

Wiring Unlimited

Margreet Leeftink

Inhaltsverzeichnis

1. Einführung	1
1.1. Sicherheitshinweise	1
1.2. Haftungsausschluss	1
1.3. Begriffsverzeichnis	1
2. Theorie	2
2.1. Ohm'sches Gesetz	2
2.2. Leistung	3
2.3. Leitfähigkeit und Widerstand	4
2.4. Elektrische Isolierung	6
2.5. Widerstand des Anschlusses	6
2.6. Drehmoment	7
2.7. Strom, Kabelwiderstand und Spannungsabfall	8
2.8. Die negativen Auswirkungen des Spannungsabfalls im Kabel	11
2.9. Restwelligkeitsspannung	13
3. Verkabelung der Batteriebank	16
3.1. Die Batteriebank	16
3.2. Große Batteriebanken	17
3.3. Parallele Batteriebankverkabelung	18
3.4. Bankabgleich von Blei-Säure-Batterien	19
3.5. Mittelpunkt der Batteriebank	20
4. Gleichstromverkabelung	22
4.1. Kabelauswahl	22
4.2. Sammelschienen	25
4.3. Kabelverbindungen	27
4.4. Crimpkontakte	31
4.5. Kabelführungen	32
4.6. Sicherungen und Leistungsschalter	34
4.7. Gleichstromisolationsschalter	38
4.8. Shunt	39
4.9. Parallele bzw. 3-phasige Gleichstromverkabelung des Systems	40
4.10. Große Systemsammelschienen	41
4.11. Spannungserfassung und -kompensation	42
4.12. Solar	44
5. Kommunikationsverdrahtung	48
5.1. Datensignale	48
5.2. Störungen	48
5.3. Typen von Kommunikationskabeln	49
5.4. Schnittstellen	51
6. Wechselstromverkabelung	53
6.1. Stromerzeugung	53
6.2. Verteilnetze	53
6.3. Systemstrom VA und Watt	54
6.4. Wechselstromverkabelung	56
6.5. Wechselstromsicherungen und Stromkreisunterbrecher	57
6.6. AC-Bypass-Schalter	58
6.7. Besondere Überlegungen zur Verkabelung von parallelen Wechselrichter-/Ladegerätesystemen	59
6.8. Phasendrehung 3-phasige Systeme mit Wechselrichter/Ladegerät	60
7. Masse-, Erdungs- und elektrische Sicherheit	61
7.1. Elektrische Sicherheit	61
7.2. Erdungsleitung	62
7.3. RCD, RCCB oder GFCI	63
7.4. Neutral zum Erdungsanschluss in Wechselrichtern und in Wechselrichtern/Ladegeräten	64
7.5. Mobile Anlagen	65
7.6. Isolierung und Erdung von Victron-Geräten	67
7.7. Systemerdung	68

8. Galvanische Korrosion	70
8.1. Verhinderung von galvanischer Korrosion	70
8.2. Der galvanische Isolator	71
8.3. Der Trenntransformator	71
9. Danksagungen	72

1. Einführung

Willkommen bei „Wiring Unlimited“, einem Buch über die elektrische Verkabelung von Systemen mit Batterien, Wechselrichtern, Ladegeräten und Wechselrichtern/Ladegeräten.

Mit diesem Buch wollen wir die Grundlagen der Verdrahtung von elektrischen Systemen erklären. Wir erklären die Bedeutung von „richtig hinbekommen“ und behandeln die Probleme, die sich ergeben können, wenn ein System über eine schlechte Verkabelung verfügt. Es hilft auch Elektroinstallateuren oder Anwendern bei der Fehlersuche, die durch schlechte Verkabelung entstanden sind, so dass eine korrekte Schlussfolgerung für die jeweiligen elektrischen Systeme gezogen werden kann.

Verkabelungsprobleme sind oft eine Ursache für Systemprobleme oder können zu einer unzureichenden Leistung der Systeme führen.

Für einen störungsfreien Betrieb jedes elektrischen Systems, insbesondere von Systemen, die einen Wechselrichter/Ladegerät und Batterien enthalten, die „Hochstromgeräte“ sind, ist es wichtig, dass die Verkabelung des Systems korrekt ausgeführt wird.

Dieses Buch wird Ihnen dabei helfen, „es richtig zu machen“.

1.1. Sicherheitshinweise

Elektrizität ist gefährlich. Es kann Personen oder Eigentum Schaden zufügen.

Es braucht eine bemerkenswert geringe Menge an Strom über das menschliche Herz, um es zu stoppen. Aufgrund der natürlichen Widerstandsfähigkeit der menschlichen Haut und des menschlichen Gewebes bedeutet dies, dass eine hohe Spannung erforderlich ist, um diesen Strom zu erzeugen, der das Herz zum Stillstand bringt. Menschen sind jedoch schon an Spannungen von nur 42 Volt gestorben.

Sowohl DC als auch AC können dieses fatale Ereignis verursachen. Elektrische Arbeiten sollten daher immer von einem qualifizierten Elektriker oder Techniker durchgeführt werden und die örtlichen Sicherheitsvorschriften und -anforderungen müssen eingehalten werden.



WICHTIGER HINWEIS:

- Wechsel- und Gleichstromspannungen, die bestimmte Werte überschreiten, sind gefährlich und schädlich.
- Bei Arbeiten mit Strom und Batterien immer isolierte Werkzeuge verwenden.
- Schließen Sie die Batterien nicht kurz. Dies kann einen Brand oder eine Explosion verursachen.
- Durch das Aufladen der Batterie können explosive Gase entstehen.
- Unterdimensionierte Verkabelung oder schlechte elektrische Kontakte können einen Brand verursachen.
- Beachten Sie immer die Sicherheitswarnungen in den entsprechenden Produkthandbüchern.

1.2. Haftungsausschluss

Der einzige Zweck dieses Dokuments ist es, das Verständnis der Grundprinzipien bestimmter elektrischer Konzepte zu erleichtern. Dieses Dokument dient nur als Leitfaden.

Die Vorschriften für die elektrische Verkabelung können je nachdem, wo Sie sich auf der Welt befinden, unterschiedlich sein. Die örtlichen elektrischen Vorschriften können von den in diesem Dokument gegebenen Verdrahtungshinweisen abweichen.

Es liegt in Ihrer Verantwortung, vor allen elektrischen Arbeiten stets professionellen Rat und Anleitung von örtlichen Behörden bzw. zugelassenen Elektrikern einzuholen.

1.3. Begriffsverzeichnis

In diesem Buch wird das metrische System verwendet und alle Einheiten und Kurzbezeichnungen entsprechen dem Internationalen Einheitensystem. Weitere Informationen über das Internationale Einheitensystem finden Sie unter diesem Link: https://en.wikipedia.org/wiki/International_System_of_Units

2. Theorie

Sie werden am meisten von diesem Buch profitieren, wenn Sie über Grundkenntnisse der Elektroteorie verfügen. Dies wird Ihnen helfen, die zugrunde liegenden Faktoren zu verstehen, die die Dicke der Verkabelung und die Sicherungswerte bestimmen. Vielleicht verfügen Sie bereits über dieses Grundverständnis und können dieses Kapitel überspringen, aber wir empfehlen Ihnen dringend, dieses Kapitel zu lesen.

2.1. Ohm'sches Gesetz

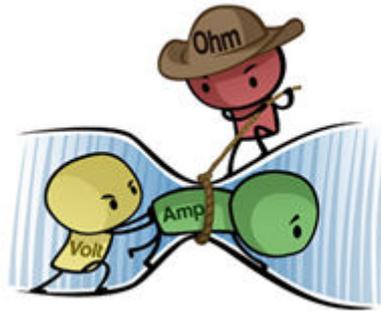
Das Ohm'sche Gesetz ist das wichtigste Gesetz eines Stromkreises. Sie ist die Grundlage fast aller elektrischen Berechnungen. Es ermöglicht Ihnen, den Strom zu berechnen, der durch ein Kabel (oder eine Sicherung) bei verschiedenen Spannungen fließt. Zu wissen, wie viel Strom durch ein Kabel fließt, ist unerlässlich, um das richtige Kabel für Ihr System auswählen zu können. Doch zunächst benötigen Sie einige grundlegende Kenntnisse über Elektrizität.

Was ist Elektrizität?

Elektrizität ist die Bewegung von Elektronen in einem Material, das als Leiter bezeichnet wird. Diese Bewegung erzeugt einen elektrischen Strom. Dieser Strom wird in „Ampere“ (kurz Amp.) gemessen und das Symbol ist der Buchstabe A.

Die Kraft, die benötigt wird, um die Elektronen fließen zu lassen, wird als Spannung (oder Potential) bezeichnet. Sie wird in „Volt“ gemessen und das Symbol ist der Buchstabe V (in Europa auch als U bezeichnet).

Wenn ein elektrischer Strom durch ein Material fließt, trifft er auf einen bestimmten Widerstand. Dieser wird in Ohm gemessen. Das Symbol ist Ω .



Wie verhalten sich Spannung, Strom und Widerstand zueinander?

- Wenn der Widerstand gering ist, bewegen sich viele Elektronen, und der Strom ist hoch.
- Wenn der Widerstand höher ist, bewegen sich weniger Elektronen und der Strom ist niedriger.
- Wenn der Widerstand sehr hoch ist, bewegen sich überhaupt keine Elektronen, und der Strom ist zum Stillstand gekommen.

Ohm'sches Gesetz:

Man kann sagen, dass der Widerstand eines Leiters bestimmt, wie viel Strom bei einer bestimmten Spannung durch ein Material fließt. Dies kann in einer Formel dargestellt werden. Die Formel heißt Ohm'sches Gesetz:

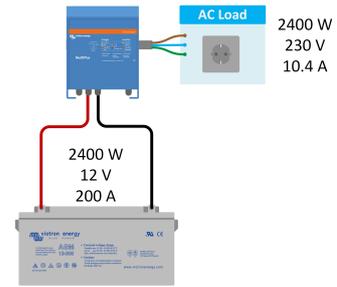
$$\text{Current (A)} = \text{Voltage (V)} / \text{Resistance } (\Omega)$$

$$I = V/R$$

Die Vorteile der Verwendung von Leistung anstelle von Strom bei Berechnungen:

Ein großer Vorteil der Verwendung von Leistung bei Berechnungen oder Messungen ist, dass die Leistung unabhängig von der Spannung ist. Dies ist nützlich in Systemen, in denen mehrere Spannungen vorhanden sind. Ein Beispiel hierfür wäre ein System mit einer Gleichstrombatterie, Wechselstrom und vielleicht einem Solarpanel mit einer anderen Gleichspannung als die Batterie.

Die Leistung bleibt über die verschiedenen Spannungen hinweg gleich. Wenn Sie beispielsweise eine Wechselstromlast von 2400 W über einen Wechselrichter aus einer 12-V-Batterie betreiben, nimmt sie auch 2400 W aus der Batterie auf (ohne Berücksichtigung der Wechselrichtereffizienzen).

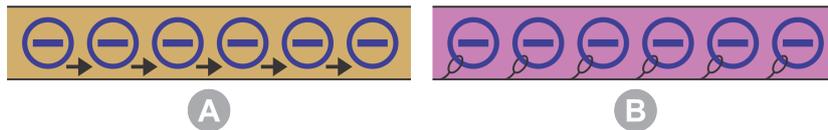


2.3. Leitfähigkeit und Widerstand

Einige Materialien leiten den Strom besser als andere Materialien. Materialien mit niedrigem Widerstand leiten Strom gut, und Materialien mit hohem Widerstand leiten Strom schlecht oder gar nicht.

Metalle haben einen niedrigen Widerstand und leiten den Strom gut. Diese Materialien werden als Leiter bezeichnet. Aus diesem Grund werden sie auch als Kern in elektrischen Kabeln verwendet.

Kunststoffe oder Keramiken haben einen sehr hohen Widerstand, sie leiten überhaupt keinen Strom. Sie werden als Isolatoren bezeichnet. Deshalb werden an der Außenseite von Kabeln nichtleitende Materialien wie Kunststoff oder Gummi verwendet. Sie werden keinen elektrischen Schlag bekommen, wenn Sie das Kabel berühren, da der Strom nicht durch dieses Material fließen kann. Isolatoren werden auch verwendet, um einen Kurzschluss zu verhindern, wenn sich zwei Kabel berühren.



A: In einem Leiter können sich die Elektronen bewegen.

B: In einem Isolator können sich die Elektronen nicht oder nur sehr langsam bewegen.

Jedes Material hat seinen eigenen spezifischen Widerstand. Es wird in $\Omega \cdot m$ gemessen und das Symbol ist ρ (rho).

Die Leitfähigkeit eines Materials ist umgekehrt proportional zu seinem Widerstand. Sie wird durch diese Formel dargestellt: $\sigma = 1/\rho$. Sie wird in Siemens pro Meter (S/m) gemessen und ihr Symbol ist σ (Sigma).

In der folgenden Tabelle sind verschiedene leitfähige Materialien, ihre elektrische Leitfähigkeit und ihr spezifischer Widerstand aufgeführt. Wie gezeigt, leitet Kupfer Elektrizität gut und hat einen geringen Widerstand. Wie gezeigt, ist Kupfer ein hervorragender Leiter mit geringem Widerstand, weshalb es häufig in elektrischen Kabeln verwendet wird. Im Gegensatz dazu hat Titan eine schlechte elektrische Leitfähigkeit und einen höheren spezifischen Widerstand, wodurch es sich weniger gut als elektrischer Leiter eignet.

Material	Elektrische Leitfähigkeit (10.E6 Siemens/m)	Elektrischer Widerstand (10.E-8 Ohm.m)
Silber	62.1	1.6
Kupfer	58.5	1.7
Gold	44.2	2.3
Aluminium	36.9	2.7
Molybdän	18.7	5.3
Zink	16.6	6.0
Lithium	10.8	9.3
Messing	15.9	6.3
Nickel	14.3	7.0
Eisen	10.1	9.9
Palladium	9.5	10.5
Platin	9.3	10.8
Wolfram	8.9	11.2

Material	Elektrische Leitfähigkeit (10.E6 Siemens/m)	Elektrischer Widerstand (10.E-8 Ohm.m)
Zinn	8.7	11.5
Bronze	7.4	13.5
Kohlenstoffstahl	5.9	16.9
Blei	4.7	21.3
Titan	2.4	41.7

Es gibt noch zwei weitere Faktoren, die den Kabelwiderstand bestimmen. Dies sind die Länge und die Dicke des Leiters (Kabel):

Diese Faktoren hängen wie folgt zusammen:

- Ein dünnes Kabel hat einen höheren Widerstand als ein dickes Kabel gleicher Länge.
- Ein langes Kabel hat einen höheren Widerstand als ein kurzes Kabel gleicher Dicke.

Der Widerstand einer Kabellänge kann mit der folgenden Formel berechnet werden:

$$\text{Resistance} = \rho \times \text{length} / \text{Area}$$

$$R = \rho \times l / A$$

Wie in der obigen Formel bestimmen drei Faktoren den Widerstand des Kabels. Diese sind:

- Der elektrische Widerstand des verwendeten Materials.
- Die Länge des Kabels: Ein längeres Kabel bedeutet einen höheren Widerstand.
- Der Durchmesser des Kabels. Ein dünneres Kabel bedeutet einen höheren Widerstand.

Es ist wichtig, den Widerstand eines Kabels zu kennen, denn wenn ein Strom durch ein Kabel fließt, ist der Kabelwiderstand für diese beiden Effekte verantwortlich:

- Es kommt zu einem Spannungsabfall (-verlust) über die Kabellänge.
- Das Kabel erhitzt sich.

Wenn der Strom zunimmt, werden sich diese Auswirkungen verschlimmern. Ein erhöhter Strom erhöht den Spannungsabfall und das Kabel erwärmt sich stärker.

Ein Beispiel für die Berechnung des Widerstands eines Kabels:

Frage:

- Wie hoch ist der Widerstand eines 1,5 Meter langen Kabels mit 16 mm² Durchmesser?

Gegeben:

- ρ Kupfer = $1,7 \times 10^{-8} \Omega/\text{m}$
- $L = 1,5 \text{ m}$
- $A = 16 \text{ mm}^2 = 16 \times 10^{-6} \text{ m}^2$

Antwort:

- $R = \rho \times l / A$
- $R = 1,7 \times 10^{-8} \times 1,5 / (16 \times 10^{-6})$
- $R = 1,7 \times 10^{-2} \times 1,5 / 16$
- $R = 0,16 \times 10^{-2} = 1,6 \times 10^{-3}$
- $R = 1,6 \text{ m}\Omega$

Der Effekt der Kabellänge:

Nehmen wir das vorherige Beispiel und berechnen wir nun für ein 5 Meter langes Kabel. Das Ergebnis wird sein, dass der Widerstand 5,3 mΩ beträgt. Wenn Sie ein längeres Kabel verwenden, erhöht sich der Widerstand.

Der Effekt der Kabeldicke:

Nehmen wir das ursprüngliche Beispiel und rechnen wir nun für ein Kabel mit einem Querschnitt von 2,5 mm². Das Ergebnis wird sein, dass der Widerstand 10,2 mΩ beträgt. Wenn Sie ein dünneres Kabel verwenden, erhöht sich der Widerstand.

Schlussfolgerung:

Sowohl die Kabeldicke als auch die Kabellänge haben einen großen Einfluss auf den Kabelwiderstand.

2.4. Elektrische Isolierung

Elektrische Isolatoren dienen dem Schutz von Menschen und Geräten vor Stromschlägen und verhindern den Fluss von Strom von einem Teil eines Stromkreises zu einem anderen.

Wie wir in der Tabelle im vorherigen Kapitel gesehen haben, wird ein Material, das Elektrizität nicht gut leitet, als Isolator bezeichnet.

Beispiele für elektrische Isolatoren sind Gummi, Kunststoff, Glas, Keramik und Luft. Diese Materialien werden in verschiedenen elektrischen Anwendungen eingesetzt, z. B. als Isolierung für Drähte, Isolatoren für elektrische Geräte und Beschichtungen für elektrische Komponenten.

Elektrische Isolatoren spielen eine entscheidende Funktion bei der Gewährleistung des sicheren und effizienten Betriebs elektrischer Systeme und bei der Vermeidung elektrischer Gefahren.

Als Faustregel gilt: Je höher die Spannung, desto dicker oder besser muss die Isolierung sein. So sind beispielsweise spezielle Kabel zu und von einer Hochspannungssolaranlage erforderlich.

Isolierte Kabel und Elektrowerkzeuge sind für eine bestimmte maximale Spannung ausgelegt. Achten Sie darauf, dass diese Spannungsangabe zu Ihrer Anwendung passt.

2.5. Widerstand des Anschlusses

Der Widerstand in einer Elektroinstallation wird nicht nur durch den Widerstand des Kabels bestimmt, denn auch der Widerstand der elektrischen Anschlüsse trägt zum Gesamtwiderstand bei.

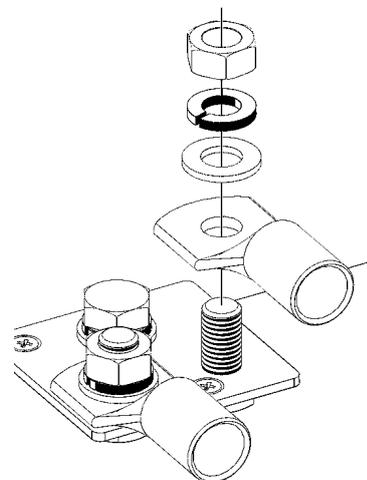
Wie entsteht der Widerstand im Anschluss?

Sobald ein Anschluss zwischen einem Kabel und einem Gerät oder zwischen einem Kabel und einer Kabelklemme hergestellt wird, erhöht sich der Widerstand des Stromkreises. Der Grad des Widerstands wird von der Verbindungsqualität und der Größe der Verbindungsfläche beeinflusst.

- Ein fester Anschluss hat weniger Widerstand als ein loser Anschluss.
- Ein großer Anschlussbereich hat weniger Widerstand als ein kleiner Anschlussbereich.

Wie man Widerstände bei Anschlüssen begrenzt:

- Sorgen Sie für feste und sichere Anschlüsse. Achten Sie darauf, dass die Steckverbinder korrekt befestigt sind und das maximale Drehmoment nicht überschritten wird. Für weitere Informationen siehe Kapitel [Drehmoment \[7\]](#).
- Fügen Sie bei einem Anschluss mit einer Mutter oder Schraube immer eine Unterlegscheibe und eine Federscheibe in der richtigen Reihenfolge hinzu, wie in der Abbildung rechts dargestellt.
- Crimpen Sie die Klemmen richtig an ein Kabel. Benutzen Sie eine geeignete Crimpzange und verwenden Sie eine richtig dimensionierte Kabelklemme. Für weitere Informationen siehe Kapitel [Crimpkontakte \[31\]](#).



Beachten Sie, dass auch Widerstand Hitze erzeugt:

Ein schlechter Anschluss mit hohem Widerstand erzeugt übermäßige Hitze. Die Beziehung zwischen Leistung, Strom und Widerstand wird durch die Formel $P = I^2R$ beschrieben. Bei Gleichstrom mit niedriger Spannung kann schon ein geringer Widerstand zu einer gefährlichen Hitzeentwicklung führen, die Geräte und Kabel beschädigen oder in schweren Fällen sogar einen Brand verursachen kann.

2.6. Drehmoment

Wie im vorigen Kapitel beschrieben, sollten feste elektrische Verbindungen hergestellt werden, da lose Verbindungen zu Widerstand, Hitze und möglicher Korrosion durch Lichtbogenbildung führen. Achten Sie aber auch darauf, dass Sie diese Anschlüsse nicht zu fest anziehen, da sonst der Steckverbinder beschädigt werden könnte.

Befestigungselemente, Schrauben oder Bolzen für elektrische Verbindungen sind oft aus verzinnem Messing. Es ist ein verbreiteter Irrtum anzunehmen, dass diese Befestigungen aus rostfreiem Stahl bestehen, was zu einem Überdrehen und einer Beschädigung der Befestigung führen kann.

Verwenden Sie immer einen Drehmomentschlüssel (oder einen Drehmomentschraubendreher), damit Sie wissen, dass die Schraube richtig angezogen ist.

Beachten Sie, dass unsere Produkte über metrische Anschlussbolzen verfügen. Die gebräuchlichsten Gewinde sind M4, M5, M6, M8 und M10. Die empfohlenen Drehmomentwerte in unserer Dokumentation sind in N.m (Newton.meter) angegeben.



Isolierter Drehmomentschraubendreher.



Isolierter Drehmomentschlüssel.

Wie man einen Drehmomentschlüssel richtig benutzt

Gehen Sie bei der Verwendung eines Drehmomentschlüssels folgendermaßen vor:

1. Wählen Sie das richtige Drehmoment gemäß dem Handbuch. Der Drehmomentschlüssel sollte eine Skala oder ein Einstellrad haben, das auf den gewünschten Drehmomentwert eingestellt werden kann.
2. Platzieren Sie den Drehmomentschlüssel auf dem Befestigungselement (Bolzen, Mutter oder Schraube).
3. Verwenden Sie den Drehmomentschlüssel, um Kraft auf die Schraube auszuüben, und drehen Sie die Schraube, bis Sie das gewünschte Drehmoment erreicht haben.
4. Der Drehmomentschlüssel klickt in der Regel oder zeigt in irgendeiner Form an, wenn der gewünschte Drehmomentwert erreicht ist. Überprüfen Sie ggf. den Wert des Drehmoments mit einem Drehmomentprüfgerät doppelt.



Denken Sie daran, dass es wichtig ist, die Anweisungen und Richtlinien des Herstellers zu befolgen, wenn Sie einen Drehmomentschlüssel verwenden, um Genauigkeit zu gewährleisten und Schäden am Werkzeug oder an den Geräten zu vermeiden, an denen Sie arbeiten.

Das maximale Drehmoment für Messingschrauben hängt von Faktoren wie der Art des Messings, der Größe und Länge der Schraube und dem Verwendungszweck ab. Generell ist das maximale Drehmoment für Messingbolzen niedriger als für Stahlbolzen derselben Größe.

Normalerweise steht im Produkthandbuch das korrekte maximale Drehmoment für die elektrischen Anschlüsse. Sollte diese Information jedoch fehlen, verwenden Sie die untenstehende Tabelle für Messingbolzen, -muttern oder -schrauben.

Maximale Drehmomente für Befestigungselemente aus Messing (H62):

Gewinde	Maximales Drehmoment in Nm	Äquivalent in lbf.ft	Äquivalent in lbf.in
M2.5	0.6	0.4	5
M3	1	0.7	49
M4	2.9	2.1	26
M5	5	3.7	44
M6	6	4.4	53
M8	12	8.9	106
M10	24	17	212
M12	40	30	354



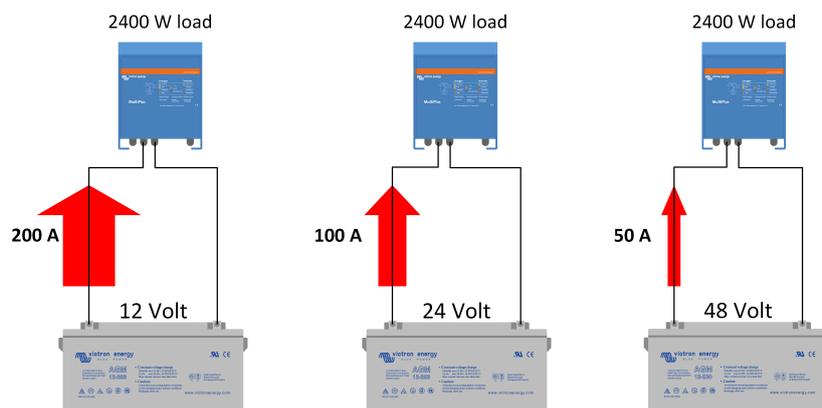
Beachten Sie, dass es sich hierbei um grobe Schätzungen handelt, die von der jeweiligen Anwendung abhängen. Daher sollten Sie unbedingt das Produkthandbuch oder die technischen Richtlinien zu Rate ziehen, um den geeigneten Drehmomentwert zu ermitteln. Ein zu starkes Anziehen einer Schraube kann zu einer Beschädigung oder einem Versagen der Schraube oder der zu befestigenden Komponenten führen.

2.7. Strom, Kabelwiderstand und Spannungsabfall

Eine niedrige Spannung führt zu einem hohen Strom:

Wie bereits erläutert, ist der Strom, der durch eine elektrische Schaltung für eine feste Last fließt, für eine Vielzahl von Schaltspannungen unterschiedlich. Je höher die Spannung, desto geringer wird der Strom sein.

Nachfolgend finden Sie eine Übersicht über die Strommenge, die in drei verschiedenen Stromkreisen fließt, bei denen die Last gleich ist, die Batteriespannung aber in jedem Stromkreis unterschiedlich:



Durch den Widerstand des Kabels entsteht ein Spannungsabfall über das Kabel:

Auch, wie bereits erläutert, hat ein Kabel einen gewissen Widerstand. Das Kabel ist Teil der elektrischen Schaltung und kann wie ein Widerstand behandelt werden.

Wenn Strom durch einen Widerstand fließt, erwärmt sich der Widerstand. Dasselbe geschieht in einem Kabel. Wenn Strom durch ein Kabel fließt, erwärmt sich das Kabel und es geht Energie in Form von Wärme verloren. Diese Verluste werden als Kabelverluste bezeichnet. Der Leistungsverlust kann mit der folgenden Formel berechnet werden:

$$\text{Power} = \text{Resistance} \times \text{Current}^2$$

$$P = R \times I^2$$

Ein weiterer Effekt des Kabelverlustes ist, dass über die Länge des Kabels ein Spannungsabfall entsteht. Der Spannungsabfall kann mit der folgenden Formel berechnet werden:

$$\text{Voltage} = \text{Resistance} \times \text{Current}$$

$$V = R \times I$$

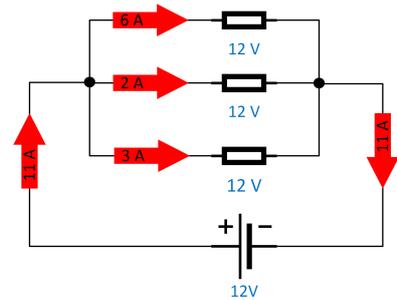
Das 1. und 2. Kirchhoffsche Gesetz:

Um die Auswirkung eines Kabelspannungsabfalls berechnen zu können, müssen Sie zwei weitere elektrische Gesetze kennen, nämlich das erste und zweite Kirchhoffsche Gesetz:

Kirchhoffs Stromgesetz (1. Gesetz):

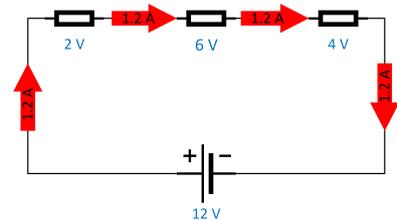
Der in eine Verbindung fließende Strom muss gleich dem aus ihr fließenden Strom sein.

Ein Beispiel dafür ist eine Parallelschaltung. Die Spannung über jedem Widerstand ist gleich, während die Summe der durch jeden Widerstand fließenden Ströme gleich dem Gesamtstrom ist.

**Kirchhoffs Spannungsgesetz (2. Gesetz):**

Die Summe aller Spannungen um einen geschlossenen Kreislauf in einem Stromkreis muss gleich Null sein.

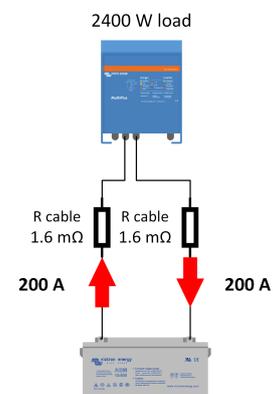
Hier ist das genaue Gegenteil der Fall. In einer Reihenschaltung ist der Strom durch jeden Widerstand gleich, während die Summe der Spannungen über jedem Widerstand gleich der Gesamtspannung ist.

**Beispiel für die Berechnung des Spannungsabfalls:**

Nehmen wir nun ein reales Beispiel für einen Wechselrichter, der an eine 12-V-Batterie angeschlossen ist, und berechnen wir die Kabelverluste. Im Schaltplan rechts finden Sie einen 2400 W-Wechselrichter, der über zwei 1,5 Meter lange, 16 mm² breite Kabel mit einer 12 V-Batterie verbunden ist.

Wie wir bereits berechnet haben, hat jedes Kabel einen Widerstand von 1,6 mΩ. Mit diesem Wissen können wir nun den Spannungsabfall über ein Kabel berechnen:

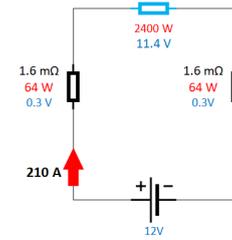
- Eine 2400 W Last bei 12 V erzeugt einen Strom von 200 A.
- Der Spannungsabfall über ein Kabel ist: $V = I \times R = 200 \times 0,0016 = 0,32 \text{ V}$.
- Da zwei Kabel vorhanden sind, das Plus- und das Minuskabel, beträgt der gesamte Spannungsverlust in diesem System 0,64 V.
- Durch den Spannungsabfall von 0,64 V erhält der Wechselrichter keine 12 V mehr, sondern $12 - 0,64 = 11,36 \text{ V}$.



Die Leistung des Wechselrichters ist eine Konstante in dieser Schaltung. Wenn also die Spannung zum Wechselrichter sinkt, steigt der Strom. Merken Sie sich $I = P/V$.

Die Batterie liefert nun mehr Strom, um die Verluste auszugleichen. Das bedeutet, dass der Strom in dem früheren Beispiel auf 210 A ansteigen wird.

Das macht das System ineffizient, weil wir jetzt 5 % (0,64/12) der Gesamtenergie verloren haben. Diese verlorene Energie wurde in Wärme umgewandelt.



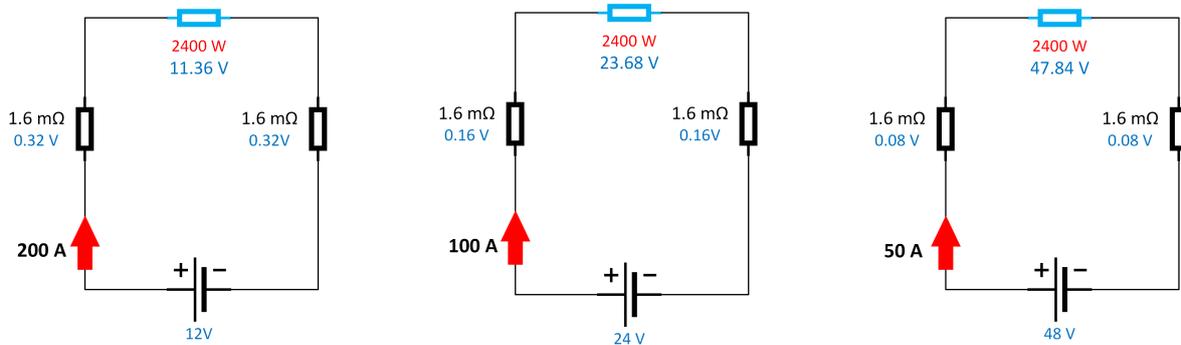
Wie man den Spannungsabfall verringert:

Es ist wichtig, den Spannungsabfall so gering wie möglich zu halten. Der naheliegende Weg dazu ist, die Dicke des Kabels zu erhöhen oder die Kabellänge so kurz wie möglich zu halten. Aber es gibt noch etwas anderes, was man tun kann. Nämlich die Spannung des Stromkreises zu erhöhen. Der Spannungsabfall des Kabels variiert je nach Batteriespannung (System). Im Allgemeinen gilt: Je höher die Spannung der Schaltung, desto geringer wird der Spannungsabfall sein.

