

Schmelzsicherungen richtig anwenden

PV-Anlagen müssen - wie andere elektrische Anlagen auch - gegen Überströme geschützt werden. Hierbei kommen in der Regel Schmelzsicherungen zum Einsatz, die dem Schutz von Leitungen, Betriebsmitteln aus dem Bereich der Verbindungstechnik und den Solarmodulen selbst dienen. Im Rahmen eines Forschungsprojekts hat das Fraunhofer-Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik IWES einen Leitfaden erarbeitet, der dem Anwender Hinweise zur Anwendung von Schmelzsicherungen in PV-Anlagen gibt.

Durch den photoelektrischen Effekt wird in Solarzellen eine Gleichspannung erzeugt. Für technische Anwendungen, wie eine PV-Anlage, werden Zellen zu sogenannten Modulen zusammengefasst. In der Regel bilden mehrere in Reihe geschaltete PV-Module einen Strang bzw. String, so dass die gewünschte Ausgangsspannung von üblicherweise bis zu 1000 V erreicht wird. Die Stränge werden dann parallelgeschaltet, wodurch ein so genannter Generator gebildet wird, der den Wechselrichter mit Gleichspannung versorgt. Der Wechselrichter wandelt die Gleichspannung dann in Wechselspannung um. Die so bereitgestellte Energie kann dann

sofort im Haushalt verbraucht oder in das Versorgungsnetz eingespeist werden.

Auftreten von Überströmen

Im einwandfreien Zustand und bei fachgerechter Installation können im Betrieb eines PV-Systems keine unzulässig hohen Ströme auftreten, auch nicht bei Teilabschattung oder Temperaturunterschieden zwischen den Modulen. Lediglich ein Fehlerrückstrom, der die vom Modulhersteller angegebene Rückstromtragfähigkeit eines Moduls übersteigt, kann zu einem unzulässig hohen Strom führen. Solche unzulässigen Fehlerrückströme können nur auftreten, wenn Fehler bei der Planung oder

Installation gemacht werden, oder durch äußere Einflüsse Beschädigungen an Komponenten oder Installationsmaterialien vorliegen. Die Ursache für einen Fehlerrückstrom ist immer eine elektrische Verkürzung eines oder mehrerer Stränge in einem Generatorverbund. Die Ursachen für die Verkürzung von Strängen können unterschiedlich sein:

- Defekte Bypassdioden,
- Ein- oder mehrfacher Erdschluss,
- Verpolung von Modulen,
- Installationsfehler bei Verschaltung.

Abgesehen von den momentanen Bestrahlungsverhältnissen kann als »worst



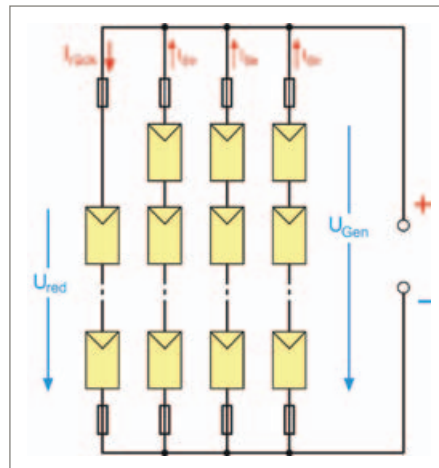
case« für einen solchen unzulässigen Betriebszustand des PV-Generators folgendes angenommen werden:

- Es ist nur ein einzelner Strang von der Strangverkürzung betroffen,
- Der Grad der Strangverkürzung bestimmt die Höhe des möglichen Fehlerrückstroms,
- Je größer das Verhältnis von intaktem Restgenerator (parallele Stränge) zum fehlerbehafteten Generatorteil, desto höher der Fehlerrückstrom,
- Module mit großem Füllfaktor (steile Kennlinien im Bereich zwischen MPP- und Leerlaufspannung) führen schneller zu höheren Fehlerrückströmen,
- Ungünstigster Betriebszustand für Fehlerrückströme ist der Leerlauf des Solargenerators.

