

PRAXISWISSEN

# THEORIE UND PRAXIS DER BORDELEKTRIK

Jens Feddern

Delius Klasing Verlag

# Inhalt

<b>10</b>	<b>1.</b>	<b>Grundlagen</b>	
<b>10</b>	1.1	Spannung, Strom, Leistung und ihr Zusammenhang	
<b>11</b>	1.2	12 V oder 24 V - die richtige Wahl der Bordspannung	
<b>13</b>	1.3	Minus und Masse - wo ist der Unterschied?	
<b>15</b>	1.4	Galvanische Ströme - was verbirgt sich dahinter?	
<b>18</b>	1.5	Kabelarten	
<b>22</b>	1.6	Kabelquerschnitte und ihre Berechnung	
<b>24</b>	1.7	Schaltpläne lesen und zeichnen	
<b>29</b>	1.8	Messtechnik - wie misst man was?	
<b>29</b>	1.8.1	Prüfen	
<b>30</b>	1.8.2	Messen	
<b>32</b>	1.8.2.1	Gleichspannungsmessung	
<b>33</b>	1.8.2.2	Wechselspannungsmessung	
<b>34</b>	1.8.2.3	Strommessung	
<b>36</b>	1.8.2.4	Widerstandsmessung	
<b>37</b>	1.8.2.5	Diodenprüfung	
<b>37</b>	1.8.2.6	Sicherheitshinweise	
<b>39</b>	<b>2.</b>	<b>Schiffsbatterien</b>	
<b>40</b>	2.1	Batteriearten	
<b>47</b>	2.2	Dimensionierung der Batterie	
<b>47</b>	2.2.1	Batterieschaltungen	
<b>47</b>	2.2.1.1	Parallelschaltung	
<b>47</b>	2.2.1.2	Reihenschaltung	
<b>48</b>	2.2.1.3	Reihen-Parallelschaltung	
<b>48</b>	2.2.2	Ermittlung der Kapazität	
<b>50</b>	2.3	Montage	
<b>53</b>	2.4	Wie hält man die Batterie am Leben?	
<b>55</b>	2.4.1	Diagnose	
<b>55</b>	2.4.1.1	Spannungsmessung	
<b>55</b>	2.4.1.2	Messung der Säuredichte	
<b>56</b>	2.4.1.3	Messung unter Belastung	
<b>56</b>	2.4.1.4	Messung mit Spezialgeräten	
<b>57</b>	2.4.1.5	Diagnose mit Batteriemonitor	
<b>57</b>	2.4.2	Wartung	
<b>58</b>	2.4.3	Batterieauffrischer	
<b>60</b>	2.4.4	Batterien und Umwelt	
<b>62</b>	<b>3.</b>	<b>Ladetechnik</b>	
<b>64</b>	3.1	Lichtmaschinen für den Bordgebrauch	
<b>67</b>	3.1.1	Gerätevarianten	
<b>69</b>	3.1.2	Anschluss der Drehstromlichtmaschine	
<b>71</b>	3.1.3	Eine Lichtmaschine für mehrere Batterien	
<b>73</b>	3.2	Ladegeräte für den Bordeinsatz	
<b>74</b>	3.2.1	Geräte und Kennlinien	
<b>76</b>	3.2.2	Auswahl des Ladegerätes	
<b>79</b>	3.3	Gleichstromgenerator	
<b>80</b>	3.4	Brennstoffzelle	
<b>81</b>	3.5	Solartechnik für den Bordeinsatz	
<b>82</b>	3.5.1	Funktion der Solarzelle	
<b>83</b>	3.5.2	Kennlinien der Solarzellen	
<b>83</b>	3.5.3	Solarmodule für den Bordgebrauch	
<b>88</b>	3.5.4	Solarladeregler	
<b>89</b>	3.5.5	Auswahlkriterien	
<b>90</b>	3.6	Windgeneratoren	

<b>93</b>	<b>4.</b>	<b>Das richtige Material für die Bordinstallation</b>		
<b>93</b>	4.1	Schutzarten und PG-Verschraubungen		
<b>95</b>	4.2	Leitungsverbindung		
<b>96</b>	4.2.1	Crimpverbindung		
<b>98</b>	4.2.2	Adernendhülsen		
<b>99</b>	4.2.3	Steckverbindungen		
<b>102</b>	4.3	Verteilung		
<b>103</b>	4.3.1	Klemmen		
<b>105</b>	4.3.2	Verteilerdosen		
<b>106</b>	4.3.3	Sammelschienen		
<b>106</b>	4.3.4	Hochstromverteiler		
<b>107</b>	4.4	Schalter		
<b>107</b>	4.4.1	Schalterarten		
<b>110</b>	4.4.2	Batterietrennschalter		
<b>111</b>	4.4.3	Batteriewahlschalter		
<b>112</b>	4.4.4	Fernbedienbare Schalter (Relais)		
<b>115</b>	4.5	Sicherungen		
<b>122</b>	<b>5.</b>	<b>Die Arbeiten des Bordelektrikers</b>		
<b>123</b>	5.1	Werkzeug		
<b>124</b>	5.2	Kabelverlegung		
<b>128</b>	5.3	Praxis der Schaltpaneele		
<b>129</b>	5.3.1	Zugänglichkeit und Montage		
<b>131</b>	5.3.2	Erstellung eines Schaltpaneels		
<b>134</b>	<b>6.</b>	<b>Bordnetzwerke</b>		
<b>134</b>	6.1	LAN-Netzwerk an Bord		
<b>135</b>	6.1.1	Stromversorgung über das Netzwerk		
<b>135</b>	6.1.2	Verbindung mit dem Internet		
<b>136</b>	6.1.3	Fernzugriff - aber sicher		
<b>137</b>	6.2	CAN-Bus		
<b>137</b>	6.2.1	NMEA 2000		
<b>138</b>	6.2.2	NMEA 0183		
<b>139</b>	6.2.3	Vorteile der digitalen Netzwerke		
<b>140</b>	<b>7.</b>	<b>Gleichstromverteilung</b>		
<b>140</b>	7.1	Struktur des Gleichstromnetzes		
<b>140</b>	7.2	Einfaches Gleichstromnetz mit zwei Batteriesätzen		
<b>142</b>	7.3	Komfortables Gleichstromnetz mit zwei Batteriesätzen		
<b>142</b>	7.4	Komfortables Gleichstromnetz mit drei Batteriesätzen		
<b>144</b>	7.5	Gleichstromverteilung über Bussysteme		
<b>145</b>	7.5.1	MasterBus		
<b>146</b>	7.5.2	CZone auf NMEA-2000-Basis		
<b>146</b>	7.5.3	P-Bus		
<b>147</b>	7.6	Zentrale Gleichstromverteilung mit Stromstoßrelais		
<b>149</b>	7.7	Automation der Bordelektrik im Eigenbau		
<b>149</b>	7.7.1	Programmierbares Steuerungsmodul Logo		
<b>149</b>	7.7.2	Smart Home an Bord mit Homematic		
<b>151</b>	7.7.3	Hardcore-Programmierung und Elektronik im Eigenbau		
<b>152</b>	<b>8.</b>	<b>Energiemanagement an Bord</b>		
<b>152</b>	8.1	Analyse des Bordnetzes		
<b>153</b>	8.1.1	Spannungsmessung		
<b>155</b>	8.1.2	Strommessung		
<b>157</b>	8.1.3	Batteriecomputer		
<b>158</b>	8.2	Lastabwurf		
<b>161</b>	<b>9.</b>	<b>Beleuchtung</b>		
<b>163</b>	9.1	LED-Technologie		
<b>164</b>	9.2	Navigationslichter		
<b>167</b>	9.2.1	Montage		