Beispiel:

Wenn wir dieselbe Last von 2400 W betrachten, beträgt die Systemspannung jetzt 24 oder 48 V:

- Die Last von 2400 W bei 24 V erzeugt einen Strom von $2400/24 = 100$ A.
- Der gesamte Spannungsabfall wird $2 \times 100 \times 0,0016 = 0,32$ V (= 1,3%) betragen.
- Und bei 48 V beträgt der Strom 50 A. Der Spannungsabfall beträgt 0,16 V (= 0,3 %).



Wie hoch darf der Spannungsabfall sein?

Dies führt zur nächsten Frage: Wie viel Spannungsabfall ist erlaubt? Es gibt unterschiedliche Meinungen, aber wir empfehlen, einen Spannungsabfall von nicht mehr als 2,5 % anzustreben. In der folgenden Tabelle ist dies für die verschiedenen Spannungen angegeben:

Systemspannung	Prozentsatz	Spannungsabfall
12 V	2,5 %	0,3 V
24 V	2,5 %	0,6 V
48 V	2,5 %	1,2 V

Nicht nur der Widerstand des Kabels, sondern auch andere Faktoren verursachen Widerstand:

Es ist wichtig zu wissen, dass Widerstand nicht nur im Kabel selbst entsteht. Zusätzlicher Widerstand wird durch alle Elemente im Pfad erzeugt, durch den der Strom fließen muss.

Eine Liste der möglichen Elemente, die den Gesamtwiderstand erhöhen können:

- Kabellänge und -dicke.
- Sicherungen.
- Nebenwiderstände.
- Schalter oder Stromkreisunterbrecher.
- Die Qualität und Eignung der Kabelklemmen und wie gut sie an das Kabel gecrimpt wurden.
- Die Qualität und Festigkeit aller elektrischen Verbindungen.

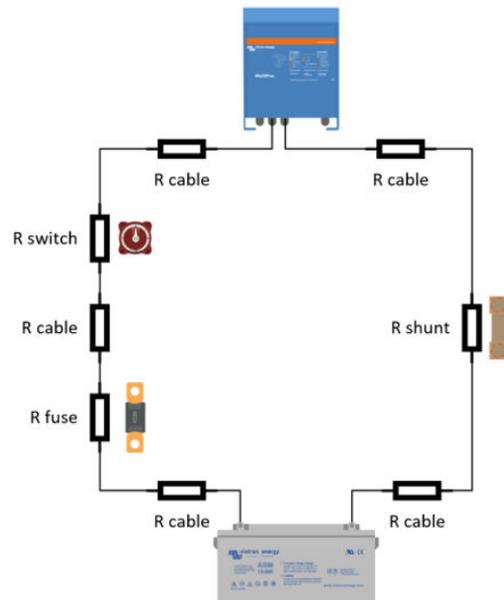
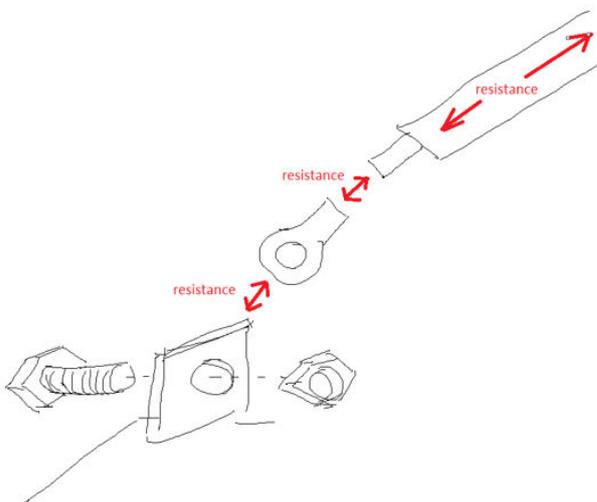
Und besonders aufpassen auf:

- Lose Verbindungen.
- Verschmutzte oder korrodierte Kontakte.
- Schlechte Kabelschuh-Crimps.

Jedes Mal, wenn ein Anschluss hergestellt wird, oder wenn etwas in den Weg zwischen Batterie und Wechselrichter gestellt wird, wird dem Stromkreis ein gewisser Widerstand hinzugefügt.

Eine Liste der möglichen Elemente, die den Gesamtwiderstand erhöhen können:

- Jede Kabelverbindung: 0,06 mΩ.
- Ein 500 A-Shunt: 0,10 mΩ.
- Eine 150 A-Sicherung: 0,35 mΩ.
- Ein 2 Meter langes und 35 mm² dickes Kabel: 1,08 mΩ.



2.8. Die negativen Auswirkungen des Spannungsabfalls im Kabel

Wir wissen jetzt, was wir tun müssen, um den Widerstand in einer Schaltung niedrig zu halten und so einen Spannungsabfall zu verhindern. Aber was sind die negativen Auswirkungen bei einem hohen Spannungsabfall in einem System?

Hier sind einige der negativen Auswirkungen eines hohen Spannungsabfalls:

- Energie geht verloren, und das System ist weniger effizient. Die Batterien werden schneller entladen.
- Der Systemstrom steigt. Dies kann dazu führen, dass DC-Sicherungen durchbrennen.
- Hohe Systemströme können zu vorzeitigen Wechselrichterüberlastungen führen.
- Ein Spannungsabfall während des Ladevorgangs führt zu einer Unterladung der Batterien.
- Der Wechselrichter erhält eine niedrigere Batteriespannung. Dies kann möglicherweise Niederspannungsalarme auslösen.
- Die Batteriekabel erwärmen sich. Dies kann dazu führen, dass die Isolierung der Verkabelung schmilzt oder dass die Kabelkanäle oder die angeschlossenen Geräte beschädigt werden. In extremen Fällen kann die Erwärmung von Kabeln einen Brand verursachen.
- Alle an das System angeschlossenen Geräte haben eine verkürzte Lebensdauer.

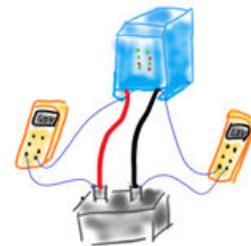
So werden Spannungsverluste vermieden:

- Halten Sie die Kabel so kurz wie möglich.
- Verwenden Sie Kabel mit ausreichender Kabeldicke.
- Stellen Sie feste Anschlüsse her, aber nicht zu fest. Beachten Sie die Drehmomentempfehlungen im Handbuch.
- Überprüfen Sie, ob alle Kontakte sauber und nicht korrodiert sind.
- Verwenden Sie hochwertige Kabelschuhe und crimpen Sie diese mit dem entsprechenden Werkzeug.
- Verwenden Sie hochwertige Batterietrennschalter.
- Reduzieren Sie die Anzahl der Verbindungen innerhalb einer Kabelführung.
- Verwenden Sie Gleichstromverteilerpunkte oder Sammelschienen.
- Befolgen Sie die Vorschriften für die Verkabelung.

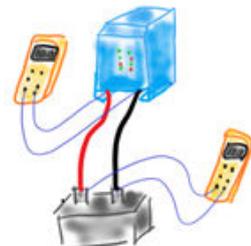
Es empfiehlt sich, den Spannungsabfall des Systems zu messen, sobald Sie eine Elektroinstallation mit Batterien abgeschlossen haben. Denken Sie daran, dass ein Spannungsabfall typischerweise bei einem Hochstromereignis auftritt. Der Spannungsabfall wird größer, wenn der Strom steigt. Dies ist der Fall, wenn ein Wechselrichter mit maximaler Last belastet wird oder wenn ein Batterieladegerät mit vollem Strom lädt.

Wie man den Spannungsabfall misst, z. B. in einem System mit einem Wechselrichter:

- Laden Sie den Wechselrichter mit maximaler Leistung.
- Messen Sie die Spannung über das Minuskabel zwischen Wechselrichteranschluss und Batteriepol.
- Wiederholen Sie dies für das Pluskabel.

**Wie man den Spannungsabfall misst, wenn die Batterie zu weit entfernt oder in einem anderen Raum oder Gehäuse untergebracht ist:**

- Laden Sie den Wechselrichter mit maximaler Leistung.
- Messen Sie die Spannung an den Gleichstromanschlüssen im Inneren des Wechselrichters.
- Messen Sie die Spannung an den Batteriepolen.
- Vergleichen Sie diese Werte. Der Unterschied zwischen den beiden Messwerten ist der Spannungsabfall.

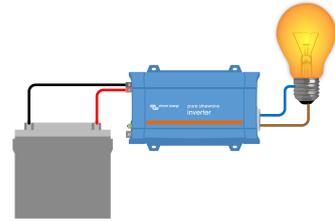


2.9. Restwelligkeitsspannung

Eine der negativen Auswirkungen eines hohen Spannungsabfalls in einem System ist die Restwelligkeit.

In Systemen mit einem Wechselrichter tritt eine Restwelligkeit auf:

Die Restwelligkeit tritt in einem System auf, in dem die Stromquelle eine Batterie (DC) und die Last ein Wechselstromgerät ist. Dies ist immer der Fall bei einem System mit einem Wechselrichter. Der Wechselrichter wird an Batterien angeschlossen, aber er versorgt eine AC-Last.

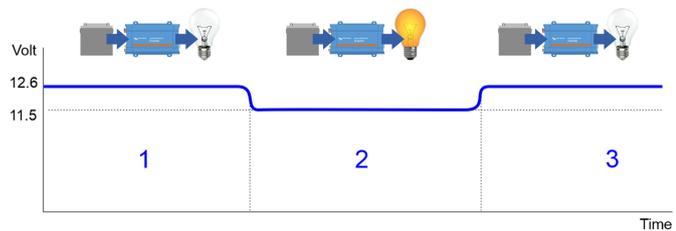


Der Spannungsabfall ist der Mechanismus hinter der Restwelligkeit:

Der Mechanismus, der die Restwelligkeit verursacht, steht in direktem Zusammenhang mit dem Spannungsabfall über den DC-Kabeln, wenn ein System unter Last steht und die Batterieströme hoch sind. Ein hoher Strom verursacht einen hohen Spannungsabfall, der besonders bei Verwendung dünner Kabel übertrieben wird.

Der Spannungsabfall in einem Gesamtsystem kann noch größer sein, insbesondere wenn Bleibatterien verwendet werden, die zu klein, zu alt oder beschädigt sind. Der Spannungsabfall tritt nicht nur über die Kabel, sondern auch innerhalb der Batterie selbst auf. Die Restwelligkeit hängt mit dem Phänomen zusammen, dass, wenn ein Wechselrichter eine große Last versorgt, die Gleichspannung des Systems sinkt. Aber die Systemspannung stellt sich wieder her, sobald die Last ausgeschaltet wird. Dieser Vorgang ist in der folgenden Abbildung dargestellt.

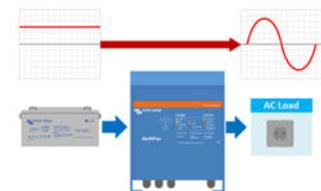
1. Die am Wechselrichter gemessene Spannung ist normal. In diesem Beispiel beträgt sie 12,6 V.
2. Beim Einschalten einer großen Last sinkt die Batteriespannung auf 11,5 V.
3. Wenn die Last ausgeschaltet wird, stellt sich die Batteriespannung in der Regel wieder auf 12,6 V ein.



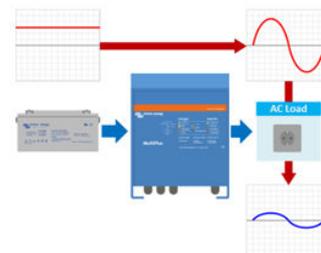
Wie entsteht Restwelligkeit?

Die folgenden Schritte zeigen, in welcher Reihenfolge die Restwelligkeit erzeugt wird:

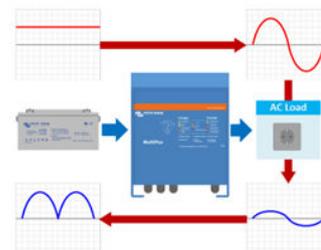
1. Der Wechselrichter wandelt eine Gleichspannung in eine Wechselspannung um.



2. Die an den Wechselrichter angeschlossene Last erzeugt einen Wechselstrom im Wechselrichter.



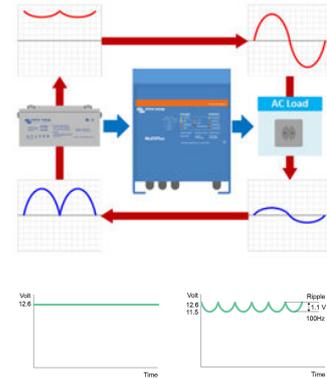
3. Dieser Wechselstrom verursacht (über den Wechselrichter) einen schwankenden Gleichstrom auf der Batterie.



4. Das Ergebnis dieses schwankenden Gleichstroms ist folgendes:

- Wenn der Gleichstrom seinen Höhepunkt erreicht, sinkt die Batteriespannung.
- Wenn der Gleichstrom abfällt, erholt sich die Batteriespannung.
- Wenn der Gleichstrom seinen Höhepunkt erreicht, sinkt die Batteriespannung wieder ab.
- Und so weiter und so fort.

Die Gleichspannung geht weiter auf und ab und ist nicht mehr konstant. Sie schwankt jetzt. Sie wird 100 Mal pro Sekunde (100 Hz) auf und ab gehen. Der Wert, um den die Gleichspannungsschwankung gemessen wird, wird als Restwelligkeitsspannung bezeichnet.

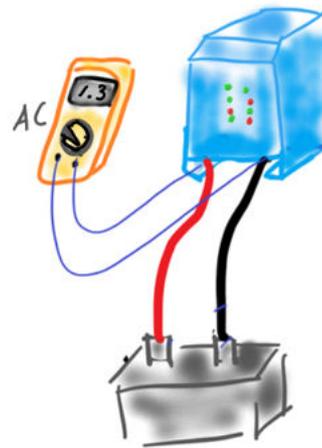
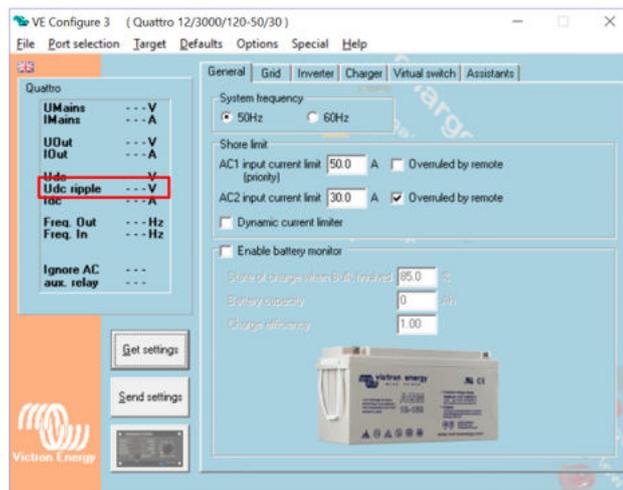


Wie man die Restwelligkeit misst:

Bei der Messung der Restwelligkeit ist zu beachten, dass dies nur bei Volllast des Systems geschieht. Die Restwelligkeit kann nur erkannt werden, wenn der Wechselrichter eine Volllast versorgt oder wenn ein Ladegerät mit einem hohen Strom aufgeladen wird. Dasselbe gilt für die Messung des Spannungsabfalls.

Die Restwelligkeit kann auf zwei Arten gemessen werden:

- Verwenden Sie ein Multimeter. Wählen Sie den Wechselstrommodus am Multimeter. Messen Sie über die Gleichstromanschlüsse des Wechselrichters. Sie messen nun den Wechselstromanteil der Gleichspannung. Diese Wechselspannung ist die Restwelligkeitsspannung.
- Verwenden Sie VEConfigure, es verfolgt die Restwelligkeit.



Die negativen Auswirkungen der Restwelligkeit:

Eine geringe Restwelligkeit kann ohne messbare Auswirkungen auftreten. Eine übermäßige Restwelligkeit kann sich jedoch negativ auswirken.

Die negativen Auswirkungen einer übermäßigen Restwelligkeit:

- Die Lebensdauer des Wechselrichters wird reduziert. Die Kondensatoren im Wechselrichter werden versuchen, die Restwelligkeit so weit wie möglich zu reduzieren, wodurch die Kondensatoren schneller altern.
- Die Lebensdauer der anderen Gleichstromgeräte im System wird ebenfalls reduziert. Die Restwelligkeit betrifft sie genauso wie die Wechselrichter.
- Die Batterien werden frühzeitig entladen. Jede Restwelligkeit wirkt wie ein Minizyklus für die Batterie und die Lebensdauer der Batterie verkürzt sich durch die steigende Anzahl der Batteriezyklen.
- Die Restwelligkeit während des Ladevorgangs reduziert die Ladeleistung. Es wird länger dauern, bis die Batterien geladen sind.

Restwelligkeitsalarm:

Wechselrichter oder Wechselrichter/Ladegeräte haben einen integrierten Restwelligkeitsalarm. Es gibt zwei Restwelligkeitsalarmstufen:

- **Restwelligkeitsvoralarm:** Sowohl die Überlast als auch die LEDs für niedrigen Batteriestand blinken und die Einheit erlischt nach 20 Minuten.
- **Vollständiger Restwelligkeitsalarm:** Sowohl die LEDs für Überlast als auch für niedrigen Batteriestand leuchten und die Einheit schaltet sich ab.

Hier finden Sie die Alarmstufen für die Restwelligkeit der Wechselrichter/Ladegeräte-Modelle bei den verschiedenen Gleichstromspannungen und dem MultiPlus Compact unabhängig von der Spannung:

Systemspannung	Restwelligkeitsvoralarm (20 Minuten) *	Restwelligkeitsvollalarm (3 Sekunden) *	Regulierung des Ladevorgangs
12 V	1,50 V	2.50	1.4
24 V	2,25 V	3.75	2.1
48 V	3,00 V	5.00	2.8
Nur MultiPlus Compact (unabhängig von der Gleichspannung)	1,50 V	2,5 V	0,8 V

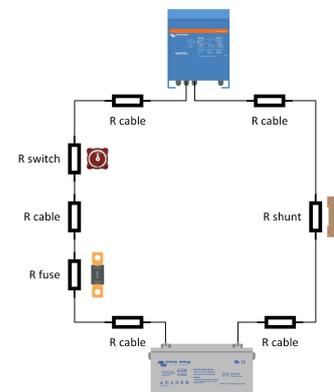
*) Alle Spannungen sind RMS-Spannungen.

Wie man Restwelligkeit behebt:

Die Restwelligkeit tritt nur bei einem Spannungsabfall in einem System auf. Um Probleme mit der Restwelligkeit zu beheben, muss der Spannungsabfall reduziert werden. Das bedeutet, dass Sie den Widerstand in der Leitung von der Batterie zum Wechselrichter und zurück zur Batterie verringern müssen. Für weitere Informationen siehe Kapitel [Strom, Kabelwiderstand und Spannungsabfall](#) [8].

Um eine hohe Restwelligkeit in einem System zu beheben, gehen Sie wie folgt vor:

- Verkürzen Sie lange Batteriekabel
- Verwenden Sie dickere Kabel.
- Überprüfen Sie die Sicherungen, Shunts und Batterietrennschalter auf ihre Anschlussfähigkeit.
- Überprüfen Sie die Spezifikationen der Sicherungen, Shunts und Batterietrennschalter.
- Überprüfen Sie, ob lose Klemmen und Kabelverbindungen vorhanden sind.
- Überprüfen Sie die Verbindungen auf Verschmutzung oder Korrosion.
- Überprüfen Sie, ob die Batterien schlecht, alt oder zu klein sind.
- Verwenden Sie immer qualitativ hochwertige Systemkomponenten.



3. Verkabelung der Batteriebank

Im Herzen eines jeden Victron-Systems befindet sich die Batterie. Dies ist entweder eine einzelne Batterie oder eine Reihe von miteinander verbundenen Batterien.



ACHTUNG: Die Batterieklemmen sind nicht isoliert. Zur Vermeidung von Kurzschlüssen oder Stromschlägen sollten Sie isolierte Werkzeuge verwenden und keinen metallischen Schmuck tragen.

3.1. Die Batteriebank

Die Batterien sind miteinander verbunden, um die Batteriespannung zu erhöhen oder die Batteriekapazität zu erhöhen oder beides. Mehrere miteinander verbundene Batterien werden als Batteriebank bezeichnet.

Das Folgende gilt für Batteriebanken:

- Wenn Batterien in Reihe geschaltet sind, erhöht sich die Spannung.
- Wenn Batterien parallel geschaltet sind, steigt die Kapazität.
- Wenn Batterien in Reihe/parallel geschaltet sind, erhöhen sich sowohl Spannung als auch Kapazität.

Einige Beispiele:



Einzelne Batterie.



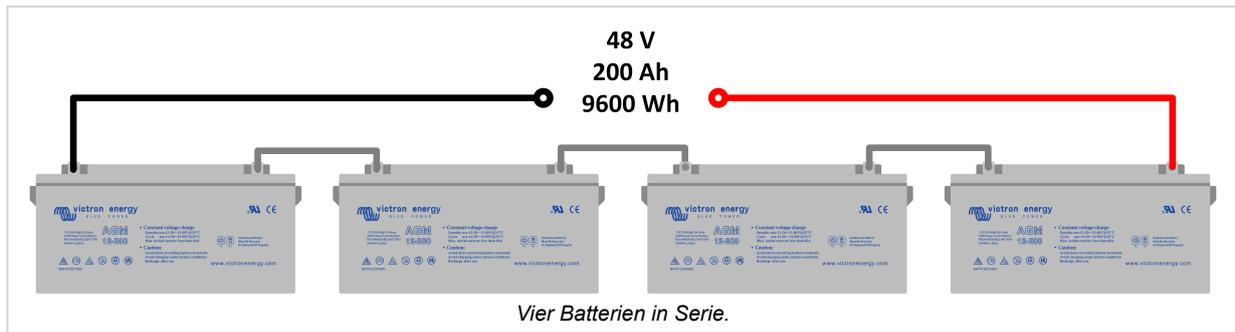
Zwei Batterien in Reihe.



Zwei Batterien parallel.



Vier Batterien in Reihe / parallel.



3.2. Große Batteriebanken

Wenn eine große Batteriebank benötigt wird, empfehlen wir nicht, die Batteriebank aus zahlreichen serien/parallelen 12 V-Bleibatterien der Reihe zu bauen. Das Maximum liegt bei etwa 3 (oder 4) parallelen Strängen. Der Grund dafür ist, dass es mit einer solchen großen Batteriebank schwierig wird, eine symmetrische Batteriebank zu erstellen. In einer großen Batteriebank, die in Reihe oder parallel geschaltet ist, wird aufgrund von Abweichungen in der Verkabelung und leichten Unterschieden im inneren Widerstand der Batterien eine Unausgeglichenheit erzeugt.

Beispiele für große Batteriebänke mit 2 V-Blei-Säure-Batterien oder Lithium-Batterien:

2 V-Blei-Säure-Batterien:

2 V-OPzV- oder OPzS-Batterien sind in einer Vielzahl von hohen Kapazitäten erhältlich. Sie müssen nur die gewünschte Kapazität auswählen und in Reihe schalten. Sie werden mit speziellen Verbindungselementen geliefert, die genau für diesen Zweck vorgesehen sind.



2 V-OPzV-Blei-Säure-Batterien und Anschlüsse.



Victron Energy Lithium Battery Smart:

Die Batterien der Serie Lithium Battery Smart verfügen über einen internen Zellausgleich und ein externes Batteriemanagementsystem (BMS).



Lithium Battery Smart 12,8 V & 25,6 V



Lithium Battery Smart-Batterien:

Mit Zellausgleich und internem oder externem Batteriemanagementsystem (BMS). Jede Batterie hat die Fähigkeit, miteinander zu kommunizieren, aber sie kann auch mit einem Überwachungsgerät kommunizieren. Im Falle von Victron handelt es sich um ein GX-Gerät. Die Batterien erzeugen einen Gesamtladezustandswert für die gesamte Batteriebank und senden diesen an das GX-Gerät. Weitere Informationen darüber, welche Marken mit Victron zusammenarbeiten können und wie man sie einrichtet, finden Sie unter diesem Link: https://www.victronenergy.com/live/battery_compatibility:start.

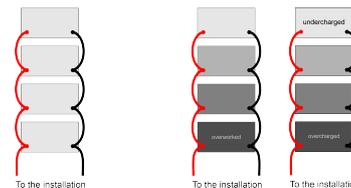


Andere Batteriechemikalien:

Durchflussbatterien und andere Chemikalien. Diese sind in der Regel in 48 V erhältlich. Mehrere Batterien können problemlos parallel geschaltet werden. Jede Batterie verfügt über ein eigenes Batteriemanagementsystem. Zusammen erzeugen sie einen Gesamtladezustandswert für die gesamte Batteriebank. Ein GX-Überwachungsgerät wird im System benötigt. Weitere Informationen darüber, welche Marken mit Victron zusammenarbeiten können und wie man sie einrichtet, finden Sie unter diesem Link: https://www.victronenergy.com/live/battery_compatibility:start.

**3.3. Parallele Batteriebankverkabelung****Die Verkabelung der Batteriebank ist wichtig**

Es spielt eine Rolle, wie eine Batteriebank mit dem System verbunden ist. Bei der Verkabelung einer Batteriebank ist es leicht, einen Fehler zu machen. Einer der häufigsten Fehler ist es, alle Batterien parallel zu schalten und dann eine Seite der parallelen Batteriebank mit der Elektroinstallation zu verbinden. Wie in der Abbildung rechts dargestellt.

**Was passiert, wenn eine Last angeschlossen ist?**

Der Strom von der unteren Batterie fließt nur über die Hauptanschlussleitungen. Im Gegensatz dazu muss der Strom von den nachfolgenden Batterien den Hauptanschluss und die zusätzlichen Verbindungsleitungen durchqueren, um die nächste Batterie zu erreichen. Mit zunehmender Anzahl der Batterien steigt auch die Anzahl der Verbindungsleitungen. Dies führt zu einer Verringerung des verfügbaren Stroms der oberen Batterie im Vergleich zur unteren Batterie.

Was passiert, wenn die Batteriebank aufgeladen wird?

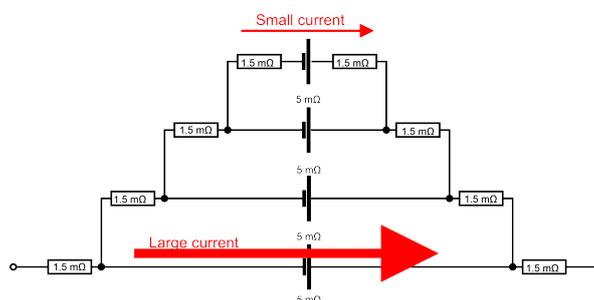
Die untere Batterie wird mit einem höheren Strom geladen als die obere Batterie. Die obere Batterie wird mit einer niedrigeren Spannung geladen als die untere Batterie. Das Ergebnis ist, dass die untere Batterie härter gearbeitet, härter entladen und stärker aufgeladen wird. Die untere Batterie wird vorzeitig ausfallen.

Warum ist der Kabelwiderstand bei der Verkabelung von Batteriebanken wichtig?

Denken Sie daran, dass ein Kabel ein Widerstand ist. Je länger das Kabel, desto höher der Widerstand. Außerdem tragen die Kabelschuhe und die Batterieanschlüsse zu diesem Widerstand bei.

Um dies zu verdeutlichen, beträgt der Gesamtwiderstand für ein 20 cm langes, 35 m² dickes Kabel zusammen mit den angebrachten Kabelschuhen etwa 1,5 mΩ. Man könnte sagen, dass 1,5 mΩ nicht viel ist, aber denken Sie daran, dass auch der Innenwiderstand einer Batterie niedrig ist. Deshalb spielt es eine große Rolle! Der Innenwiderstand einer Batterie liegt typischerweise zwischen 10 und 3 mΩ.

Wenn Sie einen Schaltplan einer falsch verkabelten Batteriebank erstellen, sieht dieser wie folgt aus:

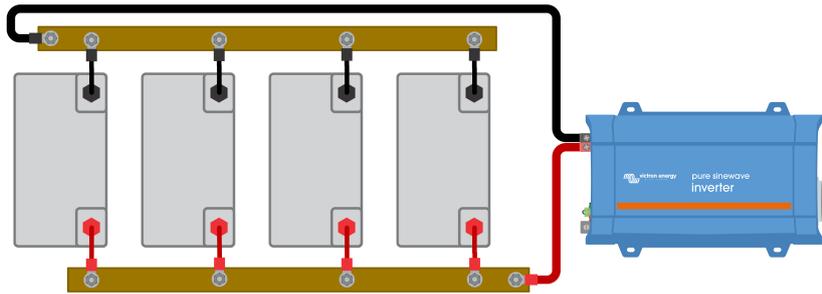


Der Strom wählt immer den Weg des geringsten Widerstands. Der größte Teil des Stroms fließt daher durch die untere Batterie. Und nur ein kleiner Teil des Stroms fließt durch die obere Batterie.

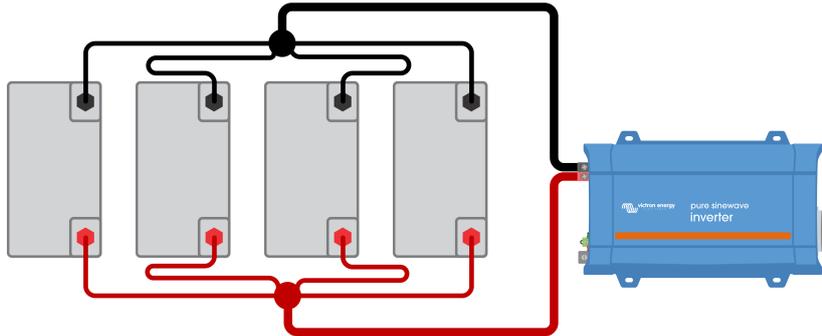
Die richtige Art, mehrere Batterien parallel zu schalten, besteht darin, sicherzustellen, dass der Gesamtweg des Stroms in und aus jeder Batterie gleich ist.

Es gibt vier Möglichkeiten, eine parallel geschaltete Batteriebank richtig zu verkabeln:

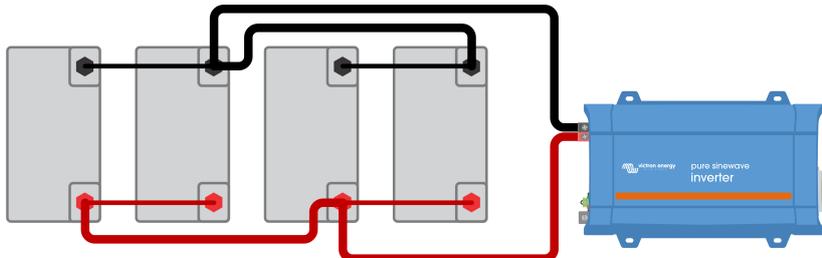
- Verwenden Sie Sammelschienen.



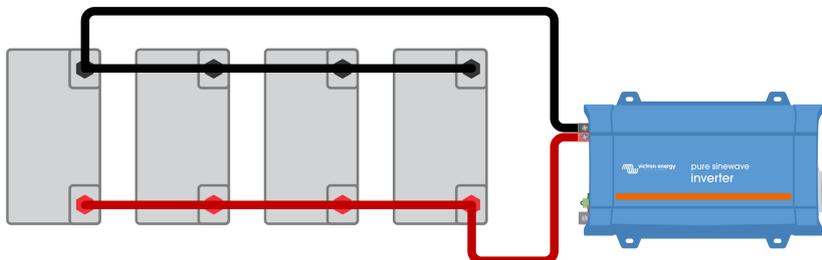
- Verbinden Sie sie mit dem Plus- und Minuspol. Achten Sie auf die gleiche Kabellänge von jedem Pol zu jeder Batterie.



- Auf halbem Weg verbinden. Achten Sie darauf, dass alle Kabel die gleiche Dicke haben.



- Diagonal anschließen. Beachten Sie, dass der Anschluss der Batterie auf diese Weise zwar einfach und effektiv, aber nicht perfekt ist. Die Ströme der einzelnen Batterien können immer noch leicht unterschiedlich sein.

