

Technische Möglichkeiten zur Abschaltung von Solargeneratoren im Schadensfall – eine Übersicht und Bewertung

Heribert Schmidt, Robin Grab, Bruno Burger
Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE

Heidenhofstraße 2, 79110 Freiburg,

Tel. 0761 4588-5226, Fax: -9226

heribert.schmidt@ise.fraunhofer.de

www.ise.fraunhofer.de

Hintergründe und Motivation

Solarzellen erzeugen eine elektrische Spannung so lange sie beleuchtet werden. Bei sehr geringer Einstrahlung ist diese Spannung ebenfalls gering, sie steigt aber mit zunehmender Einstrahlung schnell auf die volle Spannung an. Aufgrund ihres Wirkungsprinzips ist der abgegebene Strom proportional zur Einstrahlung, so dass bei geringer Einstrahlung nur ein geringer Strom erzeugt wird, und bereits eine geringe Belastung zu einem Zusammenbrechen der Spannung führt. Elektrisch verhalten Solarzellen sich in weiten Bereichen der Kennlinie wie Gleichstromquellen (horizontale Strom-/ Spannungs-Kennlinie), wodurch sie zum einen dauerhaft kurzschlussfest sind, zum anderen aber sich evtl. gebildete Lichtbögen stabil aufrechterhalten. Im Gegensatz zu AC-Quellen gibt es keine Nulldurchgänge der Spannung oder des Stromes, in denen der Lichtbogen verlöschen könnte.

Diese von gewohnten Spannungsquellen abweichenden Eigenschaften erfordern einen besonderen Umgang sowohl während der Installation und Wartung der PV-Anlagen als auch bei evtl. erforderlichen Rettungseinsätzen bei Gebäuden mit PV-Anlagen oder auch bei Freiflächenanlagen. Die Erfahrung mit einer inzwischen großen Anzahl von PV-Anlagen zeigt allerdings, dass während der Installation und Wartung keine nennenswerten Vorkommnisse durch elektrische Schläge aufgetreten sind – Unfälle waren nahezu ausschließlich in einer unzureichenden Ausrüstung oder Absicherung der Installateure auf dem Dach begründet. Auch besteht bei diesen Arbeiten keine Stresssituation wie in einem Brandfall, so dass die elektrotechnisch ausgebildete Fachkraft die entsprechenden Sicherheitsregeln beachten kann. An dieser Stelle besteht also kein Bedarf an einer Abschaltbarkeit von Solarmodulen.

Stark in die Diskussion gekommen sind hingegen die potenziellen Gefahren im Zusammenhang mit Bränden einer PV-Anlage. Hierbei sind zwei Szenarien zu unterscheiden:

- der Brand wird durch die PV-Anlage selbst verursacht

- das Gebäude mit PV-Anlage brennt aus anderen Gründen

Der erste Fall ist in der Vergangenheit trotz einer großen Anzahl und auch teilweise schon über lange Zeiträume in Betrieb befindlicher PV-Anlagen nur äußerst selten aufgetreten. In den bekannt gewordenen Fällen waren die Ursachen zumeist in Qualitätsmängeln in der Modulfertigung (schlechte Lötstellen, gerissene Zellverbinder, ungeeignete Klemmen, unterdimensionierte Bypass-Dioden etc.) oder in einer unsachgemäßen Montage zu suchen. Lichtbögen, wie sie insbesondere in den USA als Fehlerursache oft herausgestellt werden, treten in europäischen Anlagen sehr selten auf. Ein Grund hierfür liegt – neben der durchgängigen Verwendung von Komponenten der Schutzklasse II (SK II) und auch der ständigen Überwachung des Solargenerators durch den Wechselrichter (z. B. Erdschluss-Messung vor dem Einschalten, Fehlerstromüberwachung im laufenden Betrieb) - darin begründet, dass in den USA gemäß den früheren Normen ein Pol des Generators permanent geerdet sein muss. Bereits ein singulärer Isolationsfehler führt daher zu einer Gefährdung. Weiterhin sind die oben genannten Überwachungsmaßnahmen und die allpolige Trennung vom Netz resp. von der Erde in einem permanent geerdeten Generator nicht möglich.

Der zweite Fall eines konventionellen Hausbrandes mit PV-Anlage wird aufgrund der schnell wachsenden Anzahl von PV-Anlagen statistisch zwangsweise zunehmen. Hier stellt sich die Frage nach einer Gefährdung von Bewohnern und Rettungskräften durch die PV-Anlage. Dieses publikumswirksame Thema ging im Sommer 2010 durch nahezu alle Medien, wobei die zum großen Teil sachlich falschen und irreführenden Darstellungen zu einer Verunsicherung sowohl bei Betreibern von Anlagen als auch den Feuerwehren führten. So zog sich z. B. das Gerücht, dass bereits das Mondlicht oder auch das Blaulicht der Einsatzfahrzeuge in der Nacht zu gefährlich hohen Spannungen am Solargenerator führen können, wie ein roter Faden durch die Berichte – eine technisch unhaltbare Aussage. Die ständige Wiederholung der falschen Darstellungen führte letztlich dazu, dass sich die Feuerwehren z. B. in Diskussionsforen dagegen verwahrten, permanent als unfähig dargestellt zu werden.

Die Aussagen in Bezug auf PV-Anlagen lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- die Feuerwehren sind es gewohnt und dafür ausgebildet, mit gefährlichen Situationen umzugehen
- die Feuerwehren können Gebäude mit PV-Anlagen löschen und löschen diese auch
- es besteht aber ein gezielter Schulungsbedarf bei Feuerwehren
- Probleme bestehen durch Überbauung von Brandabschnitten durch PV-Anlagen oder der Behinderung des Zugangs zum Dach bei großen durchgehenden PV-Generatorflächen
- bei Bränden auftretende Atemgifte oder herabfallende Teile zählen für Feuerwehren zum allgemeinen Gefahrenpotenzial
- Mondlicht oder das Blaulicht der Einsatzfahrzeuge können keine gefährlichen Spannungen oder Stromstärken in PV-Generatoren hervorrufen
- die üblicherweise zur großflächigen Ausleuchtung des Brandortes eingesetzten Baustellenstrahler (typ. 1 kW) können ebenfalls keine gefährlichen Spannungen oder Ströme hervorrufen
- beachtet werden müssen in diesem Zusammenhang die oftmals hochkapazitiven Kondensatoren am Eingang von Wechselrichtern, die auch mit kleinen Strömen auf hohe Spannungen aufgeladen werden können und unter ungünstigen Bedingungen zu Gefährdungen führen können
- während der Installation und Wartung durch Fachkräfte ist eine Abschaltung der Solarmodule nicht erforderlich.

Trotz dieser gegenüber den Berichten in den Medien geringeren Einschätzung einer Gefährdung durch einen elektrischen Schlag wäre es in bestimmten Anwendungen vorteilhaft, wenn sich Solargeneratoren oder zumindest die ins Haus führenden DC-Leitungen eines PV-Systems im Schadensfall oder bei Reparaturarbeiten spannungsfrei schalten ließen. Eine solche Forderung wurde auch von der Konferenz der Innenminister an die Normungsgremien herangetragen, und ein ad hoc - Arbeitskreis der DKE hat ein erstes Thesenpapier hierzu entworfen. Weiterhin sollen die im Zusammenhang mit Bränden von PV-Anlagen aufgeworfenen Fragen in einem vom TÜV Rheinland und dem Fraunhofer ISE initiierten Projekt (Beginn 2011) gemeinsam mit der Feuerwehr sowie einschlägigen Firmen und Sachverständigen beantwortet werden.

Jede zusätzliche Maßnahme stellt aber eine Erhöhung der Komplexität der PV-Anlage und damit deren Ausfallwahrscheinlichkeit und auch deren Kosten dar. Aus

Sicht der Autoren ist daher vor einer ultimativen Forderung einer Abschaltbarkeit jedes einzelnen Solarmoduls zu prüfen, ob alle konventionellen Lösungsmöglichkeiten - wie z. B. eine Verlegung der DC-Leitungen innerhalb der Gebäude in Schutzrohren oder die Führung von DC-Leitungen außerhalb der Gebäude - ausgeschöpft sind. Weiterhin ist bei den erforderlichen Maßnahmen klar zu unterscheiden zwischen solchen Anlagen mit einem hohen Gefährdungspotenzial für Leben und Sachwerte und anderen.

In den nachfolgenden Ausführungen zur DC-seitigen Abschaltbarkeit von PV-Anlagen werden daher zwei verschiedene Schutzziele betrachtet:

- **Schutzziel I:** Reduzierung der Spannung auf den *durch das Gebäude* führenden Gleichstromleitungen auf ein unbedenkliches Maß

- **Schutzziel II:** Reduzierung der Spannung *innerhalb des Solargenerators* auf ein unbedenkliches Maß

Abschaltmöglichkeiten von PV-Anlagen

In der Vergangenheit wurden bereits zahlreiche Vorschläge zur Abschaltung von PV-Anlagen in Notsituationen gemacht und teilweise auch erprobt.

Eine erste Klasse von Möglichkeiten basiert auf einer großflächigen, lichtdichten Abdeckung des Solargenerators mittels z. B. Löschschaum, Abdeckplanen oder neuerdings auch mit einem opaken Gel. Diese Lösungsansätze waren bislang entweder technisch nicht zielführend oder aus Sicht der Feuerwehr nicht praktikabel – die Feuerwehr versucht bei einem Zimmerbrand mit Personengefährdung zunächst immer einen Innenangriff und wird nicht vorrangig den Solargenerator abdecken.

Die zweite Klasse von Systemen nimmt eine elektrische Abschaltung innerhalb des PV-Systems selbst vor. Dies kann auf unterschiedlichen Ebenen vom Modul bis hin zum Wechselrichter erfolgen, wobei unterschiedlich hohe Erfolge im Sinne eines Personenschutzes erreicht werden. Auch differiert der erforderliche Zusatzaufwand deutlich von Maßnahme zu Maßnahme.

Im Folgenden werden die z. Zt. diskutierten Systeme vorgestellt und bewertet. Dabei wird von einer typischen Auf-Dach-Anlage ausgegangen, bei welcher der Wechselrichter im Gebäude selbst, z. B. im Keller, untergebracht ist, und über die sog. DC-Hauptleitung mit dem Solargenerator verbunden ist. Der Solargenerator selbst bestehe wiederum aus mehreren parallel geschalteten Strings, wobei jeder String aus einer Reihenschaltung von einzelnen Modulen besteht.

Bewertungskriterien

In den beigefügten Präsentationsfolien werden die einzelnen Bewertungskriterien mit den Ampelfarben „Rot“ für wenig geeignet, „Gelb“ für mittelmäßig und „Grün“ für gut geeignet bewertet. Diese Bewertung gibt die derzeitige Einschätzung der Autoren wieder - eine abweichende Bewertung kann sich z. B. im Rahmen des oben genannten Forschungsprojektes ergeben.

- **Ist der Wechselrichter bei einer Abschaltung auf der DC-Seite spannungsfrei?**
Dieser Effekt wird durch die meisten Abschaltmaßnahmen erreicht, ist aber wenig effektiv im Sinne der oben definierten Schutzziele, wenn die Abschaltung unmittelbar am oder im Wechselrichter erfolgt wie z. B. bei den heutigen normativ vorgeschriebenen DC-Trennschaltern.

- **Ist die DC-Hauptleitung innerhalb des Gebäudes spannungsfrei? (Schutzziel I)**
Eine Freischaltung der durch das Gebäude führenden DC-Hauptleitung würde eines der Hauptprobleme der Feuerwehren lösen, nämlich die oftmals unbekannte und auch unsachgemäße Kabelführung im Gebäude. Ein ferngesteuerter oder auch automatisch arbeitender allpoliger Schalter am Eintritt des Kabels in das Gebäude ist zumeist mit vertretbarem Aufwand zu realisieren und könnte daher in den meisten Fällen die bevorzugte Lösung sein. Dieser oftmals auch als „Feuerwehrscharter“ bezeichnete Schalter kann auch als (ferngesteuerte) Strangsicherung ausgeführt sein, und er kann bei entsprechendem Schaltvermögen weiterhin die Aufgabe des normativ vorgeschriebenen DC-Trennschalters übernehmen, der z. Zt. zumeist im Wechselrichter integriert ist. Der Wegfall dieses DC-Trennschalters würde zumindest teilweise die Kosten des zusätzlichen Freischalters am Gebäudeeintritt kompensieren.

- **Sind die Strings spannungsfrei? (Schutzziel II)**
Die Spannungsfreiheit im Solargenerator selbst oder gar in den einzelnen Modulen ist nur relevant, wenn die Einsatzkräfte tatsächlich in direkten Kontakt mit dem Solargenerator kommen, z. B. bei einem Angriff auf den Brandherd durch die Dachhaut. Bei einem Zimmerbrand hingegen ist sie in keiner Weise erforderlich. Die Spannungsfreiheit von Strings kann sowohl durch einen Serienschalter als auch durch einen Kurzschlusschalter erreicht werden. Bei letzterem ist zu beachten, dass zwar die hinter der Kurzschlussstelle liegenden Leitungen spannungsfrei sind, an einer Trennstelle im kurzgeschlossenen String aber die volle Stringspannung auftritt. Das dauerhafte Kurzschließen ist also zu vermeiden. Ein

kurzzeitiges Kurzschließen zum Abschalten von Parallel-Lichtbögen zwischen zwei stromführenden Leitungen kann hingegen sinnvoll sein, allerdings treten solche Parallel-Lichtbögen nur sehr selten auf.

■ Ist das einzelne Modul spannungsfrei?

Hier gilt im Wesentlichen das Gleiche wie für die einzelnen Strings. Vom Sicherheitsstandpunkt aus gesehen wäre natürlich das Abschalten der „Quelle“, also jedes einzelnen Moduls, am effektivsten und wird daher auch oftmals gefordert. Der Aufwand, die Energieverluste und auch die im Betrieb zu erwartende Zuverlässigkeit sind jedoch Randparameter, die gerade bei modulintegrierter Elektronik kritisch betrachtet werden müssen.

■ Erfolgt die Abschaltung automatisch bei Netzausfall (fail-safe-Verhalten)?

Es ist zwingend zu fordern, dass die Abschaltung automatisch erfolgt, sobald der Wechselrichter abgeschaltet wird resp. die Netzspannung wegfällt. Hierbei sind allerdings Überbrückungszeiten zur Erfüllung der FRT-Forderungen (Fault Ride Through, kurzzeitige Stützung des Netzes auch bei Netzausfällen) zu berücksichtigen. Aus Sicht des Autors ist es weiterhin unerlässlich, dass sich die Trennvorrichtung bei der Wiederkehr normaler Betriebsbedingungen automatisch wieder einschaltet. Die Erfordernis eines manuellen Wiedereinschaltens der in der Nähe des Solargenerators befindlichen Trennvorrichtung - z. B. nach einem Stromausfall - wäre nicht praxisgerecht.

■ Wie ist die Zuverlässigkeit im Betrieb einzuschätzen?

Ein fachmännisch und mit qualitativ hochwertigen Komponenten errichteter Solargenerator stellt zweifelsfrei die zuverlässigste Baugruppe in einem PV-System dar. Durch die Integration weiterer Komponenten in die Module oder in die DC-Verteiler wird die Zuverlässigkeit im normalen Betrieb zwangsläufig sinken. Die zusätzlichen Maßnahmen zur Herstellung eines sicheren Anlagenzustandes müssen also möglichst einfach und robust aufgebaut sein. Ihre Lebensdauer muss zu der erwarteten Lebensdauer der übrigen Anlagenteile passen, bei modulintegrierten Lösungen also mehr als 25 Jahre erreichen. Auch müssen nach dieser Betriebszeit nach wie vor Ersatzteile resp. kompatible Module verfügbar sein.

■ Wie hoch sind die zu erwartenden Energieverluste?

Jede zusätzliche Maßnahme führt typischerweise zu einer Verringerung der in das Netz eingespeisten Energie. Besonders kritisch wirkt sich hierbei der Eigen- oder Dauerverbrauch der zusätzlichen Komponenten aus, der aus diesem Grund

de unterhalb ca. 0,1 % der Anlagen-Nennleistung liegen muss. Dies ist die gleiche Größenordnung wie der Eigenverbrauch hocheffizienter Netzwechselrichter.

■ Ist die Maßnahme bei bestehenden Anlagen nachrüstbar?

Bei einer Ende 2010 in Deutschland bereits installierten Anlagenleistung von ca. 15 GW ist die Nachrüstbarkeit von Abschaltmaßnahmen von großer Relevanz. Neben den technischen Fragen sind dabei jedoch auch rechtliche Fragen wie z. B. der Bestandsschutz einzubeziehen. Es ist daher davon auszugehen, dass die Rettungskräfte zukünftig sowohl mit Anlagen mit als auch solche ohne Abschaltung konfrontiert werden. Da dies zumeist nicht bekannt sein dürfte, müssen die Rettungskräfte auch zukünftig jede Anlage wie eine nicht abschaltbare behandeln!

■ Wie hoch sind der Aufwand / die Kosten?

Die Kostenreduktion ist eine der Hauptaufgaben der PV-Industrie. Alle zusätzlichen Maßnahmen müssen also möglichst kosteneffektiv sein, z. B. durch den Wegfall des DC-Trennschalters oder durch die Doppelnutzung von Komponenten, z. B. als Strangsicherung oder Bypass-Diode.

■ Ist die Maßnahme z. Zt. verfügbar?

Neben der Verfügbarkeit am Markt ist auch zu hinterfragen, ob diese Bauteile oder Systemkomponenten den bestehenden oder z. T. erst in der Entstehung befindlichen normativen Anforderungen genügen. Gemäß den VDE-Richtlinien genügt z. B. ein Serien-Halbleiterschalter nicht der Forderung nach einer sicheren Trennung. Hier gilt es aber auch, innerhalb der Normungsgremien Anforderungen zu definieren, die einerseits den Sicherheitsanforderungen gerecht werden, andererseits technisch und finanziell darstellbar sind.

■ Wie ist die Effektivität im Sinne des Personenschutzes insgesamt zu bewerten?

In den beiden letzten Punkten der Bewertung werden die Maßnahmen einzig unter dem Aspekt betrachtet, ob das Schutzziel I (Spannungsfreiheit der im Haus verlaufenden DC-Leitungen) oder das Schutzziel II (Spannungsfreiheit des Solargenerators) erreicht wird. Dabei ist es naheliegend, dass ein modulnahe System effektiver ist als eine im System nachgeordnete Komponente. Dennoch darf diese Tatsache nicht dazu führen, die Abschaltung auf Modulebene als einzige Lösung vorzuschreiben - vielmehr sind alle oben aufgeführten Aspekte einzubeziehen und der Aufgabenstellung angepasste Lösungen zu fordern.

Überblick, Bewertung und Zusammenfassung

In den beigefügten Präsentationsfolien wird ein Überblick über die derzeitigen Systeme sowie eine Bewertung durch die Autoren gegeben.

Diese Zusammenstellung erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit und wird laufend aktualisiert. Die Autoren sind dankbar für die Mitteilung weiterer Systeme sowie Anregungen!

Technische Möglichkeiten zur Abschaltung von Solargeneratoren im Schadensfalle – eine Übersicht und Bewertung



Heribert Schmidt, Robin Grab, Bruno Burger

Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE

Freiburg

heribert.schmidt@ise.fraunhofer.de

Technische Möglichkeiten zur Abschaltung von Solargeneratoren



- Vorbemerkungen
- wie können PV-Anlagen DC-seitig spannungsfrei geschaltet werden?
- gibt es bereits Lösungen am Markt?
- wo besteht Handlungsbedarf?

Quelle: Horst Thiem:
http://www.feuerwehr.muenchen.de/bd70ausb/b76downl/Basisvortrag_101108.pdf

Technische Möglichkeiten zur Abschaltung von Solargeneratoren



- PV-Anlage als *Brandursache* sehr selten
- zumeist Qualitätsmängel in den Komponenten (Module, Wechselrichter) und in der Errichtung
- Elektro-Unfälle bei der Installation sehr selten
- zusätzliche Sicherheits-Komponenten sinnvoll??
- Qualität in Komponenten-Design und -Fertigung!
- Qualifizierung der Installateure!
- Endabnahme und regelmäßige Prüfungen!

Quelle: Horst Thiem:
http://www.feuerwehr.muenchen.de/bd70ausb/b76downl/Basisvortrag_101108.pdf

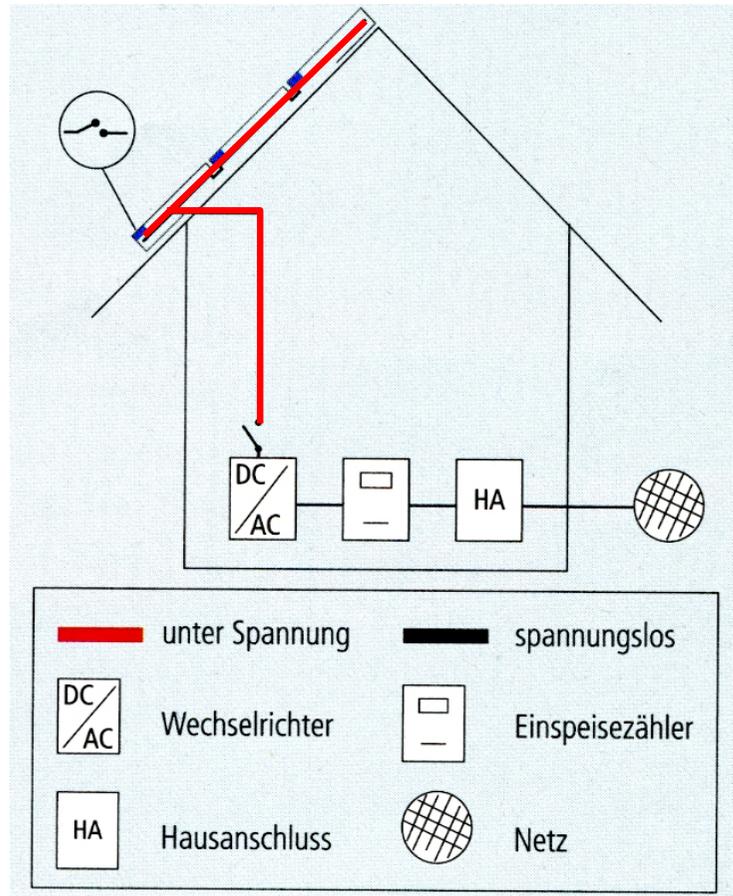
Technische Möglichkeiten zur Abschaltung von Solargeneratoren



- **“konventionelle”** Brände von Häusern mit PV-Anlage werden statistisch zunehmen
- die Feuerwehr kann löschen und löscht! (Thiem, Staffelstein 2010)
- zusätzliche Sicherheits-Komponenten sinnvoll??
- aktuelles Forschungsprojekt zu Brandschutz beim TÜV Rheinland und Fraunhofer ISE
- Einbeziehung von Feuerwehr, Versicherungen, Gutachtern, Herstellern, Händlern, Planern, Errichtern,
- Ziele: angepasste Lösungen, Normen

Quelle: Horst Thiem:
http://www.feuerwehr.muenchen.de/bd70ausb/b76downl/Basisvortrag_101108.pdf

Beispiel für Abschaltung: PV-Anlage auf Hausdach



Zwei Schutzziele:

- **Schutzziel I:**
Personenschutz innerhalb des Gebäudes
- **Schutzziel II:**
Personenschutz außerhalb des Gebäudes /
am Generator / am Modul

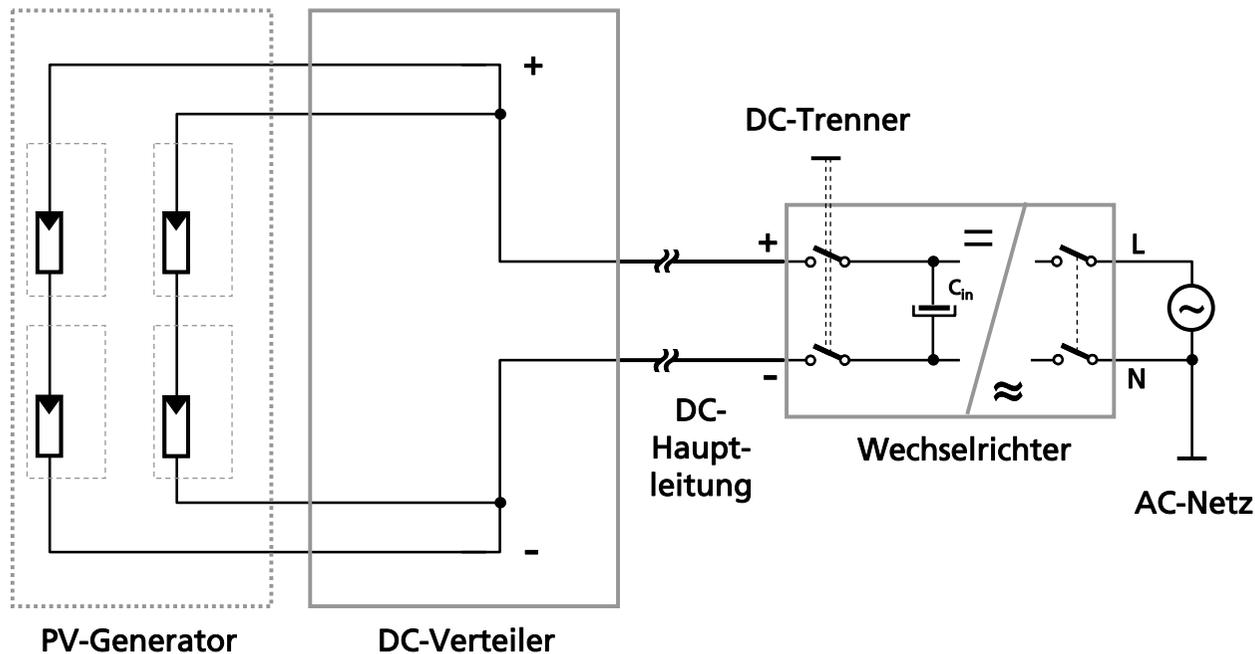
Technische Möglichkeiten zur Abschaltung von Solargeneratoren

Technische / finanzielle Randbedingungen für Abschaltmaßnahmen

- Extrem hohe Zuverlässigkeit (MTBF, FIT-Rate) erforderlich
- Lebensdauer / Verfügbarkeit von Ersatzteilen > 30 Jahre
- Eigenverbrauch < 0,1 % P_{Nenn} (< 0,2 W @ $P_{\text{Nenn}} = 200 \text{ W}$)
- Kosten < 10 EURO @ $P_{\text{Nenn}} = 200 \text{ W}$

Technische Möglichkeiten zur Abschaltung von Solargeneratoren

Konventionelle PV-Anlage *ohne* DC-seitige Abschaltmaßnahmen



- Wechselrichter spannungsfrei ■
- DC-Hauptleitung spannungsfrei* ■
- String spannungsfrei (< 120 V) ■
- Modul spannungsfrei ■
- Autom. Abschalt. bei Netzausfall ■
- Zuverlässigkeit im Betrieb ■
- Energieverluste ■
- Einfache Nachrüstbarkeit ■
- Aufwand / Kosten ■
- Verfügbarkeit ■
- Schutzziel I: im Gebäude** ■ ■
- Schutzziel II: Generator ■

* Der zumeist hochkapazitiven Eingangskondensator des Wechselrichters kann zu einer Gefährdung führen!

** Abhängig von Verlegung der DC-Leitungen im Gebäude

Technische Möglichkeiten zur Abschaltung von Solargeneratoren

Abdeckung des Solargenerators mit opakem Gel

Prevento®Solar Filmbildendes Sprühgel zur Erzeugung einer künstlichen Nacht



Prevento®Solar
Trolley 40 zum
sicheren Auf-
bringen von
Prevento®Solar
auf Photovol-
taik-Paneeelen

- Wechselrichter spannungsfrei ■
- DC-Hauptleitung spannungsfrei ■
- String spannungsfrei (< 120 V) ■
- Modul spannungsfrei ■
- Autom. Abschalt. bei Netzausfall ■
- Zuverlässigkeit im Betrieb ■
- Energieverluste ■
- Nachrüstbarkeit (Feuerwehr) ■
- Aufwand / Kosten (Feuerwehr) ■
- Verfügbarkeit (Feuerwehr) ■
- Schutzziel I: im Gebäude ?
- Schutzziel II: Generator ?

Quelle: <http://www.profirereinigung.de/AUB/News/Solar.pdf>

Technische Möglichkeiten zur Abschaltung von Solargeneratoren

Automatische Photovoltaik - Löschanlage



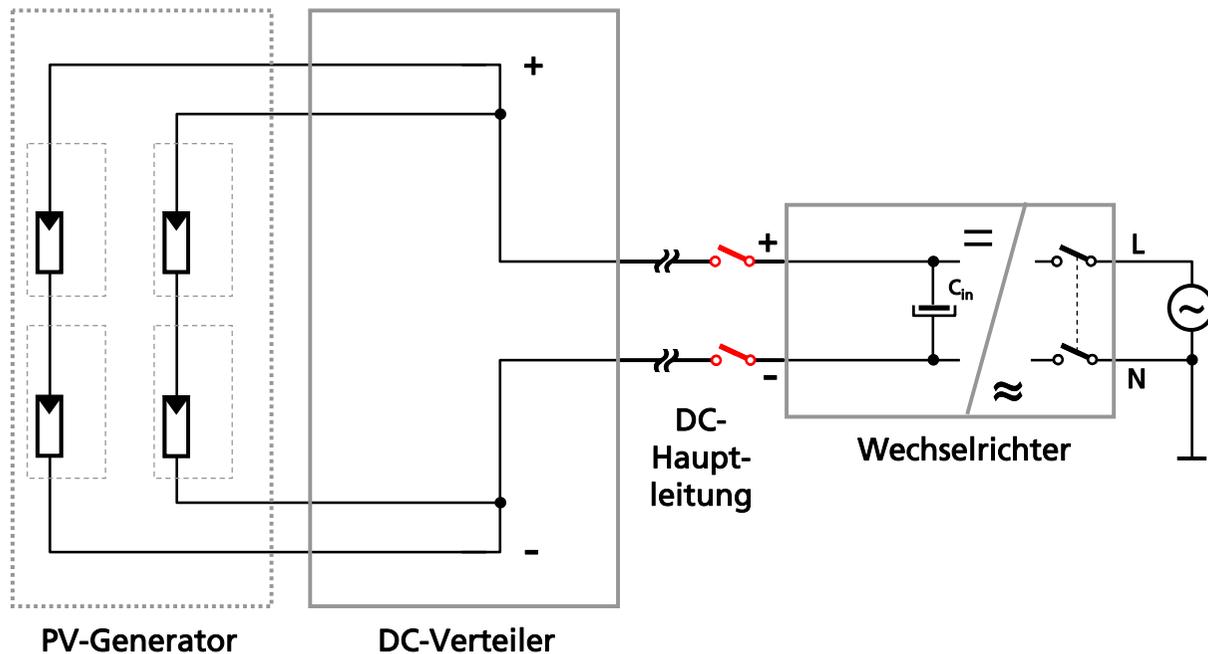
Wechselrichter spannungsfrei*	■
DC-Hauptleitung spannungsfrei*	■
String spannungsfrei (< 120 V)*	■
Modul spannungsfrei*	■
Autom. Abschalt. bei Netzausfall	■
Zuverlässigkeit im Betrieb	■
Energieverluste	■
Nachrüstbarkeit	■
Aufwand / Kosten	■
Verfügbarkeit	■
Schutzziel I: im Gebäude	■
Schutzziel II: Generator	■

* Versuche zum dauerhaften lichtdichten Abdecken von Solargeneratoren mit Haftschaum waren bislang erfolglos

Quelle: <http://www.brandschutz-knopf.de/loeschanlagenauswahl/compactfoarm/photovoltaik-loeschanlage/index.php>

Technische Möglichkeiten zur Abschaltung von Solargeneratoren

Automatischer (fail safe) DC-Trenner im oder vor Wechselrichter

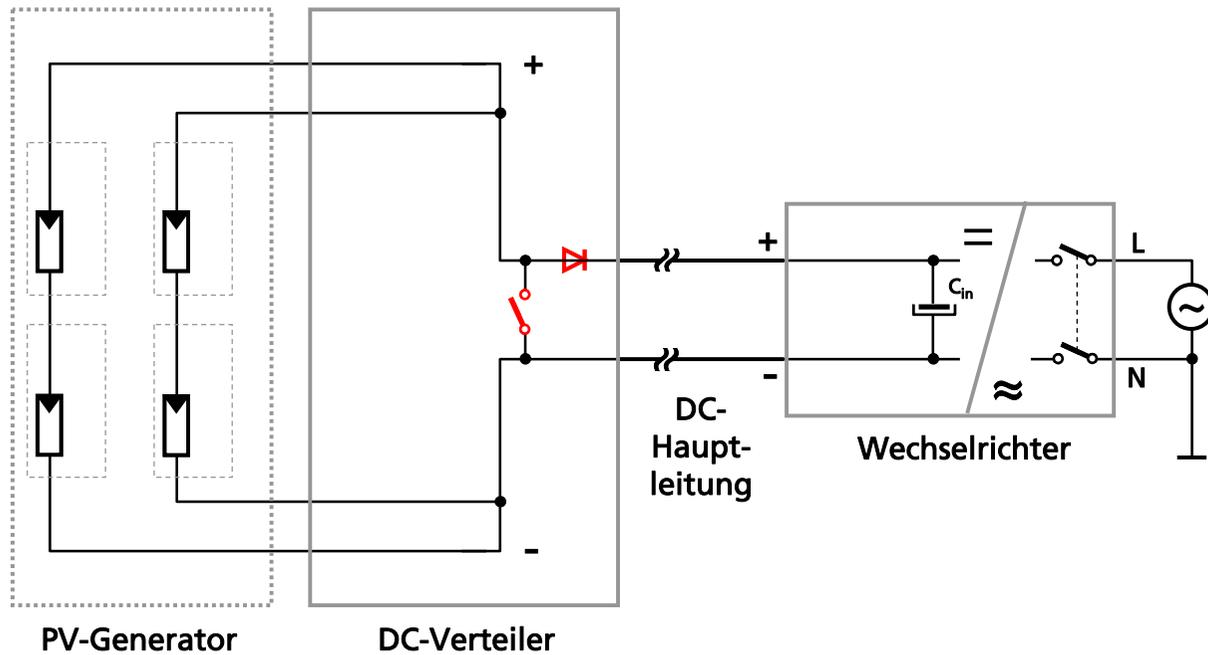


- Wechselrichter spannungsfrei ■
- DC-Hauptleitung spannungsfrei* ■
- String spannungsfrei (< 120 V) ■
- Modul spannungsfrei ■
- Autom. Abschalt. bei Netzausfall ■
- Zuverlässigkeit im Betrieb ■
- Energieverluste ■
- Einfache Nachrüstbarkeit ■
- Aufwand / Kosten ■
- Verfügbarkeit ■
- Schutzziel I: im Gebäude ■
- Schutzziel II: Generator ■

* Ein automatischer DC-Trenner würde vorteilhafter Weise den Eingangskondensator vom DC-Netz abtrennen.

Technische Möglichkeiten zur Abschaltung von Solargeneratoren

Automatischer Kurzschließer am Ausgang des DC-Verteilers



Technische Möglichkeiten zur Abschaltung von Solargeneratoren



(19) Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) DE 10 2005 018 173 B4 2009.05.14

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: 10 2005 018 173.2

(22) Anmeldetag: 19.04.2005

(43) Offenlegungstag: 26.10.2006

(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: 14.05.2009

(51) Int. Cl.⁸: **H02N 6/00** (2006.01)
H02H 7/20 (2006.01)

Innerhalb von drei Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:

Swiontek, Karl, Dipl.-Ing., 52224 Stolberg, DE;
Gerads, Georg, Dipl.-Ing., 52080 Aachen, DE

(72) Erfinder:

Gerads, Georg, 52080 Aachen, DE; Swiontek, Karl,
52224 Stolberg, DE

(74) Vertreter:

Kohlmann, K., Dipl.-Ing., Pat.-Anw., 52078 Aachen

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:

DE 40 41 672 A1
EP 03 72 823 B1
EP 03 72 823 B1

(54) Bezeichnung: **Schaltanordnung zur sicheren Betriebsunterbrechung von Photovoltaikanlagen**

(57) Hauptanspruch: Schaltanordnung zur sicheren Abschaltung von Photovoltaikanlagen an Gebäuden mit einem Generatorfeld, das mittels Gleichstromkabeln mit einem Wechselrichter verbunden ist, wobei die Schaltanordnung eine durch ein Steuersignal auslösbare Schutzanordnung aufweist, die das Generatorfeld in einen sicheren Arbeitspunkt schaltet, der keine weitere Energieabgabe in das Gebäude mehr ermöglicht, wobei das Generatorfeld solange im sicheren Arbeitspunkt verbleibt, bis es durch Eingriff an der Schutzanordnung wieder aktiviert wird, dadurch gekennzeichnet, dass die Schutzanordnung (17) über eine Steuerleitung (18) mit einer entfernt von der Schutzanordnung angeordneten Auslöseeinrichtung verbunden ist, über die die Schutzanordnung aktivierbar ist.

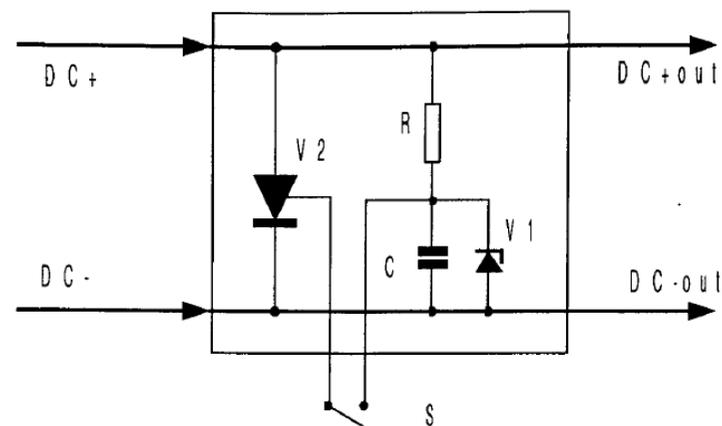
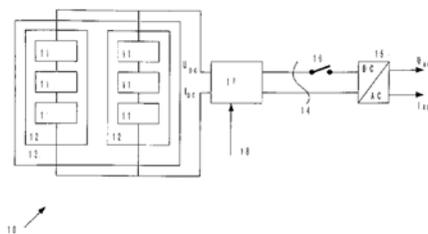


FIG 3

Patent DE10 2005 018 173

12

Technische Möglichkeiten zur Abschaltung von Solargeneratoren

ebreak - Schutz von PV-Anlagen

Haben Sie alles technisch Mögliche getan, um Schaden von Ihrer Anlage abzuhalten?

aixcon
Elektrotechnik GmbH

ebreak Schutzschalter

In verschiedenen Gefahrensituationen gehen von einer PV Anlage erhebliche Risiken aus. Alle in Gebäuden befindliche Installationen führen hohe Spannungen und Kurzschlußströme. Falls vorhanden sind geeignete Schalteinrichtungen bei Feuer, Hochwasser oder Gasaustritt für die Rettungskräfte nicht erreichbar. Spannung und Lichtbögen an defekten Leitungen und Geräten gefährden Menschen und sind Ursache für die Entstehung neuer oder weiterer Brandstellen.

ebreak besteht aus einem Leistungshalbleiter, der in der Lage ist den Kurzschlußstrom des Solargenerators dauerhaft zu führen. Die Ansteuerung des Leistungshalbleiters erfolgt in passiver Technik, die keine zusätzliche Stromversorgung erforderlich macht und folglich auch in außergewöhnlichen Situationen vollkommen autark arbeitet.

Es gibt zwei unabhängige Ereignisse, die **ebreak** auslösen können:

- durch einen externen Schalter
- durch eine Überspannung

Durch eine Kombination aus Varistor und Transorberdiodenkreis, ist **ebreak** in der Lage im Nanosekundenbereich Kiloampere Ströme und im Millisekundenbereich Megawatt Energien zu absorbieren.

Die Stromaufnahme aus dem Solargenerator ist spannungsabhängig und beträgt maximal 8 Milliwatt.

ebreak erfüllt drei wichtige Eigenschaften:

- 1. DC Freischalter**

Zur Durchführung von Arbeiten an Geräten und Installation kann der Generator mit einem einfachen Niederspannungsschalter aus der Ferne abgeschaltet werden. Alle im Gebäude befindlichen Anlagenteile sind spannungs- und stromfrei.

- 2. Notfallschaltung**

Im Notfall wird der Generator über eine Alarmanlage oder einfache Rauch-, Gas- oder Hochwasseremelder nachhaltig kurzgeschlossen. Alle Einrichtungen im Gebäude sind danach strom- und spannungsfrei und es besteht keine weitere Gefahr für Personen. Auch die Entstehung neuer Brandherde durch Lichtbogenbildung an beschädigten Geräten und Leitungen ist damit ausgeschlossen. Einmal aktiviert verbleibt der PV Generator bis zum nächsten Sonnenaufgang im Kurzschluß. Steht die Alarmmeldung weiterhin an, so verbleibt der Generator weiterhin im Kurzschluß ansonsten geht die Anlage normal in Betrieb. Die Abschaltung kann auch manuell z.B. über Schlüsselschalter außerhalb des Gebäudes erfolgen.

- 3. Blitzschutz**

Bei Überspannung durch Blitzschlag reagiert **ebreak** ebenfalls mit Kurzschluß. Die Reaktionszeit liegt im Nanosekundenbereich sodass die Überlebensancen für Wechselrichter und Module sehr gut sind. Im Gegensatz zu handelsüblichen Varistoren ist **ebreak** in der Lage erheblich größere Energien zu absorbieren.

Typ	Spannung	Dauerstrom	10ms-Strom	20µs-Strom
25/04	400 V	25 A	700 A	25 kA
25/05	500 V	25 A	700 A	25 kA
25/06	600 V	25 A	700 A	25 kA
50/04	400 V	50 A	1500 A	40 kA
50/05	500 V	50 A	1500 A	40 kA
50/06	600 V	50 A	1500 A	40 kA
100/04	400 V	100 A	3500 A	70 kA
100/05	500 V	100 A	3500 A	70 kA
100/06	600 V	100 A	3500 A	70 kA

aixcon
Elektrotechnik GmbH

aixcon Elektrotechnik GmbH
Steinfurt 26
52222 Stolberg
Tel.: 02402-1221-0
FAX: 02402-1221-22
email: info@aixcon.de www.aixcon.de

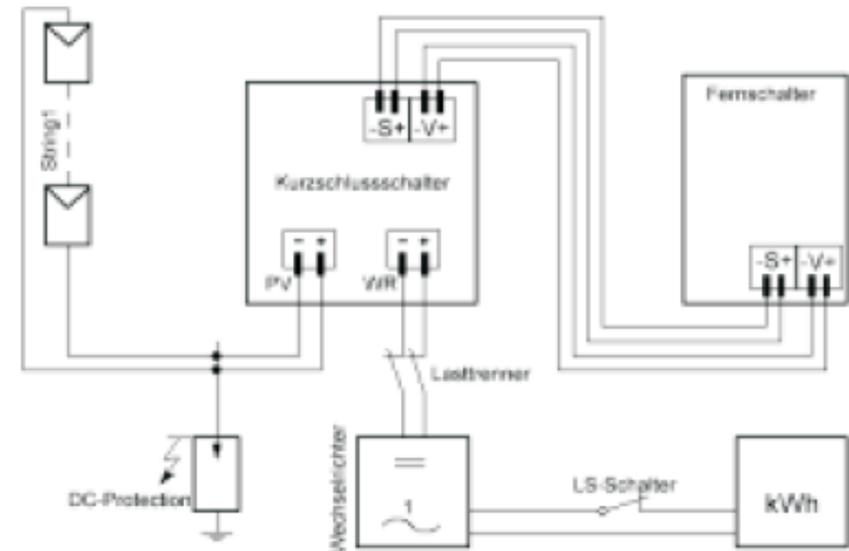
Patent DE10 2005 018 173

Technische Möglichkeiten zur Abschaltung von Solargeneratoren

Der FWS-112 ist ein sicheres System zur Abschaltung der Spannung an den PV-Modulen und im DC-Leitungsnetz durch Sicherheitskurzschluss.



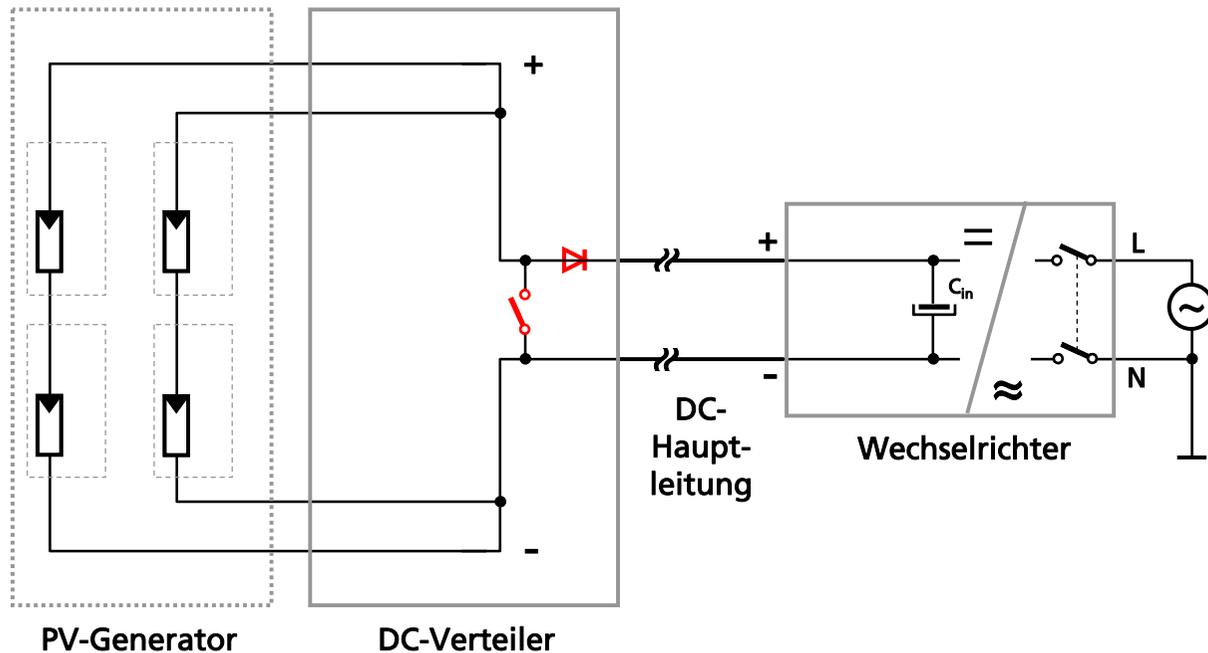
Schaltbeispiele Anordnung mit 1 Wechselrichter



Quelle: http://www.umweltzentrum.de/index.php?option=com_content&task=view&id=104&Itemid=143

Technische Möglichkeiten zur Abschaltung von Solargeneratoren

Automatischer Kurzschließer am Ausgang des DC-Verteilers

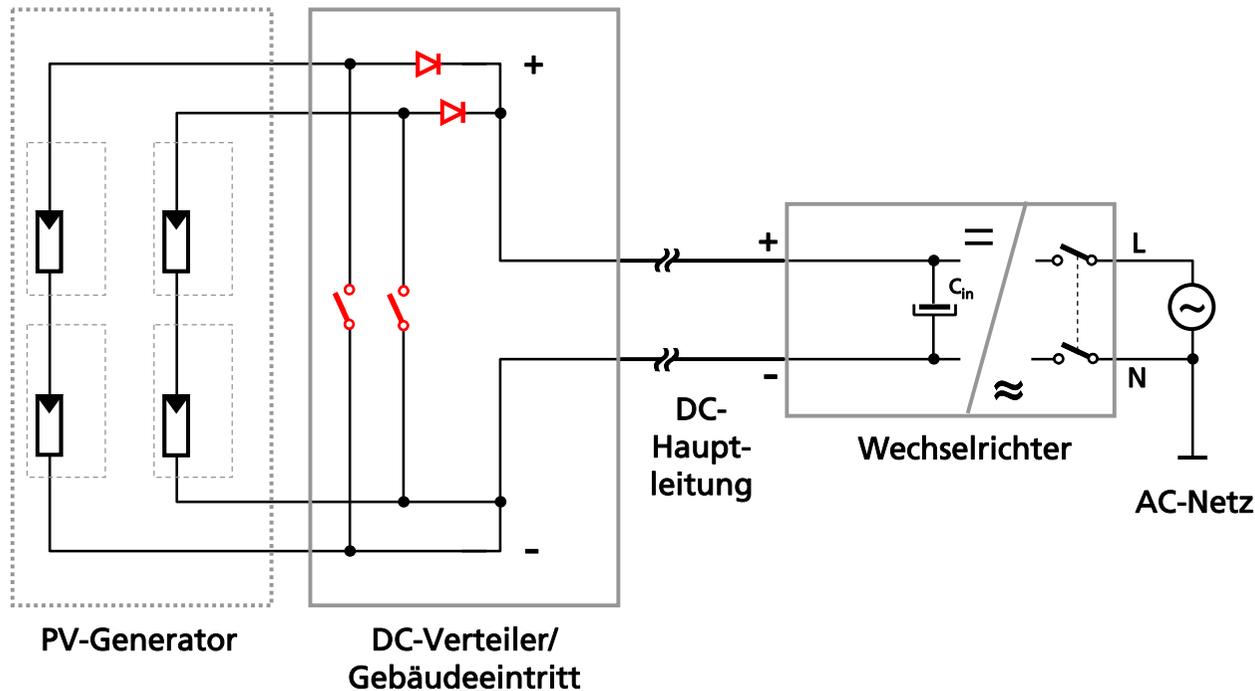


- Wechselrichter spannungsfrei ■
- DC-Hauptleitung spannungsfrei ■
- String spannungsfrei * ■
- Modul spannungsfrei ■
- Autom. Abschalt. bei Netzausfall ■
- Zuverlässigkeit im Betrieb ■
- Energieverluste (Diode) ■
- Einfache Nachrüstbarkeit ■
- Aufwand / Kosten ■
- Verfügbarkeit ■
- Schutzziel I: im Gebäude ■
- Schutzziel II: Generator* ■

* Beim Auftrennen des Strings steht an der Trennstelle die volle Spannung an!

Technische Möglichkeiten zur Abschaltung von Solargeneratoren

Automatischer Kurzschließer am Eingang des DC-Verteilers

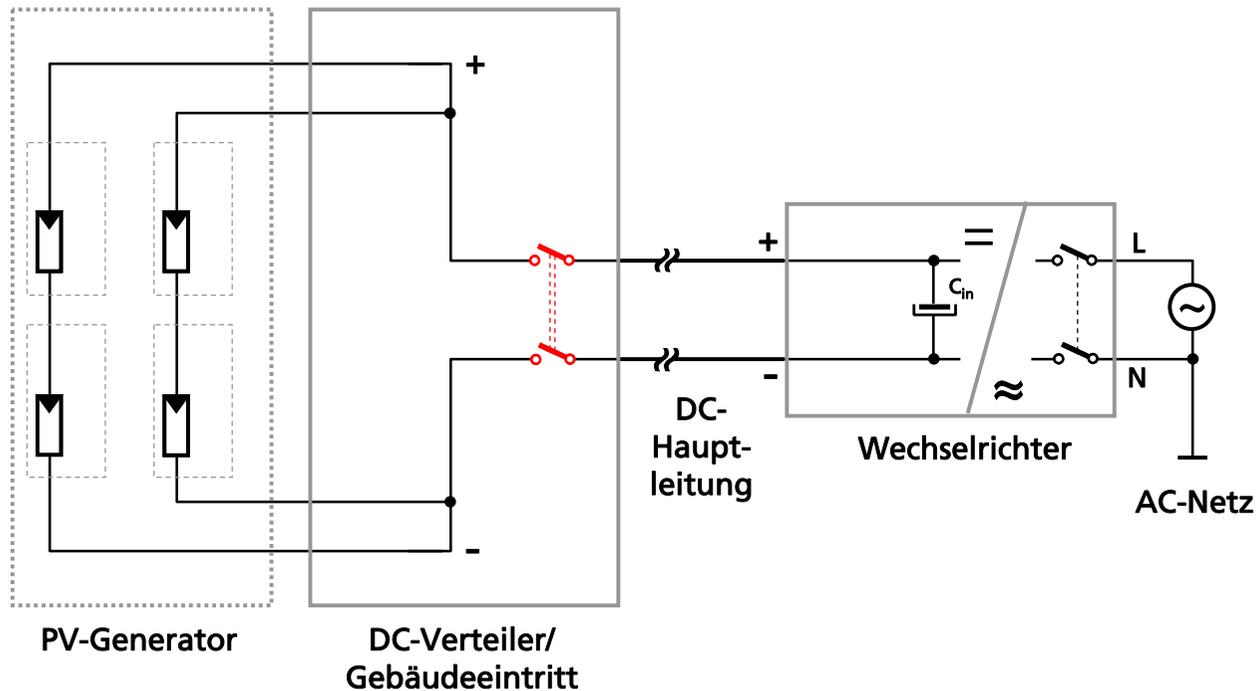


- Wechselrichter spannungsfrei ■
- DC-Hauptleitung spannungsfrei ■
- String spannungsfrei * ■
- Modul spannungsfrei ■
- Autom. Abschalt. bei Netzausfall ■
- Zuverlässigkeit im Betrieb ■
- Energieverluste (Dioden) ■
- Einfache Nachrüstbarkeit ■
- Aufwand / Kosten ■
- Verfügbarkeit ■
- Schutzziel I: im Gebäude ■
- Schutzziel II: Generator* ■

* Beim Auftrennen des Strings steht an der Trennstelle die volle Spannung an!

Technische Möglichkeiten zur Abschaltung von Solargeneratoren

Automatischer DC-Trenner am Ausgang des DC-Verteilers („Feuerwehrscharter“)



Technische Möglichkeiten zur Abschaltung von Solargeneratoren



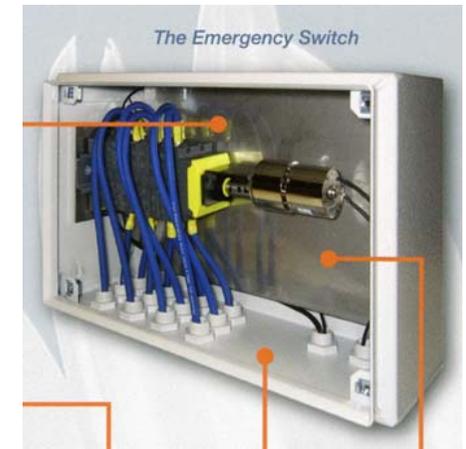
MOELLER
An Eaton Brand



EATON
Powering Business Worldwide



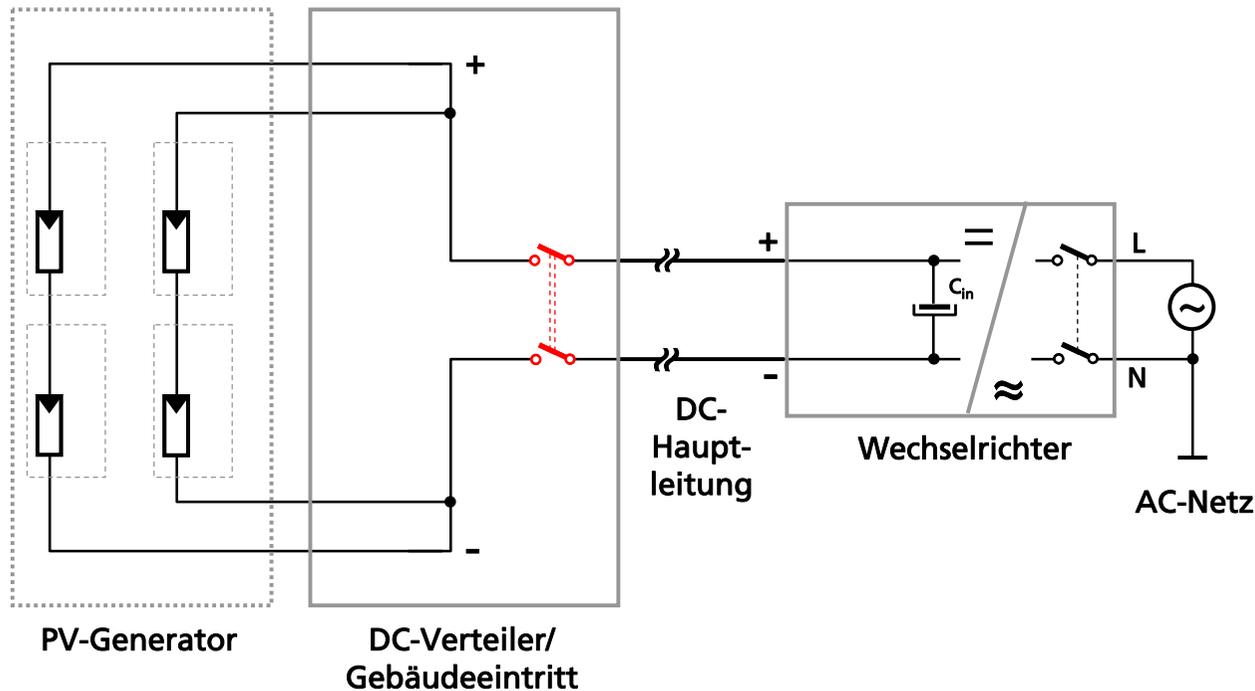
Power and productivity
for a better world™ **ABB**



santon

Technische Möglichkeiten zur Abschaltung von Solargeneratoren

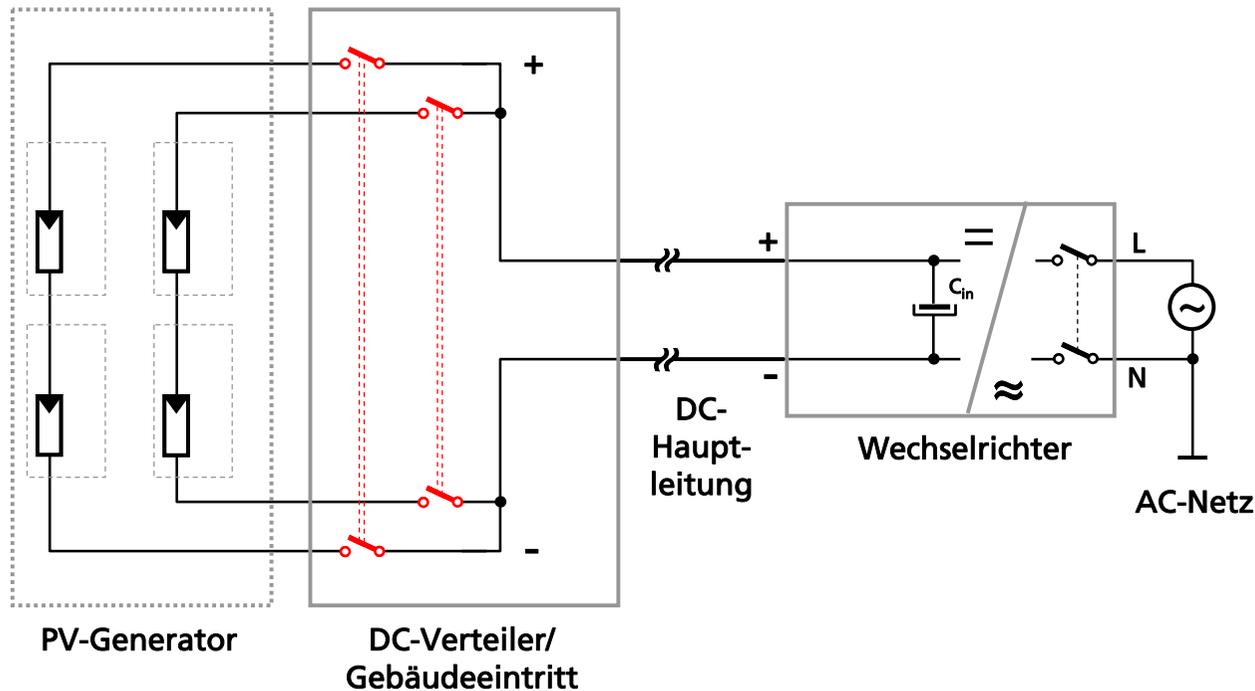
Automatischer DC-Trenner am Ausgang des DC-Verteilers



- Wechselrichter spannungsfrei ■
- DC-Hauptleitung spannungsfrei ■
- String spannungsfrei (< 120 V) ■
- Modul spannungsfrei ■
- Autom. Abschalt. bei Netzausfall ■
- Zuverlässigkeit im Betrieb ■
- Energieverluste (Ansteuerung) ■
- Einfache Nachrüstbarkeit ■
- Aufwand / Kosten ■
- Verfügbarkeit ■
- Schutzziel I: im Gebäude ■
- Schutzziel II: Generator ■

Technische Möglichkeiten zur Abschaltung von Solargeneratoren

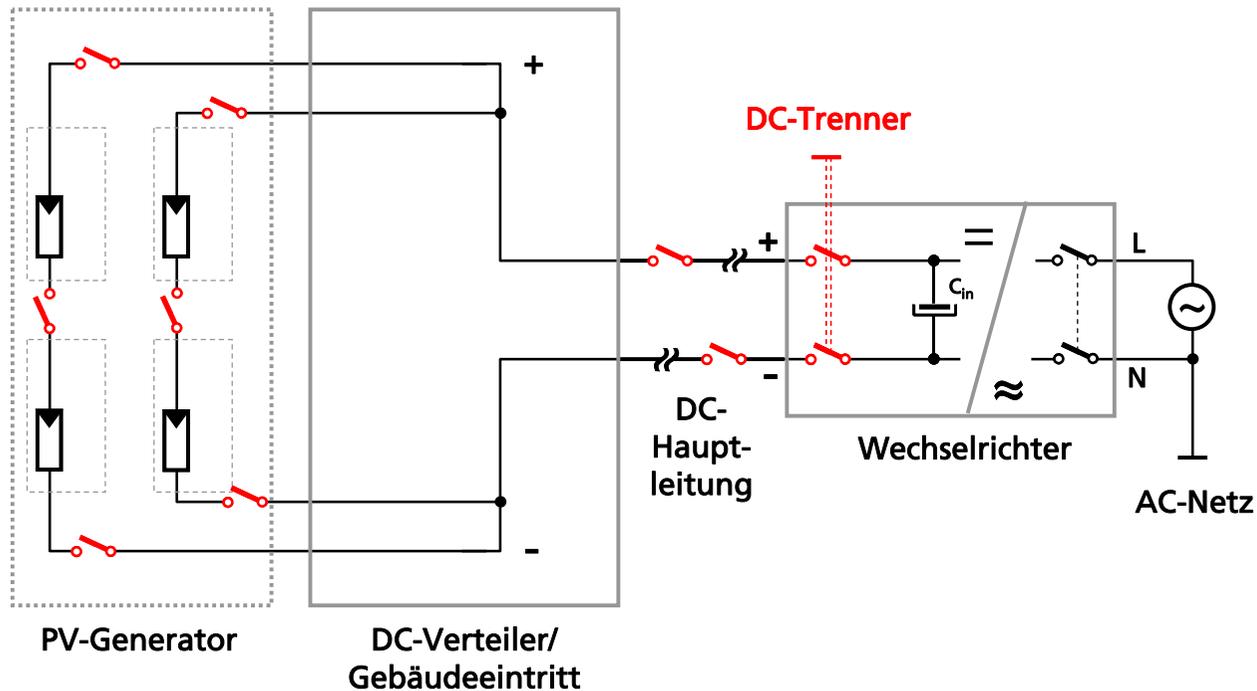
Automatischer DC-Trenner am Eingang des DC-Verteilers



- Wechselrichter spannungsfrei ■
- DC-Hauptleitung spannungsfrei ■
- String spannungsfrei (< 120 V) ■
- Modul spannungsfrei ■
- Autom. Abschalt. bei Netzausfall ■
- Zuverlässigkeit im Betrieb ■
- Energieverluste (Ansteuerung) ■
- Einfache Nachrüstbarkeit ■
- Aufwand / Kosten ■
- Verfügbarkeit ■
- Schutzziel I: im Gebäude ■
- Schutzziel II: Generator ■

Technische Möglichkeiten zur Abschaltung von Solargeneratoren

Thermischer / mechanischer Trenner an vielen Stellen im System



Technische Möglichkeiten zur Abschaltung von Solargeneratoren



(19) Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) DE 10 2008 027 189 A1 2009.01.15

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: 10 2008 027 189.6
(22) Anmeldetag: 06.06.2008
(43) Offenlegungstag: 15.01.2009

(51) Int Cl.®: **H01H 37/04** (2006.01)
H01H 85/044 (2006.01)
H01R 13/68 (2006.01)

(66) Innere Priorität:
10 2007 032 473.3 10.07.2007
10 2008 009 554.0 16.02.2008

(74) Vertreter:
Kaufmann, S., Doz., Dr.-Ing., habil., Pat.-Anw.,
01309 Dresden

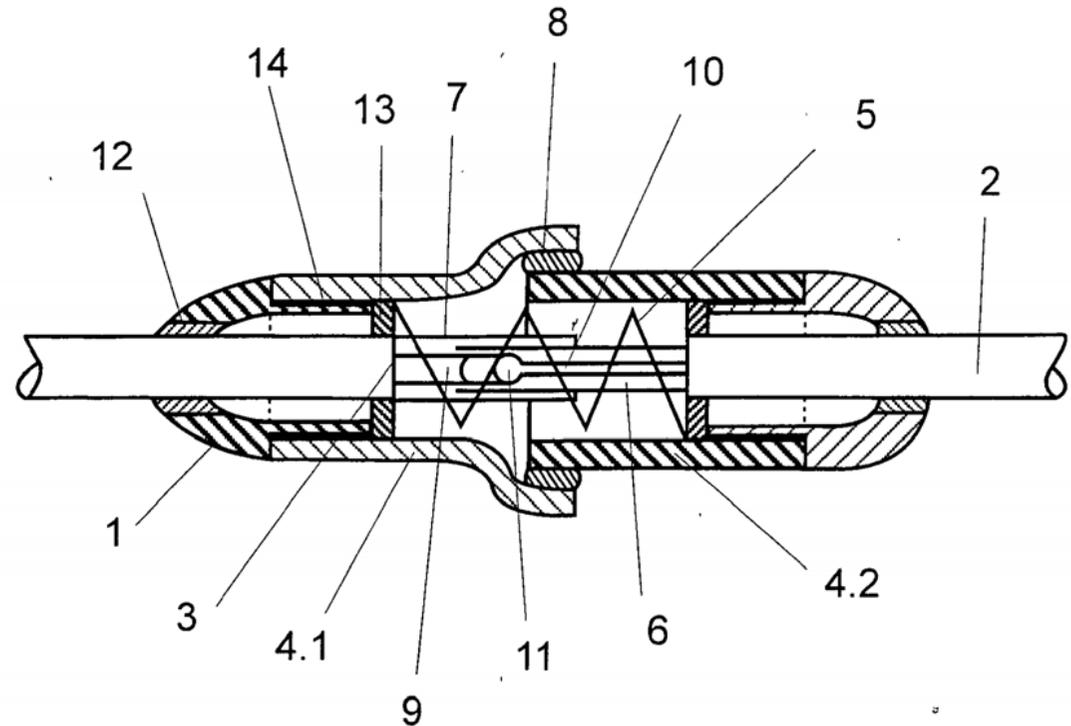
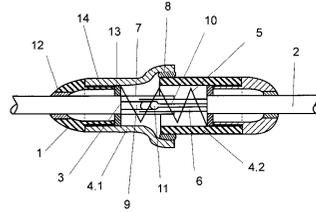
(71) Anmelder:
Pfeffer, Roland, 88299 Leutkirch, DE; Willar,
Bernd, 85368 Moosburg, DE

(72) Erfinder:
Willar, Bernd, 85368 Moosburg, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Sicherheitselement für Fotovoltaikanlagen**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Sicherheitselement für Fotovoltaikanlagen, das einzelne Solar-Panels einer Fotovoltaikanlage in Gefahrenfällen elektrisch voneinander trennt. Es ist sowohl für Freifeldanlagen als auch auf Dächern montierte Anlagen zum Schutz bei Bränden oder bei mechanischen Einwirkungen, die z. B. durch umfallende Bäume oder Kraftfahrzeugunfälle ausgelöst werden können, geeignet.
Das Sicherheitselement verfügt über zwei elektrische Kontakte (3), die durch einen elektrisch isolierenden Sicherungskörper (4) voneinander beabstandet sind. Dieser ist derart stoß- und wärmeempfindlich, dass er bei Einwirkung von erheblichen mechanischen Kräften und bei außergewöhnlichem Wärmeeintrag zerstört wird. Die Kontakte (3) sind mittels eines aus einem Steckerstift (10) und einer Buchse (9) bestehenden trennbaren elektrischen Verbindungselements verbunden. Zwischen den beiden Enden des Sicherungskörpers (4) ist eine Druckfeder (5) eingespannt. Im Gefahrenfall zerbricht der Sicherungskörper (4) oder er wird getrennt. Die Feder (5) drückt die Kontakte (3) weit auseinander und der Steckerstift (10) wird aus der Buchse (9) gezogen. Die Feder (5) fällt anschließend ab. