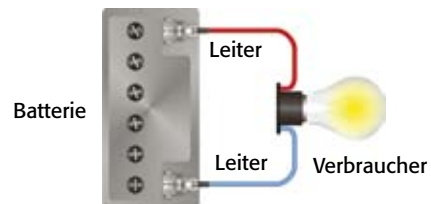
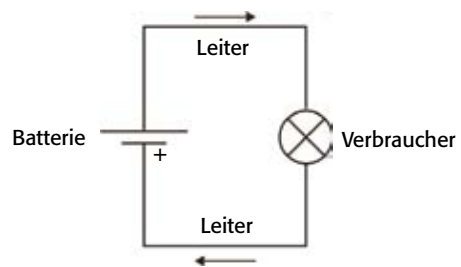


In Schaltplänen werden Leiter durch gerade Linien dargestellt (1). Kreuzende Leiter ohne elektrische Verbindung werden als einfaches Kreuz dargestellt (2). Besteht eine elektrische Verbindung, kommt ein Punkt hinzu (3).

■ Stromkreise

Zu einem Stromkreis gehören mindestens eine Stromquelle, zwei Leiter und ein Verbraucher. Zusätzlich können Schalter, Sicherungen, Relais und eine ganze Reihe weiterer Elemente vorhanden sein, mit denen der Strom unterbrochen, geregelt und verteilt werden kann.

Aus der Stromquelle, im Beispiel eine Batterie, fließt der Strom durch den Hinleiter zum Verbraucher, einer Leuchte. In diesem verrichtet er seine Arbeit und fließt dann durch den Rückleiter zurück zur Stromquelle. Auf dieses Prinzip lassen sich alle Stromkreise zurückführen, und auch komplizierte Schaltpläne bestehen im Grunde bloß aus einer Vielzahl solcher Kreise.



Stromstärke

Oft auch nur „Strom“ genannt. Sie wird in Ampere (A) angegeben, in Formeln wird das Zeichen I verwendet. Sie bezeichnet die Menge der Ladungsträger (Elektronen oder Ionen), die in einer bestimmten Zeit durch den Leiter fließen. Im Wassermodell entspricht dies der Wassermenge, die in einem Zeitintervall durch die Leitung fließt. In Stromkreisen gibt es folgenden Zusammenhang zwischen Spannung und Stromstärke: je höher die Spannung, desto größer der Strom.

Leistung

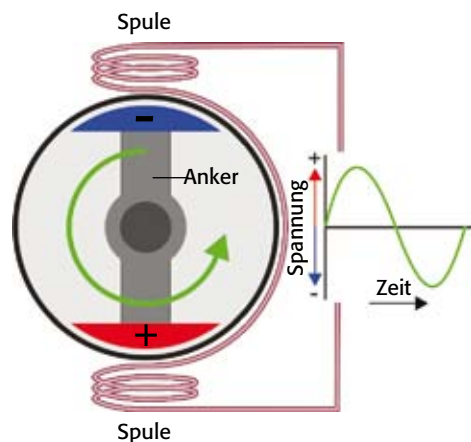
ist das Produkt aus Strom und Spannung und wird in Watt (W) oder Vielfachem davon, etwa Milliwatt (mW) oder häufiger Kilowatt (kW) angegeben. Zwei Beispiele: Durch eine Glühlampe fließt bei einer Spannung von 12 Volt ein Strom von 2,1 Ampere. Daraus ergibt sich deren Leistung zu $12 \cdot 2,1 = 25,2$, abgerundet zu 25 Watt. Ein Elektroherd braucht bei 230 Volt Netzspannung 25 Ampere, die Leistung beträgt hier also $230 \cdot 25 = 5.750$ Watt oder 5,75 Kilowatt. Das Formelzeichen für die Leistung ist P .