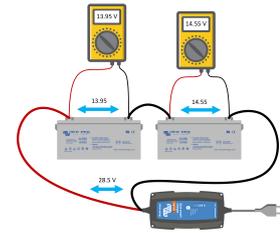


3.4. Bankabgleich von Blei-Säure-Batterien

Wenn Sie eine Batteriebank mit Blei-Säure-Batterien mit einer höheren Spannung, wie 24 oder 48 V, erstellen, müssen Sie mehrere 12 V-Batterien in Reihe schalten. Es gibt jedoch ein Problem bei der Reihenschaltung von Batterien, und zwar, dass die Batterien nicht elektrisch identisch sind. Sie weisen leichte Unterschiede im Innenwiderstand auf. Wenn also eine Reihe von Batterien geladen wird, führt diese Widerstandsdifferenz zu einer Variation der Klemmenspannungen an jeder Batterie. Ihre Spannungen werden „unausgeglichen“. Diese „Unwucht“ wird mit der Zeit zunehmen und dazu führen, dass eine der Batterien ständig überladen ist, während die andere Batterie ständig unterladen ist. Dies führt zu einem vorzeitigen Ausfall einer der Batterien im Serien-String.

Wie man überprüft, ob eine Batteriebank ausgeglichen ist:

- Laden Sie die Batteriebank auf.
- Messen Sie gegen das Ende der Bulk-Ladestufe. Zu diesem Zeitpunkt lädt das Ladegerät mit Vollstrom.
- Messen Sie die individuelle Batteriespannung einer der Batterien.
- Messen Sie die individuelle Batteriespannung der anderen Batterie.
- Vergleichen Sie die Spannungen.
- Wenn es einen deutlichen Unterschied zwischen diesen Spannungen gibt, ist die Batteriebank unausgeglichen.



Wie man eine Unwucht der Batterie bei der Erstinstallation verhindert:

Um eine Unwucht der Startbatterie zu vermeiden, stellen Sie sicher, dass Sie jede einzelne Batterie vollständig aufladen, bevor Sie sie in Reihe (bzw. parallel) schalten. Um eine Unwucht in der Zukunft zu vermeiden, verwenden Sie einen Batterieausgleicher, da die Batterien älter werden. Der Batterieausgleicher ist mit einem System verbunden, wie in der Abbildung rechts dargestellt. Es misst die Batteriebankspannung und auch die einzelnen Batteriespannungen.

Wie der Battery Balancer funktioniert:

- Der Battery Balancer wird aktiviert, sobald die Batteriebank geladen wird und die Ladespannung mehr als 27,3 V erreicht hat.
- In diesem Moment beginnt der Battery Balancer, die Spannungen beider Batterien zu messen und zu vergleichen.
- Sobald er eine Spannungsdifferenz von mehr als 0,1 V zwischen den beiden Batterien erkennt, leuchtet eine Warnleuchte auf und beginnt, die beiden Batterien auszugleichen.
- Dies geschieht durch Entladen der höheren Batterie, indem ein Strom von bis zu 0,7 A aus dieser Batterie entnommen wird, bis beide Batteriespannungen gleich sind.



Wenn der Batterieausgleich nicht die gewünschte Wirkung hat und die Spannungsdifferenz größer als 0,2 V wird, ist die Batterieunsymmetrie größer, als die Batteriebilanz korrigieren kann. Dies ist höchstwahrscheinlich ein Hinweis darauf, dass eine der Batterien einen Fehler aufweist und der Batterieausgleicher einen Alarm auslöst und sein Alarmrelais aktiviert.

Für ein 24 V-System wird ein einzelner Battery Balancer benötigt. Und für ein 48 V-System werden drei Battery Balancer benötigt, einer zwischen jeder Batterie.

Für weitere Informationen besuchen Sie die Produktinformationsseite des Battery Balancers unter: <https://www.victronenergy.de/batteries/battery-balancer>

3.5. Mittelpunkt der Batteriebank

Die Batterieunwucht kann durch Betrachtung der mittleren Spannung einer Batteriebank festgestellt werden. Wenn die Mittelspannung überwacht wird, kann ein Alarm ausgelöst werden, wenn sie über einen bestimmten Wert hinaus abweicht.

Sowohl ein Battery Balancer als auch ein Batteriemonitor können einen Mittelwertalarm erzeugen.

Die Batteriemonitore BMV 702, BMV 712 und SmartShunt verfügen alle über einen zweiten Spannungseingang, der für die Mittelpunktüberwachung verwendet werden kann. Es kann auf den Mittelpunkt der Batteriebank verdrahtet werden. Der Batteriemonitor zeigt die Differenz zwischen den beiden Spannungen oder in Prozent an. Weitere Informationen finden Sie auf der Produktseite des Batteriemonitors unter: <https://www.victronenergy.de/battery-monitors>

Ein Mittelpunktalarm kann Folgendes bedeuten:

- Eine einzelne Batterie ist ausgefallen, wie eine offene Zelle oder eine kurzgeschlossene Zelle.
- Eine einzelne oder mehrere Batterien haben das Ende ihrer Lebensdauer erreicht, weil sie sulfatiert sind oder sich aktives Material abgesetzt hat.
- Ein Zellenausgleich ist erforderlich (nur bei nassen Zellen).



In einer seriell/parallelen Batteriebank kann es hilfreich sein, die Mittelpunkte jedes parallelen seriellen Strings zu verbinden. Der Grund dafür ist, dass die Ungleichheit in der Batteriebank beseitigt wird.

Wie man die Mittelpunkte verbindet:

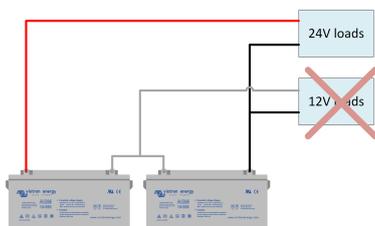
<ul style="list-style-type: none"> • Wenn Sie Batterien in Reihe/Parallel anschließen, wie im Bild rechts, werden Sie feststellen, dass die einzelnen Spannungen pro String der Reihe variieren und auch innerhalb des Strings variieren werden. 	
<ul style="list-style-type: none"> • Stellen Sie zunächst sicher, dass jeder String die gleichen Spannungen aufweist, indem Sie einen gemeinsamen negativen und positiven Anschlusspunkt oder eine Sammelschiene verwenden. 	
<ul style="list-style-type: none"> • Sobald jede Strings Spannung gleich ist, können die Mittelpunkte angeschlossen werden. Stellen Sie sicher, dass die Mittelpunktsverkabelung in der Lage ist, den vollen Strom zwischen den Batterien zu übertragen. 	
<ul style="list-style-type: none"> • Sobald der Mittelpunkt der Batteriebank angeschlossen ist, kann ein Batterieausgleicher anstelle von 3 Batterieausgleichern (einer für jeden String) verwendet werden. Außerdem kann ein einzelnes BMV für die Mittelpunktsüberwachung der gesamten Batteriebank verwendet werden. 	

Schließen Sie keine Lasten an den Mittelpunkt einer Batterie an:

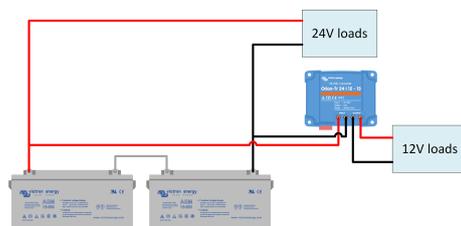
Es wird nicht empfohlen, Lasten an den Mittelpunkt einer Batteriebank anzuschließen, um Lasten zu betreiben, die eine niedrigere Spannung benötigen. Dies führt zu einer großen Unwucht in einer Batteriebank. Diese Unwucht ist viel größer, als ein Batterieausgleicher potenziell beseitigen kann (größer als 0,7 A), und die Batterie, die zur Bereitstellung der niedrigeren Spannung verwendet wird, wird vorzeitig ausfallen.

Der einzige Grund, die Mittelpunkte einer Batteriebank zu verwenden, ist der Ausgleich und/oder die Überwachung.

Tun Sie dies nicht:



Verwenden Sie stattdessen einen Orion DC-DC-Wandler:

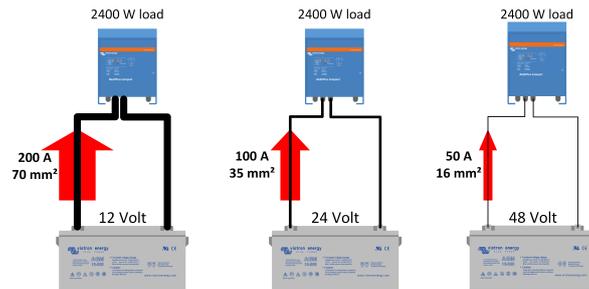


4. Gleichstromverkabelung

Es ist wichtig, die richtige Kabeldicke in einem System zu verwenden. In diesem Kapitel wird der Grund dafür erläutert und Sie erhalten weitere nützliche Informationen darüber, worauf Sie bei der Verkabelung eines Gleichstromsystems achten müssen.

4.1. Kabelauswahl

Das richtige Kabel kann erst ausgewählt werden, wenn Sie die Ströme in einem System kennen. Wie Sie den Strom berechnen können, erfahren Sie im Kapitel [Strom, Kabelwiderstand und Spannungsabfall](#) [8].



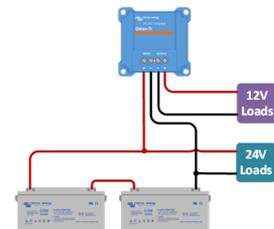
In der folgenden Liste finden Sie ein Beispiel dafür, welche Kabelgröße zu diesen Strömen gehört, vorausgesetzt, der Kabelabstand beträgt weniger als 5 Meter.

Die bevorzugten oberen Grenzwerte für die Wechselrichterleistung pro Systemspannung sind:

- **12 V:** bis zu 3000 VA.
- **24 V:** bis zu 5000 VA.
- **48 V:** 5000 VA und höher.

Um sehr dicke Kabel zu vermeiden, sollten Sie zunächst die Systemspannung erhöhen. Ein System mit einem großen Wechselrichter verursacht große Gleichströme. Wenn die Gleichstrom-Systemspannung erhöht wird, sinkt der Gleichstrom, und die Kabel können dünner sein.

Wenn Sie die Systemspannung erhöhen wollen, es aber Gleichstromlasten oder Gleichstromladequellen gibt, die nur mit 12 V arbeiten können, können Sie den Einsatz von DC-DC-Wandlern in Betracht ziehen, anstatt eine Niederspannung für das gesamte System zu wählen.

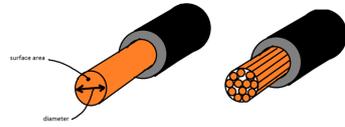


Wie bereits erläutert, ist es sehr wichtig, immer die richtige Kabeldicke zu verwenden. Die richtige Kabeldicke finden Sie im Produkthandbuch. Die Verwendung eines zu dünnen Kabels hat einen direkten negativen Einfluss auf die Systemleistung. Im Allgemeinen wird die Dicke der Kabelseele in mm^2 angegeben. Dies zeigt die Oberfläche der Kabelseele an. Es werden aber auch andere Bezeichnungen verwendet, wie AWG (American Wire Gauge). Am Ende dieses Kapitels finden Sie eine Tabelle zur Umrechnung von AWG in metrische Einheiten.

- Um den Aderdurchmesser eines verseilten Adernkabels zu ermitteln, schauen Sie sich die Kabelisolierung an. Auf dem Kabel befinden sich Markierungen, die die Dicke der Kabelseele angeben.



Beachten Sie, dass einige Kabel eine sehr dicke Isolierung aufweisen können und dicker erscheinen können als sie sind. Ermitteln Sie den tatsächlichen Aderdurchmesser anhand der Kabelkennzeichnung oder deren Spezifikationen oder führen Sie alternativ eine physische Überprüfung durch. Entfernen Sie ein wenig Kabelisolierung und schauen Sie sich die Kupferader des Kabels an und schätzen Sie den Aderdurchmesser. In einem massiven Kabel können Sie die Oberfläche berechnen, wenn Sie den Durchmesser der Kabelseele messen, aber bei einem Litzenkabel ist diese Methode nicht so genau. (Bitte beachten Sie, dass wir die Verwendung von soliden Aderkabeln nicht empfehlen).



$$\text{Surface area} = \pi \times \text{radius}^2$$

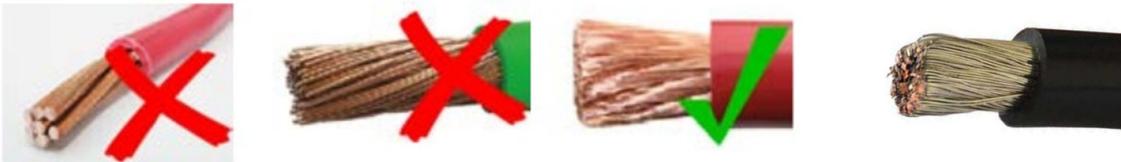
$$\text{Surface area} = \pi \times (\text{diameter}/2)^2$$

$$A = \pi \times (d/2)^2$$

Wenn Sie kein ausreichend dickes Kabel finden, verdoppeln Sie es. Verwenden Sie zwei Kabel pro Verbindung statt eines sehr dicken. Achten Sie in diesem Fall jedoch immer darauf, dass die kombinierte Fläche beider Kabel gleich der empfohlenen Fläche ist. Beispielsweise entsprechen 2 x 35 mm² Kabel einem 70 mm² Kabel. Größere Victron Wechselrichter/Ladegeräte sind speziell für diesen Zweck mit zwei positiven und zwei negativen Batterieanschlüssen ausgestattet.

Vermeiden Sie diese Fehler bei der Auswahl der Kabel:

- Verwenden Sie keine Kabel mit groben Litzen.
- Verwenden Sie keine unflexiblen Kabel.
- Verwenden Sie keine Wechselstromkabel.
- Für Situationen auf See oder in feuchter Umgebung verwenden Sie „Seekabel“. Dies sind Kabel mit verzinnnten Kupferlitzen.



Von links nach rechts: nicht flexibles Kabel, Kabel mit groben Litzen, korrektes Kabel mit feinen Litzen, korrektes Marinekabel mit verzinnnten Litzen.

Die Berechnung der Kabeldicke kann schwierig sein. Es gibt Möglichkeiten, Ihnen bei der Auswahl der richtigen Kabeldicke zu helfen:

- Schauen Sie in das Produkthandbuch.
- Die Victron Toolkit-App.
- Die Faustregel.
- Tabelle mit empfohlenen Batteriekabeln.

Produkthandbücher:

In allen unseren Handbüchern wird die Größe des Gleichstromkabels (und der Sicherung) empfohlen, die für das jeweilige Produkt verwendet werden muss.

Die Victron Toolkit-App:

Die Victron-App hilft Ihnen bei der Berechnung der Kabelgröße und des Spannungsabfalls. Die App ist kostenlos und kann hier heruntergeladen werden: <https://www.victronenergy.de/support-and-downloads/software#victron-toolkit-app>

Sie können die folgenden Parameter eingeben:

- Spannung.
- Kabellänge.
- Strom.
- Kabelquerschnitt.

Sobald Sie die Parameter eingegeben haben, berechnet die App den Spannungsabfall über beide Kabel. Sie sollten einen Spannungsabfall von unter 2,5 % anstreben.

**Tabelle mit empfohlenen Batteriekabeln:**

Die folgende Tabelle zeigt den maximalen Strom für eine Reihe von Standardkabeln, bei denen der Spannungsabfall 0,259 Volt beträgt. Diese Tabelle verwendet die Gesamtlänge des Kabels, d. h. die Länge des Positivkabels plus die Länge des Minuskabels. Beachten Sie, dass die Verluste über die Kontakte nicht berücksichtigt sind.

Kabeldurchmesser (mm)	Kabelquerschnitt (mm ²)	Maximaler Strom (A) bei einer Gesamtkabellänge von bis zu 5 Metern	Maximaler Strom (A) bei einer Gesamtkabellänge von bis zu 10 Metern	Maximaler Strom (A) bei einer Gesamtkabellänge von bis zu 15 Metern	Maximaler Strom (A) bei einer Gesamtkabellänge von bis zu 20 Metern
0.98	0.75	2.3	1.1	0.8	0.6
1.38	1.5	4.5	2.3	1.5	1.1
1.78	2.5	7.5	3.8	2.5	1.9
2.26	4	12	6	4	3
2.76	6	18	9	6	5
3.57	10	30	15	10	8
4.51	16	48	24	16	12
5.64	25	75	38	25	19
6.68	35	105	53	35	26
7.98	50	150	75	50	38
9.44	70	210	105	70	53
11.00	95	285	143	95	71
12.36	120	360	180	120	90

Faustregel:

Für eine schnelle und allgemeine Berechnung von Kabeln bis zu 5 Metern verwenden Sie diese Formel:

$$\text{Current} / 3 = \text{cable size in mm}^2$$

Zum Beispiel: Wenn der Strom 200 A beträgt, dann muss das Kabel die folgende Dicke aufweisen: $200/3 = 66 \text{ mm}^2$

Umrechnungstabelle von AWG in metrisch

Diese Tabelle zeigt die Umrechnungen und Widerstände für Kabel bis AWG 10. Die vollständige Tabelle (bis zu AWG 40) finden Sie unter diesem Link: <https://www.victronenergy.de/upload/documents/AWG%20to%20Metric%20Conversion%20Chart.pdf>

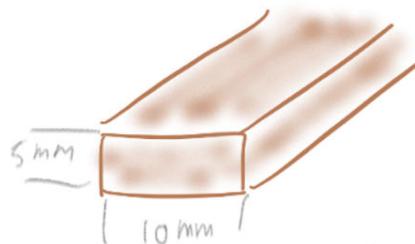
AWG	Durchmesser (Zoll)	Durchmesser (mm)	Oberfläche (mm ²)	Widerstand (Ohm/m)
4/0 = 0000	0.460	11.7	107	0.000161
3/0 = 000	0.410	10.4	85.0	0.000203
2/0 = 00	0.365	9.26	67.4	0.000256
1/0 = 0	0.325	8.25	53.5	0.000323
1	0.289	7.35	42.4	0.000407
2	0.258	6.54	33.6	0.000513
3	0.229	5.83	26.7	0.000647
4	0.204	5.19	21.1	0.000815
5	0.182	4.62	16.8	0.00103
6	0.162	4.11	13.3	0.00130
7	0.144	3.66	10.5	0.00163
8	0.128	3.26	8.36	0.00206
9	0.114	2.91	6.63	0.00260
10	0.102	2.59	5.26	0.00328

4.2. Sammelschienen

Sammelschienen sind wie Kabel, nur sind sie starre Metallschienen. Sie sind aus Kupfer oder verzinnem Kupfer gefertigt. Sie werden in großen Systemen eingesetzt, in denen große Ströme fließen. Sie stellen einen gemeinsamen positiven und einen gemeinsamen negativen Punkt zwischen den Batterien und mehreren Wechselrichtern dar. Sammelschienen werden auch in kleineren Systemen eingesetzt, insbesondere bei einer großen Anzahl von Gleichstromgeräten. Eine Sammelschiene bietet in diesem Fall eine gute Möglichkeit, alle verschiedenen Gleichstromkabel zu verbinden.

Zur Berechnung der Sammelschienenstärke verwenden Sie einfach die empfohlene Kabeloberfläche und tragen diese auf die Sammelschienenquerschnittsfläche auf.

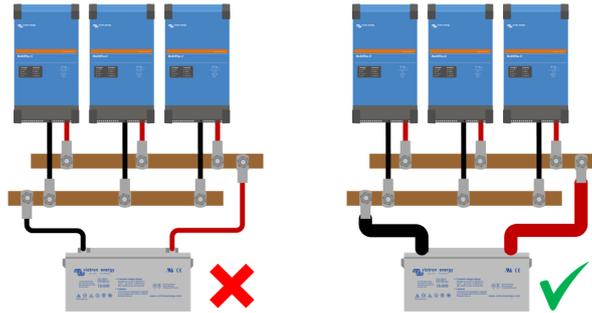
surface area = width x depth



Zum Beispiel:

- Eine Sammelschiene von 10 mm x 5 mm.
- Der Oberflächenquerschnitt beträgt $5 \times 10 = 50 \text{ mm}^2$.
- Diese sollte für 150 A bei Entfernungen bis zu 5 Metern geeignet sein.

Bei der Verkabelung des Systems ist darauf zu achten, dass der Querschnitt der Verbindung zwischen den Batterien und dem Gleichstromverteiler gleich der Summe der erforderlichen Querschnitte der Verbindungen zwischen dem Verteiler und dem Gleichstromgerät ist. Beispiele hierfür finden Sie in der folgenden Abbildung.



 **ACHTUNG:** Sammelschienen sind nicht isoliert. Zur Vermeidung von Kurzschlüssen oder Stromschlägen sollten Sie isolierte Werkzeuge verwenden und keinen metallischen Schmuck tragen.

Bei der Verwendung von Sammelschienen ist es in den meisten Fällen notwendig, die Sammelschiene abzuschirmen, insbesondere wenn die Sammelschiene im Freien steht. Dies dient dazu, zu verhindern, dass Personen die Sammelschiene berühren, oder einen Kurzschluss zu verhindern, wenn ein Metallgegenstand versehentlich über die positiven und negativen Sammelschienen fällt und beide Sammelschienen kurzschließt. Eine einfache Möglichkeit, dies zu tun, ist die Montage einer Plexiglasplatte vor oder über der Sammelschiene. Siehe die Abbildung rechts.



Sammelschienen können leicht selbst hergestellt werden. Sie benötigen lediglich eine Kupfer- oder Messingschiene, in die Sie Löcher bohren, damit elektrische Kabel an die Schiene angeschlossen werden können. Verwenden Sie für Schiffsanwendungen verzinnertes Kupfer oder Messing. Sammelschienen können im Elektrogroßhandel oder bei Metallhändlern erworben werden.

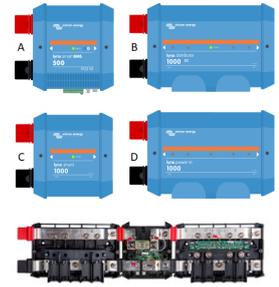


Victron bietet eine Reihe von Produkten an, die Sammelschienen enthalten. Diese finden Sie auch auf unserer Produktseite für Gleichstromverteiler und Sicherungen. Die vollständigen Produktinformationen finden Sie unter diesem Link: <https://www.victronenergy.de/dc-distribution-systems>.

Sammelschienen von Victron im Überblick:	
Sammelschienen mit 150, 250 und 600 A, mit verschiedenen Anschlussmöglichkeiten und mit und ohne Abdeckungen (das Modell 250A 6p ist links abgebildet).	
Sicherungshalter 6-fach für MEGA-Sicherungen mit einer 250 A-Sammelschiene.	
Modulare MEGA-Sicherungshalter: <ul style="list-style-type: none"> • Sammelschiene mit 5 Positionen, 500 A Nennleistung. • Sammelschiene mit 6 Positionen. 1500 A (links abgebildet). 	

Das Lynx-Verteilersystem besteht aus einzelnen Modulen, die miteinander verbunden werden können, um eine fortlaufende Sammelschiene für 12-, 24- oder 48-V-Systeme zu bilden:

- Lynx Smart BMS – Ein BMS für unsere intelligenten Lithium-Batterien, mit einem Batteriemonitor und Bluetooth. Verwendet die VE.Can-Kommunikation zum Auslesen von Informationen über die Sicherung des Lynx-Verteilers und zur Kommunikation mit einem GX-Gerät. Ausgelegt auf 500 A.
- Lynx Verteiler – zum Anschluss von bis zu vier Gleichstromlasten oder Batterien und deren Sicherungen und Anzeigeleuchte pro Sicherung. (Vielfache können angeschlossen werden). Ausgelegt auf 1000 A.
- Lynx Shunt – Ein Batteriemonitor und Halter für die Hauptsicherung. Verwendet VE.Can zur Kommunikation mit einem GX-Gerät und zum Auslesen des Batteriemonitors. Ausgelegt auf 1000 A.
- Lynx Power in - zum Anschluss von Batterien (ein Lynx Verteiler kann auch verwendet werden). Ausgelegt auf 1000 A.



4.3. Kabelverbindungen

Es gibt verschiedene Möglichkeiten, Kabel an Batterien, Victron-Produkte und andere Elemente in einem elektrischen System anzuschließen.

Bolzen, Muttern, Schrauben und Klemmen mit Ösen

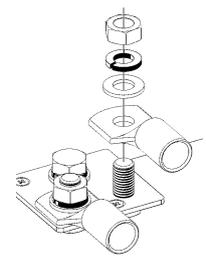
Die gängigen Größen für Schrauben in Victron-Produkten sind metrisch, wie M5, M6, M8 und M10.

Schrauben für elektrische Anwendungen bestehen in der Regel aus verzinntem Messing. Um Schäden zu vermeiden, sollten Sie beim Anziehen immer das vom Hersteller angegebene Drehmoment anwenden. Ein zu festes Anziehen kann dazu führen, dass die Schraube oder Mutter versagt. Das genaue Drehmoment entnehmen Sie bitte der Produktdokumentation.

Kabelösen verbinden Kabel mit Bolzen und müssen der Dicke des Kabels entsprechen. Verwenden Sie ein spezielles Crimpwerkzeug, um die Öse am Kabel zu befestigen. Wenn die Öse nicht isoliert ist, stellen Sie sicher, dass die Isolierung nachträglich angebracht wird.

Wenn Sie eine Kabelöse an einer Schraube anschließen, ordnen Sie die Komponenten in dieser Reihenfolge an: Unterlegscheibe, Federring und dann die Mutter. Stellen Sie sicher, dass die Öse bündig mit der Montagefläche abschließt. Legen Sie keine Gegenstände wie Unterlegscheiben oder Sicherungen zwischen die Lasche und die Oberfläche, da dies die Strombelastbarkeit des Anschlusses verringern kann.

Verwenden Sie beim Anziehen der Mutter isolierte Werkzeuge. Ein versehentlicher Kurzschluss der Batterie kann sehr gefährlich sein, und die Ströme können Ihren nicht isolierten Schraubenschlüssel schmelzen, oder der Funke kann eine Explosion der Batterie verursachen.



Schraubverbinder

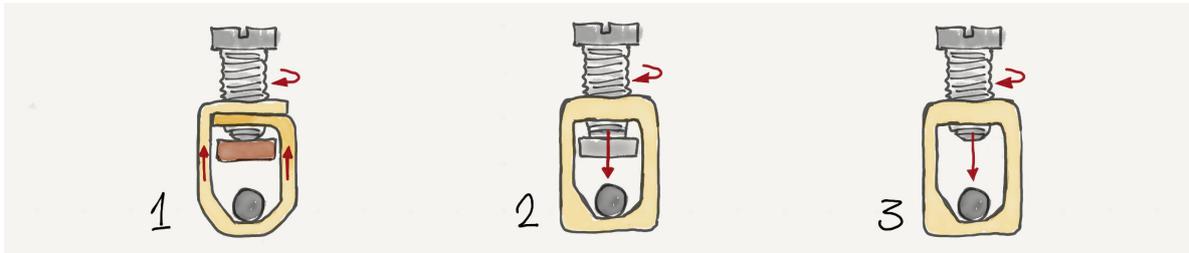
Schraubverbinder gibt es in einer Vielzahl von Formen und Größen, geeignet für dicke oder dünne Drähte. Angaben zum minimalen oder maximalen Drahtdurchmesser, der in einem Schraubverbinder verwendet werden kann, finden Sie immer im Produkthandbuch oder in der Dokumentation des Herstellers.



Einige Beispiele für Schraubklemmen

Die grundlegenden Typen von Klemmen mit Schraubverbindern:

1. Käfigzugfederanschlussklemme – Die Schraube betätigt einen Käfigmechanismus, der sich anhebt, um den Draht festzuklemmen und so einen sicheren und gleichmäßigen Anschluss zu gewährleisten.
2. Druckplatte oder Klemmanschluss – Eine Schraube zieht eine Metallplatte oder Klemme fest, wodurch der Draht gegen die Klemme gedrückt wird.
3. Standardmäßige Schraubklemme – Verwendet eine einfache Schraube, die direkt auf den Draht geschraubt wird und diesen gegen eine Metallplatte drückt.

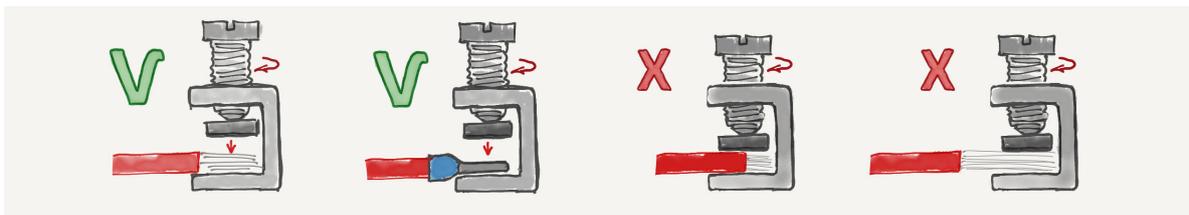


Von links nach rechts: Käfigzugfederanschlussklemme – Druckplattenklemme – Standardklemme

Einführen des Drahts

Entfernen Sie vor dem Einführen des Kabels so viel Isolierung, dass der blanke Draht freiliegt. Verwenden Sie bei Bedarf eine Aderendhülse, um die Litzen zu sichern.

Achten Sie darauf, dass keine Isolierung in den Hohlraum des Steckverbinders gelangt, da dies den Widerstand erhöhen und zu einer Überhitzung und möglicherweise zum Schmelzen des Steckverbinders führen kann. Achten Sie außerdem darauf, dass außerhalb des Steckverbinders kein blanker Draht sichtbar ist, da dies die Gefahr eines Stromschlags oder eines Kurzschlusses birgt.



Die Schrauben in elektrischen Steckverbindern bestehen in der Regel aus verzinntem Messing. Wenden Sie beim Festziehen immer das angegebene Drehmoment an, um eine Beschädigung der Schraube zu vermeiden. Die korrekten Drehmomentwerte finden Sie im Produkthandbuch oder in der Dokumentation des Herstellers.

Arten von Drähten und Klemmen

Verwenden Sie im Allgemeinen keine Kabel mit einem festen Kern, starren oder dicken Litzen oder mit zusammengelöteten Litzen (außer die Schraubklemme ist dafür ausgelegt). Dies kann zu einem schlechten elektrischen Kontakt führen, was wiederum zu einer Überhitzung oder einem Lösen des Anschlusses führen kann.

Es wird empfohlen, Aderendhülsen zur Ausrichtung und Sicherung der Litzen zu verwenden, um einen optimalen Kontakt im Schraubverbinder zu gewährleisten. Weitere Informationen finden Sie im folgenden Abschnitt.

Aderendhülsen

Aderendhülsen (auch als Drahtendhülsen oder Schnürsenkelhülsen bezeichnet) sind kleine Hülsen, die über abisolierte Kabelenden geschoben werden und die Litzen für sichere Anschlüsse zusammenhalten.

Verwendung von Aderendhülsen:

- Verhinderung von Spreizungen: Aderendhülsen verhindern, dass sich die Litzen eines Kabels aufspreizen, wenn sie in eine Schraub- oder Steckverbindung eingeführt werden, insbesondere in Schraubklemmen ohne Drahtkäfig oder Klemme.
- Verhinderung der Trennung von Drähten bei der Installation, bei der eine lose Litze zu einem periodischen Ausfall des elektrischen Systems führen kann.
- Versteifende Litzen: Aderendhülsen versteifen die Litzen des Drahtes und erleichtern so das Einführen in Push-Klemmen.
- Ordentliches Erscheinungsbild: Mit ihrer Hilfe kann eine saubere und geordnete Verkabelung erstellt werden.

Aderendhülsen gibt es in verschiedenen Größen und Ausführungen für unterschiedliche Kabel und Anwendungen. Sie müssen mit einem speziellen Crimpwerkzeug auf den Draht gecrimpt werden.

Arten von Aderendhülsen:

- Nicht isolierte Aderendhülsen, blank.
- Isolierte Aderendhülsen mit einer Kunststoffmanschette. Die Manschette dient dem Personenschutz und stellt sicher, dass die Aderendhülse nicht zu tief in den Steckverbinder eingeführt wird.
- Aderendhülsen für zwei Drähte mit einer Kunststoffmanschette. Diese werden verwendet, wenn zwei Drähte in einen einzelnen Steckverbinder eingeführt werden müssen.



Verwendung von Aderendhülsen mit Schraubklemmen

Aderendhülsen sind beim Anschluss von Drähten an Schraubklemmen unerlässlich, insbesondere bei Klemmen ohne Drahtkäfig oder Klemmbügel. Hier erfahren Sie, wann Sie sie verwenden sollten:

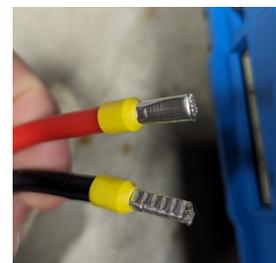
- Standardmäßige Schraubklemme: Aderendhülsen sind erforderlich.
- Druckplattenklemme – Optional, aber empfehlenswert, wenn der Draht viel kleiner ist als die Schraubklemme.
- Käfigzugfederanschlussklemme – Nicht erforderlich, aber die meisten Hersteller erlauben Aderendhülsen.

Ohne Aderendhülsen können sich Litzenkabel spreizen oder von der Schraube eingeklemmt werden, was zu unvollständigem Kontakt oder Beschädigung der Litzen führt. Das Bild rechts veranschaulicht dies: Der obere Draht weist beschädigte Litzen mit schlechtem Kontakt auf, während der untere Draht, der durch eine Aderendhülse geschützt ist, vollen Kontakt aufrechterhält.