<b>169</b>	9.2.2	Der elektrische Anschluss	<b>204</b>	10.8.1	Wechselrichtertypen
<b>169</b>	9.2.3	Funktionsüberwachung	<b>206</b>	10.8.2	Dimensionierung
<b>172</b>	9.3	Suchscheinwerfer	<b>206</b>	10.8.3	Kombiniertes Power-Paket
<b>173</b>	9.4	Decksbeleuchtung	<b>207</b>	10.9	110-V-Installationen
<b>174</b>	9.5	Innenbeleuchtung	<b>209 11.</b>		<b>Motorelektrik</b>
<b>180</b>	<b>10.</b>	<b>230 V an Bord - aber sicher</b>	<b>209</b>	11.1	Digitale Motorüberwachung
<b>180</b>	10.1	Aufbau des Netzes	<b>213</b>	11.2	Analoge Motorbedienung und -überwachung
<b>181</b>	10.2	Die Gefahr von Elektrounfällen	<b>213</b>	11.2.1	Vorglühen und Starten
<b>181</b>	10.3	Normen und Richtlinien	<b>216</b>	11.2.2	Stoppeinrichtung für Dieselmotoren
<b>183</b>	10.4	Schutzeinrichtungen	<b>216</b>	11.2.3	Bedienen und Beobachten
<b>183</b>	10.4.1	Schutzerdung	<b>218</b>	11.2.4	Warnanlage
<b>185</b>	10.4.2	Trenntransformator	<b>222</b>	11.2.5	Der zweite Steuerstand
<b>187</b>	10.4.3	Fehlstromschutzschalter RCCB	<b>223</b>	11.3	Elektrischer Bootsantrieb
<b>188</b>	10.4.4	Schutzschalter	<b>225 12.</b>		<b>Entstörung und elektromagnetische Verträglichkeit</b>
<b>189</b>	10.4.5	Polaritätsanzeiger	<b>225</b>	12.1	Reduzierung des Einflusses von elektromagnetischen Störungen
<b>189</b>	10.5	Landanschluss	<b>226</b>	12.2	Vermeidung von Störaussendungen an der Quelle
<b>189</b>	10.5.1	Kennzeichnung	<b>229 13.</b>		<b>Wartung und Fehlersuche</b>
<b>191</b>	10.5.2	Steckverbindungen	<b>229</b>	13.1	Wartung
<b>192</b>	10.5.3	Landanschlusseinheit	<b>230</b>	13.2	Fehlersuche
<b>193</b>	10.6	Wechselstrominstallation	<b>231</b>	13.2.1	Der Verbraucher arbeitet nicht, obwohl er eingeschaltet ist
<b>194</b>	10.6.1	Einfaches Wechselstromnetz nur mit Ladegerät	<b>232</b>	13.2.2	Der Verbraucher arbeitet, obwohl er ausgeschaltet ist
<b>195</b>	10.6.2	Das TN-S-Netz	<b>233</b>	13.2.3	Der Verbraucher arbeitet manch- mal bzw. nicht mit voller Leistung
<b>195</b>	10.6.3	Das TN-S-Netz mit Trenntransformator	<b>234</b>	13.2.4	Eine Sicherung löst immer wieder aus
<b>196</b>	10.6.4	Das TN-S-Netz mit mehreren Spannungserzeugern	<b>236</b>		<b>Literatur</b>
<b>197</b>	10.7	Wechselstromgeneratoren	<b>237</b>		<b>Register</b>
<b>198</b>	10.7.1	Benzingeneratoren			
<b>199</b>	10.7.2	Diesलगeneratoren			
<b>200</b>	10.7.3	Montage und Betrieb			
<b>202</b>	10.7.4	Inverter-Generator			
<b>203</b>	10.8	Wechselrichter			

# Vorwort zur 7. Auflage

Vor ca. 25 Jahren ist das Manuskript zur 1. Auflage von *Theorie und Praxis der Bordelektrik* entstanden. In dieser Zeit hat sich die Bordelektrik grundlegend weiterentwickelt und bietet heute Möglichkeiten, die in der 1. Auflage als Zukunftsvisionen angedeutet wurden. Parallel dazu haben sich die Vorschriften verändert; sie sind heute für Gleich- und Wechselspannungsinstallationen an Bord auf europäischer Ebene harmonisiert.

Der Umfang der elektrischen Systeme an Bord ist kontinuierlich gewachsen, und somit auch die Abhängigkeit vom Bordstrom. Elektrische Pumpen, Bug- oder Heckstrahlruder, Ankerwinden, Beleuchtung, Wechselrichter etc. haben einen großen Stromdurst, und dieser muss an Bord erzeugt, gespeichert und verteilt werden.

Für die 7. Auflage wurde dieses Buch erneut vollständig überarbeitet. Sowohl Anregungen der Leser als auch technische Innovationen wurden aufgegriffen und mit vielen farbigen Grafiken veranschaulicht. Um die Zusammenhänge der Bordelektrik nachvollziehen zu können, ist ein Verständnis der Grundlagen erforderlich. Diese werden, nach den einzelnen Themen geordnet, jeweils kurz und bündig zusammengefasst und anhand von zahlreichen Bei-

spielen aus der Praxis erläutert.

Somit lernen Sie Ihre eigene Bordelektrik besser kennen und werden sattelfest in der Diskussion mit Fachleuten.

Die neuen Technologien der digitalen Systeme, der Internetdienste für Schaltpaneele sowie die LED-Technologie bieten spannende Möglichkeiten für das Retrofit der eigenen Anlage sowie die Beurteilung und Handhabung dieser Technologien bei einem Neubau. Durch die Lektüre dieses Buches werden Sie mit diesen Themen vertraut gemacht und bekommen eine gute Basis, um sie selbst an Bord umzusetzen.

Die Zuverlässigkeit der elektrischen Installation ist heute noch wichtiger als in der Vergangenheit. Während klassische Installationen von Dieselmotoren früher komplett ohne Strom betrieben werden konnten, kommunizieren moderne Systeme über Bussysteme. Ohne Strom geht hier nichts mehr; ein Totalausfall der Elektrik auf offener See oder einem Fluss mit viel Berufsschiffahrt kann verheerende Folgen haben. Lesen Sie auf den folgenden Seiten, wie die elektrischen Systeme zuverlässig installiert werden, welche Materialien erforderlich sind und wie man das Sparen am falschen Ende vermeidet.

Die elektrischen Systeme tragen wesentlich zur Sicherheit an Bord bei, bergen selbst aber auch diverse Sicherheitsrisiken. Diese Risiken werden beleuchtet und die erforderlichen Maßnahmen praxisnah beschrieben, um Unfälle zu vermeiden und Vorschriftenkonformität zu gewährleisten.

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

Jens Feddern

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

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:

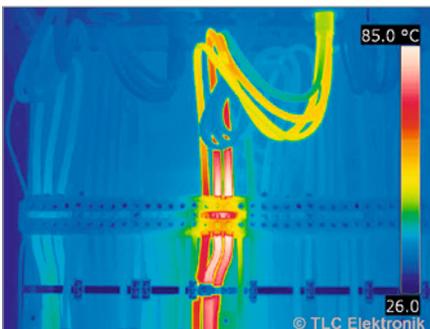
$$\text{Spannung} = \text{Widerstand} \cdot \text{Strom} \\ U = R \cdot I$$

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 mm<sup>2</sup> 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-mm<sup>2</sup>-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.

	Relais mit einer Wicklung		Verbindung nicht lösbar (Lötstelle)		Wechselstrom
	Stromrelais		leitende Verbindung		Drehstrom (3 Phasen)
	Thermorelais		Steckverbindung		Gleich- oder Wechselstrom
	Hubmagnet		mehrpoleige Steckverbindung		Tonfrequenz-Wechselstrom
	Antrieb mit Verzögerung (Zeitrelais)		Reihen-klemme		Hochfrequenz-Wechselstrom
	Antrieb mit Anzugsverzögerung		Erde allgemein (nicht Fahrzeug)		Drehstrom in Dreieckschaltung
	Kraftantrieb allgemein		Masse allgemein (Fahrzeug)		Drehstrom in Sternschaltung
	Kraftantrieb mit Handaufzug		Antenne		Generator/Motor
	Kraftantrieb mit Kolbenanzug		Widerstand allgemein		Trafo mit Kern
	Diode (Gleichrichter)		veränderbarer Widerstand		Kondensator allgemein
	Kapazitätsdiode		Potentiometer		Kondensator veränderbar
	Z-Diode (Zener-Diode)		Wicklung allgemein		Batterie (Primärelement)
	Foto-Diode		Wicklung mit Anzapfung		Glühlampe allgemein
	Foto-Element		Trafo allgemein		Leuchtstofflampe
	Zwei-Richtungs-Diode		Dauermagnet		Scheinwerfer
	Thyristor allgemein		Signalhorn		Glimmlampe
	NPN-Transistor		Lautsprecher		Absperrrorgan allgemein geschlossen
	Messinstrument allgemein		Mikrofon		Schließer (nicht selbsttätig)
	Thermoelement		Lüfter (elektrisch)		Öffner (nicht selbsttätig)
	Sicherung		Uhr (elektrisch)		Wechsler mit Unterbrechung (nicht selbsttätig)
	Funkenstrecke		Funkstelle allgemein		Wechsler ohne Unterbrechung (nicht selbsttätig)
	Schleifkontakt (Stromabnehmer)		Summer		Mehrstellenschalter (3 Schaltstellungen)
	umrahmtes Gerät (nicht leitend)		Gleichrichter		Schlüsselschalter (Startschloss)
	umrahmtes Gerät (mit Masseverbindung)		HF-Entstörung		Relais allgemein
	Kreuzung von Leitungen ohne Verbindung		Wechselrichter (Zerhacker)		
	Verbindung lösbar		Gleichspannungs-wandler		
			Gerät mit Transistoren		
			Gleichstrom		

Abbildung 1-15: Schaltplansymbole.

zelne Funktionen gruppiert und diese dann zusammen auf einen Plan bringt. In der oberen bzw. unteren Hälfte sammelt man in waagerechten Linien alle Signale, die für die Schaltung auf dem Blatt erforderlich sind. Dies können zum

Beispiel +24V aus dem Bordnetz, +24V aus dem Maschinennetz, 0V (Minuspol), aber auch Hilfssignale sein wie Lampentest oder gedimmter Minus für die Lampen. Die Erzeugung bzw. Einspeisung dieser Signale muss nicht auf diesem

### 1.8.2.2 Wechselspannungsmessung

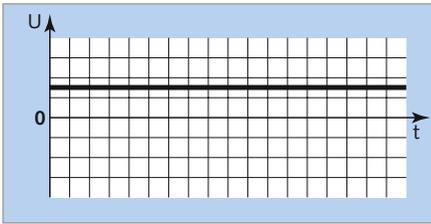


Abbildung 1-23: Gleichspannung.

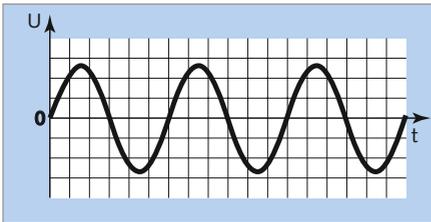


Abbildung 1-24: Sinuswechselspannung.

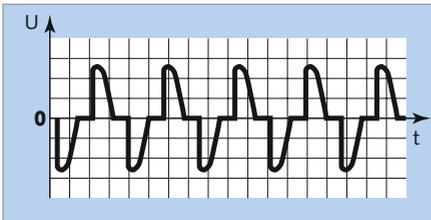


Abbildung 1-25: Unsaubere Wechselspannung.

Die Wechselspannung ist dadurch charakterisiert, dass sie ständig ihre Höhe (Amplitude) und ihre Polarität ändert. Die Anzahl des Hin- und Herpendelns wird in der Frequenz angegeben.

