

Dicke Drähte

Kabel für Photovoltaik auswählen und verbinden

Ob Balkonkraftwerk oder größere PV-Anlage: Um Module und Wechselrichter zu verbinden, braucht man Verlängerungskabel mit MC4-Steckern. Wer die selbst konfektionieren will, muss sich mit Werkzeug und dem Dimensionieren solcher Kabel beschäftigen.

Von Jan Mahn

Photovoltaikmodule werden nahezu immer mit zwei fest installierten Kabeln ausgeliefert, fast ausnahmslos mit Steckern vom Typ MC4. Die Kabel sind kurz und gerade so bemessen, dass man die Module nebeneinander installieren und in Reihe schalten kann. Wenn man ein kleines Balkonkraftwerk plant, also nur ein einzelnes Modul mit einem Mikrowechselrichter verbinden will, und den direkt dahinter anbringt, reicht diese Länge gerade so aus. Aber schon bei zwei Modulen nebeneinander, die einen Wechselrichter erreichen müssen, wird es eng – denn unter mechanischer Spannung soll man die Kabel nicht verlegen und auch nicht über scharfe Kanten des Montagematerials ziehen. Ein Stück Verlängerung muss her.



Die Zuordnung von Stecker und Hülse ist entscheidend: In den männlichen MC4-Stecker (links) gehört die Hülse mit dem größeren Durchmesser.

Entweder kauft man fertig konfektionierte Verlängerungen oder man besorgt das Kabel als Meterware – dazu Stecker und Werkzeug – und wird selbst zum Kabelkonfektionierer. Wer nur zwei Strippen für ein Modul des eigenen Balkonkraftwerks braucht, sollte den ersten Weg einschlagen und zur Fertigware greifen. Ein Kabel mit einem Meter Länge und zwei Steckern kostet je nach Shop zwischen 5 und 15 Euro, Suchbegriffe sind „MC4“ und „PV-Verlängerung“. Doch die Erfahrung zeigt auch: Bei einem einzigen Balkonkraftwerk bleibt es oft nicht und als technisch Interessierter wird man zum Multiplikator für Freunde und Familie, die alle Schlange stehen. Schnell steht man vor der Aufgabe, „mal schnell“ solche Verlängerungen nach Maß anzufertigen. Was Sie dafür brauchen, beschreibt das Folgende.

Materialkunde

Als Kabel für PV-Anlagen kommt nur ein Typ infrage, spezifiziert in DIN EN 50618: Nach der harmonisierten Bezeichnung für Kabel heißen die PV-Kabel mit vollem Namen H1Z2Z2-K, was Auskunft über Leiter und Mantel gibt. Im Inneren befindet sich ein Leiter aus feindrähtigem Kupfer, außen verzinnt. Dann folgen zwei recht dicke Schichten Isolation aus Polyolefin. In Webshops findet man solches Kabel unter dem Suchbegriff „Solarkabel“ oder „PV-Kabel“ in rot und schwarz ab etwa 1 Euro pro Meter. Als Zubehör für PV-Anlagen ist das Kabel in Deutschland seit 2023 von der Umsatzsteuer befreit, wenn Sie beim Kauf versichern, dass Sie eine Anlage unter 30 Kilowatt Peak für Ihr Privathaus damit errichten. Von anderen Kabeln (wie NYM-Leitung oder gar Lautsprecherkabel) sollten Sie für diesen Zweck die Finger lassen – das wäre schlicht Pfusch.

In der Praxis sind drei Leiterquerschnitte üblich: 4 mm², 6 mm², und 10 mm². Wenn Sie nur kurze Kabel für ein Balkonkraftwerk zuschneiden wollen, bei denen der Mikrowechselrichter in der

Nähe der Module hängt – also in 2 bis 3 Meter Entfernung –, können Sie sich die folgenden Berechnungen sparen und unbesehen zur 4-mm²-Leitung greifen.

Dickere Leitungen brauchen Sie erst, wenn die Leitungswege länger oder die Ströme höher werden. Das Ziel beim Dimensionieren der Leiter: Die Verlustleistung soll unter 1 Prozent liegen. Bei einem 400-Watt-Modul eines Balkonkraftwerks sollen also maximal 4 Watt verloren gehen. Verlust entsteht immer, weil jedes Kabel einen Widerstand hat und weil auf der Strecke elektrische Energie als Wärme umgewandelt wird.