Crimpen der Aderendhülse

Verwenden Sie immer ein spezielles Crimpwerkzeug, um die Aderendhülse sicher um die Litzen des Drahtes zu pressen und so einen dauerhaften, sicheren und gasdichten Anschluss zu gewährleisten. Wenn eine Aderendhülse einfach auf einen Draht aufgeschoben wird, ohne dass sie gecrimpt wird, führt dies zu schlechten Anschlüssen, wie in der Abbildung rechts dargestellt: Die obere Aderendhülse, die nicht gecrimpt wurde, führte zu einem schwachen Anschluss, während die korrekt gecrimpte untere Aderendhülse eine sichere Verbindung herstellte.

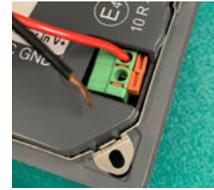


Ausrichtung der Aderendhülse

Stellen Sie sicher, dass der Draht und die Aderendhülse in den Steckverbinderkäfig passen. Die Form der Crimpung sollte der Form des Käfigs entsprechen. Richten Sie die Aderendhülse beim Einsetzen korrekt an der Ausrichtung der Klemme aus.

Push-Steckverbinder

Push-Steckverbinder sind federbelastete Klemmverbinder. Einige sind einrastbar, andere werden mit einem Hebel bedient und verriegelt, um zu verhindern, dass der Draht wieder herausgezogen wird.



Hier ein Beispiel für die Verwendung:

- Entfernen Sie eine ausreichende Länge der Kabelisolierung.
- Drücken Sie den orangefarbenen Teil mit einem flachen Schraubendreher nach unten.
- Stecken Sie das abisolierte Kabel ein.
- Vermeiden Sie das Eindringen von Kabelisolierungen in den Stecker. Dies kann zu einem zu hohen Widerstand führen, so dass sich der Stecker erwärmt und möglicherweise schmilzt.
- Vermeiden Sie, dass nicht isolierte Kabel (blanke Kabel) außerhalb des Steckers sichtbar sind. Dies ist gefährlich, da es zu Stromschlägen oder einem Kurzschluss kommen kann.
- Lassen Sie den orangen Teil los.
- Das Kabel ist nun arretiert. Geben Sie dem Kabel einen kleinen Ruck, um zu überprüfen, ob das Kabel sicher befestigt ist.

Kabelschuhe

Ein Crimpkontakt mit Flachsteckanschluss muss mit einem speziellen Crimpwerkzeug an das Kabel gecrimpt werden. Zu diesen Steckverbindern gehören solche mit und ohne Isolierung und einige mit speziellen Funktionen, wie z. B. Piggyback-Steckverbinder.



MC-Steckverbinder

Diese Steckverbinder werden ausschließlich dazu verwendet, Solarpaneele mit anderen Solarpaneele und/oder Solarladegeräten zu verbinden.

Am häufigsten wird MC4 verwendet. Es gibt auch andere Typen wie MC1, MC2 und MC3, die jedoch nicht mehr verwendet werden. Die Buchstaben „MC“ stehen für MultiContact, das ist der Name eines der Originalhersteller, der sich durchgesetzt hat. Die Ziffern 1 bis 4 stehen für den Kontaktstiftquerschnitt in mm².



Einige Details:

- Sie sind wasserdicht (IP67) und können im Außenbereich eingesetzt werden.
- Stecker oder Buchsenleisten.
- Ausgelegt für 20 A, 600 V (neuere Versionen 1500 V).
- Es wird eine spezielle Crimpzange benötigt.
- Sie können als vorkonfektionierte Kabel gekauft werden.
- MC4 Y-Stücke (oder Y-Kabel) werden zur Parallelschaltung von Solarmodulen verwendet.

Für weitere Informationen siehe Kapitel [Solar \[44\]](#).

RADLOK™-Steckverbinder

Amphenol bietet Push-Gleichstromsteckverbinder an. Diese verfügen über einen einzigartigen, formschlüssigen Verriegelungsmechanismus, der den Steckverbinder an seinem Platz hält und ein versehentliches Abziehen verhindert. Der Steckverbinder ist äußerst zuverlässig und widerstandsfähig gegenüber Umwelteinflüssen wie Vibrationen, Temperatur, Feuchtigkeit und korrosiven Stoffen.

Diese sind in Modellen mit 70 bis 400 A und einer Nennspannung von bis zu 1000 V erhältlich und werden häufig mit verwalteten Batterien verwendet.



Anderson-Stecker

Federbelastete Steckverbinder aus verzinnem oder vernickeltem Kupfer zum Schutz vor Korrosion. Sie sind in einer Vielzahl von Größen erhältlich, um verschiedenen Drahtstärken und Stromanforderungen gerecht zu werden. Sie werden häufig in der Automobilindustrie oder in mobilen Anwendungen eingesetzt, wo schnelles Verbinden und Trennen häufig vorkommt.

Stellen Sie sicher, dass der Nennstrom mit dem Strom übereinstimmt, wenn Ihr System unter Vollast steht. Beachten Sie, dass sie den Widerstand des Kabels erhöhen, wenn sie sich zwischen der Batterie und dem Wechselrichter befinden. Beschränken oder vermeiden Sie in diesem Fall deren Verwendung.



Autostecker

Diese werden im Allgemeinen in einfachen Automobilanwendungen eingesetzt. Sie können keine Ströme über 10 A übertragen. Daher sind sie für den Anschluss eines Wechselrichters nicht geeignet. Beachten Sie auch, dass der Stromkreis im Auto möglicherweise nur mit einer noch niedrigeren Sicherung als 10 A abgesichert ist.

Achten Sie bei der Verwendung darauf, den Stecker richtig und tief genug einzuführen. Wenn der Steckverbinder nicht richtig eingesteckt wird, kann er sich erhitzen und schmelzen. Beschränken oder vermeiden Sie deren Verwendung.



Batterieklemmen

Diese sind nur für temporäre Verbindungen gedacht. Sie verfügen oft nicht über einen ausreichend hohen Nennstrom und sollten niemals dauerhaft in einem elektrischen System verwendet werden. Beschränken oder vermeiden Sie deren Verwendung.



4.4. Crimpkontakte

Einige besondere Hinweise zu isolierten Crimpkontakten. Diese Arten von Crimpkontakten sind leicht erhältlich und einfach zu verwenden.

Es gibt sie in 3 Farben, nämlich rot, blau und gelb. Diese Farben geben den Drahtdurchmesser an, der mit dem Crimpkontakt verwendet werden kann:

- Rot – für Drähte zwischen 0,5 und 1,5 mm².
- Blau – für Drähte zwischen 1,5 und 2,5 mm².
- Gelb – für Drähte zwischen 2,5 und 6 mm².

Die nachstehende Tabelle gibt den maximalen Strom pro Farbe des Crimpkontakts an, wenn verschiedene Kabellängen verwendet werden.

	Colour	wire size mm ²	wire size AWG	5 m cable max A	10 m cable max A	15 m cable max A	20 m cable max A
	Red	0.5 - 1.5	22-16	4.5	2.3	1.5	1.1
	Blue	1.5 - 2.5	16-14	7.5	3.8	2.5	1.9
	Yellow	2.5 - 6	10-12	18	9	6	5

Die Crimpkontakte sind in einer Vielzahl verschiedener Formen erhältlich, wie in der folgenden Tabelle angegeben.

Spade female	Spade female Isolated	Spade male	Fork	Bullet female	Bullet male	Pin	Butt splice	Eye	Blade
									

Von links nach rechts:

- Kabelschuh-Buchse, nicht isoliert.
- Kabelschuh-Buchse, isoliert.
- Kabelschuh-Stecker.
- Gabelklemme.
- Buchse mit Crimp-Bullet-Anschluss – wir raten davon ab, diese Klemme zu verwenden, da sie oft einen schlechten Kontakt hat und zu Systemproblemen führen kann.
- Stecker mit Crimp-Bullet-Anschluss – wir raten davon ab, diese Klemme zu verwenden, da sie oft einen schlechten Kontakt hat und zu Systemproblemen führen kann.
- Pin-Klemme.
- Stoßspleißklemme – wir raten davon ab, diese Klemme zu verwenden, da sie oft einen schlechten Kontakt hat und zu Systemproblemen führen kann. Eine bessere Alternative ist der WAGO Compact Splicing Connector 221-482, der für Kabel bis zu 4mm² ausgelegt ist. Weitere Informationen finden Sie unter diesem Link: <https://www.wago.com/global/installation-terminal-blocks-and-connectors/compact-splicing-connector/p/221-482>
- Flachstecker.

Verwenden Sie ein professionelles Crimpwerkzeug mit Ratschenmechanismus, um eine Klemme ordnungsgemäß auf das Kabel zu crimmen. Der Ratschenmechanismus sorgt dafür, dass der richtige Druck auf die Crimpung ausgeübt wird. Das Werkzeug verfügt über 3 Crimpbereiche, die mit roten, blauen und gelben Punkten gekennzeichnet sind. Diese Punkte entsprechen der Farbe der Crimpkontakte. In der folgenden Abbildung sehen Sie ein Beispiel für ein professionelles Crimpwerkzeug.

Achten Sie vor dem Crimpen auch darauf, dass die Isolierung des Drahtes nicht zu stark in den Crimpkontakt gedrückt wird. Der Crimpkontakt verfügt über zwei verschiedene Crimpabschnitte, einen für den Drahtkern und einen für die Drahtisolierung. Mit dem professionellen Crimpwerkzeug können Sie beide Abschnitte mit unterschiedlichem Druck crimmen.

Nach dem Crimpen empfiehlt es sich, die Crimpung zu testen, indem Sie den Draht leicht ziehen, um sicherzustellen, dass die Klemme sicher gecrimpt ist.



4.5. Kabelführungen

Beim Verlegen und Anschließen von Kabeln zwischen allen Komponenten eines Systems gibt es eine Reihe praktischer Dinge, die Sie bei diesen Kabelführungen beachten müssen. Auch wenn Sie die richtigen Ratschläge zum Thema Kabel befolgt haben, gibt es immer noch einige kabelbedingte Faktoren, die ein Problem in einem System verursachen können.

Verwenden Sie den richtigen Kabeldurchmesser und verdoppeln Sie ihn, wenn nötig:

Im Kapitel [Theorie \[2\]](#) in diesem Buch wird erklärt, warum Kabel einen bestimmten Durchmesser haben müssen und welche negativen Auswirkungen es hat, wenn die Kabel zu dünn sind. Bei der Verkabelung eines Systems kann es jedoch vorkommen, dass der erforderliche Kabeldurchmesser nicht verfügbar oder schwer zu beschaffen ist. Außerdem sind sehr dicke Kabel schwer zu manövrieren oder können nicht in engen Biegungen geführt werden. In solchen Fällen ist es in Ordnung, zwei Kabel anstelle eines einzigen Kabels zu verwenden. Viele Wechselrichter und Wechselrichter/Ladegeräte verfügen über doppelte positive und doppelte negative Klemmen für genau diesen Zweck.

Bei der Verwendung von doppelten Kabeln kann es sein, dass jedes Kabel einzeln abgesichert werden muss. Die Anforderungen können von Land zu Land und von Anwendung zu Anwendung variieren. Prüfen Sie daher bitte Ihre lokalen Vorschriften.

Eine weitere örtliche Vorschrift kann sein, dass jeder einzelne Leiter die volle Last tragen können muss. In diesem Fall ist es also nicht möglich, Kabel zu verdoppeln, also prüfen Sie bitte die örtlichen Vorschriften, wenn dies auf Sie zutrifft.

Halten Sie die Kabel so kurz wie möglich:

Versuchen Sie, den Abstand zwischen Kabeln mit hohem Strom, wie Batterie und Wechselrichter oder Wechselrichter/Ladegerät, so gering wie möglich zu halten. Achten Sie aber darauf, dass Sie keine elektronischen Geräte direkt über Blei-Säure-Batterien aufstellen, auch wenn die Blei-Säure-Batterien versiegelt sind.

Auf diese Weise müssen Sie keine sehr dicken Kabel verwenden. Je näher die Batterien beieinander liegen, desto kürzer ist das Kabel und desto dünner kann das Kabel sein.

Denken Sie daran, dass Kabel Wärme erzeugen:

Aufgrund des Widerstandes der Kabel erzeugen diese Wärme, wenn Strom durch sie fließt. Je höher der Spannungsabfall über das Kabel, desto mehr Wärme wird erzeugt. Wenn der Spannungsabfall beispielsweise 2,5 % beträgt, bedeutet dies, dass bei einer Leistung von 1000 W durch das Kabel 2,5 % dieser Leistung als Wärme abgeführt werden. Bei einer Last von 1000 W bedeutet dies also 25 W Wärme.

Es ist wichtig, dass diese erzeugte Wärme abgeleitet werden kann.

Wenn Kabel ummantelt sind, z. B. durch Kabelkanäle, kann die Wärme möglicherweise nicht abgeleitet werden, und die Kabel erhitzen sich schließlich zu stark. Die einzige Lösung besteht in diesem Fall darin, den Kabelquerschnitt zu erhöhen und ihn vielleicht sogar zu verdoppeln.

Verwenden Sie einen oben offenen Kabelkanal. Alternativ können Sie auch dickere Kabel verwenden, damit der Spannungsabfall geringer ist und somit weniger Wärme erzeugt wird. Für weitere Informationen hierzu finden Sie im Kapitel [Strom, Kabelwiderstand und Spannungsabfall \[8\]](#) und im Kapitel [Die negativen Auswirkungen des Spannungsabfalls im Kabel \[11\]](#).

Ein Vorschlag wäre, ein System unter voller Last laufen zu lassen und die Kabel mit einer Wärmebildkamera zu überprüfen. Dies ist auch eine gute Möglichkeit, lose Anschlüsse oder schlecht gecrimpte Klemmen zu erkennen.

Lassen Sie die Kabel locker

Eng anliegende Kabel in Verbindung mit Fahrzeugvibrationen sind nicht empfehlenswert. Die Crimpkontakte und die Pole der Batterie sind zu stark belastet und werden sich mit der Zeit lösen. Ein gutes Beispiel dafür ist die Verkabelung zwischen Batterien, um eine große Batteriebank zu bilden. Wenn die Verbindungskabel nicht locker sind und die Batterien nicht völlig unbeweglich sind, werden die Batterieklemmen oder die Kabelklemmen zu stark belastet und können sich lösen oder beschädigt werden.

Verwenden Sie Zugentlastungen

Dicke Kabel sind schwer. Lassen Sie das volle Gewicht eines dicken Kabels nicht vollständig an einem Wechselrichter, Wechselrichter/Ladegerät oder Batterieanschluss hängen. Dies ist besonders wichtig, wenn die Installation Vibrationen ausgesetzt ist. Zugentlastungen oder Kabelhalterungen tragen das Gewicht des Kabels.

4.6. Sicherungen und Leistungsschalter

Eine Sicherung ist eine elektrische Sicherheitsvorrichtung, die Drähte in einem Stromkreis vor zu hohen Strömen schützt, die zu Überhitzung oder Feuer führen können.

Die Sicherung befindet sich im Versorgungskabel zu einem elektrischen Gerät. Sobald der Strom durch die Sicherung fließt, der höher ist als ihr Nennstrom, brennt die Sicherung für eine bestimmte Zeit durch. Sobald die Sicherung durchgebrannt ist, fließt kein Strom mehr in den Stromkreis. Höhere als die erwarteten Stromsituationen können auftreten, wenn ein elektrisches Gerät einen Fehler entwickelt oder wenn ein Kurzschluss im Stromkreis vorliegt.

Die Sicherung schützt Verkabelungen und Geräte vor:

- Überstrom – wenn mehr Strom in einem Kabel fließt, als für dieses ausgelegt ist.
- Kurzschluss - wenn ein Leiter versehentlich mit einem anderen Leiter in Berührung kommt.

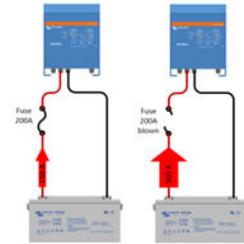
Wie funktioniert eine Sicherung?

Es gibt drei Arten von Sicherungsmechanismen. Diese sind:

- Drahtsicherung (nur einmalige Verwendung).
- Thermosicherung (zurücksetzbar).
- Magnetsicherung (zurücksetzbar).

Die „einmalige“ Sicherung:

Traditionell enthält eine Sicherung einen Draht oder ein Metallstreifen, der schmilzt, sobald ein unzulässig hoher Strom durch die Sicherung fließt. Wenn der Draht in der Sicherung geschmolzen ist, ist der Stromkreis unterbrochen und es fließt kein Strom mehr in den Stromkreis. Sobald die Sicherung durchgebrannt ist, muss sie durch eine neue Sicherung ersetzt werden, damit der Stromkreis wieder funktionsfähig ist. Diese Sicherungen sind Einwegsicherungen. Sobald sie durchgebrannt sind, können sie nicht mehr zurückgesetzt werden. Sie müssen durch neue ersetzt werden.

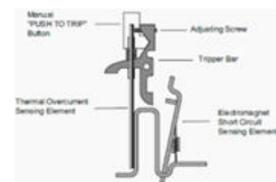


Die zurücksetzbare (oder automatische) Sicherung:

Eine weitere Art von Sicherung ist die automatische Sicherung, die oft als Leistungsschalter oder Leitungsschutzschalter (CB oder MCB) bezeichnet wird. Diese Vorrichtungen unterbrechen den Stromfluss, wenn ein hoher Strom erkannt wird. Manchmal werden sie sich wieder verbinden, nachdem das Hochstromereignis vorbei ist, oder sie müssen manuell zurückgesetzt werden. Sie müssen nicht wie die herkömmlichen Sicherungen ausgetauscht werden.

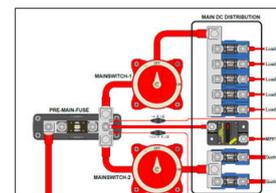
Es gibt 2 Möglichkeiten, wie diese Sicherungen funktionieren, entweder thermisch oder magnetisch oder eine Kombination davon:

- Der thermische Stromkreisunterbrecher enthält einen Bimetallstreifen, der sich erwärmt, wenn ein Überstrom fließt. Beim Erhitzen verbiegt er sich und unterbricht so den Stromkreis.
- Der Magnetschalter enthält einen Elektromagneten, der auf einen hohen Strom reagiert. Wenn ein großer Strom fließt, erzeugt der Elektromagnet eine Magnetkraft, die den Weg des Stroms unterbricht.



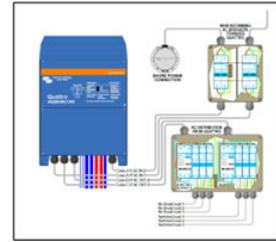
Position der Gleichstromsicherungen:

Jeder Verbraucher, der an eine Batterie angeschlossen wird, muss abgesichert werden. Die Sicherung befindet sich im Pluskabel. Jeder einzelne Verbraucher muss eine eigene Sicherung haben. Egal wie groß oder klein die Nennleistung des Gerätes ist. Batterien können sehr hohe Ströme erzeugen, die einen Brand verursachen können. Wenn der Verbraucher einen Fehler und interne Kurzschlüsse entwickelt, fließt ein sehr großer Strom, der eine Brandgefahr darstellen kann. Ein Gleichstromkreis enthält in der Regel eine Hauptbatteriesicherung, danach verzweigt er sich zu den einzelnen Verbrauchern. Jeder Verbraucher hat eine eigene Sicherung.

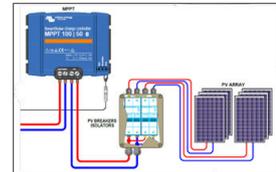


Position der Wechselstromleistungsschalter:

Die Leistungsschalter befinden sich in der Nähe des Einspeisepunktes des öffentlichen Netzes bzw. des Generators in die Schaltanlage. Der AC-Leistungsschalter wird in den stromführenden Leiter oder sowohl in den stromführenden als auch in den Neutralleiter eingebaut. Es werden ein- oder zweipolige Leistungsschalter eingesetzt. In der Regel gibt es pro Wechselstromversorgung einen Hauptleistungsschalter, danach zweigt die Versorgung in verschiedene Gruppen ab. Jede Gruppe enthält einen Leistungsschalter, der eine Gruppe von Wechselstromverbrauchern schützt.

**Position der PV-Feldleistungsschalter:**

Zwischen einer PV-Anlage und dem Solarladegerät muss eine Sicherung angebracht werden. Bitte erkundigen Sie sich bei den örtlichen Behörden, die Vorschriften pro Anwendung und Land sind unterschiedlich.

**Sicherungshalter**

Sicherungen müssen in Sicherungshalter eingesetzt werden. Der Sicherungshalter hält die Sicherung sicher an ihrem Platz. Und in einigen Fällen sorgen sie auch für eine elektrische Isolierung. Leistungsschalter werden in der Regel auf einer DIN-Schiene montiert. Sicherungen und Leistungsschalter befinden sich in der Regel in einer Schalttafel, vorzugsweise in einem Gehäuse.

Sicherungswerte und die Auswahl der richtigen Sicherung:

Bei der Auswahl einer Sicherung gibt es 4 Auswahlkriterien:

- Nennstrom
- Nennspannung
- Geschwindigkeit
- Typ

Es ist wichtig, die richtige Sicherung zu wählen, die zum Stromkreis und zur Leistungsaufnahme der Geräte in diesem Stromkreis passt. Der Nennwert der Sicherung wird auf der Sicherung angezeigt oder ist im Datenblatt der Sicherung oder deren Spezifikationen zu finden.

Nennstrom

Wenn sich nur ein Verbraucher in einem Stromkreis befindet, muss die Sicherung mit dem Nennstrom dieses Verbrauchers oder dem Nennstrom des Kabels übereinstimmen, je nachdem, welcher der niedrigste der beiden ist. Wenn sich mehrere Verbraucher in einem Stromkreis befinden, muss die Sicherung mit dem Nennstrom der Verkabelung im Stromkreis übereinstimmen.

Nennspannung

Die Nennspannung der Sicherung muss gleich oder größer als die erwartete maximale Spannung im System sein. Die Sicherung muss speziell für den erforderlichen Typ, Gleichstrom bzw. Wechselstrom, ausgelegt sein. Die meisten DC-Sicherungen sind für 12 und 24 V geeignet, aber sie sind nicht unbedingt für 48 V und höher geeignet. Bitte beachten Sie, dass nicht alle Sicherungen oder Leistungsschalter sowohl in Wechselstrom- als auch in Gleichstromkreisen verwendet werden können. Wenn die Sicherung sowohl für Wechselstrom als auch für Gleichstrom verwendet werden kann, ist die Spannung für Wechselstrom oft höher als die Gleichspannung. Achten Sie auch darauf, dass die Leistungsschalter nicht unidirektional sind, so dass es bei Gleichstrom darauf ankommt, wie sie in den Stromkreis geschaltet sind.

Geschwindigkeit

Die Geschwindigkeit einer Sicherung ist die Zeit, die benötigt wird, bis sich die Sicherung bei Auftreten eines Fehlerstroms öffnet. Dies wird durch das Sicherungsmaterial, seinen Mechanismus, den Strom und die Temperatur bestimmt.

Es gibt Sicherungen die langsam oder schnell durchbrennen:

- Sicherungen die langsam durchbrennen, werden häufig in Gleichstromanwendungen eingesetzt, die in Automobil- und Schifffahrtskreisen zu finden sind. Diese Schaltungen beinhalten Verbraucher mit hohem Anlaufstrom, wie z. B. Motoren, oder Geräte mit Kondensatoren, wie z. B. Wechselrichter. Die Sicherung die langsam durchbrennt, wird einem hohen, kurzzeitigen Anfangsstrom widerstehen, der es einem Motor ermöglicht, zu starten.
- Die Sicherungen die schnell durchbrennen, werden in Wechselstromanwendungen eingesetzt. Wechselstromverbraucher sind oft empfindlich gegenüber Änderungen im Stromfluss, daher benötigen sie eine Sicherung, die schnell reagieren kann, um den Verbraucher zu schützen. Aber in einigen Fällen kann ein AC-Verbraucher einen hohen Anlaufstrom haben, das sind Geräte mit Elektromotoren, wie Kühlschränke, Klimaanlage und Kompressoren. In diesen Szenarien wird eine langsamere Sicherung benötigt.

Geschwindigkeitsbereich des Sicherungselements:

- FF Sehr schnell wirkend (Flink Flink).
- F Schnell wirkend (Flink).
- M Mittelwirksam (Mitteltrage).
- T Langsam wirkend (Trage).
- TT Sehr langsam wirkend (Trage Trage).

Sicherungskennzeichnungen

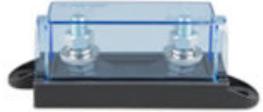
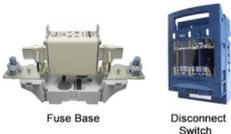
Die Sicherung enthält eine Kennzeichnung, die angibt, wie hoch ihre Nennwerte sind. Aber es könnten Informationen fehlen. Dann sind die Sicherungsspezifikationen eine gute Quelle, um mehr darüber zu erfahren. Diese können Sie leicht online oder bei Ihrem Sicherungslieferanten finden.



Catalog Number	Marine Rated Battery Fuses
Application	Full range circuit protection for automotive and marine applications. Break in capacity meets the requirements of conventional vehicle batteries and 42V electrical networks
Voltage Rating	58Vdc: Maximum
Ampere Rating	30A - 300A
Ingress Protection	IP66
Ignition Protected	Per SAEJ1117
Interrupt Rating	10000 AMP @ 14Vdc; 5000 AMP @ 32Vdc; 2000 AMP @ 58Vdc
Torque Rating	Maximum 12 N*m (106 in-lbs)
Material	Body - Ceramic Housing & Cover: UL-rated 94V0 Thermoplastic Ring Terminals - Tin Plated

Übersicht der Sicherungsarten:

Sicherungstyp	Sicherung	Sicherungshalter
Sicherungen aus Glas oder Keramik <ul style="list-style-type: none"> • Drahtsicherung • Bis zu ca. 60 A • Bis zu 250 V Wechselstrom oder Gleichstrom • Schnell oder langsam 		
Lamellensicherungen (Automobil) <ul style="list-style-type: none"> • Drahtsicherung • Bis zu 120 A • 32 VDC • Langsam 		

Sicherungstyp	Sicherung	Sicherungshalter
<p>Midi-Sicherungen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Drahtsicherung • 23 – 200 A • 32 VDC • Langsam 		
<p>Cooper Bussmann MRBF-Sicherungen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Drahtsicherung • 30 – 300 A • 58 VDC • Marine bewertet • Für beengte Platzverhältnisse. Kann direkt an einer Gleichstromklemme angebracht werden, z. B. an einer Sammelschiene. Außerdem wird die Gesamtmenge der benötigten Kabel und Crimpkontakte reduziert. 		
<p>CNN-Sicherungen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Drahtsicherung • 10 – 800 A • 48 VDC, 125 VAC • Schnell 		
<p>Megasicherungen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Drahtsicherung • 40 - 500 A • 32 VDC • Langsam 		
<p>ANL-Sicherungen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Drahtsicherung • 35 – 750 A • 32V dc • Schnell 		
<p>NH-Sicherungen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Drahtsicherung • Bis zu 1000 A • 500–690 VAC 440–550 VDC • Mehrere Geschwindigkeiten verfügbar 		
<p>Stromkreisunterbrecher (CB oder MCB)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Thermisch und magnetisch • Eine Vielzahl von Nennströmen • Eine Vielzahl von Spannungen • AC oder DC • Eine Vielzahl von Geschwindigkeiten • Montage auf DIN-Schiene 		

4.7. Gleichstromisolationsschalter

Ein Batterieisolationsschalter kann verwendet werden, um die Batterie (oder die Batteriebank) vom Rest des Stromkreises zu trennen. Oder er kann verwendet werden, um eine Gleichstromquelle oder einen Gleichstromverbraucher von einem Stromkreis zu trennen.

Die Möglichkeit, eine Batterie oder einen Gleichstromverbraucher vom Stromkreis zu trennen, ist nützlich, wenn das System für eine bestimmte Zeit nicht benutzt wird oder für die Wartung des Systems. Bei der Auswahl eines Trennschalters ist darauf zu achten, dass der Trennschalter immer auf die zu erwartenden Ströme im System unter Vollast ausgelegt ist.

Die Regeln und Richtlinien für die Isolation der Batterie sind in den einzelnen Ländern unterschiedlich, aber es wird empfohlen, im Falle einer Isolation der Batterie nur das positive Batteriekabel zu isolieren.

Möglicherweise ist es nicht einmal notwendig, einen Isolatorschalter hinzuzufügen. Ein Gleichstromsystem sollte immer eine Hauptsicherung enthalten. Das Entfernen der Sicherung unterbricht auch den Stromkreis. Wenn also das System gewartet werden soll oder wenn die Batterie ausgetauscht werden muss, reicht das Entfernen der Hauptsicherung aus, um die Batterie vom Rest des Systems zu isolieren.

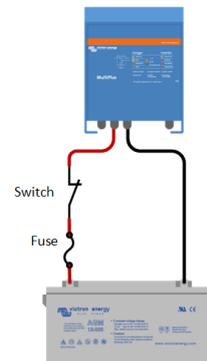
Verwenden Sie immer hochwertige Isolatorschalter. Der Isolatorschalter erhöht den Stromkreiswiderstand. Ein Schalter von minderwertiger Qualität hat einen höheren Widerstand, was den Spannungsabfall potenziell erhöhen kann und Systemprobleme verursachen wird.

Trennschalter sind für eine bestimmte Spannung und einen fortlaufenden Strom ausgelegt (stellen Sie sicher, dass es sich um Gleichstrom handelt) und sind oft auch für einen 5-Minuten-Strom und einige Sekunden Spitzenstrom ausgelegt.

Einige Trennschalter sind nicht dafür ausgelegt, Strom (insbesondere Gleichstrom) zu unterbrechen, und einige Batterieschalter können nicht unter Last schalten. Bitte beachten Sie die technischen Daten des Trennschalters.

Arten von Isolationsschaltern:

- Batterieisolationsschalter für mobile Systeme (meist 12 und 24 V). Beachten Sie, dass der Victron Energy [Battery Switch ON/OFF 275A](#) in der Lage ist, 12, 24 und 48 V zu schalten und auch unter Last zu schalten.
- DIN-gesteuerte Leistungsschalter, für landgestützte Systeme für Batterie und PV (in der Regel 48 V und höher).
- NH-Sicherungshalter für landgestützte Hochstromsysteme für Batterie und PV (normalerweise 48 V und höher).



Victron Energy Battery Switch
ON/OFF 275A.



Gleichstrom-MCB mit hohem Strom.



NH-Sicherungshalter können als
Stromkreisunterbrecher verwendet
werden.

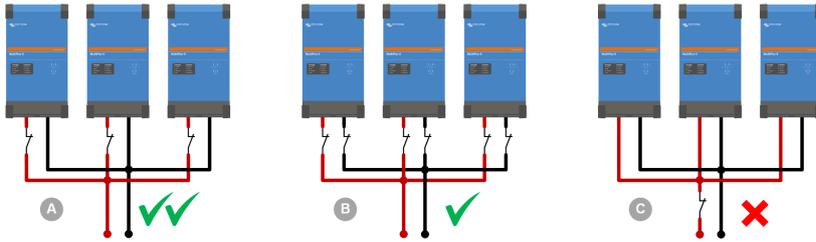
Systeme mit mehreren Wechselrichtern oder Wechselrichter/Ladegeräten

Jede Einheit muss einzeln mit einer Sicherung abgesichert werden, wobei für jede Einheit der gleiche Sicherungstyp zu verwenden ist. Dadurch wird sichergestellt, dass jeder Gleichstrompfad den gleichen Widerstand aufweist.

Verwenden Sie nicht einen einzelnen großen Stromkreisunterbrecher oder eine Sicherung für das gesamte System. Ein Kurzschluss oder ein anderer Fehler in einem einzelnen Wechselrichter/Ladegerät hat selten einen Widerstand, der niedrig genug ist, um die große Sicherung auszulösen. Wenn die Sicherung nicht auslöst, fließt der Strom weiterhin mit einem gefährlich hohen Wert, wodurch die interne oder externe Verkabelung des Wechselrichters/Ladegeräts beschädigt werden kann.

Vorzugsweise (nicht zwingend) sollte ein fortlaufender negativer Gleichstromanschluss im System vorhanden sein und nur der positive Gleichstromanschluss jedes Wechselrichters/Ladegeräts geschaltet, geschützt oder abgesichert sein. Der Grund dafür ist, dass die Fehlersuche in einem System sehr schwierig sein kann, wenn es einen losen Anschluss im negativen Gleichstrompfad gibt, insbesondere in Systemen, die aus mehreren Einheiten bestehen (Parallel-, Split-, Drei-Phasen-Betrieb).

Eine durchgehend negative Verbindung ist jedoch nicht erforderlich, da bei einigen Installationen der Minuspol des Gleichstroms durch eine Sicherung oder einen Stromkreisunterbrecher geschützt werden muss.