Widerstand

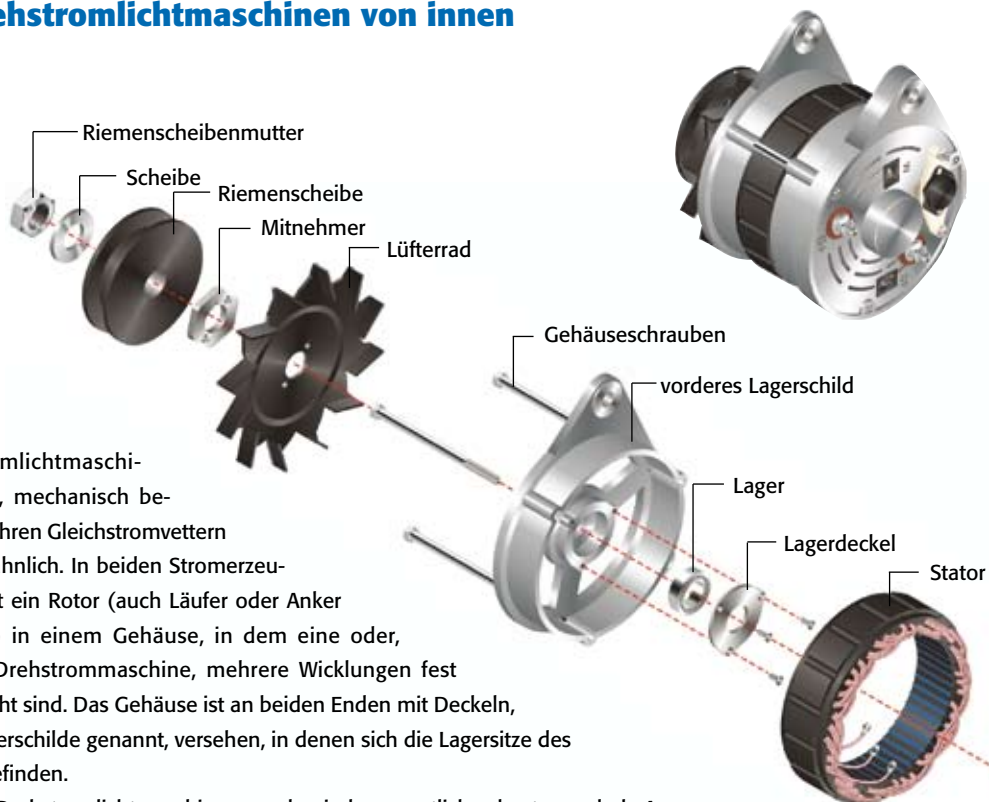
Ein ganz wichtiger Begriff in der Elektrotechnik. Die Einheit ist Ohm (Ω), das Formelzeichen R . Er hat zwei Bedeutungen: Erstens bezeichnet er ein Bauteil, das in Stromkreisen eingesetzt

■ Wechselstrom

Wechselstrom lässt sich gut erklären, wenn man sich das Prinzip der Erzeugung anschaut. Das funktioniert etwa so: In einem Gehäuse rotiert ein sogenannter Anker, dessen Enden magnetisch sind. Außen auf dem Gehäuse sitzen zwei Spulen, die sich genau gegenüberliegen. Dreht sich nun der Anker, induzieren die Magnete in den Spulen eine Spannung, die der Polung der Magneten entspricht und die mit der Drehbewegung ansteigt und absinkt. Die Spannung an den Spulen verhält sich wie die Projektion der Kreisbewegung des Ankers und verläuft somit sinusförmig. In Wirklichkeit sieht das natürlich ganz anders aus – der Anker hat mehr Pole, und es gibt mehr Spulen, und auf dem Anker ist oft noch eine Wicklung ... – Aber das Prinzip stimmt!



■ Drehstromlichtmaschinen von innen



Drehstromlichtmaschinen sind, mechanisch betrachtet, ihren Gleichstromvertern nicht unähnlich. In beiden Stromerzeugern läuft ein Rotor (auch Läufer oder Anker genannt) in einem Gehäuse, in dem eine oder, bei der Drehstrommaschine, mehrere Wicklungen fest angebracht sind. Das Gehäuse ist an beiden Enden mit Deckeln, auch Lagerschilde genannt, versehen, in denen sich die Lagersitze des Rotors befinden.