Genau auf einen solchen »worst case« müssen die Schutzeinrichtungen ausgelegt sein. Unzulässig hohe Ströme können durch Erwärmung oder Lichtbogenbildung Schäden an der Anlage verursachen. Sicherungen leisten deshalb auch einen wichtigen Beitrag zum Brandschutz. Zur Absicherung einzelner Stränge werden üblicherweise Zylindersicherungen eingesetzt. Teilgeneratoren mit höheren Summenströmen werden mittels NH-Sicherungseinsätzen entsprechender Baugröße, die in passende Sicherungshalter eingesetzt werden, abgesichert. Dabei muss darauf geachtet werden, dass nur für PV-Anwendungen vorgesehene Sicherungen der Betriebsklasse »gPV« zum Einsatz kommen. Diese haben eine Ganzbereichscharakteristik, wodurch die Sicherung auch kleine Überströme sicher abschalten kann. Durch das Abschalten einer Sicherung wird der fehlerbehaftete Teil des Solargenerators vom Restgenerator getrennt. Erst nach Behebung des Fehlers kann durch Austausch der Sicherung der bestimmungsgemäße Betrieb der Anlage wieder aufgenommen werden.

Planung der Schutzeinrichtungen

Photovoltaikanlagen sollten unter Berücksichtigung von wirtschaftlichen Aspekten so geplant und ausgelegt werden, dass sie einen maximalen Ertrag erbringen. Das bedeutet unter anderem, dass Ausfallzeiten nach Möglichkeit nicht auftreten. Sicherungen sollten deshalb so ausgewählt und dimensioniert werden, dass eine Abschaltung auch nur



Die Verkürzung eines Strangs innerhalb eines Solargenerators kann zu einem Rückstrom innerhalb des verkürzten Strangs führen.

im Fehlerfall erfolgt. Unbeabsichtigtes Abschalten ist durch eine sorgfältige Planung zu vermeiden. Eine Abschaltung von Sicherungen kann ohne Sicherungsüberwachung nur sehr schwer festgestellt werden. Während dies bei kleinen Anlagen, mit einer übersichtlichen Anzahl von Strängen, noch relativ schnell bemerkt werden kann, ist dies mit zunehmender Systemgröße oftmals schwieriger. Um ein unbeabsichtigtes Auslösen von Sicherungen zu vermeiden, müssen Rahmenbedingungen für den Betrieb unbedingt berücksichtigt werden. Ergänzend zu der zuvor durchgeführten Dimensionierung können jedoch, insbesondere bei der Planung und Ausführung, Fehler gemacht werden die es gilt bereits im Vorfeld zu vermeiden.

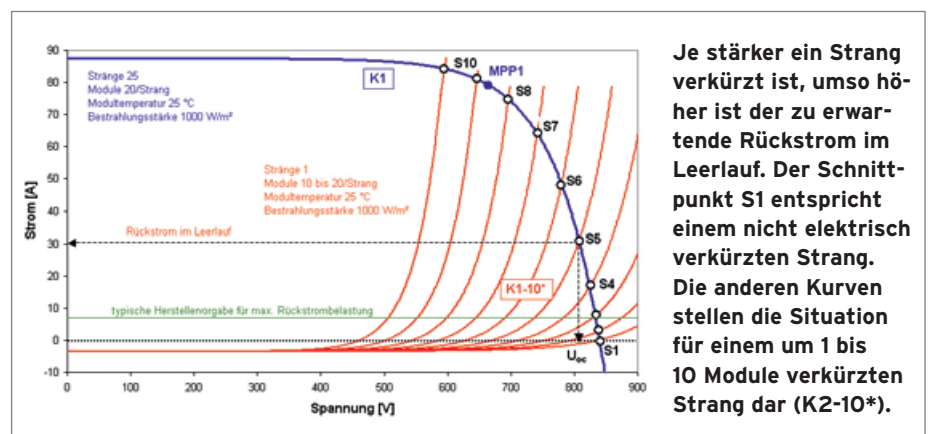
Üblicherweise werden Strangsicherungen an der Stelle des Generatorverbundes eingesetzt, wo die Parallelschaltung der Stränge erfolgt. Ob eine einfache (nur Plus des PV-Generators) oder doppelte (Plus und Minus des PV-Generators) Absicherung eines Stran-

ges erforderlich ist, hängt unter anderem davon ab, ob der PV-Generator geerdet oder ungeerdet ist. Wegen der Komplexität der denkbaren Fehlermöglichkeiten, die beim Betrieb einer PV-Anlage auftreten können, sollten sowohl der Plus- als auch der Minuspol eines jeden Stranges mit einer sorgfältig dimensionierten Sicherung versehen werden.