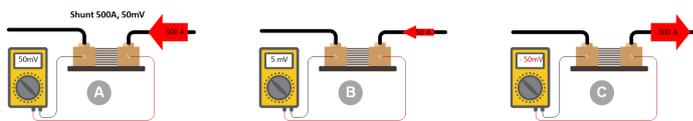
- A. Die positive Gleichstromversorgung jeder Einheit wird einzeln geschaltet.
- B. Die positive und negative Gleichstromversorgung jeder Einheit wird einzeln geschaltet.
- C. Die Hauptstromversorgung aller Einheiten wird als Ganzes geschaltet. Beachten Sie, dass dies nicht empfohlen wird!

4.8. Shunt

Ein Shunt wird einem System hinzugefügt, um den Stromfluss zu messen. Dies wird für die Systemüberwachung oder zur Berechnung des Ladezustands der Batterie benötigt.

Ein Shunt ist ein Widerstandselement, das zur Messung von Strom verwendet wird. Wenn Strom durch den Shunt fließt, wird ein kleiner Spannungsabfall proportional zum Strom erzeugt. Dieser Spannungsabfall steigt mit größeren Strömen und sinkt mit kleineren Strömen. Wenn sich der Strom umkehrt, kommt es zu einer Verpolung des Spannungsabfalls. Durch Messung des Spannungsabfalls über dem Shunt können die Stärke und Richtung des Stroms bestimmt werden. Diese Informationen können verwendet werden, um zu bestimmen, wie viel Strom in eine Batterie eintritt oder sie verlässt, um den Ladezustand der Batterie zu berechnen.

Ein Shunt hat einen Strom und eine Nennspannung, z.B. 500 A, 50 mV. Das bedeutet, wenn 500 A Strom durch den Shunt fließen, kommt es zu einem Spannungsabfall von 50 mV (= 0,05 V) über dem Shunt.



- A. Ein starker Strom fließt durch einen Shunt.
- B. Weniger Strom fließt durch einen Shunt.
- C. Rückstrom fließt durch einen Shunt.

Der Shunt muss für den maximalen Gleichstrom ausgelegt sein, der in die kombinierten Verbraucher des Systems fließt.

Beispiel: Ein Wechselrichter ist mit einer Batterie verbunden. Der maximale Strom wird der Spitzenwert des Wechselrichters sein. Ein 3000-VA-Wechselrichter hat einen Spitzenstrom von 6000 W, das heißt bei 12 V einen Strom von 500 A.



- A. 500 A-BMV-Shunt.
- B. 2000 A-SmartShunt.
- C. 6000 A-Shunt.

Der Victron SmartShunt ist mit einem 50 mV-Shunt über 500 A, 1000 A oder 2000 A erhältlich. Der Victron BMV Batteriemonitor wird mit einem Shunt über 500 A, 50 mV geliefert. Falls dieser Shunt nicht groß genug ist, müssen Sie einen größeren Shunt hinzufügen. Die 50 mV-Shunts von Victron sind in 500, 1000, 2000 und 6000 A erhältlich. Wenn Sie einen Shunt mit einer anderen Spannung oder einem anderen Nennstrom verwenden, stellen Sie sicher, dass Sie die Parameter des Shunts in den Einstellungen des BMV-Batteriemonitors ändern.

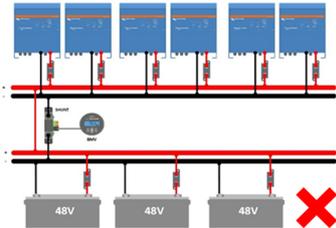
Aus Sicherheitsgründen wird der Shunt in der Regel im Minuskabel platziert. Er sollte die letzte Komponente vor der Batteriebank oder der Sammelschiene der Batteriebank sein. Alle Gleichstromverbraucher und -versorgungen müssen nach dem Shunt angeschlossen werden. Die korrekte Verkabelung des Shunts in einem System entnehmen Sie bitte dem Diagramm auf der rechten Seite.

Shunts können auch an anderer Stelle in einem System angeordnet sein, z. B. zur Messung eines bestimmten Gleichstromverbrauchers oder einer bestimmten Gleichstromversorgung. Diese Shunts werden in der Regel an ein Strommessgerät angeschlossen.

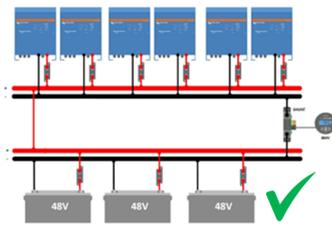


Eine falsche Platzierung des Shunts kann zu Problemen führen, insbesondere in großen Systemen, bei denen zwischen Batterie und Wechselrichter/Ladegeräten ein langer Weg liegt. Beim Wechselrichter/Ladegerät wird beim Wechselrichter/Ladegerät eine niedrigere Eingangsgleichspannung „gemessen“ als bei den weiter entfernten Geräten. Umgekehrt wird beim Aufladen bei den Batterien in der Nähe des Shunts eine niedrigere Eingangsgleichspannung „gemessen“ als bei den weiter entfernten Batterien. Siehe die folgenden Bilder.

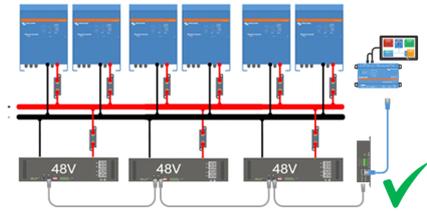
Um dieses Problem zu lösen, können Sie entweder den Shunt vom Pluskabel entfernen (obwohl dies nicht ideal ist) oder den Einsatz intelligenter Batterien in Betracht ziehen, die ihren eigenen Ladezustand ermitteln, sodass kein Shunt erforderlich ist.



Der Shunt ist falsch platziert.



Der Shunt ist korrekt platziert.



Es werden intelligente Batterien verwendet und es wird kein Shunt benötigt.

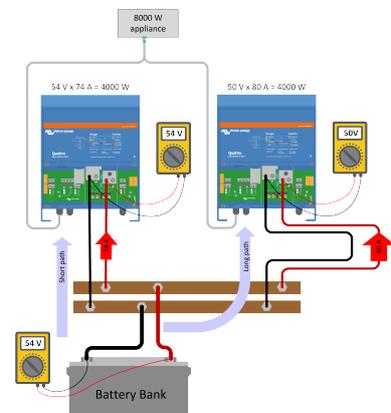
4.9. Parallele bzw. 3-phasige Gleichstromverkabelung des Systems

Durch die Verbindung mehrerer Wechselrichter/Ladegeräte kann ein großer Wechselrichter/Ladegerät oder ein 3-phasiger Wechselrichter/Ladegerät entstehen. Diese Einheiten kommunizieren miteinander und werden zusammen zu einem großen Wechselrichter/Ladegerät. Sie müssen alle an die gleiche Batteriebank angeschlossen werden. Bei der Verkabelung einer solchen Anlage gibt es einige wichtige Überlegungen zu den Batteriekabeln.

Für den korrekten Betrieb ist es wichtig, dass jede Einheit genau die gleichen Spannungen erhält. Um dies zu gewährleisten, muss der Gleichstromweg von der Batteriebank zu jeder einzelnen Einheit oder von der Sammelschiene zu jeder einzelnen Einheit exakt gleich sein.

Besteht zwischen den einzelnen Einheiten eine Differenz zwischen der Kabeldicke oder der Kabellänge, so ergibt sich eine Differenz zwischen den Spannungen dieser Einheiten.

Unterschiedliche Spannungen bedeuten unterschiedliche Ströme. Die Einheit mit einer niedrigeren Spannung hat einen höheren Strom, der durch ihre Leistungselektronik fließt. Die Überlastung des Wechselrichters/Ladegeräts wird durch die Menge dieses Stroms ausgelöst. Obwohl die Leistung, die jeder Wechselrichter liefert, die gleiche ist, hat die Einheit mit der niedrigeren Spannung einen größeren Strom, der durch sie fließt und wird vor den anderen Einheiten in Überlast gehen. Die gesamte Wechselrichterleistung des Systems wird nun geringer sein, denn wenn eine Einheit in Überlast geht, hört das gesamte System auf zu funktionieren. Die Einheit mit der schlechten Verkabelung bestimmt die Leistung des gesamten Systems.

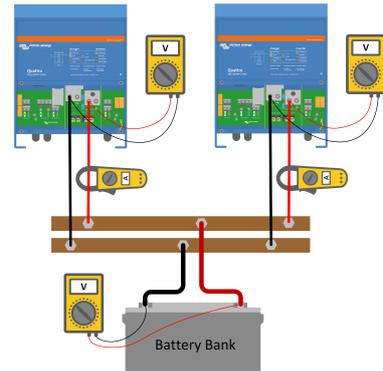


Um ein ausgewogenes System zu erreichen, müssen Sie für jede Einheit den gleichen Kabeltyp, Querschnitt und die gleiche Kabellänge von der Batteriebank oder von den Sammelschienen verwenden. Achten Sie auch darauf, dass alle Kabelschuhe identisch sind und alle Verbindungen mit dem gleichen Drehmoment angezogen werden. Erwägen Sie die Verwendung von Sammelschienen oder Stromsäulen zwischen der Batteriebank und dem Wechselrichter/Ladegerät.

Wenn Sie Sicherungen in die Installation einsetzen, sollten Sie nur eine Gleichstromsicherung pro Phase verwenden. Wenn keine große Einzelsicherung verfügbar ist, verwenden Sie eine Sicherung pro Gerät, stellen Sie aber sicher, dass alle diese Sicherungen exakt gleich sind.

Um zu überprüfen, ob ein System korrekt verdrahtet ist oder um die Verdrahtung zu unterbrechen, führen Sie diese Schritte aus:

- Laden Sie das System bis zur maximalen Belastung.
- Strom klemmt die Gleichstromkabel an jede Einheit.
- Vergleichen Sie die aktuellen Messwerte, jedes Gerät sollte ähnliche Gleichströme aufweisen.



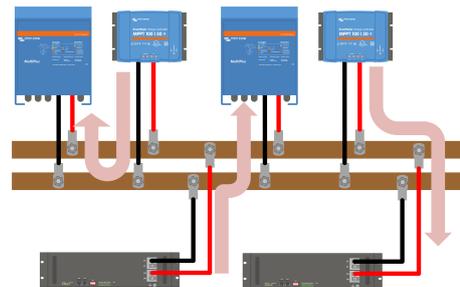
Alternativ können Sie die Spannung an der Sammelschiene oder der Batteriebank messen und mit den Spannungen vergleichen, die Sie an den Batterieklemmen der einzelnen Geräte messen. Alle diese Spannungswerte sollten identisch sein.

Weitere Informationen über Parallel- und 3-Phasen-Systeme finden Sie unter diesem Link: https://www.victronenergy.com/live/ve.bus:manual_parallel_and_three_phase_systems.

4.10. Große Systemsammelschienen

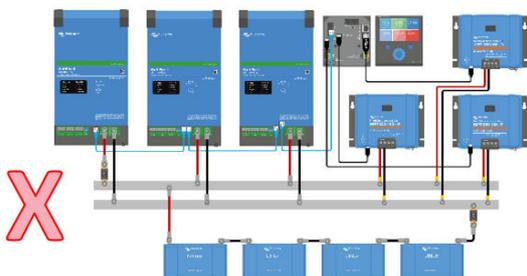
Große Installationen bestehen in der Regel aus mehreren Gleichstromverbrauchern und Gleichstromquellen. Wie mehrere Batterien, mehrere Wechselrichter/Ladegeräte und mehrere Solarladegeräte. Sie alle sind mit einer zentralen Sammelschiene verbunden. Bei der Verkabelung dieser Anlagen sind besondere Überlegungen erforderlich.

In diesen Systemen müssen Sie Sammelschienen verwenden, aber es ist trotzdem wichtig, wie und in welcher Reihenfolge alle Geräte mit der Sammelschiene verbunden sind. Es ist wichtig, dass Sie die Wechselrichter/Ladegeräte und die Solarladegeräte abwechselnd an die Sammelschienen anschließen. Der Grund dafür ist, dass dadurch der Stromfluss durch die Sammelschienen reduziert wird. Einfach ausgedrückt, kann der Strom, der von einem Solarladegerät in die Sammelschiene fließt, über einen kurzen Weg direkt in den Wechselrichter oder in eine Batterie fließen. Dieser Strom muss nicht durch die gesamte Sammelschiene fließen. Es hält den lokalen „Verkehr“ gering.

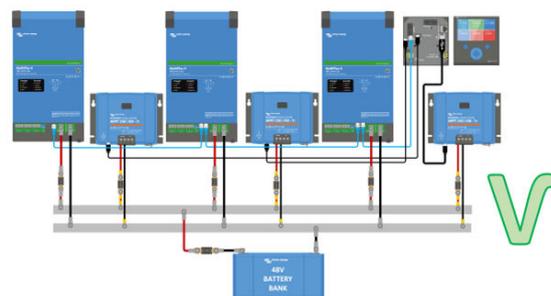


Stromfluss über die Sammelschiene.

Achten Sie bei der Verkabelung darauf, dass alle Wechselrichter/Ladegeräte die gleiche Kabellänge haben. Außerdem müssen die Solarladegeräte etwa die gleiche Kabellänge haben. Und das Gleiche gilt für die Batterien.

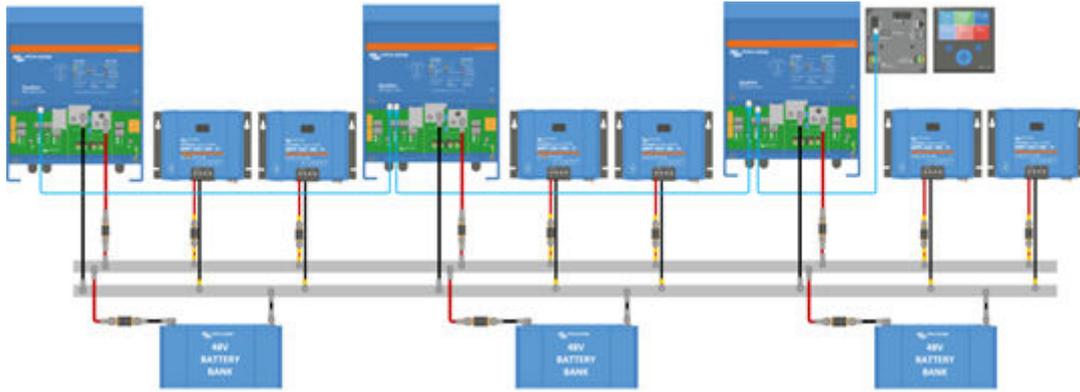


Stellen Sie nicht alle Wechselrichter/Ladegeräte auf eine Seite und die Solarladegeräte auf die andere Seite.



Kombinieren Sie die Wechselrichter/Ladegeräte und die Solarladegeräte.

Wenn das System nur eine Batteriebank hat, sollten Sie die Batteriebank in der Mitte der Sammelschienen anschließen. Bei mehreren parallelen Batteriebanken oder Smart-Batterien sollten diese aber auch gleichmäßig auf den Sammelschienen verteilt werden.



Wenn in der Anlage einzelne Batterien vorhanden sind, mischen Sie diese auch mit den Wechselrichtern/Ladegeräten und den Solarladegeräten.

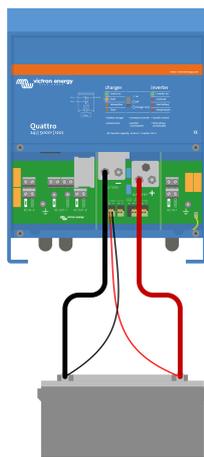
4.11. Spannungserfassung und -kompensation

Die Spannungserfassung ist eine Funktion des Batterieladegeräts. Es misst die Differenz zwischen der Spannung im Gerät und die Spannung an den Batterieklemmen. Sobald eine Differenz erkannt wird, wird die Ladespannung erhöht, um Kabelverluste während des Ladevorgangs auszugleichen. Dadurch wird sichergestellt, dass die Batterien immer mit der richtigen Spannung geladen werden. Diese Funktion kompensiert in der Regel nur Spannungsverluste bis zu 1 V. Wenn die Verluste im System größer als 1 V sind (d. h. 1 V über den Plusanschluss und 1 V über den Minusanschluss), wird das Batterieladegerät, Solarladegerät oder Wechselrichter/Ladegerät seine Ladespannung so reduzieren, dass der Spannungsabfall auf 1 V begrenzt bleibt. Der Grund dafür ist, dass bei Verlusten von mehr als 1 V die Batteriekabel zu dünn sind und keinen starken Strom übertragen können. Daher muss der Ladestrom reduziert werden.

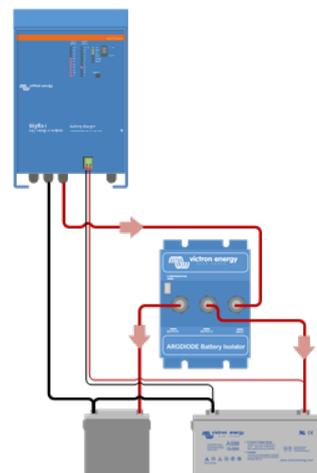
Die Spannungserfassung kann auch zum Ausgleich von Spannungsverlusten beim Einsatz von Diodenverteiltern eingesetzt werden. Ein Diodensplitter hat einen Spannungsabfall von 0,3 V über der Diode.

Einige Victron-Produkte, wie Wechselrichter/Ladegeräte oder große Ladegeräte, haben einen integrierten Spannungssensor. Für andere Produkte, wie Solarladegeräte und Smart-Batterieladegeräte, müssen Sie einen Smart Battery Sense hinzufügen.

Wenn das Produkt über eine Spannungsmessklemme (V-Sense) verfügt, können zwei Drähte von der V-Sense-Klemme direkt an den Plus- und Minuspol der Batterie angeschlossen werden. Verwenden Sie ein Kabel mit einem Querschnitt von 0,75 mm².



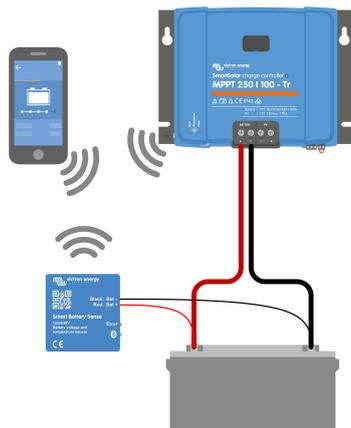
Wechselrichter/Ladegerät mit Spannungsmessung



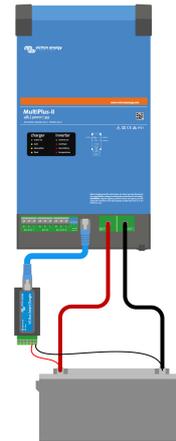
Großes Ladegerät mit Spannungsmessung und Diodensplitter

Wenn ein Wechselrichter/Ladegerät mit einem VE.Bus Smart Dongle ausgestattet ist, sind keine Verkabelungen für die Spannungsmessung erforderlich, da der Dongle die Spannungsmessung übernimmt. Weitere Informationen über den VE.Bus Smart Dongle finden Sie unter diesem Link: <https://www.victronenergy.de/accessories/ve-bus-smart-dongle>.

Wenn Sie ein Solarladegerät oder ein Smart-Ladegerät verwenden, schließen Sie eine Smart Battery Sense an die Batterie an und richten Sie ein Smart-Netzwerk über die VictronConnect App ein. Weitere Informationen über den Smart Battery Sense finden Sie unter diesem Link: <https://www.victronenergy.de/accessories/smart-battery-sense>.



Smart Battery Sense



VE.Bus Smart Dongle

Spannungsmessung in einem Energiespeichersystem (ESS) mit einem Gleichstromsolarladegerät

In einem ESS-System (Energiespeichersystem), das nur Gleichstromsolarladegeräte (ohne netzeinspeisende Wechselrichter) enthält, ist das Ladegerät des Wechselrichters/Ladegeräts deaktiviert. Der Grund dafür ist, dass das Solarladegerät die Batterie lädt und überschüssiger Solarstrom in das Netz zurückgespeist wird. Dieser Prozess wird von dem GX-Gerät gesteuert. Damit dies funktioniert, stellt das GX-Gerät das Solarladegerät auf eine höhere Gleichspannung ein als die Gleichspannung des Wechselrichters/Ladegeräts.

Wenn die Batterie fast voll geladen ist, ist die Batteriespannung etwas höher als die Gleichspannung des Wechselrichters/Ladegeräts. Dies ist das "Zeichen" für den Wechselrichter/Lader, um diese "Überspannung" zu reduzieren. Dies geschieht durch die Einspeisung von Strom in das Netz. In einem 48 V-System wird diese Überspannung auf 0,4 V eingestellt, in einem 24 V-System auf 0,2 V.

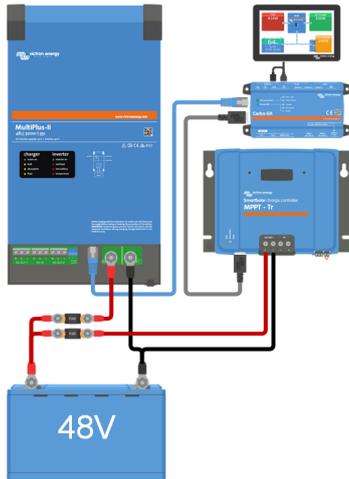
Damit dieser Prozess ordnungsgemäß funktioniert, ist es wichtig, dass die Batterie die richtige Spannung vom Solarladegerät erhält. Besondere Sorgfalt ist bei der Gestaltung und Platzierung der Gleichstromverkabelung, Sicherungen und Anschlüsse geboten, da sie einen Spannungsabfall im System verursachen können.

Ein Spannungsabfall kann die "Überspannung" reduzieren, die der Wechselrichter/Lader benötigt, bevor er Strom ins Netz einspeisen kann.

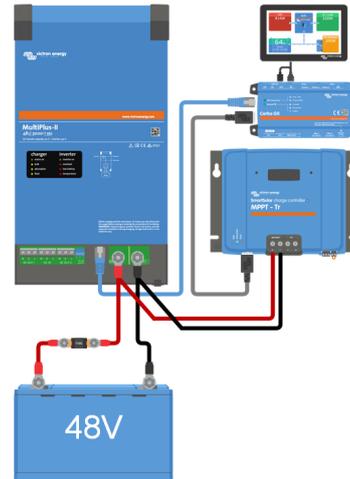
Beispiel für ein ESS-System mit einem 100 A-Solarladegerät, zwei 1 Meter langen, 35 mm² dicken Kabeln und einer 150 A-Sicherung:

- Der Widerstand der Anschlüsse beträgt 0,35 mΩ.
- Der Widerstand einer 150 A-Sicherung beträgt 0,35 mΩ.
- Der Widerstand eines 2 m langen Kabels beträgt 1,08 mΩ.
- Der Gesamtwiderstand beträgt 1,78 mΩ.
- Der Spannungsabfall bei 100 A beträgt 178 mV

Die Lösung besteht darin, ein Solarladegerät mit automatischer Kompensation des Spannungsabfalls (Spannungsmessung) zu verwenden. Dadurch wird die Ausgangsspannung des Solarladegeräts mit zunehmendem Strom leicht ansteigen. Wenn das Solarladegerät jedoch nicht über eine Spannungsmessung verfügt, ist es am besten, das Solarladegerät direkt an den Wechselrichter/Ladegerät anzuschließen.



ESS-System mit Anschluss eines Solarladegeräts an die Batterie.



ESS-System mit Anschluss eines Solarladegeräts an die Batterie.

4.12. Solar

Solarpaneele dürfen nicht direkt an eine Batterie angeschlossen werden. Ein Solarladegerät muss zwischen den Solarpaneelen und den Batterien platziert werden. Das Solarladegerät wandelt die höhere Spannung des Solarpaneels in eine Spannung um, die zum Laden der Batterie geeignet ist. Wenn ein Solarmodul direkt an eine Batterie angeschlossen wird, wird die Batterie beschädigt.

Sicherheit:

In Abhängigkeit von den örtlichen Vorschriften muss möglicherweise eine Sicherung, ein Stromkreisunterbrecher, ein FI-Schutzschalter oder ein FI-Schalter zwischen der PV-Anlage und dem Solarladegerät installiert werden.

MC4-Steckverbinder:

Um Solarmodule an ein Solarladegerät anzuschließen, ist das Solarmodul in den meisten Fällen mit speziellen wasserdichten Steckverbindern ausgestattet, meist sind dies MC4-Stecker. Diese Steckverbinder gibt es in 2 Varianten, nämlich einen Stecker und eine Buchse.

Der Stecker wird mit dem vom Solarpaneel kommenden Pluskabel und die Buchse mit dem Minuskabel verbunden.

Falls die Solarkabel nicht lang genug sind, muss ein Verlängerungskabel verwendet werden. Das Verlängerungskabel ist oft mit MC4-Steckern vorkonfektioniert. Ein Solarkabel ist an einem Ende mit einem Stecker und am anderen Ende mit einer Buchse ausgestattet. So:

MC4-Steckverbinder können an 4 mm² oder 6 mm² dicke Solarkabel angeschlossen werden.



Solarkabel. Links ist der MC4-Stecker und rechts die MC4-Buchse zu sehen.

Typen von Solarkabeln:

Ein Solarkabel ist ein Spezialkabel. Es ist ein sehr robustes Kabel und wurde für den Außeneinsatz in Solarpanelinstallationen entwickelt. Es ist staub-, alterungs- und UV-beständig und hat verzinnte Kupferdrähte.

Ein Solarkabel für kleine PV-Anlagen, wie z. B. für Automobil- oder Schiffsanwendungen, ist oft ein zweiadriges Kabel. Auch hier gilt, dass das Kabel UV-tauglich sein und verzinnte Kupferdrähte aufweisen muss.



Ein Solarkabel für kleine PV-Anlagen, wie z. B. für Automobil- oder Schiffsanwendungen, ist oft ein zweiadriges Kabel. Auch hier gilt, dass das Kabel UV-tauglich sein und verzinnnte Kupferdrähte aufweisen muss.



Kabelstärke:

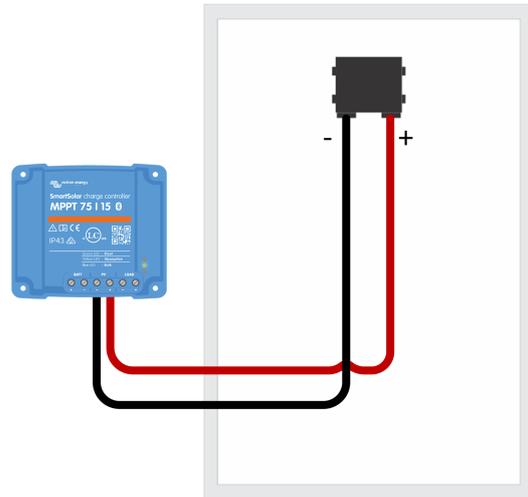
Die Kabelstärke des Solarkabels hängt von der Größe des Solarfelds und der jeweiligen Spannung ab. Dadurch wird der Strom und damit die Kabeldicke bestimmt. Weitere Informationen hierzu finden Sie in Kapitel [Kabelauswahl \[22\]](#).

Anschluss an ein Solarpanel:

Solarladegeräte werden in zwei Modellen angeboten, entweder mit MC4-Steckverbindern oder mit Schraubverbindern auf der PV-Seite. So werden sie an eine Solarpaneele angeschlossen, von der Rückseite der Solarpaneele aus gesehen:

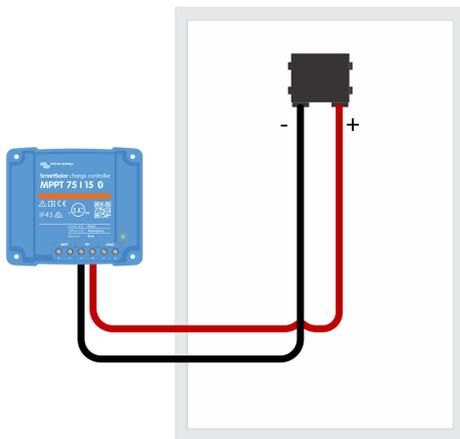


Solarladegerät mit MC4-Steckverbindern.

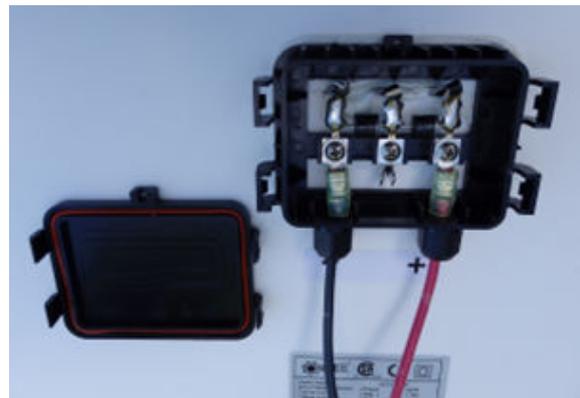


Solarladegerät mit Schraubverbindern.

In manchen Fällen ist das Solarpanel nicht mit Kabeln versehen. Diese müssen Sie dann selbst anbringen. Öffnen Sie dazu den Anschlusskasten auf der Rückseite des Panels und schließen Sie die Kabel dort an. Sie können Solarkabel mit oder ohne MC 4-Stecker verwenden. Wenn Sie das Solarpanel direkt mit dem Solarladegerät verkabeln, dann sieht die Installation wie folgt aus:



Anschluss eines Solarladegeräts an ein Solarpanel ohne Verwendung von MC4-Steckverbindern.



Anschlussdose für Solarpaneele.

Solaranlagen:

In vielen Solaranlagen reicht ein Solarpaneel nicht aus. In diesem Fall muss eine Solaranlage oder eine Photovoltaikanlage (PV) erstellt werden. Eine Solaranlage besteht aus mehreren Solarpaneelen, die miteinander verbunden sind.

Wenn Sie Solarpaneele in Reihe schalten, steigt die Spannung und wenn Sie sie parallel schalten, steigt der Strom. Das Gleiche gilt für den Aufbau einer Batteriebank mit einzelnen Batterien.

MC4-Splitter:

Um parallele Anschlüsse zu vereinfachen, verwenden Sie MC4-Solarsplitter. Es gibt zwei Arten:



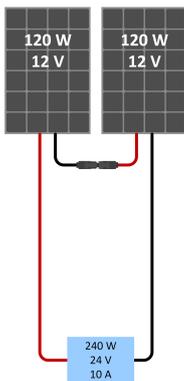
MC4-Y – 1 Stecker und zwei Buchsen.



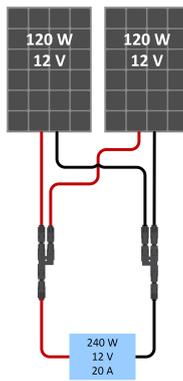
MC4-Y – 1 Buchse und 2 Stecker.

Beispiele für die Verkabelung von Solaranlagen

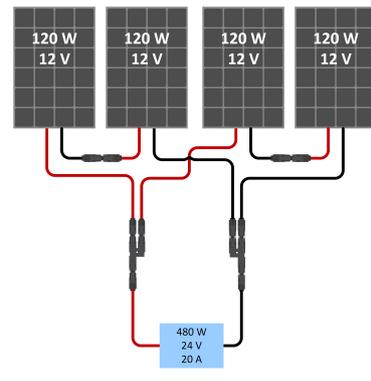
Einige Beispiele für die Verkabelung von Solaranlagen mit MC4-Splittern, die in Reihe, parallel und in Reihe/Parallel geschaltet sind.



In Serie geschaltete Solaranlage.



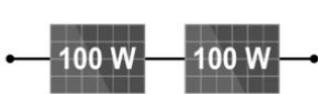
Parallel geschaltete Solaranlage.



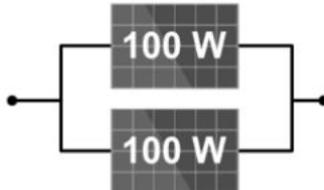
Solaranlage in Serie/
Parallelschaltung.

Gesamtleistung der Solaranlage

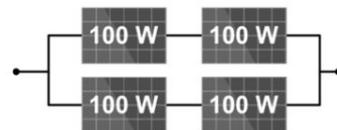
Um die Gesamtleistung einer Solaranlage zu bestimmen, müssen Sie einfach die Leistung jedes Moduls addieren, egal ob sie parallel oder in Reihe geschaltet sind:



200 W-Solaranlage.



200 W-Solaranlage.



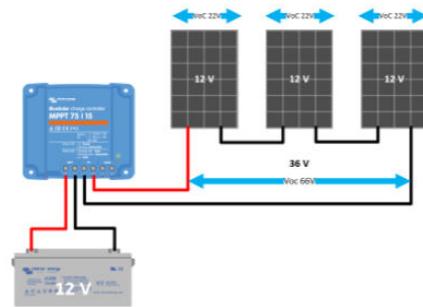
400 W-Solaranlage.