Obwohl Drehstromlichtmaschinen mechanisch wesentlich robuster und als Austauschteil leichter erhältlich (und in der Regel billiger) sind als Gleichstrommaschinen, ergibt sich manchmal doch die Notwendigkeit, diese zu zerlegen. Dafür kann es mehrere Gründe geben, angefangen bei einem verschlissenen oder festsitzenden Lager bis zum Austausch der Diodenplatte – auch hier liegen die Kosten für die notwendigen Teile weit unter dem Preis selbst einer gebrauchten Austauschmaschine. Bei der Teilebeschaffung zahlt es sich oft aus, Lager, Bürsten oder Dioden nicht beim Motorhersteller – dieser muss schließlich seine Lagerkosten auf den Preis aufschlagen – sondern im Fachhandel zu beziehen.

Zur Demontage muss bei den meisten Maschinen zunächst die Riemenscheibe samt Lüfter abgenommen werden, da erst dann die Gehäuseschrauben zugänglich werden. Einige Exemplare sind dazu mit einem sechs- oder achtkantigen Mitnehmer zwischen Riemenscheibe und Lüfter versehen, der zum Gegenhalten beim Lösen der Riemenscheibenmutter benutzt werden kann. Bei anderen Ausführungen ist die Rotorwelle mit einem Innensechskant versehen, manchmal sind auch die Gehäuseschrauben ohne Demontage der Riemenscheibe zugänglich. Auch hier sollte man auf keinen Fall die Riemenscheibe oder das Lüfterrad zum Gegenhalten missbrauchen – sind diese einmal verformt, wird es teuer.

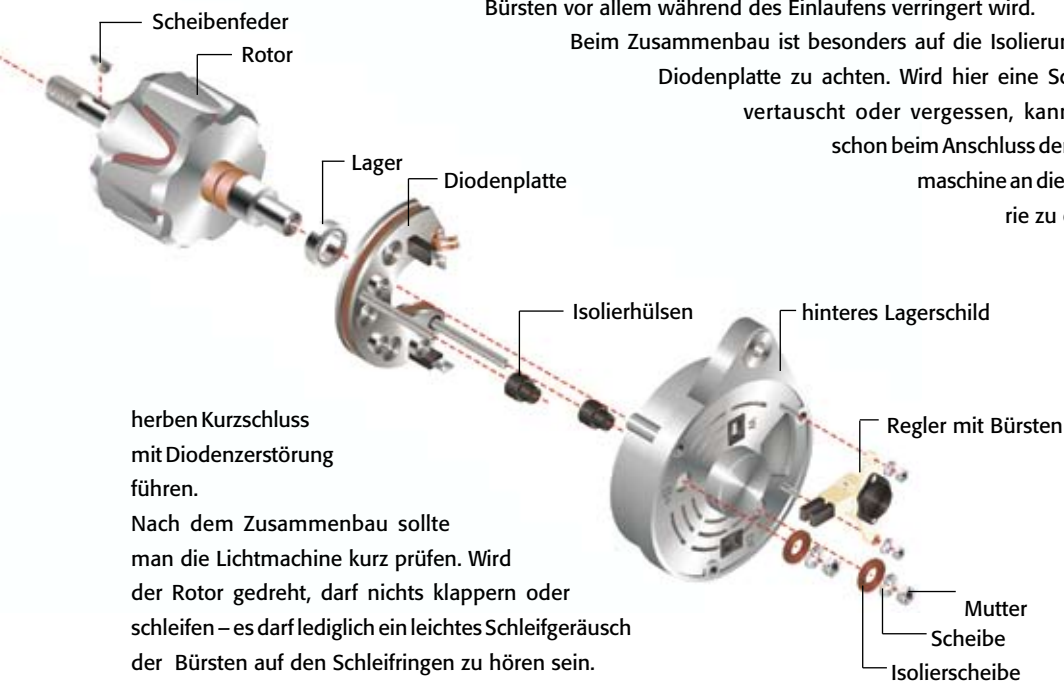
Bevor man die Gehäuseschrauben löst, sollte man den Regler mit den Bürstenhaltern vom hinteren Lagerschild abbauen. Dabei muss man vorsichtig vorgehen – verkantet man den Regler beim Herausziehen, können die Bürsten (Kohlen) brechen.