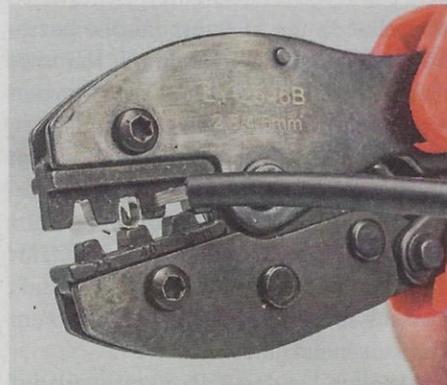
Dickenberechnung

In die Berechnung des Widerstands R fließen die Länge des Leiters l (in Meter), sein Querschnitt A (in Millimeter) und der spezifische Widerstand ρ des Materials mit der sperrigen Einheit ($\Omega \times \text{mm}^2$)/m ein. Für Kupfer liegt ρ bei 0,0171 ($\Omega \times \text{mm}^2$)/m, bei höheren Temperaturen steigt dieser Wert.

Den Widerstand über die Länge des Kabels berechnet man dann mit $R = \rho \times l / A$. Die Länge l (Strecke zwischen Modul und Wechselrichter) wird verdoppelt, weil man ja ein Kabel für den Plus- und eins für den Minuspol braucht.

Als Beispiel ein etwas konstruierter Fall: Aus baulichen Gründen soll der Wechselrichter eines Balkonkraftwerks fünf Meter vom Modul entfernt installiert werden, man braucht also insgesamt zehn Meter Kabel. Der Widerstand bei einem Querschnitt von 4 mm² ist dann:

$$R = 0,0171 \times 10 / 4 = 0,04275 \Omega$$



Übungssache: Die Zange so festhalten, dass die Hülse darin hält. Die offene Seite der Hülse zeigt in Richtung der Pressbacke, die wie ein flaches W geformt ist. Mit der anderen Hand führt man das abisolierte Kabel ein.



Fest verbunden: Die Laschen an der Hülse haben sich nach dem Crimpen um die Litze gelegt. Die Hülse ist bereit, mit ihrem Stecker verbunden zu werden.

Die Verlustleistung P_v ist dann schnell errechnet, man muss lediglich den Strom kennen, der durch die Kabel fließt, die Formel lautet:

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

Im Beispiel soll nur ein einziges Modul angeschlossen werden. Dem Datenblatt kann man entnehmen, wie hoch der Strom maximal ist – bei einem 400-Watt-Modul kann das zum Beispiel ein Wert wie 11 Ampere sein. Eingesetzt ergibt das:

$$P_v = 0,04275 \times 11^2 = 5,17 \text{ W}$$

Resultat dieser kleinen Rechnung: Der Verlust in einer 400-Watt-Anlage ist höher als 1 Prozent. Abhilfe kann man schaffen, indem man den Wechselrichter näher ans Modul bringt oder den Querschnitt des Kabels erhöht. Kurze Probe: Bei einem Leiter mit 6 mm² Querschnitt und gleicher Länge liegt der Widerstand bei 0,0285 Ω und der Verlust bei nur noch 3,45 Watt – also unter dem Idealzustand von 1 Prozent.

Falls Sie angesichts dieser Rechnungen an einem Balkonkraftwerk Angst bekommen haben, dass die Kabel für eine große Dachanlage exorbitant dick werden müssen, können wir Sie beruhigen: In einem String einer großen Dachanlage werden die Module in Reihe geschaltet, es steigt also die Spannung, nicht die Stromstärke im System. Die Spannung kommt in den oben stehenden Gleichungen nicht vor. Würde man im obigen Beispiel zehn Module hintereinander installieren, liegt die Verlustleistung weiterhin bei 5,17 Watt, die Gesamtleistung liegt aber bei 4 Kilowatt.

Handwerkszeug

Wenn Sie sich für das ideale Kabel entschieden haben, können Sie bestellen. Zusammen mit dem Kabel können Sie auch die zweite Komponente beschaffen: die MC4-Stecker. Die gibt es mittlerweile in

jedem gut sortierten PV-Onlineshop, bei vielen Elektrohändlern und auf Handelsplattformen wie eBay und Amazon. Bei denen ist es aber etwas schwieriger, in den Genuss des Nullsteuersatzes bei der Mehrwertsteuer zu kommen.