Welche Spannung soll man nun messen bzw. bei der Wechselspannung angeben? Mit Sicherheit ist der Maximalwert interessant, da sich nach diesem die Isolierung und die Spannungsfestigkeit der Kabel richten muss. Dummerweise wird in der Regel nicht diese Spannung von einem Digitalmultimeter angegeben, sondern der Effektivwert. Die Effektivspannung einer Wechsel-

spannung entspricht genau der Gleichspannung, die man benötigen würde, um dieselbe Leistung zu erzeugen. Der Scheitelwert lässt sich rechnerisch ermitteln. Bei einer Sinusspannung ist er z.B.  $\hat{U} = 1,41 \cdot U_{\text{eff}}$ . Für unsere Netzspannung bedeutet dies:

$$\hat{U} = 1,41 \cdot 230 \text{ V} = 325 \text{ V}$$

Viele Messgeräte gehen den umgekehrten Weg und ermitteln aus dem Scheitelwert (den sie ja messen können) rechnerisch den Effektivwert. Was passiert aber, wenn die Spannung nicht so schön sinusförmig ist, sondern z.B. eine trapez- oder rechteckförmige Wechselspannung aus dem Wechselrichter kommt? Dann zeigt das Messgerät Quatsch an!

Eine Ausnahme bilden bei den analogen Messgeräten die Dreheiseninstrumente, die aufgrund ihrer Physik direkt den Effektivwert ermitteln, und bei den

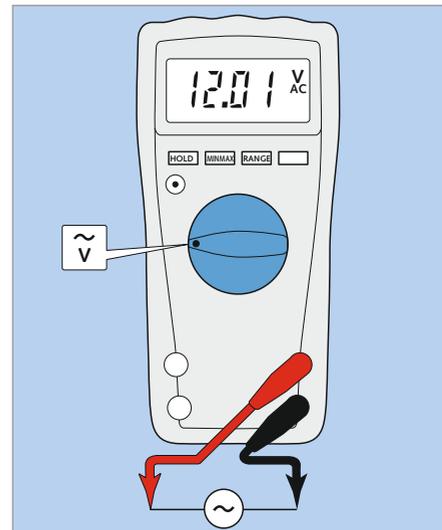


Abbildung 1-26: Wechselspannungsmessung. (Fluke)

Spannung) aufgelistet. Nun wird der Versorgungsbedarf in Stunden geschätzt und die erforderliche Kapazität ausgerechnet. Das nachfolgende Beispiel verdeutlicht die Rechnung für eine kleine Segelyacht (s. Tabelle 2-4):

Um die tatsächlich benötigte Batteriekapazität zu erhalten, sollte das Ergebnis mit dem Sicherheitsfaktor 1,7 multipliziert werden. Durch diesen Faktor werden Einflüsse wie z.B. geringe Ladung, niedrige Außentemperatur, hohe Entladung, Alterung etc. berücksichtigt. Es besteht außerdem Schutz vor Tiefentladung, da die Batterien nicht mehr als 80 % (Starterbatterien) bzw. 50 % (Gel- und AGM-Batterien) entladen werden dürfen, bevor sie wieder aufgeladen werden müssen.

Aus dem in Tabelle 2-4 genannten Beispiel würde sich ergeben:

$$52,5 \text{ Ah} \cdot 1,7 = 89,25 \text{ Ah} (K_{20}) \cdot 0,85 = 75,9 \text{ Ah} (K5);$$

gewählt: 75 Ah

Bei der Starterbatterie ist darauf zu achten, dass zwar der erforderliche Anlassstrom vorhanden ist, aber die Kapazität

nicht beliebig nach oben erweitert werden darf. Dies liegt daran, dass die Hersteller bei der Dimensionierung des Anlassers auch den maximalen Strom, der aus der Batterie kommt, berücksichtigen. Ist dieser zu groß, kann der Anlasser theoretisch verbrennen. Im Zweifelsfall sollte man beim Hersteller nachfragen.

### 2.3 Montage

Die Rheinschiffsuntersuchungsordnung (RheinSchUO) legt eindeutige Bestimmungen für Fahrzeuge über 15t Wasserverdrängung für den Betrieb von Akkumulatoren fest.

1. *Akkumulatoren müssen zugänglich und so aufgestellt sein, dass sie sich bei Bewegungen des Schiffes nicht verschieben können. Sie dürfen nicht an Plätzen aufgestellt sein, an denen sie übermäßiger Hitze, extremer Kälte, Spritzwasser oder Dämpfen ausgesetzt sind. Sie dürfen nicht in Steuerhäusern, Wohnungen und Laderäumen untergebracht sein. Dies gilt nicht für Akkumulatoren in tragbaren Geräten.*

Verbraucher	Leistung in Watt	Spannung in Volt	=	Stromaufnahme in Ampere	x	Versorgungszeit in Stunden	=	Kapazitätsbedarf Amperestd.
Positionsbeleuchtung	60	: 12	=	5	x	8	=	40,0
Echolot und Log	1	: 12	=	0,08	x	5	=	0,4
Kajütelleuchte	8	: 12	=	0,7	x	3	=	2,1
Innenbeleucht. Selbststeueranlage	24	: 12	=	2	x	5	=	10,0
Kapazitätsbedarf pro Tag: 52,5								

**Tabelle 2-4:** Batteriekapazitätsermittlung für eine kleine Segelyacht. (VARTA)

dass bei richtiger Auslegung die Starterbatterie schnell wieder nachgeladen und auch die Bordnetzatterie aufgefrischt wird.

Bei den Lichtmaschinen oder besser gesagt Generatoren unterscheidet man zwischen Gleich- und Drehstromlichtmaschinen.

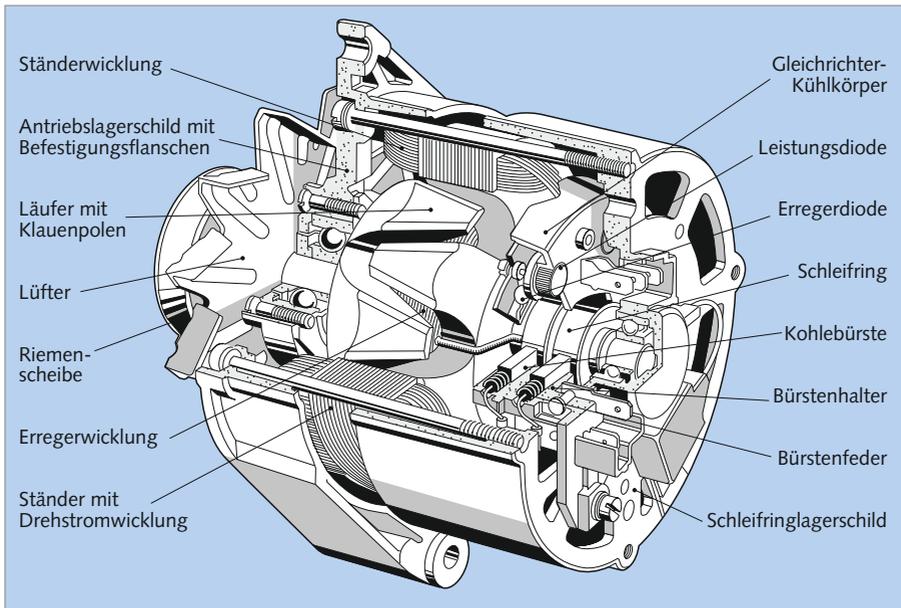
*Gleichstromgeneratoren* werden heute praktisch nicht mehr eingebaut, finden sich aber vielleicht noch auf dem ein oder anderen Fahrzeug wieder. Der Gleichstromgenerator ist vergleichbar mit einem Elektromotor, der durch die Hauptmaschine angetrieben wird. Als Dank liefert er an seinen Klemmen eine Spannung, die zum Laden der Batterien verwendet werden kann.

Um die Batterien nicht zu überladen, ist eine Regelung des Ladestroms erforderlich. Dies erfolgt durch die Beein-

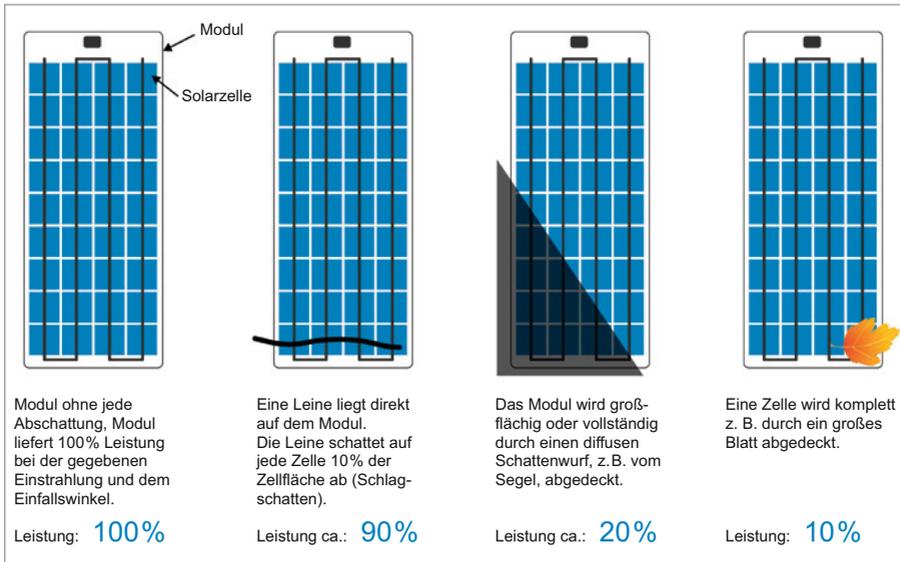
flussung des Erregerfeldes des Generators. Es muss sichergestellt werden, dass auch bei wechselnden Drehzahlen des Motors die Batterien nicht überladen werden.

Der Gleichstromgenerator weist im Vergleich zum Drehstromgenerator einige Nachteile auf. Zum einen ist der Ladestrom bedingt durch den physikalischen Aufbau bei niedrigen Motordrehzahlen relativ gering. Zum anderen sind die äußeren Abmessungen relativ groß, womit auch die Massen, die durch den Motor bewegt werden müssen, größer sind. Daraus resultiert ein schlechterer Wirkungsgrad. Der gesamte Ladestrom wird über Kohlebürsten abgegriffen. Das hat zur Folge, dass diese Bauteile häufiger gewartet werden müssen.

Wer nun aber an seiner Maschine noch eine Gleichstromlichtmaschine besitzt,



**Abbildung 3-3:** Drehstromgenerator im Schnitt. (Bosch)



**Abbildung 3-39:** Einfluss der Beschattung auf die Leistungsabgabe. (SunWare)

len) keine Spannung, so wird der Strom über die Bypassdiode umgeleitet. Bei Landanlagen mit 600 oder 1.000 V Betriebsspannung fällt es nicht so sehr auf, wenn ein einzelner String umgangen wird; der negative Einfluss durch eine Teilabschattung kann somit automatisch kompensiert werden. An Bord funktioniert durch die geringen Sys-



**Abbildung 3-40:** Beispiel Teilabschattung, wodurch die Leistung deutlich reduziert wird. (Solara)

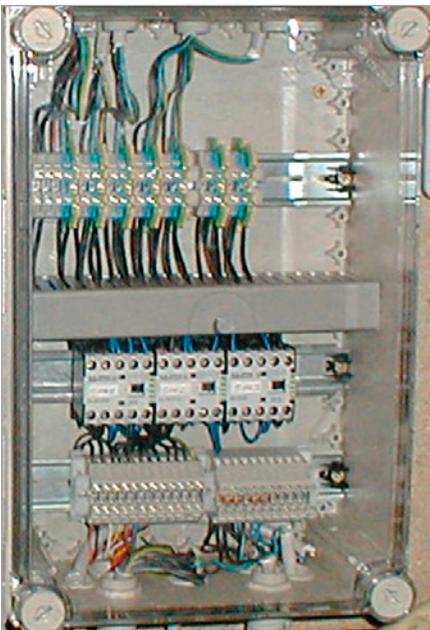
temspannungen dieser Effekt nicht, und die Bypassdiode verhindert nur den Hot-Spot-Effekt. Julian Schüren von SunWare gibt folgende Erklärung: *Wird eine oder werden mehrere Zellen eines Strings abgeschattet, wird die Bypassdiode, die parallel zu diesem String liegt, leitend. Das hat zur Folge, dass die Spannung des Moduls – bei zwei Dioden im Modul – um die Hälfte sinkt. Damit kann dann keine Batterie mehr geladen werden.*

Solarmodule sind grundsätzlich wartungsfrei. In der Praxis hat sich aber herausgestellt, dass die Bypassdioden z.B. durch Blitzeinschlag zerstört werden können. Hier ist es vorteilhaft, wenn diese ausgetauscht werden können. Bei den 12-V-SunWare-Modulen mit dreiadrigem Kabel liegt dem Modul ein Zellprotector mit austauschbaren Bypassdioden bei, der am Kabelende montiert wird.

- mindestens IP20, wenn die Verteilung im geschützten Bereich unter Deck montiert ist.



**Abbildung 4-30:** Rangierverteiler mit Reihenklemmen im Verteilergehäuse aus Kunststoff mit Moosgummi-Kabeleinführungen in IP 54.



**Abbildung 4-31:** Pumpensteuerung im Kunststoffgehäuse mit Reihenklemmen und Schützen.



**Abbildung 4-32:** 24-V-Verteilung aus Aluminium mit PG-Verschraubungen und Reihenklemmen.

### 4.3.1 Klemmen

Um die leitende Verbindung zwischen mehreren Leitern herzustellen, haben sich industrielle Klemmverbindungen bewährt. Bei der Auswahl der Klemmen muss man an Bord wählerisch sein, um vor bösen Überraschungen geschützt zu sein.

Die Norm fordert von den verwendeten Materialien, dass sie korrosionsbeständig und mit den Leitern und Anschlüssen galvanisch verträglich sind.



**Abbildung 4-33:** Lüsterklemmen aus dem Baumarkt sind kaum für den Bordeinsatz geeignet. Der Leiter wird mit einer Schraube festgeklemmt, so dass die Verbindung abhängig von der Anzugskraft ist, und die Schrauben können rosten. (Conrad)

Für elektrische Verbindungen in Verteilerdosen oder Gehäusen sind transparente Verbindungsklemmen von Wago

## 5.1 Werkzeug

Die Qualität der elektrischen Installation an Bord steht und fällt mit dem entsprechenden Werkzeug des Bordelektrikers. Selbst wenn das korrekte Material ausgewählt wurde, kann es nur dann zu einem zuverlässigen System zusammengefügt werden, wenn man das richtige Equipment dafür hat.



**Abbildung 5-2:** Das Werkzeug für den Bordelektriker. (Conrad)



Kabelschere (Knipex)



Crimpzange für Adernendhülsen (Knipex)



Crimpzange (Knipex)



Presszange für Rohrkabelschuhe (Cimco)



Elektroschraubendreher (Wera)



Heißluftpistole zum Erwärmen von Schrumpfschlauch (Conrad)



Automatische Abisolierzange (Jokari)



Kombizange (Knipex)



Schrumpfschlauchsortiment zur Leitungsisolation (3M)



Abmantler zum Beseitigen des Kabelmantels, ohne die Leiter zu beschädigen (Jokari)



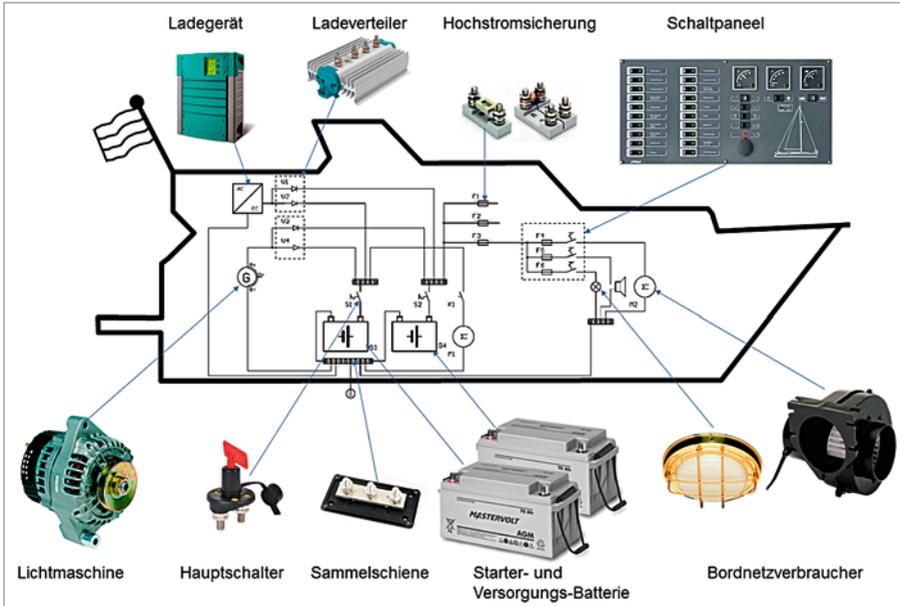
Flachrundzange (Knipex)



Seitenschneider (Knipex)



Kontaktspray für feuchte oder oxidierte Kontakte (Kontakt Chemie)



**Abbildung 7-1:** Einfaches Gleichstromnetz mit zwei Batteriesätzen.

Die Zuleitung zu allen anderen Verbrauchern und Verteilungen wird möglichst nahe an der Batterie mit jeweils einer Hochstromsicherung (F1 bis F3) abgesichert. Erst dann darf man mit einem reduzierten Kabelquerschnitt, der durch die vorgeschaltete Sicherung sowohl gegen Kurzschluss als auch gegen Überlast geschützt ist, die Reise durch das Fahrzeug antreten.

Normale Bordnetzverbraucher wie Lampen, Lüfter oder Pumpen dürfen nicht direkt an diese Leitung angeschlossen werden. Sie werden mit einem erheblich geringeren Querschnitt angeschlossen, sodass im Störfall die Hochstromsicherung (F3) überhaupt nicht mitbekommen würde, dass ein Problem vorliegt. Bis diese wegen Überlast ausgelöst hätte, wäre das Kabel und ggf. auch der Verbraucher schon längst verbrannt.

Vor die Querschnittsverringering muss demnach ein weiteres Schutzorgan geschaltet werden. Da man ja nicht nur einen, sondern mehrere Verbraucher bedienen möchte, kommt hier ein Schaltpaneel zum Einsatz, in das mehrere Sicherungen (F4 bis F6), Schalter und Kontrollleuchten integriert sind.

Zu beachten ist, dass zuerst die Schutzeinrichtung (Sicherung oder Automat) angeklemt wird und anschließend erst der Schalter. Somit wird auch der Schalter bereits durch die Sicherung geschützt.

Die Minusanschlüsse der Verbraucher werden beim Schaltpaneel auf einer Minussammelschiene angeklemt und mit dem identischen Kabelquerschnitt wie die Pluszuleitung mit der Minussammelschiene an den Batterien verbunden.



# Register

## A

Abgastemperatur 219  
 Abmantler 99, 123  
 Absicherungskonzept 116, 117  
 Abstrahlwinkel **162**, 164, 175  
 Adernendhülsen **98**, 99, 110, 123  
 AGM-Batterien 43, 44  
 Ankerlampe 171  
 Anlasser 14, 15, 140, 142, 143, 214, 215  
 Anpressdruck 96, 97, 104  
 Anschlussart 110  
 Arbeitstemperatur 64  
 Arduino 151, 171  
 Asynchrongenerator 197, 198  
 Aufstellwinkel 86  
 Auslöseempfindlichkeit 187

## B

Backbone 138  
 Batterieanschlüsse 52  
 Batterieauffrischer 58, 59  
 Batterieauptschalter 111, 142, 234  
 Batterieklemmen 52  
 Batteriemonitor 41, 53, **57**, 157  
 Batteriepulser 59  
 Batterieschaltungen 47  
 Batterietrenndioden 70, 71, 73  
 Batterietrennschalter **110**, **111**, 114, 140, 142  
 Batterietyp 43-46, 63, 68, 76, 78, 153, 154, 158  
 Batteriewahl 45, 46  
 Batteriewahlschalter 111, 112  
 Baumusterprüfung 165, 166  
 Bauvorschriften 115, 129  
 Beleuchtung 161-179  
 Beleuchtungsstärke 161, 162  
 Benzengeneratoren 198, 199  
 Beschattung 87  
 Betriebsmittelkennzeichnung 25

Betriebsstundenzähler 69, 201, 219  
 Bleischlammablagerung 59  
 Bootsantrieb 223, 224  
 Bordinstallation 93-121  
 Bordnetzbatteie 13, 30, 65, 115  
 Bordnetzwerke 134-139  
 Bordspannungssteckdose 101  
 Brennstoffzelle 80, 81  
 Bypassdiode 86, 87

## C

CAN-Bus 134, **137-139**, 209-213  
 Candela-Kurve 162, 163  
 CEE-Steckverbindung 191, 192  
 Crimpverbindung 96-98  
 Crimpwerkzeug 96-99, 123  
 Crimpzange 96, 98, 99, 123  
 CZone 146

## D

Datenleitung 134, 138  
 Datennutzung 135  
 Decksbeleuchtung 173, 174  
 Decksdurchführung 94, 95  
 Deckscheinwerfer 173, 174  
 Degradation 163  
 Dieselgeneratoren 199-202  
 Digitalmultimeter 30, 33  
 Dimmer 145, 149, 150, 177, 178, 226, 228  
 DIN EN ISO 10133 13, 14, 18, 21, 52, 93, 95, 96, 98, 102, 106, 110, 114, 215  
 DIN EN ISO 13297 18, 21, 93, 124, 126, 183-185, 187, 189, 190, 194, 196, 202  
 Diode 26-28, 36-38, 66, 72, 73, 76-78, 88, 90, 113, 140, 143, 170, 185, 220, 221  
 Diodenprüfung 37  
 Diodenverteiler 72  
 Dreheiseninstrumente 33  
 Drehkreis 92  
 Drehstromgenerator 65, 222

Drehstromlichtmaschine 65-67, 69, 90, 227  
 Drehzahlmesser 70, 216, 217, 219, 222  
 Dünnschichtmodule 82, 83  
 Durchgangsprüfer 29, 30, 231-233

## E

Einspeisung 15, 26, 77, 138, 180, 191-193, 196, 230  
 Einzelleiter 20  
 Elektronenfälle 180, **181**  
 Energiemanagement 147, **152-160**  
 Entstörfilter 227, 228  
 Entstörung 225-228  
 Erdanschluss 15, 17, 18  
 Erdungssystem 184, 195

## F

Farbtemperatur **163**, 173, 175, 177, 178  
 Fehlersuche 127, 129, **230-235**  
 Fehlstromschutzschalter 187, 188  
 Feinsicherung 118, 119, 159  
 FI-Schutz 188  
 FI-Schutzschalter 187-189, 192, 193, 195, 197  
 Flachsicherung 118-120  
 Freilaufdiode 112-114, 228  
 Funktionsüberwachung 169-172

## G

galvanische Korrosion 14, 16, 144, 184, 194, 215  
 galvanische Ströme **15-18**, 195  
 galvanischer Isolator 183, 195  
 Gasungsspannung 57, 62, 64, 74, 75, 78  
 Gelbatterien **43**, 46, 53, 54, 56, 60, 63, 155  
 Gleichrichterioden 66  
 Gleichspannungsmessung 32  
 Gleichstrom 15, 181  
 Gleichstromanlage 140  
 Gleichstromgenerator 65, 66, **79, 80**  
 Gleichstromnetz **140-144**, 152, 158, 177

Gleichstromverkabelung 21  
 Gleichstromverteilung 140-151  
 Gleichzeitigkeitsfaktor 48  
 Glühbirne 167, 176, 177  
 Glühkerze 213, 214  
 Glühlampe 163-166, 168-170, 235  
 Gummischlauchleitung 19

## H

Halogenleuchte 164, 173, 174  
 Hauptschalttafel 115, 128, 129, 169  
 Hauptsicherung 117, 118  
 Hochstrombelastung 56  
 Hochstromlichtmaschine 68, 79, 142  
 Hochstromrelais 71, 113, 114, 144  
 Hochstromsicherung 69, 106, 118, 121, 141, 232  
 Hochstromverteiler 106  
 Hohlwanddose 109  
 Homematic 149-151  
 Hot-Spot-Effekt 86, 87  
 Hybridregler 92

## I

Innenbeleuchtung 174-179  
 Installationsmaterial 93  
 Instrumentenpaneel 217  
 IU-Kennlinie 43, 75  
 IUoU-Kennlinie 43, 44, 54, 67, 68, 74-76, 78

## K

Kabelarten 18-22  
 Kabelbinder 20, 105, 109, 125, 126, 130, 226, 232  
 Kabeldurchführung 93  
 Kabelkanal 19, 124, 192, 232  
 Kabelquerschnitt 11, 12, 20, **22-24**, 96-98, 100, 112, 117 135, 141, 144, 169, 181, 215  
 Kabelschuttschlauch 124, 125  
 Kabelverbindung 52, 99, 191  
 Kabelverlegung 124-128

Kapazität 20, 40, 41, 47, **48-50**, 53, 54, 62, 63, 152, 206  
Kapazitätsberechnung 62  
Kennlinie 74-76, 83  
Kennzeichnung 189-191  
Kfz-Flachsicherung 119, 120  
Kippschalter 108  
Klemmen 103-105  
Klemmenpläne 28  
Klemmleiste 104, 105, 131, 135, 148, 221, 230,  
Kohlebürstenhalter 68  
Kombibatterien 42  
Kontaktabbbrand 73  
Kontaktspray 100, 123, 231  
Kurzschluss 14, 56, 100, 116, 140, 141, 153, 181, 234

## L

Ladeerhaltungsspannung 64  
Ladekennlinie 43, 67, 69, 77, 78, 88  
Laderegler 67, 68, 73, 88  
Ladestrom 43-45, 53, 54, 62-64, 74-78, 147, 156  
Ladetechnik 46, 62-92  
Ladeverteiler 73, 76  
Lampentest 26, 27, 221  
LAN-Netzwerk 134-137  
Landanschluss 189-193  
Lastabwurf 158-160  
LED-Anzeige 153, 154, 156  
LED-Leuchte 162, 164, 166, 170, 173, 178  
LED-Technologie 163, 164  
Leiterisolation 21  
Leitungsschutzschalter 115-117, 120, 121  
Leistungsverbindung 95-102  
Leuchtdioden 29, 56, 148, 153, 173, 175, 176  
Lichtausbeute **163**, 173  
Lichterführung 129, 166, 169-171  
Lichtleistung 161, **162**, **163** 171, 175  
Lichtleistungsdiagramm 162, 163  
Lichtmaschine 64-73  
Lichtmaschinenregler 143, 155  
Lichtstärke 161-164, 172, 173  
Lichtstrom 161-163  
Lithiumbatterien 44, 45, 53  
Luftmenge 51  
Lux-Diagramm 162