Die Gehäuseschrauben sitzen meistens sehr fest – Kriechöl oder Rostlöser, frühzeitig angewendet, können helfen. Sind die Gehäuseschrauben gelöst, kann man das vordere Lagerschild mitsamt dem Rotor aus dem Stator herausziehen. Der Stator ist über die Anschlusskabel mit der Diodenplatte verbunden, die wiederum mit den Anschlussschrauben (B+ und B-) am hinteren Lagerschild befestigt ist. In einigen Ausführungen ist die Diodenbrücke auch mit separaten Befestigungsschrauben am Lagerschild befestigt.

Lagerschäden treten in der Regel nur beim vorderen Lager auf. Dieses ist oft mit einem Lagerdeckel am Lagerschild gesichert, dessen Befestigung erst zugänglich wird, wenn die Rotorwelle – mit vorsichtigen Hammerschlägen oder einer Presse – aus dem Lager herausgetrieben wurde. Aber auch wenn das hintere Lager nicht beschädigt ist, sollte man es bei der Gelegenheit austauschen – die Kosten für das Lager stehen in keinem Verhältnis zum Aufwand, der bei der Demontage der Lichtmaschine getrieben werden muß. Das hintere Lager muss meistens mit einem Abzieher von der Welle gelöst werden, der am Innenring des Lagers angesetzt werden sollte. Bei der Montage des neuen Lagers sollte der dafür nötige Druck auch nur am Innenring wirken – Druck auf den äußeren Ring oder gar die Abdeckung kann das Lager zerstören.

Ist die Länge der Kohlebürsten unter das Verschleißmaß gesunken – meistens 5 bis 6 Millimeter – , müssen sie ersetzt werden. Neue Bürsten stehen etwa 15 Millimeter vor. Sind die Bürsten verschlissen, sind in der Regel auch die Schleifringe auf der Rotorwelle reif für eine Überarbeitung, auch wenn diese bei Weitem nicht dem Verschleiß unterliegen wie die Kollektoren von Gleichstrommaschinen. Sie sollten sehr vorsichtig nur so weit abgedreht werden, bis die Riefen gerade eben nicht mehr sichtbar sind. Nach dem Abdrehen kann man die Ringe mit Metallpolitur bearbeiten, wodurch der Verschleiß der Bürsten vor allem während des Einlaufens verringert wird.

Beim Zusammenbau ist besonders auf die Isolierung der Diodenplatte zu achten. Wird hier eine Scheibe vertauscht oder vergessen, kann dies schon beim Anschluss der Lichtmaschine an die Batterie zu einem



herben Kurzschluss mit Diodenzerstörung führen.

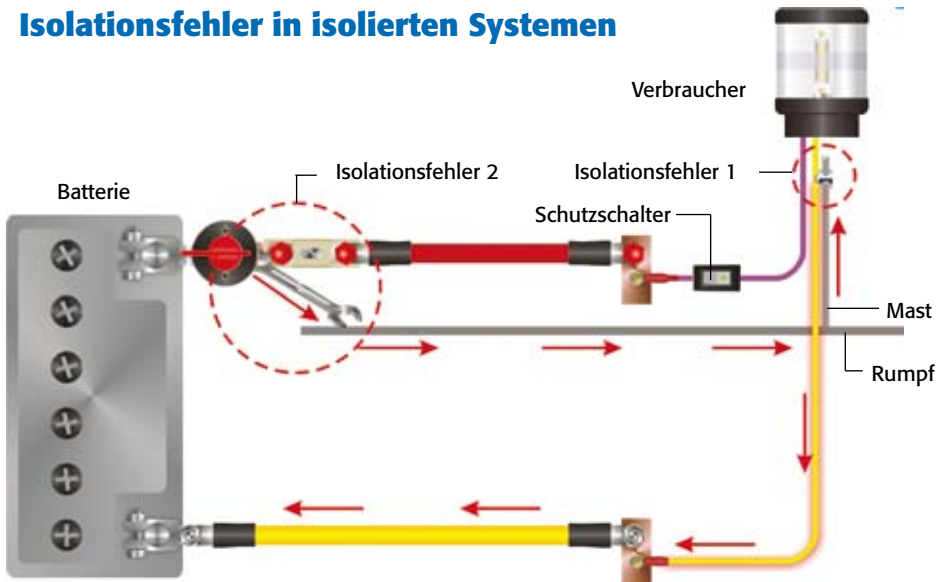
Nach dem Zusammenbau sollte man die Lichtmaschine kurz prüfen. Wird der Rotor gedreht, darf nichts klappern oder schleifen – es darf lediglich ein leichtes Schleifgeräusch der Bürsten auf den Schleifringen zu hören sein.