Gesamtspannung der Solaranlage:

Bei der Konstruktion einer Solaranlage müssen Sie darauf achten, dass die Leerlaufspannung (Voc) der Solaranlage die Spannungswerte des MPPT nicht überschreitet. Hier finden Sie weitere Informationen zur Planung einer Solaranlage:

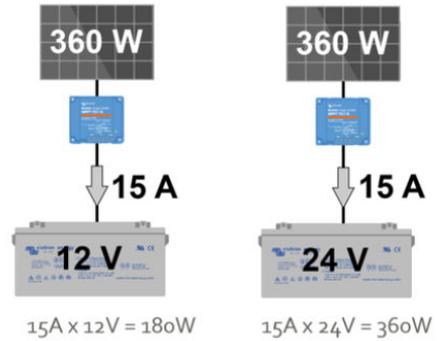
Ein Beispiel für die Spannung einer Anlage, wenn die Module in Reihe geschaltet sind:

Wenn Sie sich die Spezifikationen eines 12-V-Solarpaneels ansehen, werden Sie feststellen, dass der Voc bei etwa 22 V liegt. Bei einem 75/15-MPPT-Solarladegerät kann die Solarspannung bis zu 75 V betragen. Auf diese Weise können Sie bis zu 3 x 12 V Paneels in Serienschaltung schalten.



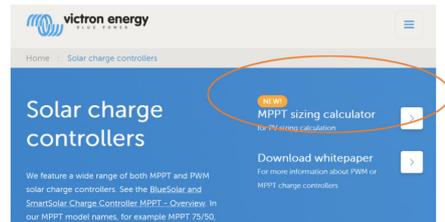
Hinweis zum MPPT-Ladestrom bei verschiedenen Batteriespannungen:

Beispiel: Bei einem 75/15-MPPT-Solarladegerät beträgt der Nennstrom 15 A. Dies ist der Strom, der in die Batterie fließt. Das bedeutet, dass Sie mit einer 12-V-Batterie weniger Strom in die Batterie bekommen als mit einer 24-V-Batterie.



Um Ihnen zu helfen, eine Solaranlage zu entwerfen und sie an das richtige Solarladegerät anzupassen:

Verwenden Sie den Victron MPPT-Größenrechner, siehe hier: <https://www.victronenergy.de/solar-charge-controllers>.



5. Kommunikationsverdrahtung

Geräte in modernen Systemen müssen miteinander oder mit einem Steuer- oder Überwachungsgerät kommunizieren können. Um die Kommunikation zu ermöglichen, werden Kommunikationskabel benötigt. Sie senden Informationen von einem Gerät zu einem anderen Gerät. Nicht selten handelt es sich dabei um missionskritische Kommunikation. Wenn das Kabel ausfällt, stoppt die Kommunikation und das System kann den Betrieb einstellen.

Einige Beispiele für Kommunikationskabel, die in Wechselrichter/Ladegeräte-Systemen verwendet werden:

- Kommunikationskabel zwischen mehreren Wechselrichtern oder Wechselrichter/Ladegeräten zum Aufbau eines parallelen und/oder 3-phasigen Systems.
- Kommunikationskabel zur Steuerung von Geräten, z. B. zwischen einer Solarladung und dem Color Control GX oder einem anderen GX-Gerät.
- Kommunikation zwischen einem Messgerät und einem Überwachungsgerät, wie dem BMV-Shunt und dem BMV-Hauptgerät, oder zwischen einem Temperatursensor und einem Wechselrichter/Ladegerät.
- Internet- oder Netzwerkkabel.
- Zwei Draht-Signal- oder Steuerkabel, z. B. zwischen einem Alarmrelais und einem Generator-Autostart, oder einem Fahrzeugzündschalter und einem DC/DC-Wandler, oder zwischen einer Batterie BMS und einem BatteryProtect.

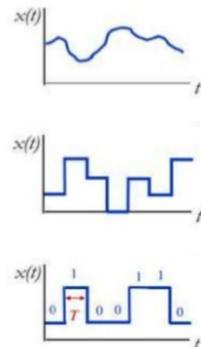
5.1. Datensignale

Ein Datensignal ist ein Signal, das sich mit den gesendeten Informationen ständig ändert. Es kann analog oder digital sein.

Die Signale in Kommunikationskabeln können beliebige dieser Art sein. Diese Signale haben eine geringe Spannung und einen geringen Strom. Oft nicht mehr als 5 V.

Die verschiedenen Signaltypen:

- Analoges Signal: Die Spannung kann einen beliebigen Wert haben und es besteht eine direkte Korrelation zwischen Spannung und Wert.
- Digitales Signal: Die Spannung des Signals ist auf einen endlichen Satz von Spannungen begrenzt.
- Binäres Signal: Es gibt nur zwei Spannungswerte. Das Signal stellt eine Ein-/Ausschaltbedingung dar oder dient zur Übertragung von Daten durch das Senden von Folgen von Einsen und Nullen.



5.2. Störungen

Wie bei allen Verkabelungen ist es wichtig, dass die Kommunikationskabel von guter Qualität sind. Außerdem müssen ihre Stecker von guter Qualität sein und korrekt am Kabel gecrimpt worden sein. Es spielt auch eine Rolle, wie gut die Verbindung zur Empfangsbuchse ist.

Kommunikationskabel tragen Niederspannungssignale mit niedrigem Strom. Wenn diese Signale über eine Entfernung reisen, kann es natürlich zu einem Spannungsabfall kommen, aber das ist nicht so häufig, da diese Signale nur einen sehr geringen Strom führen. Spannungsabfälle sind normalerweise kein Problem, es sei denn, die Kabel sind sehr lang.

Ein weiterer Aspekt ist jedoch entscheidend für Kommunikationskabel, wenn Niederspannungssignale über eine große Entfernung gesendet werden, und das sind Störungen.

Die verschiedenen Störungsarten und deren Ursachen:

- Elektromagnetische Störungen – von Generatoren, Transformatoren, Elektromotoren und Messerschaltern.
- Hochfrequenzstörungen - von Funksendequellen, Radar und schlecht abgeschirmten Geräten.
- Elektrostatische Störungen - durch statische Elektrizität.
- Übersprechstörungen - Störungen durch benachbarte Kabel.
- Häufige Störungen - verursacht durch Stromfluss zwischen verschiedenen Potentialmassen in einem System.

In den ersten 4 Fällen fungiert das Kabel als Antenne und empfängt diese Störungen. Die Störung induziert zusätzliche Elektrizität in den Kommunikationskabeln. Dadurch verändert sich die Spannung des Signals, was zu einer Veränderung der gesendeten Daten führt und die Kommunikation stört oder beeinträchtigt.

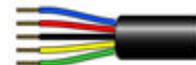
In wirklich schlechten Fällen, in denen es zu vielen Störungen oder Erdungsproblemen kommt, können die Spannungen im Kabel so hoch werden, dass sie die Kommunikationsschaltung in den Geräten, die mit dem Kommunikationskabel verbunden sind, beschädigen.

Es gibt Möglichkeiten, Störungen zu begrenzen oder zu verhindern, diese sind:

- Kabel kurz halten.
- Verdrillte Kabel verwenden.
- Geschirmte Kabel verwenden.

Ungeschirmte und ungedrehte Kabel:

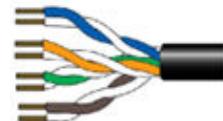
Diese Kabel sind sehr störanfällig. Und deshalb haben sie eine Längenbegrenzung. Diese beträgt ca. 10 Meter. Aus diesem Grund verkaufen wir keine VE.Direct-Kabel, die länger als 10 Meter sind. Das VE.Direct-Kabel ist ein ungeschirmtes und ungedrehtes Kabel.



*Ungeschirmt,
ungedreht.*

Verseilte Kabel:

Zwei Leiter einer einzelnen Schaltung werden miteinander verdreht. Dies verbessert die Ablehnung elektromagnetischer Störungen und macht das Kabel weniger anfällig für Übersprechen durch benachbarte Kabel.



Ungeschirmt, verseilt.

Kabelschirmung:

Eine Metallfolie oder -geflecht bedeckt eine Gruppe von Kabeln oder kann sogar verdrehte Paare bedecken.



Folienschirm



Geflechtschirm



*Mehrfache
Abschirmung*

5.3. Typen von Kommunikationskabeln

Dieser Abschnitt enthält eine kurze Auswahl häufig verwendeter Kommunikationskabeltypen, wie sie in Wechselrichter-/Ladesystemen verwendet werden.

Typen von Kommunikationskabeln:

Gerades RJ45-UTP-Kabel:

Dieses Kabel wird für Computernetzwerke, Internet, Ethernet, aber auch für Wechselrichter/Ladegeräte verwendet, um miteinander und mit einem Steuergerät, wie dem multifunktionalen Bedienungspanel oder einem GX-Gerät, zu kommunizieren.

Dieses Kabel besteht aus 8 Adern. In einem geraden Kabel verbinden Sie Pin 1 auf der einen Seite mit Pin 1 auf der anderen Seite, Pin 2 mit Pin 2 und so weiter.

Um zu testen, ob das Kabel richtig verdrahtet ist, verwenden Sie einen Kabeltester. Victron verwendet dieses Kabel für VE.Bus- und VE.Can-Produkte. Es wurde auch für die inzwischen veralteten VE.Net-Produkte verwendet.

In der Vergangenheit hatten diese Kabel in der Regel eine blaue Farbe, aber in letzter Zeit sind mehr verschiedenfarbige Kabel erschienen. Victron fertigt Kabel unterschiedlicher Länge wie andere Hersteller. Für weitere Informationen siehe: <https://www.victronenergy.de/cables/rj45-utp-cable>.

Es wird nicht empfohlen, diese Kabel selbst herzustellen. Ein schlecht gecrimpter Steckverbinder kann die Ursache für schwer zu diagnostizierende Systemfehler sein.

Um ein RJ45-Kabel zu testen, ersetzen Sie zuerst das Kabel und sehen Sie nach, ob das Problem behoben ist. Eine weitere Fehlerquelle ist, wenn der RJ45-Stecker nicht richtig in die RJ45-Buchse gesteckt ist oder wenn die Kontakte der RJ45-Buchsen ihre Federkraft verloren haben und keinen guten Kontakt mehr haben.



Achten Sie auf gekreuzte RJ45-Kabel. Sie sehen aus wie ein normales "gerades" RJ45 UTP-Kabel. Diese wurden in alten Computernetzwerken oder bei anderen Wechselrichterherstellern eingesetzt. Es kann sehr ungünstig sein, wenn eines dieser Kabel dort verwendet wird, wo ein gerades Kabel hätte verwendet werden sollen. Diese Kabel können nicht für Victron-Geräte verwendet werden.

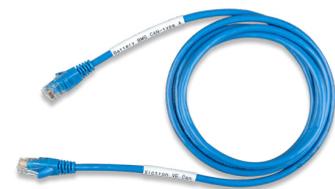
Einige Victron-Produkte haben nur einen einzigen RJ45-Steckverbinder. Verwenden Sie in diesem Fall einen RJ45-Splitter. Für weitere Informationen siehe: <https://www.victronenergy.de/cables/rj45-splitter>.

**RJ45-Abschlusswiderstand:**

Wird verwendet, um ein CAN-bus-Netzwerk mit Verkettung zu beenden. Ein Abschlusswiderstand wird am ersten Element in der Kette und einer am letzten Element in der Kette platziert. Sie werden als Paar geliefert, da ein VE.Can-System immer zwei Abschlusswiderstände benötigt. Für weitere Informationen siehe: <https://www.victronenergy.de/accessories/ve-can-rj45-terminator>.

**RJ45-Kabel mit speziellen Pinbelegungen.**

Sie sehen aus wie normale „gerade“ RJ45 UTP-Kabel, wurden aber für einen bestimmten Zweck neu verdrahtet. Diese Kabeltypen sind für spezielle Anwendungen geeignet. Sie haben oft nur eine einzige Anwendung. Im Falle von Victron werden sie zwischen einer intelligenten Batterie und einem Color Control GX oder einem anderen GX-Gerät eingesetzt. Die Kennzeichnung der Kabel ist sehr wichtig. Das Etikett muss angeben, wie das Kabel intern verdrahtet ist. Das bedeutet, dass diese Kabel zu einem späteren Zeitpunkt nicht in einem regulären System landen, wo sie möglicherweise einen Kommunikationsfehler verursachen können. Für weitere Informationen siehe: <https://www.victronenergy.de/cables/ve-can-to-can-bus-bms>.

**RJ12-UTP-Kabel:**

Diese werden zwischen dem BMV-Shunt und der BMV-Haupteinheit verwendet. Dies ist ein Kabel mit 6 Leitern. Diese Kabel werden normalerweise zum Senden digitaler Daten verwendet, aber das BMV verwendet sie zum Senden analoger Daten. Das BMV wird mit einem dieser Kabel geliefert. Victron fertigt Kabel in verschiedenen Längen, wählen Sie eines davon, wenn ein maßgeschneidertes Kabel benötigt wird. Verwenden Sie wie beim RJ45-Kabel nur vorgefertigte Kabel. Wir empfehlen nicht, dass Sie dieses Kabel selbst herstellen. Zu oft ist ein schlecht gecrimpter Stecker die Ursache für ein schwer zu diagnostizierendes seltsames Systemverhalten. Kabel mit RJ12-Anschlüssen werden auch häufig für Telefone verwendet. Bei einem Telefonkabel sind jedoch nicht alle 6 Adern vorhanden. Außerdem ist das Telefonkabel nicht verdreht. Sie können nicht für ein BMV verwendet werden. Für weitere Informationen siehe: <https://www.victronenergy.de/cables/rj12-utp-cable>.



VE.Direct-Kabel:

Dies ist ein 4-adriges Datenkabel. Dies ist ein spezielles Kabel zur Überwachung oder Steuerung bestimmter Victron-Produkte wie BMV oder MPPT. Für weitere Informationen siehe: <https://www.victronenergy.de/cables/ve.direct.cable>.

**Signal- oder Verbindungsdraht:**

Dabei handelt es sich meist um einen dünnen Draht, in der Regel nicht dicker als 1,5 mm². Sie sind als Kabel in einer Vielzahl von Farben und mit einzelnen, doppelten oder mehreren Leitern erhältlich. Diese Kabel übertragen in der Regel analoge Signale mit geringem Strom oder Ein/Aus-Signale.

Verwenden Sie für Schiffsanwendungen Draht mit verzinnten Kupferlitzen.

**NMEA 2000-Kabel und -Steckverbinder:**

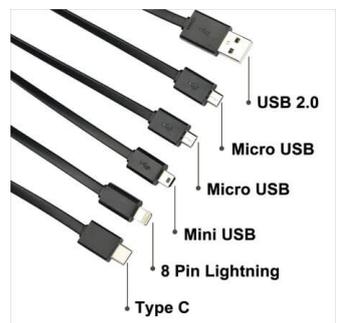
Werden in CAN-bus-Datennetzwerken für Schiffsanwendungen verwendet. Diese Verkabelung besteht aus einem speziellen Datenkabel für Schiffsanwendungen und wasserdichten Steckverbindern, T-Stücken und Abschlusswiderständen. Weitere Informationen finden Sie auf Wikipedia.

**RS485-Kabel:**

Wird für die serielle Kommunikation verwendet. Im Falle von Victron wird es für die Kommunikation zwischen Energiezählern und einem GX-Gerät verwendet. Weitere Informationen zu RS485 finden Sie auf Wikipedia.

**USB-Kabel:**

Erhältlich in einer Vielzahl von Typen. Victron verwendet hauptsächlich den Typ-A-Stecker. Weitere Informationen über USB Sie auf Wikipedia.



5.4. Schnittstellen

Schnittstellen sind kleine Geräte, die ein Datenprotokoll in ein anderes Datenprotokoll übersetzen. Sie sind oft in einem Kabel verdrahtet oder befinden sich an einem Ende eines Kabels.

Beispiele für einige Victron-spezifische Schnittstellen:

<p>MK3 zu USB-Schnittstelle:</p> <p>Wird verwendet, um einen Computer mit einem VE.Bus-Produkt zu verbinden. Die MK3 hat die MK2-Schnittstelle ersetzt. Die MK2 kann weiterhin verwendet werden, wird aber nicht empfohlen. Ziehen Sie ein Upgrade auf eine MK3 ernsthaft in Betracht.</p> <p>Weitere Informationen finden Sie unter: https://www.victronenergy.de/accessories/interface-mk3-usb</p>	
<p>VE.Direct auf USB-Schnittstelle:</p> <p>Wird verwendet, um einen Computer mit einem VE.Direct-Produkt zu verbinden oder um ein VE.Direct-Produkt mit einem USB-Anschluss eines GX-Geräts zu verbinden.</p> <p>Weitere Informationen finden Sie unter: https://www.victronenergy.de/accessories/ve-direct-to-usb-interface</p>	
<p>RS485 zu USB-Schnittstelle:</p> <p>Wird verwendet, um einen Energiezähler an ein GX-Gerät anzuschließen.</p> <p>Weitere Informationen finden Sie unter: https://www.victronenergy.de/accessories/rs485-to-usb-interface</p>	
<p>VE.Can zu NMEA 2000 Micro-C-Steckerkabel</p> <p>Wird verwendet, um ein VE.Can-Produkt an ein NMEA 2000-Netzwerk anzuschließen.</p> <p>https://www.victronenergy.de/accessories/ve-can-to-nmea2000-micro-c-male</p>	

Das gesamte Angebot an Victron-Schnittstellen finden Sie auf der Victron-Zubehörproduktseite unter: <https://www.victronenergy.de/accessories>.

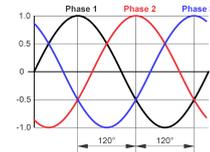
6. Wechselstromverkabelung

Dieses Kapitel befasst sich mit der Erzeugung von Wechselstrom, der Verteilung, der Kabeldimensionierung und der Verkabelung von Wechselrichter-/Ladegerätesystemen.

6.1. Stromerzeugung

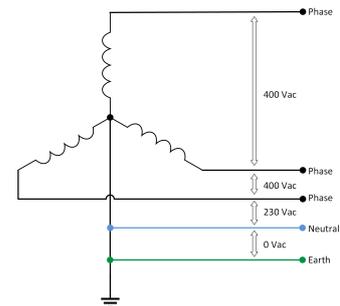
Der Generator in einem Kraftwerk erzeugt 3-Phasen-Strom.

Jede dieser 3 Phasen hat eine Wechselspannung von 230 Volt (oder eine je nach Land unterschiedliche Spannung). Die Spannung wechselt mit einer Frequenz von 50 (oder 60) Hz. Und weil sich die Spulen im Generator drehen, gibt es zwischen den einzelnen Phasen eine Phasenverschiebung von 120° .



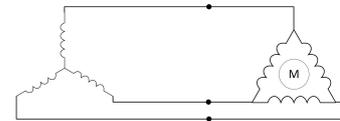
Die 3 Spulen sind miteinander verbunden und bilden eine Dreifachschaltung, eine sogenannte Sternkonfiguration. Eine einzelne Spule (Phase) hat ein Potential von 230 VAC. Und zwischen zwei Spulen entsteht eine zweite Potentialebene. Durch die 120° Phasenverschiebung beträgt das Potential 400 VAC.

Um die Phasen getrennt nutzen zu können, wird der gemeinsame Punkt (Sternpunkt) mit einem Leiter namens „Neutral“ verbunden. Zwischen dem Neutraleiter und einer der Phasen liegt eine Spannung von 230 VAC vor. Der Neutraleiter ist ein Leiter, der von allen 3 Phasen verwendet werden kann und in 3 separaten Stromkreisen verwendet werden kann.



Der Sternpunkt wirkt als Neutraleiter in einer elektrischen Hausinstallation. Die Funktion des Neutraleiters besteht darin, eine getrennte Verwendung jeder Phase zu ermöglichen, und jede Phase kann als individuelle 230 VAC-Versorgung verwendet werden. Der Neutraleiter ist auch mit einem in den Boden getriebenen Metallstab, dem sogenannten Erdspeiß, verbunden. Auf diese Weise beträgt das Potential der Erde 0 Volt. Diese Verbindung wird als Erde bezeichnet.

Eine 3-phasige Last, wie ein 3-phasiger Elektromotor, verwendet Strom aus allen 3 Phasen. Der Neutraleiter hat keine Funktion, da die 3 Stromkreise sich gegenseitig im Gleichgewicht halten. Nur wenn eine der Phasen mehr Last verbraucht als die anderen, beginnt der Neutraleiter, Strom zu leiten. Dieser Strom wird als „Ausgleichs- oder Ausgleichsstrom“ bezeichnet.



Bei der Aufstellung von 3-Phasen-Wechselrichtern/Ladegeräten müssen diese sternförmig aufgestellt werden. Sie müssen einen gemeinsamen Neutraleiter haben. Delta ist nicht zulässig. Das 3-phasige Wechselrichter/Ladesystem kann jedoch eine „Delta“-konfigurierte Last versorgen.

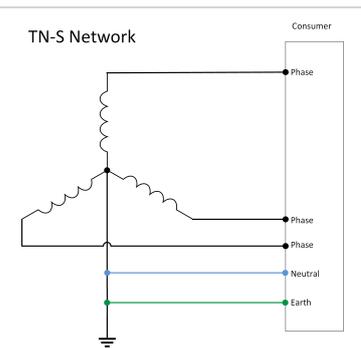
Ungleiche Belastung ist kein Problem, wenn die Wechselrichter/Ladegeräte im Umkehrmodus arbeiten, aber es kann ein Problem sein, wenn sie im Durchlaufmodus arbeiten und an einen Generator angeschlossen sind, der nicht mit einer unausgewogenen Last umgehen kann.

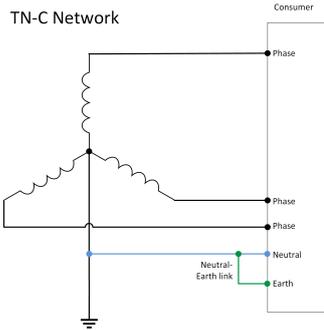
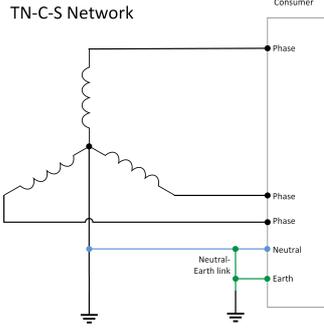
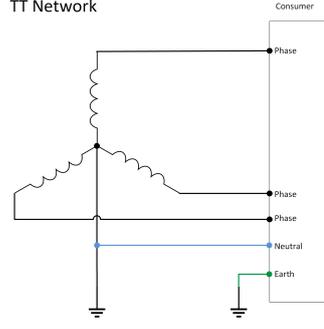
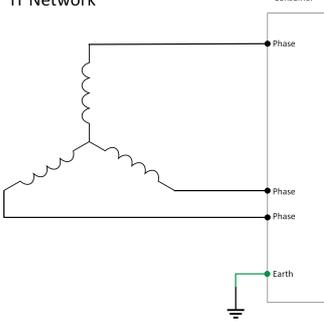
6.2. Verteilnetze

Es gibt verschiedene Möglichkeiten, wie Strom an den Verbraucher verteilt wird. Und verschiedene Möglichkeiten, wie das Verbrauchersystem verbunden ist. Alle Netzwerke liefern die 3 Phasen, aber die Art und Weise, wie Neutraleiter und Erde verbunden sind, variiert je nach Netzwerktyp.

TN-S-Netz

- Der Generator-Sternpunkt ist mit dem Neutraleiter und mit der Erde verbunden.
- Die Phasen, Neutraleiter und Erde, sind verteilt.
- Der Verbraucher verwendet die zugeführten Phasen Neutraleiter und Erde.
- Neutraleiter und Erde sind nicht miteinander verbunden.



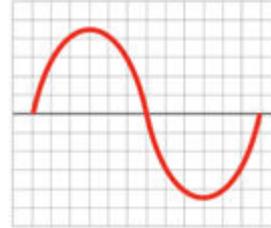
<p>TN-C-Netz</p> <ul style="list-style-type: none"> • Der Generator-Sternpunkt ist mit dem Neutralleiter und mit der Erde verbunden. • Die Phasen und eine kombinierte neutrale Erde sind verteilt. • Der Verbraucher teilt den ankommenden Neutralleiter und die Erde auf (MEN-Link). • Der Verbraucher nutzt die zugeführten Phasen und den neu geschaffenen Neutralleiter und die Erde. 	<p>TN-C Network</p> 
<p>TN-C-S-Netz</p> <ul style="list-style-type: none"> • Der Generator-Sternpunkt ist mit dem Neutralleiter und mit der Erde verbunden. • Die Phasen und eine kombinierte neutrale Erde sind verteilt. • Der Verbraucher teilt den ankommenden Neutralleiter und die Erde auf (MEN-Link). • Der Verbraucher verbindet die Erde mit einem Erdpfahl. • Der Verbraucher nutzt die zugeführten Phasen und den neu geschaffenen Neutralleiter und die Erde. 	<p>TN-C-S Network</p> 
<p>TT-Netz</p> <ul style="list-style-type: none"> • Der Generator-Sternpunkt ist mit dem Neutralleiter und der Erde verbunden. • Die Phasen und der Neutralleiter sind verteilt. • Der Verbraucher verwendet die gelieferten Phasen und den Neutralleiter. • Der Verbraucher schafft über einen Erdpfahl eine lokale Erde. 	<p>TT Network</p> 
<p>IT-Netz</p> <ul style="list-style-type: none"> • Der Generator-Sternpunkt ist nicht mit Neutralleiter und Erde verbunden. • Die Phasen sind verteilt. • Der Verbraucher verwendet die gelieferten Phasen. • Der Verbraucher stellt eine lokale Erdung her. 	<p>IT Network</p> 

6.3. Systemstrom VA und Watt

Um Sicherungen, Leitungsgröße oder Wechselrichtergröße korrekt berechnen zu können, müssen Sie wissen, wie groß der Strom im Wechselstromkreis ist. Um den Strom richtig berechnen zu können, gibt es einen Aspekt der Wechselstromleistung, der erklärt werden muss, nämlich Watt und VA. Wie bereits erläutert, bedeutet AC-Strom Wechselstrom. Sowohl die Spannung als auch der Strom haben keinen konstanten Wert wie Gleichstrom, aber sie wechseln von positiv, zu negativ, zu positiv und so weiter. Dies geschieht 50 Mal pro Sekunde in einem 50 Hz-System und 60 Mal pro Sekunde in einem 60 Hz-System. Die Wellenform ist eine Sinuswelle.



DC voltage (DC-Stromspannung)

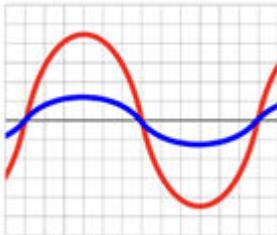


Wechselspannung

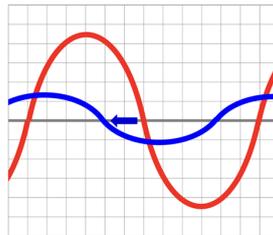
In einem Wechselstromkreis wechselt nicht nur die Spannung, sondern auch der Strom. In einem resistiven System wechseln sie sich gleichzeitig ab. Wenn die Schaltung jedoch nicht-widerstandsfähige Lasten enthält, kann die aktuelle Sinuswelle hinter der Spannungs-Sinuswelle zurückbleiben oder vor der Spannungs-Sinuswelle liegen. Die drei verschiedenen Arten von Lasten sind:

1. Resistive Lasten sind Lasten mit resistiven Elementen, wie z. B.: Heizungen, Glühlampen, Toaster, Haartrockner und so weiter.
2. Induktive Lasten sind Lasten mit Spulen, wie Elektromotoren oder Transformatoren. Beispiele sind: Kühlschränke, Kompressoren, Klimaanlage, Leuchtstoffröhren.
3. Kapazitive Lasten sind Lasten, die Kondensatoren enthalten, z. B. Kondensatorbänke, Batterieladegeräte, USV-Geräte.

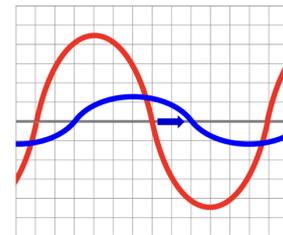
Die folgenden Bilder zeigen das Verhalten der Spannung (rot) und des Stroms (blau) in einem Wechselstromkreis mit unterschiedlichen Lasttypen.



1: Widerstandslast, aktiv, Strom und Spannung sind in Phase



2: Induktive Last – reaktiv passiv, der Strom liegt hinter der Spannung zurück



3: Kapazitive Last – reaktiv passiv, die Spannung liegt hinter dem Strom zurück

Watt ist die tatsächliche Leistung, die von den Geräten aufgenommen wird. Die Nennleistung in Watt bestimmt die tatsächlich vom Energieversorger bezogene Leistung, den von einem Generator verbrauchten Diesel oder die von den Geräten erzeugte Wärmebelastung.

VA ist die „Scheinleistung“ und ist das Produkt aus der Spannungs- und Stromaufnahme des Gerätes. Der VA-Wert wird für die Dimensionierung von Leitungen, Leistungsschaltern, Wechselrichtern oder Generatoren verwendet.

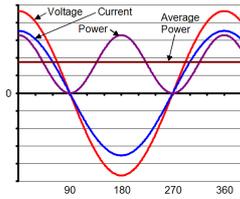
In einem rein resistiven Wechselstromkreis sind Spannungs- und Stromwellen in einem Schritt (oder in Phase) miteinander verbunden. Zur Berechnung des Stroms kann diese Formel verwendet werden:

$$\text{Current} = \text{Power}/\text{Voltage}$$

$$I = P/V$$

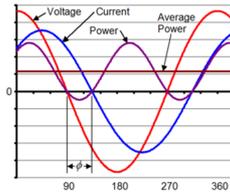
Der Leistungsfaktor beträgt bei einem rein resistiven System 1. Wenn ein Wechselstromkreis Lasten wie Induktivitäten oder Kondensatoren enthält, kommt es zu einer Phasenverschiebung zwischen den Strom- und Spannungswellen. Beide Wellen sind nicht mehr im Schritt (in Phase).

Wenn Sie die Wellen betrachten, werden Sie bei der Berechnung der Leistung feststellen, dass die wahre Leistung (W) kleiner ist als die Scheinleistung (VA).



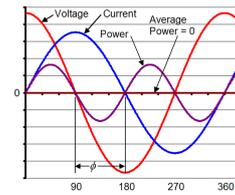
Power factor = 1 $\Phi = 0^\circ$ $\text{Cos}\phi = 1$

Leistungsfaktor = 1



Power factor = 0.7 $\Phi = 45^\circ$ $\text{Cos}\phi = 0.71$

Leistungsfaktor = 0,7



Power factor = 0 $\phi = 90^\circ$ $\text{Cos}\phi = 0$

Leistungsfaktor = 0

Wenn der Leistungsfaktor bekannt ist, kann die Scheinleistung berechnet werden.

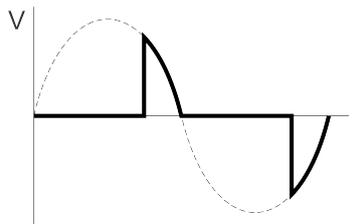
$W = V \times A \times \text{Power factor}$

True power = Apparent power x Power factor

Im Durchschnitt hat ein Wechselstromkreis in Wohngebieten einen durchschnittlichen Leistungsfaktor von 0,8. Für allgemeine Berechnungen ist es also in Ordnung, 0,8 als Leistungsfaktor zu verwenden.

Nichtlineare Lasten:

Außerdem gibt es noch eine weitere Art von Last, die nichtlineare Last. Um es einfach auszudrücken, dies sind Lasten, die nicht die gesamte Sinuswelle gleichmäßig belasten oder nur einen Teil der Welle nutzen. Der von der nichtlinearen Last aufgenommene Strom hat keine Sinusform, obwohl die Last an eine Sinusspannung angeschlossen ist.



Beispiel für eine nichtlineare Last. Nur ein Teil der Spannung wird an die Last angelegt.

Dabei handelt es sich oft um Lasten, die Halbleiter wie Dioden, Thyristoren oder LEDs enthalten. Beispiele hierfür sind AC-LED-Beleuchtung, Lichtdimmer, Heizpistolen, Aufwärmgeräte und bestimmte Geräte mit Sanftanlauf.

Wenn ein Wechselrichter eine nichtlineare Last versorgt, kann es je nach Nennleistung der Last und des Wechselrichters früher als erwartet zu einer Überlastung kommen.

6.4. Wechselstromverkabelung

In einer Haus- oder Fabrikinstallation wird die eingehende Elektrizität in Gruppen aufgeteilt, meist auf einem Verteiler. Der Durchmesser der elektrischen Leitungen für jeden Wechselstromkreis (Gruppe) muss an die Größe des erwarteten maximalen Stroms in diesem Stromkreis angepasst werden. Dies dient dem Schutz der angeschlossenen Verbraucher und der elektrischen Verkabelung.

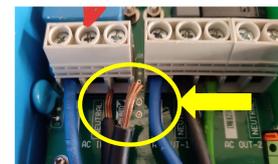
Spannungsabfall und Erwärmung von Kabeln können auch in Wechselstromkreisen auftreten. Spannungsabfälle können zu Schäden am angeschlossenen Gerät und zur Erwärmung von Kabeln sowie im Extremfall zu Hausbränden führen.

Es ist auch wichtig, gute Kabelverbindungen herzustellen. Schlechte Kabelverbindungen können auch zu Spannungsabfall und Erwärmung führen. Verwenden Sie die Richtlinien wie bereits zuvor beschrieben.

Verwenden Sie keine starren Wechselstromdrähte:

Vermeiden Sie den Anschluss des Wechselrichters/Ladegeräts an Drähte mit starren Litzen (wie in der Abbildung rechts dargestellt).