Zentrales Werkzeug zum Crimpen (zu Deutsch: „Quetschen“) ist eine MC4-Zange. Versuchen Sie das nicht mit einer Kombizange, einem Hammer oder anderen ungeeigneten Werkzeugen, denn sonst machen die Verbindungen früher oder später Probleme – mal davon abgesehen, dass das Gefrickel zeitraubend ist. Für einen Koffer mit einer MC4-Crimpzange vom Markenhersteller kann man bis zu 400 Euro ausgeben, aber wenn man solche Verbindungen nicht gerade im Hauptberuf herstellt, reicht auch ein günstiges Modell für 20 bis 40 Euro.

MC4-Steckverbinder gibt es in einer männlichen und einer weiblichen Ausführung. Beide bestehen aus dem mittleren Kunststoffteil, einer Schraubkappe mit Zugentlastung und einer Metallhülse. Die Hülsen muss man sich vorab genau ansehen und sie richtig zuordnen: In den männlichen Stecker gehört die Hülse mit dem größeren Durchmesser, in den weiblichen Stecker der mit dem kleineren.

Los geht es mit dem Abisolieren eines Kabelendes. Typische Abisolierzangen sind mit der dicken Doppelisolation der PV-Kabel überfordert. Mit etwas Übung gelingt das mit einem Messer, ohne die Drähte zu beschädigen. Einfacher wird es, wenn man das Messer in eine Hand nimmt, das Kabel mit dem rechten Daumen aufdrückt und es mit der anderen Hand dreht. Wer häufiger abisolieren muss, bekommt für 50 Euro auch spezialisierte PV-Abisolierzangen. Etwa zehn Millimeter lang muss das abgesetzte Stück sein.

Dann folgt der Schritt, der etwas Übung erfordert. Die Zange hat mehrere Bereiche, die mit Zahlen wie 4 und 6 für verschiedene Leiterquerschnitte bezeichnet sind. In den richtigen Bereich legt man die zu verpressende Hülse ein – und zwar so, dass die offene Seite nach oben zeigt. Die Pressbacke hat dort die Form eines sehr flachen W. Wenn man die Zange etwas spannt, kann man sie halten, ohne dass die Hülse herausfällt.

Ist die Hülse in Position, legt man das abisolierte Kabel ein, dann muss man die Zange einmal bis zum Ende durchdrücken und das gepresste Teil entnehmen.

Das Crimpen ist erledigt, jetzt die Zugentlastung und die Schraubkappe auf

das Kabel fädeln und den passenden Kunststoffstecker auf die Metallhülse stecken. Die Stecker sind so konstruiert, dass die Hülse darin einrastet – dann ist sie in Position und Sie können die Schraubkappe zudrehen. Bei einigen Steckern auf dem Markt liegt noch ein Werkzeug bei, um die letzten Umdrehungen der Schraubkappe zu erledigen, bei anderen geht das mit der Hand.

Die erste Seite des Verlängerungskabels ist fertig – auf die gegenüberliegende Seite gehört der jeweils andere Stecker. Jedes PV-Verlängerungskabel hat einen männlichen und einen weiblichen Stecker. Der häufigste vermeidbare Anfängerfehler beim Konfektionieren: die Schraubkappe und das Zugentlastungsteil vergessen, bevor man den Stecker aufsteckt. Die Hülsen haben Widerhaken und kommen somit nicht mehr raus.

Loskonfektionieren

Zum Abschluss ist noch eine Warnung angebracht: Dass MC4-Stecker leicht zusammensteckbar sind und schwer zu trennen, hat einen Grund. Eingesetzt werden die Verbinder eben nicht nur in Balkonkraftwerken, sondern auch in großen Stringanlagen mit Spannungen bis knapp unter 1000 Volt.

Dort ist das ein überlebenswichtiger Schutz, denn unter Volllast endet der Versuch, eine solche Verbindung zu trennen, in einem gefährlichen und langen Lichtbogen. Weil man MC4-Stecker also wirklich nicht leichtfertig öffnen sollte, sind sie heute oft so gestaltet, dass man ein (beigelegtes) Werkzeug mit zwei Dornen braucht, um die eingerasteten Nasen auf beiden Seiten gleichzeitig zusammenzudrücken. Damit kennen Sie die Geheimnisse des MC4-Verlängerungskabels und können sich und der Familie selbst helfen, wenn Sie eine Installation von Balkonkraftwerk & Co. planen. (jam@ct.de) **ct**



Fertig: Bevor man den Stecker von vorne auf die Hülse steckt, müssen Schraubkappe und Zugentlastung eingefädelt werden. Am Ende beide Teile verschrauben.