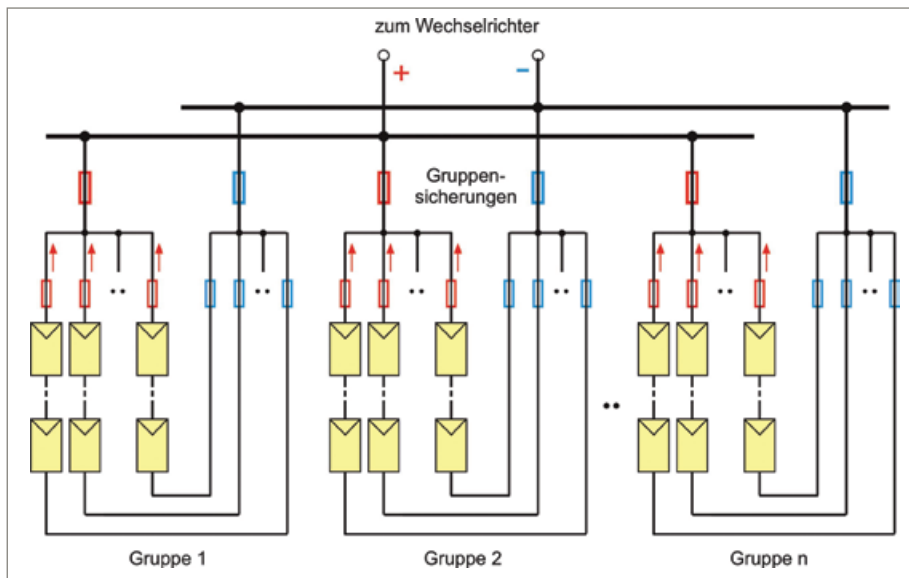
Bei größeren PV-Anlagen wird der Solargenerator häufig in Untergruppen aufgeteilt. Einzelne Gruppen (Arrays und Subarrays), die jeweils aus mehreren parallelen Strängen bestehen, müssen dann separat allpolig mit Sicherungen ausgestattet werden. Auch hier ist nur der Einsatz von gPV-Ganzbereichsicherungen beispielsweise in NH-Bauform zugelassen.

Sicherungsauslegung

Die richtige Auslegung der Sicherungen ist für einen sicheren, wirtschaftlichen und störungsfreien Betrieb einer PV-Anlage von hoher Bedeutung. Zunächst gilt es dabei den Bemessungsstrom und die Bemessungsspannung der Sicherung festzulegen. Die maximale DC-Spannung ergibt sich aus der Anzahl der in Reihe geschalteten Module pro Strang, wobei die maximal zulässige Eingangsspannung des Wechselrichters zu keinem Zeitpunkt überschritten werden darf. Bei der Auswahl der Sicherung ist sicherzustellen, dass die Bemessungsspannung der Sicherung nicht überschritten wird. Die Leerlaufspannung der Module wird in der Regel unter so genannten »Standard Test Conditions« (STC) vom Hersteller angegeben. Hierbei wird von einer Zelltemperatur von +25°C, einer Einstrahlung von 1000 W/m² und einer Air Mass von 1,5 ausgegangen. Die Modultemperatur kann allerdings je nach Witterung deutlich niedriger sein, was zu einer deutlichen Erhöhung der maximalen



Je stärker ein Strang verkürzt ist, umso höher ist der zu erwartende Rückstrom im Leerlauf. Der Schnittpunkt S1 entspricht einem nicht elektrisch verkürzten Strang. Die anderen Kurven stellen die Situation für einem um 1 bis 10 Module verkürzten Strang dar (K2-10*).



Bei größeren PV-Systemen wird der Solargenerator in Gruppen aufgeteilt, die durch eine Gruppensicherung abgesichert sind.

Leerlaufspannung führen kann. Zur genauen Bestimmung der maximalen Leerlaufspannung müssen die Umgebungsbedingungen daher mit berücksichtigt werden. Als Faustregel, die abgesehen von extremen Umgebungsbedingungen ausreichend ist, kann auch ein 20 %-iger Aufschlag auf die Leerlaufspannung bei STC angenommen werden.

Auch bei der Berechnung des Sicherungs-Bemessungsstroms müssen die Rahmenbedingungen beachtet werden. Dies sind beispielsweise die Tempera-

turabhängigkeit der Modulströme, erhöhte Bestrahlungsstärken oberhalb der unter STC angenommenen 1000 W/m², höhere Umgebungstemperaturen und die Einbausituation der Sicherungen. Der Bemessungsstrom der Sicherung muss daher immer höher sein als der Kurzschlussstrom des Stranges. Auf jeden Fall sollte darauf geachtet werden, dass eine Sicherung nicht im regulären Betrieb abschaltet. In der IEC 60269-6 ist für den Bemessungsstrom ebenfalls eine Faustregel mit einem Multiplikator von 1,4 angegeben, der eine vereinfachte Auslegung ermöglichen soll. Im Zweifel sollten aber die maximal möglichen Ströme im regulären Betrieb möglichst exakt berechnet werden. Weiteren Einfluss auf die Auslegung der Sicherungen haben der Wechsellastfaktor, der eine dynamische Strombelastung durch Wolkenzug berücksichtigt, sowie die Wärmebelastung innerhalb des Gehäuses, in dem die Sicherungen installiert sind.

Abschaltzeiten im Fehlerfall

Um eine PV-Anlage wirkungsvoll gegenüber Fehlerströmen zu schützen, müssen die verwendeten Sicherungen nicht nur – wie oben beschrieben – richtig dimensioniert sein, sie müssen einen Fehlerstrom auch rechtzeitig abschalten. In einem zuvor beschriebenen Fehlerfall kehrt sich die Stromrichtung im fehlerhaften Strang um. Die Höhe des Stromes in Rückwärtsrichtung wird dabei im Wesentlichen durch die Anzahl von parallelen Modulsträngen bestimmt. Der Absicherung bei Parallelschaltung von Modulsträngen sind aus diesem Grund

beispielsweise in der DIN EN 61730-1 Grenzen gesetzt. In der Regel kann dann davon ausgegangen werden, dass ab drei Modulsträngen Sicherungen einzusetzen sind, um Ströme in Rückwärtsrichtung sicher abzuschalten.

Bei der Rückstrom-Überlastprüfung gemäß DIN EN 61730-2 werden PV-Module mit dem 1,35-fachen Bemessungswert, des vom Hersteller angegebenen Modul-Überstromschutzes für zwei Stunden beaufschlagt. Zum Schutz des Moduls benötigt man daher eine Sicherung, die unter den vorgegebenen Bedingungen früher abschaltet, um einen Schaden am Modul oder eine Überlastung der Leitung zu vermeiden. PV-Sicherungen sind daher so bemessen, dass sie in der Anlage bei einem Fehlerstrom, der dem 1,35-fachen des Bemessungsstromes entspricht, spätestens nach einer bzw. zwei Stunden (in Abhängigkeit der Bemessungsstromes \leq oder >63 A) eine Abschaltung bewirken.

Die Dauer bis zur Abschaltung der Sicherung wird als Schmelz- oder Ansprechzeit bezeichnet. Die Höhe des fehlerbedingten Rückstroms hat Einfluss auf die Ansprechzeit des Schmelzleiters. Die Ermittlung der Schmelzzeit erfolgt aus einem Zeit/Strom-Diagramm, das vom Sicherungshersteller bereitgestellt wird.

Fazit

Bei der Absicherung von PV-Anlagen kommen in der Regel Schmelzsicherungen zum Einsatz. Bei der richtigen Dimensionierung müssen eine Vielzahl Faktoren berücksichtigt werden, die einen Einfluss auf den Bemessungsstrom und die Bemessungsspannung haben. Statt mit Faustformeln lassen sich diese Werte auch exakt berechnen. Das Vorgehen bei der exakten Berechnung beschreibt der »Leitfaden für die Anwendung von Sicherungen in Photovoltaikanlagen«, der vom Fraunhofer-Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik IWES erstellt wurde. Zusätzlich findet sich in dem Leitfaden eine Auflistung sämtlicher Normen, die bei der Errichtung von PV-Anlagen zu berücksichtigen sind. *psc*

NH/HH-Recycling

Der gemeinnützige Verein zur Förderung des umweltgerechten Recycling von abgeschalteten NH/HH-Sicherungseinsätzen e.V. hat die Erstellung des Leitfadens mit Fördermitteln unterstützt. Als freiwillige Initiative der deutschen Sicherungshersteller widmet sich der 1995 gegründete Verein dem Recycling von ausgedienten Schmelzsicherungen als Beitrag für einen nachhaltigen Wirtschaftskreislauf. Energieversorger, Industrieunternehmen, mittelständische Betriebe und das Elektrohandwerk beteiligen in sich ganz Deutschland über ein vom Verein finanziertes flächendeckendes Sammelsystem. Die Überschüsse verwendet der Verein hauptsächlich in Form von Spenden zur Finanzierung von Forschung, Lehre, Aus- und Weiterbildung. Mitglieder des Vereins sind die deutschen Sicherungshersteller DRIESCHER Wegberg, EFEN, Hager, Jean Müller, MERSEN, SIBA und Siemens.



> Autor

DR. JÖRG LANTZSCH,
freier Fachjournalist und
Inhaber der Agentur Dr.
Lantzsch in Wiesbaden