Ein- und Zweileitersysteme

Einleitersysteme sind auf Yachten generell nicht zugelassen. Ausnahme: der Motor, dessen Block und Metallteile als Leiter benutzt werden dürfen. In Einleitersystemen wird nur der positive Zweig der Anlage in separaten Leitungen geführt, die Rückleitung übernimmt der Schiffskörper. Dies funktioniert nur bei Schiffen mit Metallrümpfen und wurde dort auch bis in die sechziger Jahre des letzten Jahrhunderts ab und zu praktiziert. An Land wurden bis vor wenigen Jahren die meisten Kraftfahrzeuge so verkabelt – man sparte Leitungen und somit Kosten und Gewicht und die elektrochemische Korrosion spielte bei Fahrzeugen kaum eine Rolle, da der ganz ordinäre Rost wesentlich schneller war.

In Schiffen hingegen führt der Missbrauch des Rumpfes als Leiter nicht nur zu herrlich undefinierten Potenzialverhältnissen (wo der Massepunkt ist, kann dann von der Anzahl

■ Isolationsfehler in isolierten Systemen



Im Gegensatz zu Systemen, bei denen Minus an Masse liegt, müssen in isolierten Systemen beide Leiter abgesichert sein. Ist nur der positive Leiter abgesichert, kann beim Auftreten von zwei Isolationsfehlern im System eine nicht abgesicherte Kurzschlussituation entstehen. In unserem Beispiel ist die Isolierung der negativen Versorgungsleitung der Ankerlaterne im Mast beschädigt, es besteht ein Kurzschluss, der jedoch zunächst nicht bemerkt wird. Kommt nun ein zweiter Fehler hinzu, im Beispiel ein Kurzschluss zwischen der positiven Hauptleitung und dem Rumpf, fließt der Kurzschlussstrom durch den Rumpf zum Anschlusskabel der Ankerlaterne und durch dieses zurück zum Minuspol der Batterie – ohne jegliche Sicherung. Wäre die Minusleitung – wie gefordert – ebenfalls durch einen Schutzschalter gesichert, würde dieser auslösen.

und dem Stromverbrauch der angeschlossenen Geräte abhängen), sondern unter den maritimen Bedingungen auch sehr schnell zu elektrolytischen Zersetzungerscheinungen, die in schwimmenden Schiffen ganz anders gartete Auswirkungen haben können als in Kraftfahrzeugen – zum Beispiel, dass aus schwimmenden Yachten sinkende werden. Fassen wir zusammen: In Einleitersystemen sind nur die positiven Verbindungen in separaten Leitungen geführt, die negativen Verbindungen werden – zumindest teilweise – vom Rumpf übernommen, im betriebsmäßigen Zustand der Anlage fließt also ein Strom durch den Rumpf. Diese Systeme sind, wie eingangs erwähnt, nicht zulässig.

Die Tatsachen, dass der Rumpf nicht als betriebsmäßiger Leiter benutzt werden darf, führt bei vielen Laien und einigen Elektrikern zu der Meinung, dass keine Verbindung zwischen der Gleichstromanlage und dem Rumpf bestehen darf. Das ist, wie wir gleich lesen werden, falsch.

Zweileitersysteme mit Minus an Masse

Zunächst eine Wiederholung der Definition des Begriffs „Masse“ (der in der EN ISO 10133 inhaltlich mit „Erde“ gleichgesetzt wird): Erdung – und somit nach DIN die Masseverbindung – ist eine beabsichtigte oder unbeabsichtigte leitende Verbindung von Teilen einer elektrischen Anlage mit der allgemeinen Erde. Mit „Erde“ ist das Potenzial der Erdoberfläche gemeint, mit dem dann jeder leitende Teil der benetzten Oberfläche des Rumpfes verbunden ist. Dabei kann es sich um den Rumpf selber handeln – bei Metallrümpfen – oder um Teile der Antriebsanlage, Ruderblätter, Erdungsplatten, Opferanoden oder andere metallische Gegenstände im Unterwasserbereich.

Das Wörtchen „jeder“ spielt hier eine bedeutende Rolle, wie wir spätestens in den Abschnitten „Elektrochemische Korrosion“ und „Blitzschutz“ erfahren werden. Als Erdung gilt übrigens auch eine Verbindung mit dem Schutzleiter eines Wechselstromsystems. Der Motor nimmt auch hier eine Sonderstellung ein: Er hat eine eigene „Motormasse“, die als leitende Verbindung genutzt werden darf, die aber nichtsdestoweniger geerdet sein kann.

In Zweileitersystemen, bei denen nur die positiven Leitungen mit Sicherungen oder Leistungsschaltern geschützt sind, muss der Minuspol der Anlage geerdet sein, also mit der Schiffererde verbunden sein. Die Erdung erfolgt in der Regel direkt am Minuspol der Bordnetzatterie.

Besonders auf Aluminiumschiffen findet man jedoch häufig Anlagen, bei denen das komplette Gleichstromsystem aus Furcht vor elektrolytischer Korrosion vom Rumpf isoliert ist, ohne dass die Minusleitungen abgesichert sind. Diese Praxis erhöht die Wahrscheinlichkeit des Auftretens eines Kabelbrandes beträchtlich – der in einem korrekt ausgeführtem System praktisch ausgeschlossen ist. Zwei gleichzeitig auftretende Isolationsfehler reichen aus, ein Beispiel zeigt der Kasten „Isolationsfehler in isolierten Systemen“.

Fassen wir zusammen: In einem Zweileiter-Gleichstromsystem mit negativer Masse ist der Minuspol der Anlage mit Masse (Erde) verbunden. Die Verbraucher sind mit positiven und

Landstromanlage

Diese gilt grundsätzlich als unpolarisiert, da nicht sichergestellt ist, dass weltweit in allen Landstromversorgungen die Lage der stromführenden Leiter einheitlich ist. Daher muss hinter dem schiffsseitigen Anschluss ein zweipoliger Schutzschalter gegen Überstrom und Kurzschluss eingefügt werden. Kann dieser nicht innerhalb von 500 Millimetern hinter dem Anschluss installiert werden, muss die Leitung zwischen Anschluss und Schutzschalter mechanisch geschützt verlegt werden. Übersteigt der Abstand drei Meter, muss innerhalb der ersten drei Meter der Leitung ein zusätzlicher Schutzschalter eingefügt werden. Als Stromquelle gilt hier der landseitige Anschluss. Daher darf der Neutralleiter auf dem Schiff nicht geerdet werden. Der Schutzleiter muss hingegen mit der Schiffserde verbunden sein.

■ Stromanschlusskennzeichnung

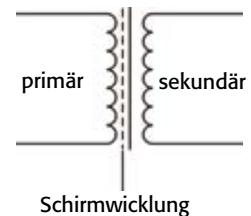
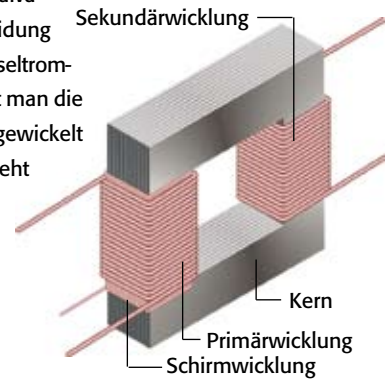


Der Landstromanschluss muss mit der Spannung, dem Strom, dem Symbol für gefährliche Spannung und dem Symbol für das Lesen des Handbuchs gekennzeichnet sein.

9

■ Trenntransformatoren – Prinzip

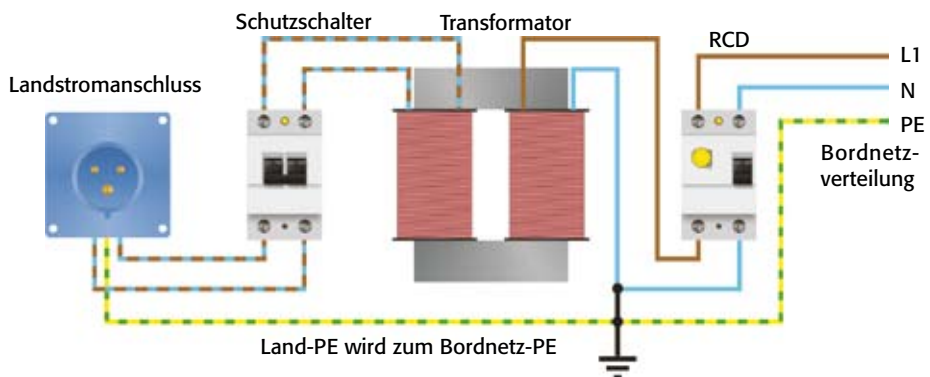
Transformatoren werden aus zwei Gründen eingesetzt: Zur galvanischen Trennung von Landstrom- und Bordnetz zwecks Vermeidung von elektrochemischer Korrosion und zur Polarisierung des Wechselstrombordnetzes. Sie bestehen aus einem Eisenkern, auf den – zählt man die Schirmwicklung mit – drei Spulen aus isoliertem Kupferdraht gewickelt sind. Fließt durch die Primärwicklung ein Wechselstrom, entsteht in der Spule ein alternierendes Magnetfeld. Dies wird durch den Eisenkern – der durch das Magnetfeld magnetisiert wird – in die Sekundärwicklung übertragen, in der es wiederum durch Induktion eine Spannung erzeugt. Das Verhältnis der Spannungen in Primär- und Sekundärwicklung entspricht dem Verhältnis der Windungszahlen. Sind diese gleich, ist die Spannung an der Sekundärseite gleich der an der Primärseite. Trenntransformatoren sind mit einer Schirmwicklung versehen, damit bei einem Isolationsfehler der Primärwicklung keine Netzspannung auf den Kern oder die Sekundärwicklung übertragen werden kann. Die Schirmwicklung und der Kern werden mit dem landseitigen Schutzleiter verbunden. Der bordseitige Schutzleiter wird mit einem Pol der Sekundärwicklung verbunden, der somit zum Neutralleiteranschluss wird. So besteht keine Verbindung zwischen dem landseitigen und dem bordseitigen Schutzleiter.



Transformatoren

In Transformatoren, die zur Trennung von Landstrom- und Bordnetz eingesetzt werden, erfolgt die Energieübertragung durch einen Eisenkern, auf dem zwei isolierte Wicklungen sitzen, die keine elektrisch leitende Verbindung miteinander haben – beide Seiten sind galvanisch getrennt. Wird ein Transformator zwischen das Landstromnetz und das Bordnetz geschaltet, sind beide Netze voneinander isoliert, daher auch der englische Name „Isolation Transformer“.

■ Trenn- und Polarisierungstransformatoren



Der Unterschied zwischen Trenn- und Polarisierungstransformatoren liegt darin, wie der Schutzleiter geführt wird. Bei reinen Polarisierungstrafos (oben) wird der Schutzleiter des Landstromanschlusses mit der Schiffserde verbunden, und die einzige Funktion des Trafos besteht darin, ein polarisiertes Bordnetz zu schaffen. Dies wird mit Trenntrafos (unten) auch erreicht; nur wird hier der Landstrom-Schutzleiter lediglich bis zur Schutzwicklung des Trafos geführt. Die Sekundärseite des Trafos ist hier eine eigene Stromquelle, daher wird hier auch der Neutraleiter mit dem Bordnetz-Schutzleiter verbunden. Mit Trenntrafos erfolgt daher eine vollständige galvanische Trennung vom Landstromnetz.