## M

Magnetsteckverbindersystem 102  
Masseanschluss 15  
massesfrei 14, 15, 107, 215-218  
Masseverbindung 30, 221, 226, 227, 230, 234  
MasterBus 137, 138, **145**, **146**  
Mastverkabelung 101  
Megapulse 59, 60  
Messfehler 30, 31  
Messtechnik 29-38  
Messungenauigkeit 30  
Minus 13-15, 58, 101, 144, 194, 220, 232, 234  
monokristallin 82  
Motorelektrik 209-224  
Motorüberwachung **209-213**, 234  
Motorverkabelung 210  
MPPT-Regler 88, 89  
Multimeter 30, 31, 33, 185

## N

Nassbatterien 43  
NavBox 210  
Nav-Switch 169-171  
Navigationslichter 164-167  
Nebenwiderstand 35, 106, 155  
Nenntragweite 169  
Netzwerkadresse 135, 136  
Netzwerkkabel 134, 135  
NH-Sicherung **117-119**, 142, 215  
NMEA 0183 138  
NMEA 2000 **137-139**, 146  
Nockenschalter 109  
Normen 181-183  
Nullleiter 21, 180

## O

Opferanode 17

## P

Parallelschaltung 12, **47**, 48, 89

Patchpanel 135, 136

P-Bus 137, 138, **146**, **147**

Peak-Leistung 84

Peukert-Gleichung 40, 41

PG-Verschraubung 93-95

Polaritätsanzeiger 189

Polaritätsumwandler 189

polykristallin 82

Positionslaterne 164

Presskabelschuh 97, 98

Prüfen 29, 30

Puls-Weitenmodulation 177

Punktstrahler 164, 175, 176

PWM (siehe Puls-Weitenmodulation)

## Q

Querschnittsfläche 10, 11, 52

Quetschverbindung 97

## R

Reihenklemmen 103, 104

Reihen-Parallelschaltung 48

Reihenschaltung 12, **47**, **48**, 89

Relais 112-114

Richtlinien 181-183

Ringkabelschuh 110

RJ45 134, 135, 138, 145

Rundsteckverbinder 100

## S

SAE J1939 210

Sammelschiene 15, 69, **106**, 140, 141, 142, 144, 184, 215

Sammelstützpunkt 106

Säuredichte 55, 56, 58, 59

Schallschutzhaube 200, 202

Schalter 107-114

Schaltpaneel 128-133

Schaltpläne 24-29

Schalttafelauflaufbau 126

Scheinwerfer 172, 173

Schiffsbatterien 39-61

Schmelzkleber 97, 98

Schmelzsicherung 101, 117, 120, 121, 145, 188

Schottdurchführung 93, 94

Schraubverbindung 96, 110

Schrumpfschlauch 97, 98, 123

Schutzarten 93-95

Schutzeinrichtung 183-189

Schutzerdung 183-185

Schutzschalter 188, 189

Serienregler 88

Shunt 35, 57, 88, 106, 142, 143, 147, 145, 151, 155, 156

Shunt-Regler 88

Sicherheitshinweise 37, 38

Sicherungen 115-121

Sicherungshalter 117-120

Sicherungspaneel 129

Sinusspannung 33, 205

Solarladeregler 88, 89

Solarmodul 82, **83-87**

Solartechnik 81-90

Spannungsabfall 11, 22, 23, 67, 73, 98, 153, 169, 206, 234

Spannungsmessung 55, 153-155

Spannungsverlust 23, 54, 64, 68, 88, 111, 112

Spannungswandler 13, 135, 157

spezifischer Widerstand 11

Spiralschlauch 124, 130

Starten 76, 213-215

Starterbatterie 42

Steckverbindungen 99-102, 191, 192

Stichleitung 138, 139

Störaussendung 226-228

Stoppeinrichtung 216

Streifensicherung 118

Stromdichte 161

Stromkennlinie 66

Strommessung 34-36, 155-157  
Stromrelais siehe Hochstromrelais  
Stromschlaggefahr 34, 37  
Stromstoßrelais 113, 114, 147-150, 159,  
160  
Stufenbeleuchtung 174  
Suchscheinwerfer 172, 173  
Sulfatierung 53, 54, 58-60  
Synchrongenerator 66, 198

## T

Teilabschattung 87  
Temperaturanzeige siehe Wassertem-  
peraturanzeige  
Temperaturkompensation 63, 64  
Temperatursensor 31, 54, 62, 63, 88  
Tiefentladung 42-46, 50, **53**, 55-58,  
64, 88, 101, 152, 158, 206  
TN-S-Netz 193, **195-197**  
Touchpanel 146  
Tragweite 152, 164, 166, 169-171  
Traktionsbatterie 44  
Trenndioden 54, 67, 68, 73, 76, 77, 204  
Trennrelais 70, 71  
Trennschalter 111  
Trenntransformator **185-187**, 195, 196  
Twisted-Pair-Kabel 134

## U

Übergangswiderstand 15, 30, 98, 111,  
184, 214, 226, 230, 231  
Überladung 54  
Überspannungsalarm 54, 155  
Überstromsicherheit 188, 189,  
194  
Ummantelung 18, 19  
Umwelt 60, 61  
Unterladung 54  
Unterspannungsabschaltung 206  
Unterspannungsalarm 159, 160

## V

Verbraucherbatterien 42  
Verschraubung 94, 102  
Verteilerdosen 105  
Verteilung 102, 103  
Vorglühen 213, 214

## W

Wago-Klemme 104  
Wa-Kennlinie 74  
Warnanlage 218-221  
Wartungsarbeiten 57, 58, 229  
Wassertemperaturanzeige 217, 219  
Webinterface 149  
Wechselrichter 203-206  
Wechselspannungsmessung 33, 34  
Wechselstromgenerator 197, 198  
Wechselstrominstallation 193-195  
Wechselstrommessung 35, 36  
Wechselstromverteilung 188  
Werkzeug 123  
Widerstandsmessung 36, 138, 233  
Widerstandssensoren 218  
Windgeneratoren 89  
Wippschalter 108  
Wirkungsgradkennlinie 203, 204  
WLAN 134-137  
WLAN-Zugang 135

## X

Xenontechnologie 172, 173

## Z

Zangenamperemeter 35  
Zugänglichkeit 129, 130  
Zugentlastung 93, 105, 109, 125, 226  
Zweikreiskühlung 201