Drähte mit starren Litzen sind für die Steckverbinder des Wechselrichters/Ladegeräts nicht geeignet, was zu schlechtem Kontakt und dem Risiko einer Unterbrechung der Verbindung führt. Verwenden Sie stattdessen Drähte mit feinen und flexiblen Litzen.



Starre Wechselstromdrähte, die sich gelöst haben.

Dimensionierung der Verkabelung:

Die [Victron Energy Toolkit-App](#) bietet auch eine Funktion zur Berechnung der Verkabelung für 120-, 240- und 400-VAC-Systeme. In der App sollten Sie die Größe der Drähte so wählen, dass der Spannungsabfall unter 2,5 % bleibt.

Für die Berechnung der Verkabelung können Sie ähnliche Berechnungen wie für die Gleichstromverkabelung verwenden, wie bereits erläutert. Beachten Sie jedoch, dass die oben genannte Faustregel nicht angewendet werden kann. Für die Verkabelung bei Spannungen von 200 bis 400 VAC gilt die folgende Faustregel:

- Die erforderliche Kernfläche in mm² ergibt sich aus der Teilung des Nennstroms durch 8.
- Addieren Sie 1mm² für jeweils 5 Meter Kabellänge.



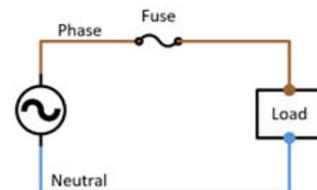
Bitte beachten Sie, dass die „Faustregel“ möglicherweise nicht den örtlichen Normen für die Verkabelung von Wechselstrom entspricht. Sie dient lediglich als Orientierungshilfe.

6.5. Wechselstromsicherungen und Stromkreisunterbrecher

Sicherungen befinden sich in der Regel auf dem Verteiler. Jeder Wechselstromkreis (Gruppe) ist separat abgesichert. Die Sicherung ist auf die Größe der zu erwartenden Last und auf die Kabeldicke abgestimmt.

Die Sicherung schützt vor:

- Überlastung - wenn mehr Strom im System läuft, als normalerweise zu erwarten ist.
- Kurzschluss - wenn der Phasenleiter versehentlich mit dem Neutraleiter oder der Erde in Berührung kommt.

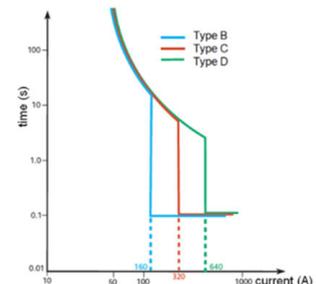


Traditionell enthält eine Sicherung einen Draht, der schmilzt, wenn unzulässiger Strom durchfließt. Sobald der Draht in der Sicherung geschmolzen ist, ist der Stromkreis unterbrochen und es fließt kein zusätzlicher Strom.

Häufiger werden automatische Schutzschalter zum Schutz vor Überstrom eingesetzt. Diese werden als Miniatur-Stromkreisunterbrecher (MCB) bezeichnet. Diese Vorrichtung verfügt über zwei Auslöser zur Aktivierung ihres Abschaltmechanismus. Ein thermischer Auslöser für langfristige kleine Überlastströme und ein magnetischer Auslöser für große Kurzzeitströme wie Kurzschlussströme.

MCBs gibt es in drei Ausführungen: B, C und D. Sie alle haben die gleichen thermischen Eigenschaften. Sie haben jedoch unterschiedliche Kurzschlussstrompegel.

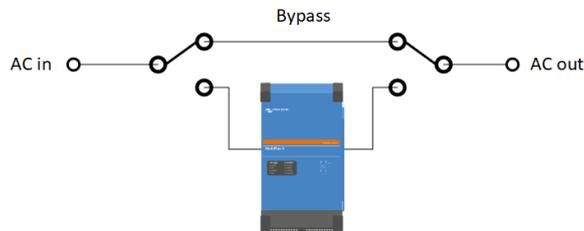
- Typ B trennt bei 5 In (5 Nennströme) und wird häufig als Haushalts-MCB verwendet.
- Typ C trennt bei 10 In und wird für Transformatoren und Leuchtstofflampen verwendet.
- Typ D trennt bei 20 In und wird für große Motoren, Transformatoren und Quecksilberlampen verwendet.



Bei Auftreten eines Kurzschlussstroms mit ausreichendem Strom wird der MCB (B, C oder D) innerhalb von 100 ms abgeschaltet.

6.6. AC-Bypass-Schalter

Es wird empfohlen, einen manuellen Bypass an ein Wechselrichter/Ladesystem anzuschließen. Dies ist besonders nützlich in unternehmenskritischen Systemen. Dadurch können Sie den Wechselrichter/Ladegerät umgehen und den Wechselstromeingang (Netz oder Generator) direkt an die Lasten anschließen. Diese Funktion ist von unschätzbarem Wert für den Fall, dass der Wechselrichter/Ladegerät eine Konfigurationsänderung benötigt oder etwas mit dem Wechselrichter/Ladegerät nicht in Ordnung ist. Schließen Sie den Wechselstromeingang (Netz oder Generator) direkt an, wenn er zur Wartung ausgebaut werden muss.

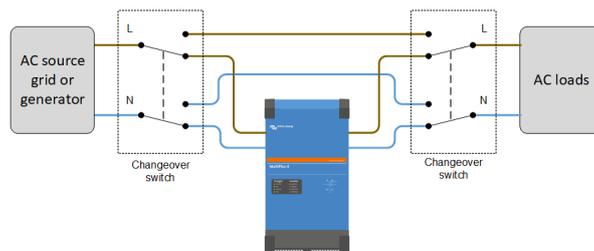


Die Funktionsweise eines Bypass-Schalters.

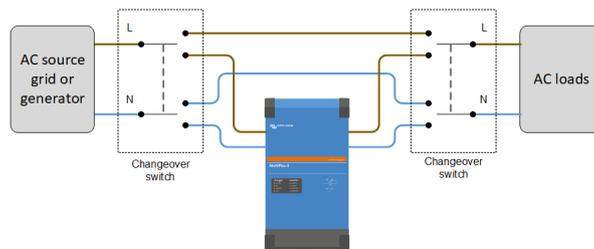
Um den Bypass zu erstellen, müssen die Wechselstrompfade zum und vom Wechselrichter/Ladegerät unterbrochen werden und ein separater Bypass-Stromkreis muss eingerichtet werden. Der Bypass muss für die volle Wechselstromlast des Systems ausgelegt sein.

Der manuelle Bypass kann mithilfe von zwei Umschaltern eingerichtet werden. Ein Beispiel für einen geeigneten Umschalter ist der 2-polige Umschalter SF263 von Hager mit einer Mittel-Aus-Position.

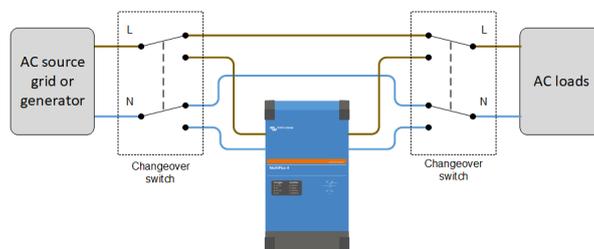
Die folgenden Diagramme zeigen, wie die Umschalter im System verkabelt sind und welche 3 Schaltmöglichkeiten es gibt.



Der Wechselrichter/Ladegerät ist angeschlossen und der Bypass ist nicht angeschlossen.



Der Wechselrichter/Ladegerät und der Bypass sind beide nicht angeschlossen.



Der Wechselrichter/Ladegerät ist nicht angeschlossen und der Bypass ist angeschlossen.

Bei Verwendung eines Wechselrichters/Ladegeräts mit geringer Leistung, wie z. B. dem MultiPlus Compact oder dem Multiplus 500 bis 2000 VA, ist es einfach, den Wechselrichter/Ladegerät manuell zu umgehen. Ziehen Sie einfach die schwarzen Wechselstromstecker (AC in und AC out) aus dem Wechselrichter/Ladegerät und stecken Sie diese Stecker ineinander.

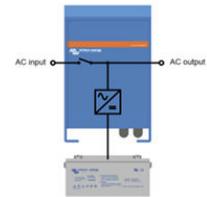


Wechselstromstecker MultiPlus Compact

6.7. Besondere Überlegungen zur Verkabelung von parallelen Wechselrichter-/Ladegerätesystemen

Mehrere Wechselrichter/Ladegeräte können parallel angeschlossen werden, um einen größeren Wechselrichter/Ladegerät zu schaffen. Beim Anschluss eines parallelen Systems an eine Wechselstromversorgung spielt es eine Rolle, welche Länge und Dicke die Wechselstromkabel haben. Im Gegensatz zur Gleichstromverkabelung ist es bei der Wechselstromverkabelung wichtig, die Kabel nicht zu kurz oder zu dick zu machen. Überdimensionieren Sie die Wechselstromverkabelung nicht. Die Verwendung von extra dicken Kabeln hat negative Nebenwirkungen.

In einem parallelen System sollte jeder Wechselrichter/Ladegerät identisch sein. Nur ist dies nicht immer der Fall. Jeder Wechselrichter/Lader enthält ein internes Wechselstromeingangsschütz. Diese Schütze sind nicht immer völlig identisch, sie können einen kleinen Unterschied in ihrem Innenwiderstand im Vergleich zu den anderen Schützen aufweisen. Diese kleine Widerstandsdifferenz kann dazu führen, dass der Wechselstrom von einer Einheit zur anderen umgeleitet wird.



Beispiel für die interne Verkabelung eines Wechselrichters/Ladegeräts.

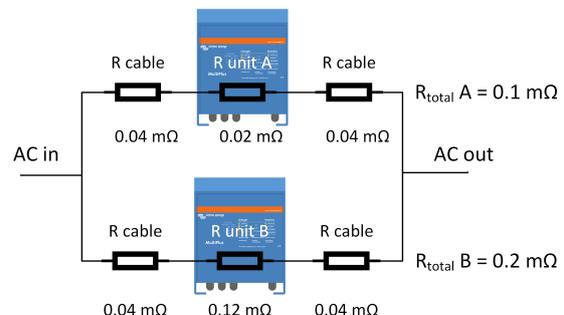
In einem parallelen System sollte der Wechselstrom gleichmäßig auf alle parallelen Wechselrichter/Ladeeinheiten verteilt werden. Wenn der Widerstand in der Verkabelung sehr gering ist, führt die geringe Differenz im Schützswiderstand zu einer großen relativen Differenz. Und das führt zu einer ungleichen Stromverteilung.

Ein übertriebenes Beispiel:

Einheit A und Einheit B sind parallel geschaltet. Es wird eine extrem dicke und kurze Verkabelung verwendet, so dass ein sehr geringer Verdrahtungswiderstand entsteht. Die beiden Geräte haben jedoch einen geringen Innenwiderstand (AC-Schütz). Siehe die Abbildung rechts.

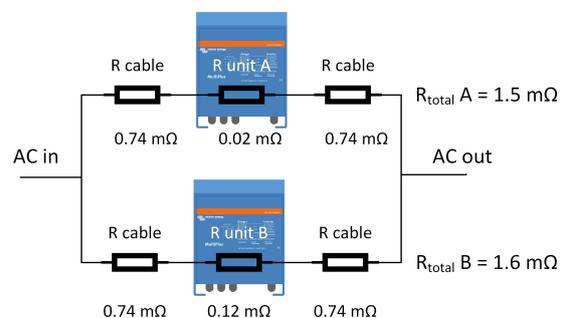
In diesem Szenario beträgt der Gesamtwiderstand für Einheit A 0,0 mΩ und der Gesamtwiderstand für Einheit B 0,2 mΩ.

Dies führt dazu, dass Einheit A doppelt so viel Strom führt wie Einheit B.



Jetzt verwenden wir die gleichen 2 Einheiten parallel, aber wir verwenden dünnere und längere Kabel. Siehe die Abbildung rechts. Der Gesamtwiderstand für Einheit A beträgt 1,6 Ω und der Gesamtwiderstand für Einheit B 1,6 Ω. Dies führt zu einer deutlich besseren Stromverteilung.

Einheit A wird nur 1,066 mal mehr Strom führen als Einheit B.



Verhinderung einer ungleichmäßigen Verteilung von Wechselströmen:

Um sich vor diesem Problem zu schützen, wird empfohlen, lange Wechselstromkabel mit ähnlicher Länge zu verwenden. Befolgen Sie immer die empfohlenen Kabellängen und -dicken, wie sie im Produkthandbuch aufgeführt sind. Vergrößern Sie den Querschnitt der Wechselstromverkabelung nicht stärker als in der Anleitung empfohlen!

Zum Beispiel:

Die Toleranz des Spannungsabfalls eines 100-A-Rückspeiseschützes beträgt bei 100 A etwa 20 mV. Daher sollte der gesamte Widerstand des Kabels (Eingang + Ausgang) größer als $R = 60 \text{ mV}/100 \text{ A} = 0,6 \text{ m}\Omega$ sein.

Prüfung auf gleichmäßige Verteilung der Wechselströme:

Der beste Weg, um zu überprüfen, ob diese Art von Verdrahtungsproblem ein paralleles System beeinträchtigt, ist der folgende:

- Das System vollständig laden.
- Messen (Stromzange) Sie den Wechselstrom für jeden einzelnen Strom.
- Vergleichen Sie die Ströme.

Die aktuellen Messwerte sollten sehr ähnlich sein. Wenn es große Unterschiede gibt, dann gibt es ein Problem mit der Verkabelung (oder mit einer Verbindung).

Wechselstromsicherung paralleler Stränge:

Jede Einheit muss einzeln gesichert werden. Achten Sie darauf, dass Sie für jede Einheit den gleichen Sicherungstyp verwenden, da der Widerstand gleich ist. Erwägen Sie die Verwendung mechanisch angeschlossener Sicherungen

Weitere Informationen:

Weitere Informationen über Parallel- und 3-Phasen-Systeme finden Sie im Handbuch für Parallel- und 3-Phasen-Systeme, siehe https://www.victronenergy.com/live/ve.bus:manual_parallel_and_three_phase_systems

6.8. Phasendrehung 3-phasige Systeme mit Wechselrichter/Ladegerät

Phasendrehung:

Die 3 Phasen L1, L2 und L3 eines 3-phasigen Netzes müssen in numerischer Reihenfolge angeschlossen werden. Achten Sie besonders auf die Phasendrehung der Wechselstromversorgung aus dem Netz oder Generator. Bei falscher Verdrahtung akzeptiert das System den Netzeingang nicht und arbeitet nur im Wechselrichtermodus. In diesem Fall tauschen Sie zwei Phasen aus, um sie zu korrigieren. Ein schneller Weg, die Phasendrehung zu fixieren, besteht darin, 2 zufällige Phasen zu tauschen und zu sehen, ob das Wechselrichtersystem jetzt Wechselstrom in akzeptiert.

Wenn das System mobil ist, ist es wahrscheinlich, dass es irgendwann einen Generator- oder Netzanschluss mit falsch verkabelter Phasendrehung geben wird und das Wechselrichter/Ladesystem den Eingang ablehnt und im Wechselrichtermodus bleibt, wodurch die Batterien entladen werden. Die Montage eines einfachen Umschalters, der zwei der Phasen tauschen kann, ist eine gute Lösung, die das Problem der Phasenumdrehung sofort behebt, ohne das Ereignis zu verzögern. Neben der manuellen Umschaltung stehen dafür auch automatische Geräte zur Verfügung.

Weitere Informationen über Parallel- und 3-Phasen-Systeme finden Sie im Handbuch für Parallel- und 3-Phasen-Systeme, siehe https://www.victronenergy.com/live/ve.bus:manual_parallel_and_three_phase_systems

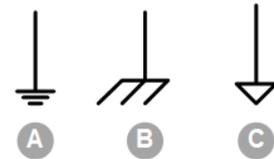
7. Masse-, Erdungs- und elektrische Sicherheit

Masse oder Erde stellt einen gemeinsamen Rückweg für elektrischen Strom in einem Stromkreis dar. Sie entsteht durch die Verbindung des Neutralpunktes einer Anlage mit der allgemeinen Masse der Erde oder eines Chassis. Die Erdung ist für die elektrische Sicherheit erforderlich und bildet auch einen Bezugspunkt in einem Stromkreis, an dem Spannungen gemessen werden.

Im Allgemeinen gibt es 3 Arten von Erdung, nämlich:

- A. Erdung
- B. Fahrgestellmasse
- C. Erdung

- **Erde** ist eine direkte physische Verbindung zur Erde. Dies geschieht in der Regel durch Eintreiben einer Kupferstange (Erdungspfahl) in den Boden. Je nach Alter und Standort des Systems kann dies aber auch eine im Erdreich vergrabene Kupferplatte oder ein Kupferband sein, oder die Hauptwasserleitungen oder Wasserleitungen in einem Haus.
- Die **Fahrgestellmasse** ist eine Verbindung zu einem Metallrahmen wie dem eines Fahrzeugs oder dem Metallrumpf eines Bootes. Es kann auch das Metallgehäuse von elektrischen Geräten sein.
- Die **Masse** ist ein gemeinsamer Bezugspunkt in einem Schaltkreis, an dem Spannungen gemessen werden. Infolgedessen kann eine Spannung über Masse (positiv) oder unter Masse (negativ) liegen.



7.1. Elektrische Sicherheit

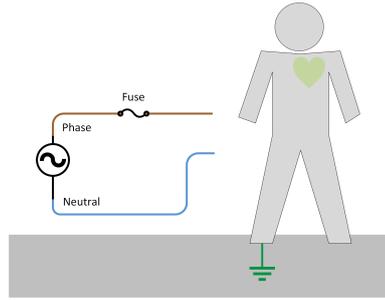
Strom ist gefährlich, er kann eine Person töten, verletzen oder verbrennen. Es ist der Strom, der den gefährlichsten Teil der Elektrizität darstellt. Ein kleiner Strom, der durch eine Person fließt, kann bereits sehr gefährlich sein. Siehe die Tabelle unten.

Elektrischer Strom (1-Sekunden-Kontakt)	Physiologische Effekte
1 mA	Schwelle des Kribbelgefühls.
5 mA	Wird als maximal harmloser Strom angesehen.
10 - 20 mA	Beginn einer anhaltenden Muskelkontraktion („kann nicht loslassen“-Strom).
100 - 30 mA	Herzkammerflimmern, das bei Fortdauer tödlich ist. Die Atmung funktioniert weiterhin.
6 A	Anhaltende ventrikuläre Kontraktion, gefolgt von einem normalen Herzrhythmus (Defibrillation). Vorübergehende Lähmung der Atemwege und möglicherweise Verbrennungen.

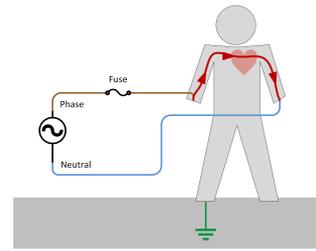
Der Strom wird fließen, sobald ein Stromkreis geschlossen wird. Stellen Sie sich beispielsweise zwei lose Wechselstromkabel vor, einen stromführenden und einen neutralen Draht. Wenn die Drähte einfach nur da hängen, fließt kein Strom, weil der Stromkreis nicht geschlossen ist. Aber sobald Sie einen stromführenden Draht mit einer Hand und den Neutralleiter mit einer anderen Hand berühren, haben Sie den Stromkreis geschlossen und der Strom fließt vom stromführenden Draht, über Ihren Körper und über Ihr Herz zurück zum Neutralleiter. Der Strom wird weiter fließen, bis die Sicherung durchbrennt, aber bis dahin sind Sie wahrscheinlich schon tot.



Freiliegende elektrische Drähte.



Der Stromkreis ist nicht geschlossen und der Strom kann nicht fließen.



Der Stromkreis ist geschlossen und der Strom fließt.

Neben dem gleichzeitigen Berühren eines neutralen und eines unter Spannung stehenden Drahtes gibt es noch eine andere Möglichkeit, wie eine unsichere Situation eintreten kann, nämlich wenn der Strom über die Erde fließt. Dies ist eine häufigere Situation, als wenn jemand gleichzeitig eine Phase und einen Neutralleiter berührt. Der Neutralleiter wird irgendwann mit der Erde verbunden. Dies kann in der Hausinstallation, im Verteilernetz oder am Stromerzeuger (Sternpunkt) erfolgen.

Wenn ein Fehler an elektrischen Geräten vorliegt, können die Metallteile der Außenseite dieser Geräte unter Spannung stehen. Dies kann daran liegen, dass es eine interne Abkürzung zwischen Strom und dem Metallgehäuse des Geräts gibt. Denken Sie zum Beispiel an eine defekte Waschmaschine. Ein Fehler kann verursacht worden sein, weil es einen elektrischen Fehler, eine mechanische Beschädigung oder beschädigte elektrische Leitungen gibt, die das Metallgehäuse von elektrischen Geräten berühren.

Sobald Sie die defekte Waschmaschine berühren, fließt der Strom von der Phase zum Metallgehäuse, über Sie zur Erde. Von der Erde aus fließt der Strom dann in den Neutralleiter des Netzes. Der Stromkreis ist komplett. Der Strom fließt weiter, bis die Sicherung im Netz durchgebrannt ist. Aber wie in der vorherigen Situation sind Sie wahrscheinlich schon tot.

Um elektrische Installationen sicherer zu machen, wurde der Schutzleiter eingeführt. Das Erdungskabel verbindet das Metallgehäuse mit der Erde.

Wenn Sie nun das defekte Gerät berühren, fließt Strom in das Erdungskabel und nicht in Sie. Der Grund dafür ist, dass der Strom den Weg des geringsten Widerstandes geht. Der Weg über Sie und die Erde ist ein widerstandsfähigerer Weg über den Erdleiter. Aber denken Sie daran, dass eine sehr kleine Menge an Strom noch über eine Person fließen kann. Ein Strom größer als 30 mA kann bereits gefährlich sein.

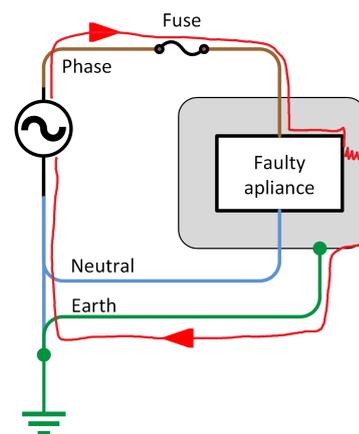
Beachten Sie, dass ein Erdungskabel allein nicht ausreicht. Ein Fehlerstromschutzschalter (RCD) wird ebenfalls in einer Installation benötigt. Für weitere Informationen siehe Kapitel [RCD](#), [RCCB](#) oder [GFCI](#) [63].

7.2. Erdungsleitung

Eine gute Erdung ist für die elektrische Sicherheit unerlässlich. Der Draht und die Erdungsanschlüsse müssen einen geringen elektrischen Widerstand aufweisen. Denken Sie daran, dass Strom den Weg des geringsten Widerstandes durchläuft. Sie müssen also sicherstellen, dass das Erdungskabel dick genug ist und alle Verbindungen dicht sind.

Das Erdungskabel kann bei einem Gerätefehler potenziell große Ströme durchfließen lassen. Das Erdungskabel muss in der Lage sein, diesen Strom zu führen, bis die Systemsicherung durchbrennt. Daher ist es wichtig, dass der Erdungskabel dick genug ist.

Erdungs- oder Masseleitungen sind gelb/grün. In älteren Installationen oder in anderen Ländern sehen Sie möglicherweise auch grünen Draht.



ACHTUNG: Befolgen Sie immer die örtlichen Verkabelungsvorschriften für die korrekte Dimensionierung des Erdungskabels.

7.3. RCD, RCCB oder GFCI

Elektrizität kann sehr gefährlich sein. Das Hinzufügen eines Schutzleiters in ein System erhöht die Sicherheit, aber eine Installation kann durch den Einbau eines RCD (Fehlerstromschutzschalters) noch sicherer gemacht werden.

Die Verwendung eines RCD ist in allen Wechselstromanlagen obligatorisch.

Funktion des RCD:

Der RCD erkennt und trennt, sobald er erkennt, dass Strom in die Erde fließt. Strom fließt in die Erde, wenn es einen Fehler im System gibt, oder vor allem, wenn Strom durch eine Person fließt. RCDs sind so konzipiert, dass sie sich abschalten, sobald ein Stromfluss zur Erde erkannt wird.

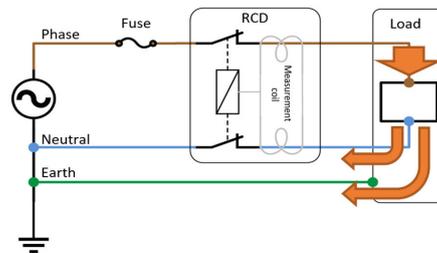
Ein Fehlerstromschutzschalter (RCD) kann unter verschiedenen Namen bekannt sein:

- Fehlerstromleistungsschalter (RCCB).
- FI-Schutzschalter (GFCI).
- Erdschlussunterbrecher (GFI).
- Geräteleckstromunterbrecher (ALCI).
- Sicherheitsschalter.
- Erdschlussicherung.

RCD-Betrieb:

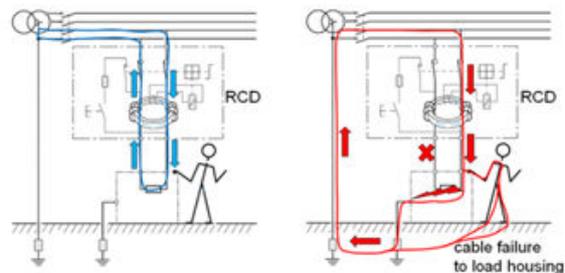
Ein RCD misst die Strombilanz zwischen Phase und Neutralleiter. Das Gerät öffnet seinen Kontakt, wenn es eine Stromdifferenz zwischen Phase und Neutralleiter erkennt.

In einem sicheren System müssen der Vor- und Rücklaufstrom auf Null gesetzt werden. Wenn dies nicht der Fall ist, gibt es einen Fehler im System, der Strom fließt zur Erde oder zu einem anderen Stromkreis.



RCDs wurden entwickelt, um Stromschläge zu verhindern, indem sie diesen Ableitstrom erfassen, der viel kleiner sein kann (typischerweise 5–30 mA) als die Ströme, die zum Auslösen herkömmlicher Leistungsschalter oder Sicherungen (mehrere Ampere) erforderlich sind. RCDs sind für den Betrieb innerhalb von 25 - 40 Millisekunden vorgesehen. Diese Zeit ist schneller als die Zeit, die der Stromschlag benötigt, um das Herz in Herzflimmern zu treiben, die häufigste Todesursache durch Stromschlag.

Ein sicheres System ist ein System, das vor Kurzschluss-, Überlast- und Erdschlussströmen schützt.



Die Erdschlusserkennung kann nur in Systemen erfolgen, in denen der Neutralleiter mit dem Schutzleiter verbunden ist, wie in einem TN- oder TT-System. Die Erkennung von Erdschlüssen ist in einem IT-Netzwerk nicht möglich.

Wo ein RCD montiert werden soll

Ein RCD muss vor den Lasten in einer Elektroinstallation montiert werden. In Wirklichkeit bedeutet dies, dass die RCDs montiert werden müssen, bevor die Installation in verschiedene Gruppen aufgeteilt wird. Wenn ein Wechselrichter oder Wechselrichter/Ladegerät verwendet wird, sollte der RCD danach kommen, da sonst kein Erdschutz bei laufendem Betrieb des Wechselrichters besteht. Verbraucher, die nur dann in Betrieb sind, wenn sie an den Landstrom angeschlossen sind, benötigen einen eigenen RCD.

Belästigende Auslösung von RCDs

In einigen Installationen werden RCD's vorzeitig auslösen. Dies kann durch Folgendes verursacht werden:

- Das System verfügt über eine doppelte MEN-Verbindung (neutral zu Erde), wodurch der RCD aufgrund einer Potentialdifferenz in der Erde ausgelöst wird.
- Das System enthält Geräte, die eine kleine Menge an neutralem Erdschluss unter der Schwelle einführen, deren kumulativer Effekt zu unvorhersehbaren Störungen bei der Auslösung von RCDs führen kann. Einige gängige lästige Geräte, die bei der Fehlersuche zuerst überprüft und getrennt werden müssen, sind: überspannungsgeschützte Powerboards, alte Kühlschrankkompressoren und elektrische Warmwassergeräte (aufgrund ihrer eigenen Erdungsdifferenz vom Haupterdpfahl).

7.4. Neutral zum Erdungsanschluss in Wechselrichtern und in Wechselrichtern/Ladegeräten

Eine Wechselstromquelle muss einen Neutraleiter zur Erde (MEN-Link) haben, damit ein RCD betrieben werden kann. Dies gilt für das Netz, aber auch, wenn die Wechselstromquelle ein Generator oder ein Wechselrichter ist.

- Wenn die Wechselstromquelle das Netz ist, wurde die MEN-Verbindung in der Schalttafel, wo das Netz in die Anlage eintritt, fest verdrahtet.
- Wenn die Wechselstromquelle ein Generator ist, wurde die MEN-Verbindung fest mit den Wechselstromanschlussklemmen des Generators verdrahtet.
- Wenn die Wechselstromquelle ein Wechselrichter ist, wurde der MEN-Link entweder am Wechselstromanschluss des Wechselrichters oder in der Installationsverteilung fest verdrahtet.

Wenn jedoch kombinierte Wechselrichter/Ladeeinheiten verwendet werden, ist die MEN-Verbindung weniger einfach. Die Wechselrichter/Ladeeinheit verfügt über zwei verschiedene Betriebsarten:

- Im Wechselrichtermodus arbeitet er als eigenständiger Wechselrichter und ist die Hauptstromversorgung des Systems.
- Im Ladebetrieb speist es über das Netz oder den Generator Strom in das System ein.

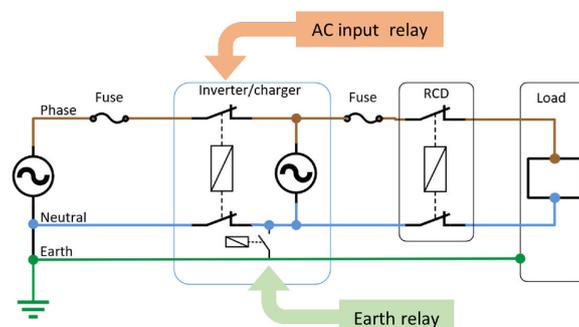
Wenn der Wechselrichter/Lader umkehrt und als Stromversorgung fungiert, muss er eine unabhängige MEN-Verbindung herstellen. Wenn es jedoch durch einen Generator oder ein Netz gespeist wird, muss das ankommende Netz anstelle des Wechselrichters/Laders den MEN-Link aufweisen.

Victron Wechselrichter/Ladegeräte enthalten ein internes Erdungsrelais. Dieses Relais schaltet automatisch die Verbindung zwischen Erde und Neutraleiter ein oder aus. Wenn dies nicht gewünscht ist, kann dieses Relais in den Einstellungen des Wechselrichters/Ladegeräts ausgeschaltet werden. Beachten Sie, dass Sie bei ausgeschaltetem Relais einen Draht zwischen Nullleiter und Erde im System fest verdrahten müssen.

Bei einigen Installationen ist die Unterbrechung des Nullleiters ebenfalls nicht erlaubt. Wählen Sie in diesem Fall, sofern ein Wechselrichter/Ladegerät-II verwendet wird, eine Netzcode-Einstellung, die besagt, dass der Wechselstromnullleiter extern verbunden ist.

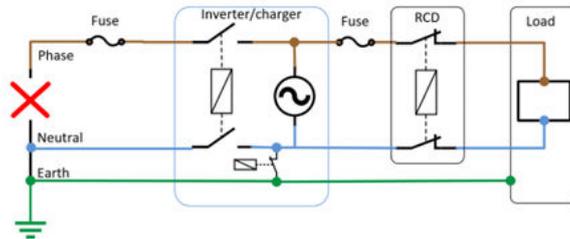
Der Wechselrichter/Ladegerät befindet sich im Lademodus und/oder Durchleitungsmodus:

Wenn der Wechselrichter an die Wechselstromversorgung angeschlossen ist, ist das Wechselstromeingangsrelais geschlossen und gleichzeitig ist das Erdungsrelais geöffnet. Das Wechselstromausgangssystem ist auf die Wechselstromversorgung angewiesen, um den Neutral-Erde-Anschluss zu gewährleisten. Diese Verbindung wird benötigt, damit der RCD im Wechselstromausgangskreis betriebsbereit ist. Erdungsrelais des Wechselstromeingangs



Der Wechselrichter/Ladegerät befindet sich im Wechselrichtermodus:

Wenn die Wechselstromspannungsversorgung unterbrochen, ausgeschaltet oder ausgefallen ist, öffnet sich das Wechselstromeingangsrelais. Bei geöffnetem Wechselstromeingangsrelais verfügt die Anlage nicht mehr über einen Neutral-Erdungsanschluss. Deshalb wird gleichzeitig das Erdungsrelais geschlossen. Sobald das Erdungsrelais schließt, hat der Wechselrichter/Lader eine interne Neutral-Erde-Verbindung hergestellt. Diese Verbindung wird benötigt, damit der RCD im Wechselstromausgangskreis betriebsbereit ist.



7.5. Mobile Anlagen

Eine mobile Anlage ist eine Anlage, die unabhängig vom Netz arbeitet. Wenn es an Wechselstrom angeschlossen wird, wird es in der Regel an verschiedenen Orten bzw. Generatoren an das Netz angeschlossen. Zum Beispiel wie Boote, Fahrzeuge oder mobile Notstromsysteme. In diesem Kapitel wird eine Bootsanlage dargestellt. Diese Informationen können jedoch für jede beliebige Art von mobilen Anlagen verwendet werden.

Ein mobiles System hat keinen Erdpfahl. Es wird also etwas anderes an seiner Stelle benötigt, um ein zentrales Erdpotential zu schaffen. Alle berührbaren Metallteile des Bootes oder Fahrzeugs müssen miteinander verbunden sein, um eine lokale Erde zu bilden. Beispiele für Metallteile in einem Boot oder Fahrzeug sind: Chassis, Rumpf, Metallfluidrohre, Geländer, Motor, Steckdosenschutzkontakte, Blitzableiter und die Erdungsplatte (falls vorhanden).

Ein mobiles System verbindet sich typischerweise mit einer Vielzahl von Stromquellen. In solchen Situationen ist es manchmal nicht ganz klar, welche der Leitungen in der Landstromversorgung mit der Erde verbunden ist oder ob die Erde überhaupt angeschlossen ist. Auch Phase und Neutraleiter sind möglicherweise nicht richtig verdrahtet. Der Anschluss einer solchen Stromversorgung an ein mobiles System kann zu einem Kurzschluss gegen Erde führen. Oder die Erde fehlt ganz.

Es ist auch wichtig, ob sich das mobile System mit dem Stromnetz verbindet oder ob es vom Stromnetz getrennt ist und autonom läuft.

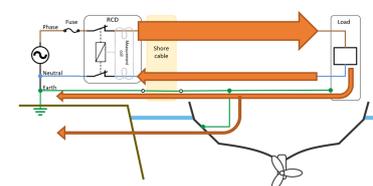
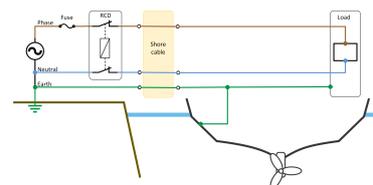
Einige Beispiele für verschiedene Situationen, in denen sich ein mobiles System befinden kann:

Ein Boot ist an den Landstrom angeschlossen

Wenn ein Boot festgemacht und an Land angeschlossen ist, ist die Installation ähnlich wie bei einer Wohnanlage. Es gibt nur einen Unterschied; das Boot hat keinen eigenen Erdanschluss; wie der Erdspieß, den man in einem Haus findet.

Die Bootsinstallation basiert auf der Erde, die durch den Landanschluss bereitgestellt wird. Leider ist diese Erde nicht immer zuverlässig, da die Marina-Kabel oft lang sind und eine unzureichende Kabelkerndicke aufweisen können. Um eine sichere Situation zu schaffen, müssen die Metallteile des Bootes, wie der Rumpf, mit der vom Landstromkabel kommenden Erde verbunden werden. Die Landstromerde ist mit dem Neutraleiter verbunden.

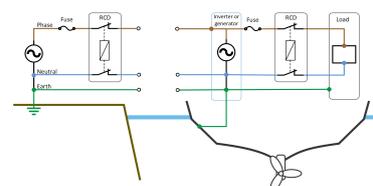
Tritt ein Erdschluss auf, fließt der Strom durch den Erdleiter im Netzkabel, aber auch über den Rumpf über das Wasser und zurück zur Landstromerde. Beide Ableitstromkreise haben das gleiche Potential und sind in gewisser Weise parallel geschaltet. Aber mehr Strom fließt durch den Erdleiter im Landstromkabel. Der Weg durch den Rumpf und das Wasser hat einen größeren Widerstand. Der RCD löst immer noch einen Erdschluss aus, da er den Phasenstrom über den Neutraleiter mit dem Stromausgang vergleicht.



Ein Boot ist vom Landstrom getrennt.

Sobald das Boot vom Landstrom getrennt wird, ändert sich die gesamte Anlage, da die Anlage nun nicht mehr Teil des Netzes ist und die Verbindung zu Neutraleiter und Erde unterbrochen wird.

Die Installation ist nun die Hauptstromversorgung und bildet zusammen mit der Last einen eigenen autonomen Stromkreis. Es wird kein Strom in den Rumpf und ins Wasser fließen.



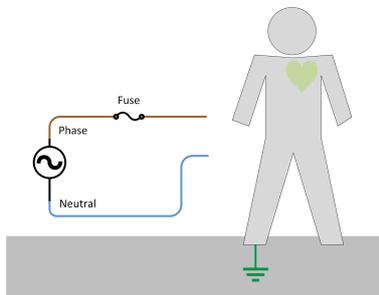
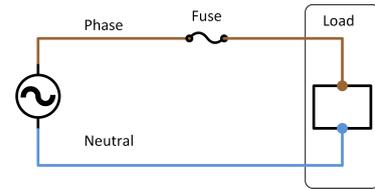
Schwimmendes Netzwerk im Boot oder Fahrzeug (IT-Netzwerk)

In einem mobilen System, in dem ein Wechselrichter (oder Generator) die einzige Stromquelle ist, kann man sich gezielt dafür entscheiden, kein TT-Netz zu verwenden, sondern ein IT-Netz. In einem IT-Netzwerk sind Phase und Neutralleiter nicht mit einem anderen Potential wie der Erde gekoppelt. Die von der unabhängigen Stromquelle erzeugten Spannungen sind gleitend. Ein solches System ist sehr sicher und einfach zu installieren.

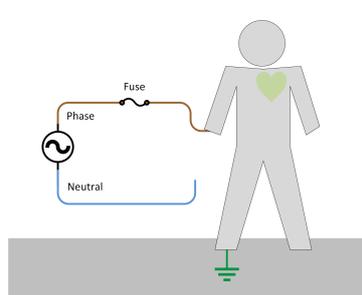
Wird ein Leiter oder Gehäuse in diesem System von einer Person berührt, kann kein Strom zur Erde fließen. Denken Sie daran, dass für den Stromfluss eine komplette Schaltung benötigt wird. In diesem System fehlt der Erdungsleiter und der Stromkreis zur Erde ist nicht vollständig. Dies ist eine ähnliche Situation wie der Sicherheitstransformer in einem Badezimmer.

Wechselrichter und Generatoren sind im Prinzip nichts anderes als die Quelle von zwei Potentialdifferenzen mit einer Differenz von 230 Volt (oder 120 V). Das Berühren führt nicht zu einem Stromfluss, da der Pfad unvollständig ist. Es ist das gleiche wie ein Vogel, der auf einem Stromkabel sitzt.

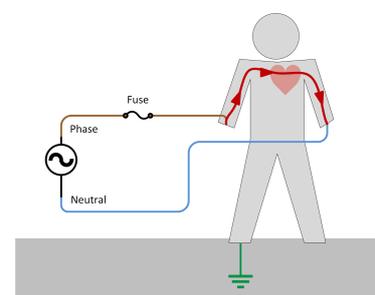
Beachten Sie, dass es immer gefährlich ist, sowohl die Phase als auch den Neutralleiter gleichzeitig zu berühren, da dann der Pfad vollständig ist.



Sicher, es wird kein Strom fließen



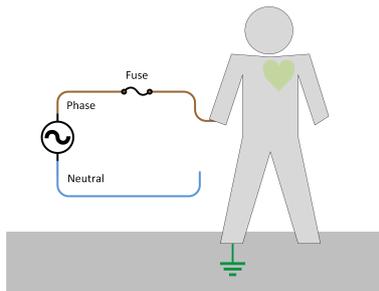
Sicher, es wird kein Strom fließen



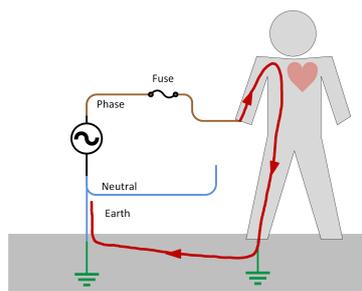
Unsicher, Strom wird fließen

Mobilnetz mit Erdung und neutralem Erdungsanschluss (TT-Netz)

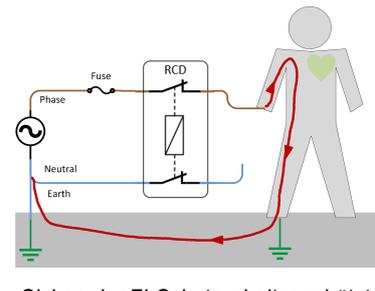
Wenn das mobile System über einen Netzschalter oder über einen Wechselrichter/Ladegerät an das Netz angeschlossen wird, wird die Erde und eine neutrale Verbindung zur Erde in das System eingeführt. Es wird zu einem TT-Netzwerk. Dies gilt auch, wenn die örtliche Regelung erfordert, dass eine erd- und erdneutrale Verbindung und ein RCD in einem mobilen System, das einen Wechselrichter oder Generator enthält, fest verdrahtet ist. In dem Moment, in dem dies geschieht, wird das System gefährlicher, so dass, sobald die Erde und ein neutraler Erdungsanschluss zu einem System hinzugefügt wurden, ein RCD installiert werden muss, um die Anforderungen des TT- oder TN-Netzes zu erfüllen, mit dem das Mobilfunknetz nun verbunden ist.



Keine Erde, es wird kein Strom fließen



Erde hinzugefügt, Strom wird fließen



Sicher, der FI-Schutzschalter schützt, wenn Strom fließt

Vom IT-Netzwerk zum TT-Netzwerk

Mit mobilen Systemen ist es möglich, ein Netzwerk zu schaffen, das bei Netzanschluss ein TT-Netzwerk ist, und gleichzeitig ein schwebendes IT-Netzwerk zu werden, wenn das Netz getrennt wird und ein Generator oder Wechselrichter in Betrieb ist. Das ist etwas, das nicht erwünscht ist und vermieden werden sollte.

Wenn eine Anlage vom Netz getrennt wird, trennt sie sich auch von der Netzerde. Wenn die mobile Installation keine Erde und auch keine Erdung und neutrale Verbindung hat, wird sie zu einem schwebenden System, sobald das Netz getrennt wird.

Obwohl das System möglicherweise einen RCD hat, kann der RCD keinen Erdschlussstrom mehr erkennen, da der Neutralleiter nicht mit der Erde verbunden ist.

Das Drücken der Testtaste am RCD ist nutzlos, wenn die Neutral-Erde-Verbindung fehlt. Wenn Sie die Testtaste drücken, erhalten Sie den falschen Eindruck, dass der RCD betriebsbereit ist, während der RCD in Wirklichkeit im Falle eines Erdschlusses nicht funktioniert, da der Neutralleiter zur Erdverbindung fehlt. Wenn die Testtaste eines RCD gedrückt wird, wird ein interner Bypass aktiviert, der ein Erdleck simuliert, so dass der RCD elektrisch und mechanisch getestet werden kann. Die Testtaste ist keineswegs ein Test für die gesamte Installation. Sie testet nur den RCD selbst. Dies führt zu Verwirrung bzw. gefährlichen Situationen. Aus diesen Gründen wird empfohlen, immer die Prinzipien des TT-Netzwerks zu beachten, auch wenn die Installation nicht an das Stromnetz angeschlossen ist.

Der Wechsel vom IT- zum TT-Netzwerk muss eine Verbindung zwischen neutraler und mobiler Systemerde ermöglichen, sobald das Netz getrennt wird. Dies kann automatisch durch einen Wechselrichter/Ladegerät mit Erdungsrelais erfolgen oder muss fest mit einem Transferschalter verbunden werden. Nicht alle Wechselrichter und Generatoren haben einen Neutralleiter, der mit der Erde verbunden ist. Dies muss immer vor der Installation überprüft werden. Und bei Bedarf muss eine Neutral-Erdverbindung fest verdrahtet sein.

7.6. Isolierung und Erdung von Victron-Geräten

In diesem Kapitel wird die Isolierung einer Vielzahl von Victron-Produkten zwischen Wechselstrom und Gleichstrom oder zwischen Gleichstrom und Gleichstrom erläutert. Diese Informationen werden benötigt, damit ein System, das ein Victron-Produkt enthält, korrekt geerdet werden kann.

Isolierung aller Victron-Wechselrichter und Wechselrichter/Ladegeräte:

- Zwischen der Wechselstromschaltung und dem Chassis: einfache Isolierung. Das Chassis muss daher geerdet werden.
- Zwischen Wechselstrom und Gleichstrom: verstärkte Isolierung. Nach der Erdung des Chassis gilt der Gleichstrom daher als berührungssicher, wenn die Nennspannung 28 V oder niedriger ist.
- Zwischen der Gleichstromschaltung und dem Gehäuse: einfache Isolierung. Daher ist eine negative oder positive Gleichstromerdung zulässig.

Im Falle einer positiven Erdung beziehen sich die nicht isolierten Schnittstellenanschlüsse auf das Gleichstrom-Minuspol und nicht auf die Erde. Die Erdung einer solchen Verbindung führt zu einer Beschädigung des Produkts. Die Wechselstrom-Erdklemme aller Wechselrichter und Wechselrichter/Ladegeräte ist mit dem Chassis verbunden.

Wechselstromneutrale Erdung von Victron-Wechselrichtern

Der Neutralleiter aller Wechselrichter mit einer Nennleistung von 1600 VA und darüber sowie der Inverter Compact 1200 VA sind mit dem Chassis verbunden. Die Erdung des Chassis wird daher auch den Wechselstrom-Nullleiter erden. Für den ordnungsgemäßen Betrieb eines RCD (oder RCCB, RCBO oder GFCI) ist ein geerdeter Nullleiter erforderlich.

Wenn keine zuverlässige Masse vorhanden ist bzw. wenn kein RCD (oder RCCB, RCBO oder GFCI) installiert ist, sollte der Wechselstrom-Neutralanschluss zum Chassis entfernt werden, um die Sicherheit zu erhöhen. Achtung: Eine solche Installation entspricht möglicherweise nicht den örtlichen Vorschriften.

Der Wechselstromneutralleiter von Wechselrichtern mit niedrigerer Leistung ist in der Regel nicht mit dem Chassis verbunden. Es kann jedoch eine neutrale Verbindung zur Erde hergestellt werden: Bitte beachten Sie das Produkthandbuch.

Wechselstromneutrale Erdung der Victron Wechselrichter/Ladegeräte

Der Ausgangs-Wechselstromneutralleiter aller Wechselrichter/Ladegeräte wird mit dem Eingangs-Wechselstromneutralleiter verbunden, wenn die Rückspeiserelais geschlossen sind (Wechselstrom am Eingang verfügbar). Bei geöffneten Rückführrelais verbindet ein Erdungsrelais den abgehenden Neutralleiter mit dem Chassis. Für den ordnungsgemäßen Betrieb eines RCD ist ein geerdeter Neutralleiter erforderlich. Die Deaktivierung des Erdungsrelais ist bei den meisten Modellen möglich. Bitte beachten Sie das Produkthandbuch.

Isolierung von MPPT-Solarladegeräten

Es gibt keine Isolierung zwischen PV-Eingang und DC-Ausgang. Es besteht eine grundlegende Isolierung zwischen Eingang/Ausgang und Chassis.

Isolation anderer Produkte

Batterieladegeräte: verstärkte Isolation zwischen Wechselstrom und Gleichstrom. Einfache Isolation zwischen Wechselstrom und Chassis, mit Ausnahme der Smart IP65-Ladegeräte, die eine verstärkte Isolation zwischen Wechselstrom und dem Kunststoffgehäuse aufweisen. DC-DC-Wandler, Dioden- und FET-Splitter und andere DC-Produkte: Das Gehäuse ist immer vom DC getrennt (einfache Isolation).

7.7. Systemerdung

Bisher haben wir über Wechselstromerde oder -masse in Wechselstromanlagen gesprochen, aber auch für die Gleichstromkomponenten in einer Anlage ist eine Erdung erforderlich. In diesem Kapitel werden einige gängige Installationen beschrieben, die nicht nur einen Wechselrichter/Ladegerät, sondern auch eine Batteriebank, ein Solarladegerät und eine PV-Anlage enthalten.

Netzunabhängige Systemerdung

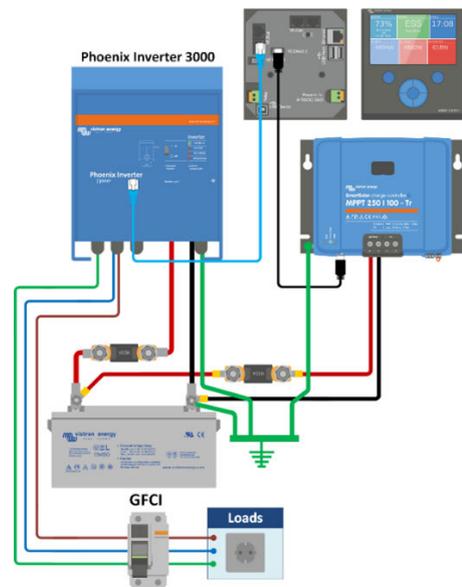
Erden Sie nicht das Plus oder Minus der PV-Anlage. Der negative PV-Eingang des MPPT ist nicht vom negativen Ausgang isoliert. Die Erdung der PV führt daher zu Erdströmen. Die PV-Rahmen können jedoch geerdet werden, entweder in der Nähe der PV-Anlage oder (vorzugsweise) an der zentralen Masse. Dies bietet einen gewissen Schutz vor Blitzschlag.

Erdung in der Nähe der Batterie. Die Batteriepole sollen berührungssicher sein. Die Batteriemasse sollte daher die zuverlässigste und sichtbarste Erdungsverbindung sein.

Die DC-Erdungskabelung sollte ausreichend stark sein, um einen Fehlerstrom führen zu können, der mindestens dem DC-Sicherungs-nennwert entspricht.

Das Chassis des Wechselrichters oder Multi/Quattro muss geerdet werden. Zwischen Wechselstrom und Chassis befindet sich eine Grundisolation. Das Chassis des MPPT-Solarladegeräts muss geerdet werden. Zwischen Wechselstrom und Chassis besteht eine Grundisolation.

Bitte beachten Sie, dass die Wechselstromverteilung mit Sicherungen oder MCBs und PV-Anlagen und PV-Rahmenerdung nicht dargestellt ist.



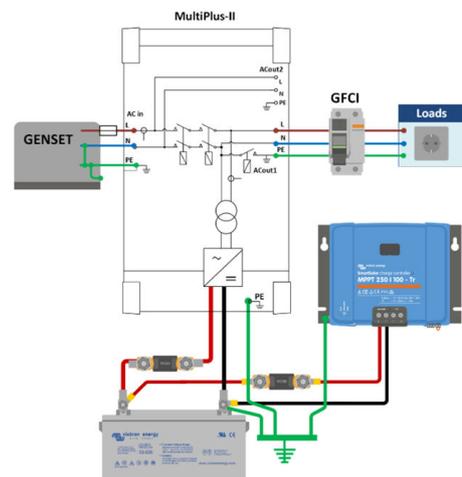
Netzunabhängig mit Generator

Verwenden Sie nur eine Erdung in der Nähe der Batterie. Die Batteriepole sollen berührungssicher sein. Die Batteriemasse sollte daher die zuverlässigste und sichtbarste Erdungsverbindung sein.

Die DC-Erdungskabelung sollte ausreichend stark sein, um einen Fehlerstrom führen zu können, der mindestens dem DC-Sicherungs-nennwert entspricht.

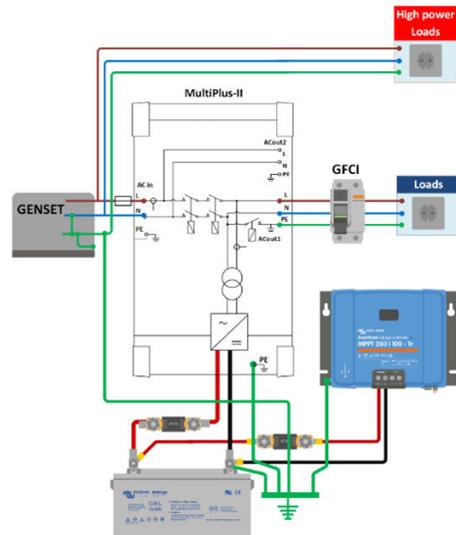
Ebenso sollte die Wechselstromerdverkabelung in der Lage sein, einen Fehlerstrom zu führen, der mindestens gleich der Wechselstromsicherungsleistung ist.

Eine GFCI ist nur funktionsfähig, wenn das Chassis des Multi/Quattro geerdet ist.



Netzunabhängig mit Hochleistungsgenerator

Erden Sie den Generator direkt an der zentralen Erdung.

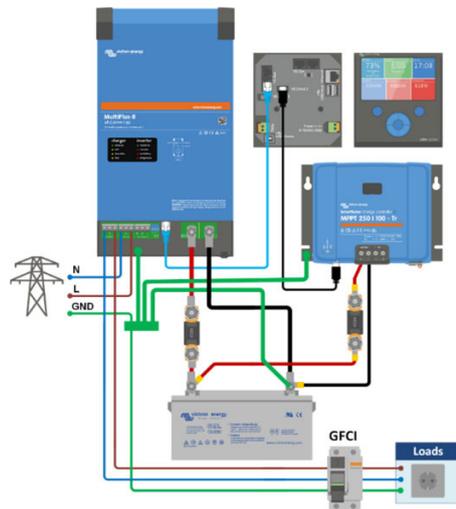


Netzgekoppeltes Energiespeichersystem (ESS)

Die Gleichstrommasseverkabelung sollte in der Lage sein, einen Fehlerstrom zu führen, der mindestens gleich dem Gleichstromsicherungswert ist.

Verbinden Sie das Chassis des Wechselrichters/Ladegeräts mit der Erdungssammelschiene.

Die Wechselstromausgangsmasse kann von der zentralen Sammelschiene oder von der Wechselstromausgangsklemme entnommen werden.

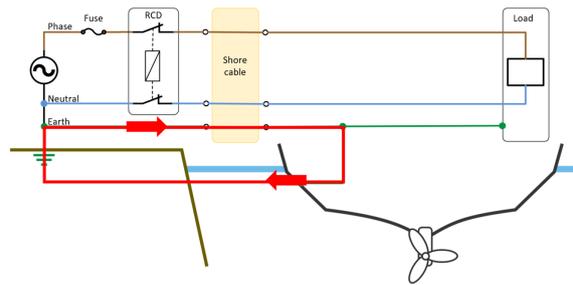


8. Galvanische Korrosion

Galvanische Korrosion wird durch einen elektrischen Strom verursacht, der über das Landstromkabel in ein Boot eintritt und über das Wasser zurück an Land geht. Diese Ströme können Korrosion an den Unterwassermetallen des Bootes verursachen, wie Rumpf, Propeller, Welle und so weiter. Dieser Strom wird als galvanischer Strom bezeichnet.

Galvanischer Strom ist ein Gleichstrom. Er wird durch die natürliche Spannungsdifferenz zwischen Metallen verursacht. Ein galvanischer Strom kann nur bei einem geschlossenen Stromkreis vorhanden sein. Ein Leiter, der zu einem anderen Stromkreis gehört, kann Teil des galvanischen Korrosionskreises sein. Wenn sich ein Boot mit Metallrumpf in Ufernähe befindet, besteht eine natürliche Spannungsdifferenz von 0,1 - 1 VDC zwischen Rumpf und Wasser.

Diese Potentialdifferenz führt zu nichts, solange der Stromkreis nicht abgeschlossen ist. Sobald der Landstrom an das Boot angeschlossen ist, wird die Landstromerde automatisch an den Bootsrumf angeschlossen und der Stromkreis ist abgeschlossen. Nun wird folgender Stromkreis gebildet: Rumpf - Wasser - Land - Erdspieß - Erdungskabel - Rumpf. Durch diese Schaltung fließt ein galvanischer Strom. Der galvanische Strom fließt teilweise durch den Wechselstromkreis, ist aber nicht mit diesem verbunden. Der Strom fließt weiter, bis die Potentialdifferenz beseitigt ist. Die Höhe des Stroms hängt vom Widerstand des Stromkreises ab. Der Widerstand wird durch Faktoren wie die Länge des Landstromkabels und den lokalen Erdungswiderstand bestimmt.



Chemisch gesehen ist das „schwächste“ Metall im Galvanikkreislauf das schnellste, das seine Moleküle einreicht, um den Strom am Laufen zu halten. Wenn der Rumpf des Schiffes Teil des galvanischen Stromkreises ist und der Rumpf das schwächste Metall enthält, beginnt der Rumpf mit der Zeit zu korrodieren. Dies kann sich zu einer bösen Situation entwickeln, und es kann ziemlich teuer und unsicher werden, wenn es ungeprüft bleibt. Es sind Fälle bekannt, in denen Schiffe aufgrund von galvanischer Korrosion gesunken sind. Aluminium-Rümpfe sind bekanntlich anfällig für diese Art von Korrosion. Galvanische Korrosion kann auch zwischen den verschiedenen Metallen, die an einem Boot befestigt sind, wie dem Propeller, dem Motor, dem Rumpf und so weiter, auftreten. Alle diese Teile sind mit der Erde verbunden, so dass zusätzliche kleine Ströme zwischen diesen Teilen fließen. Aus diesem Grund werden Opferanoden montiert. Eine Opferanode ist ein Stück Metall, das schwächer ist als das Metall drumherum. Deshalb werden sie geopfert, um die anderen Metalle zu schützen. Sie können Korrosion nur durch Verschieben verhindern. Welche Art von Opferanode verwendet werden soll, hängt von der Art des Metalls ab, das es schützt, und von der Art des Wassers, in dem sich das Boot befindet. Es wird empfohlen, diese Anoden regelmäßig zu überprüfen.

8.1. Verhinderung von galvanischer Korrosion

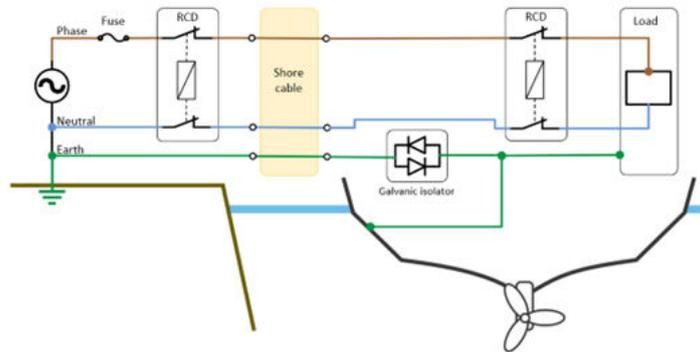
Die Antwort auf die Prävention ist ganz einfach. Um Korrosion zu vermeiden, muss der Stromkreis unterbrochen werden. Obwohl dies mit den kleinen Kreisläufen zwischen den verschiedenen Metallen, die am Boot befestigt sind, fast unmöglich zu erreichen ist, ist es mit dem Landstromanschluss möglich.

Der einfachste Weg, diesen Stromkreis zu unterbrechen, ist, die Landstromerde nicht mit dem Rumpf zu verbinden. Dies ist jedoch unsicher und nicht empfehlenswert, da dies dazu führt, dass der Rumpf nicht ausreichend geerdet ist und somit ein zufriedenstellendes Funktionieren des RCD nicht mehr gewährleistet werden kann, was zu unsicheren Situationen an Bord führt. Es gibt sichere Möglichkeiten, galvanische Korrosion zu verhindern, ohne die Sicherheit zu beeinträchtigen. Dies kann durch den Einsatz eines galvanischen Isolators oder durch den Einsatz eines Trenntransformators erreicht werden.

8.2. Der galvanische Isolator

Der galvanische Isolator verhindert galvanische Korrosion. Es blockiert die Niederspannungsgleichströme, die über das Landstromerkabel in Ihr Boot eindringen. Diese Ströme können Korrosion an den Unterwassermetallen des Bootes verursachen, wie Rumpf, Propeller, Welle und so weiter.

Der galvanische Isolator besteht aus zwei antiparallel geschalteten Dioden. Der galvanische Isolator wird zwischen dem Landanschluss und dem zentralen Erdungspunkt im Boot geschaltet.

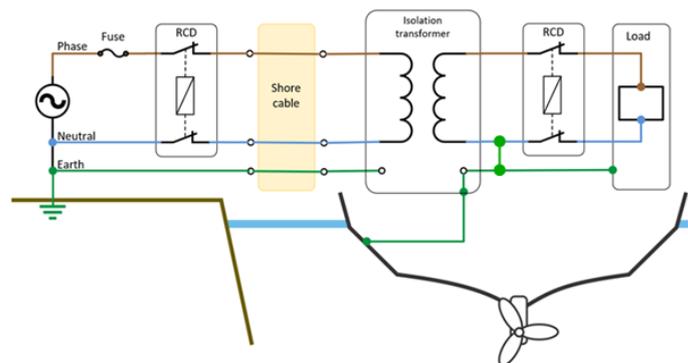


Die Dioden in dieser Konfiguration leiten erst bei Erreichen einer bestimmten Schwellenspannung Strom in beide Richtungen. Die Schwellenspannung beträgt ca. 1,4 VDC. Die Schwellenspannung ist höher als die galvanische Potentialdifferenz zwischen den verschiedenen Metallen. Auf diese Weise kann kein galvanischer Strom fließen. Andererseits wird eine höhere Erdschlussspannung im Wechselstromkreis durchgelassen, die die volle Funktionsfähigkeit eines angeschlossenen RCD ermöglicht.

Der Vorteil des galvanischen Isolators liegt in seinem geringen Gewicht und seiner Größe, der Nachteil ist, dass dieses Gerät auf einen guten Schutzleiter angewiesen ist. Eine weitere Überlegung ist, dass die galvanische Korrosion auch durch den Neutralleiter erfolgen kann, und zwar in Fällen, in denen der Neutralleiter über eines der an Bord befindlichen Elektrogeräte, wie beispielsweise einen Entstörfilter oder andere Geräte, mit der Erde verbunden ist.

8.3. Der Trenntransformator

Eine bessere Lösung, um galvanische Korrosion zu stoppen, ist der Einsatz eines Trenntransformators. In einem Trenntransformator wird der ankommende Strom in Elektromagnetismus umgewandelt und dann wieder in Strom umgewandelt.



Der Ein- und Ausgang sind vollständig isoliert und unterbrechen den Stromkreis zwischen Sternpunkt - Erdleiter - Rumpf - Wasser - Sternpunkt und blockieren so effektiv einen galvanischen Strom. Ein weiteres Merkmal des Trenntransformators ist, dass er elektrisch gesehen eine Stromquelle ist, die von einer anderen Stromquelle gespeist wird. Auf der Ausgangsseite des Transformators ist eine der abgehenden Phasen mit dem Rumpf verbunden, wodurch eine Phase, Neutralleiter und Erde erzeugt wird, die ein korrektes Funktionieren eines RCD gewährleistet.

Ein Trenntransformator bietet die gleiche Sicherheit wie in einer Hausinstallation und mehr. Die Installation ist auch völlig isoliert von elektrischen Problemen der umliegenden Boote. Ein weiterer Vorteil ist, dass ein Trenntransformator sehr oft in der Lage ist, die eingehende Landspannung zu erhöhen oder zu senken. Dies kann nützlich sein, wenn ein 230 VAC-Boot an eine 120 VAC-Versorgung angeschlossen werden muss oder umgekehrt.

9. Danksagungen

Autor:

Margreet Leeftink

Mit Dank an:

Reinout Vader, die [Victron-Community](#) und das World Wide Web.

Inhaltsangaben:

Informationen zur Sicherungsgeschwindigkeit: https://www.swe-check.com.au/pages/learn_fuse_markings.php

Eaton Bussmann-Schiffssicherungen: <https://www.eaton.com/au/en-gb/catalog/fuses-and-fuse-holders/marine-fuses-and-mounting-bars.html#tab-1>

Gefahren der Elektrizität: https://www.hsa.ie/eng/Topics/Electricity/Dangers_of_Electricity/

Kabelinterferenzen und Abschirmungen: <https://www.multicable.com/resources/reference-data/signal-interference-and-cable-shielding/>

Illustration zum Ohmschen Gesetz: <https://www.clipart.email/download/4165420.html>

Abbildung Formelrad zum Ohmschen Gesetz: <https://www.esdsite.nl/elektronica/wetvanohm.html>

Abbildung thermomagnetischer Schutzschalter: <https://electrical-engineering-portal.com/how-circuit-breaker-trip-unit-works>

Abbildung verzinnte Kupfersammelschiene: <https://au.rs-online.com/web/p/din-rail-terminal-accessories/4895420/>

Flachstecksicherungen: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Electrical_fuses,_blade_type.svg

RS Pro-Crimpwerkzeug: [Kabel- und Draht-Crimpwerkzeuge | RS \(rs-online.com\)](#)

Bild des NMEA 2000-Kabels: <https://www.powerandmotoryacht.com/electronics/down-wire>

Wikipedia-Seite zum Thema Blitzschlag: <https://en.wikipedia.org/wiki/Lightning>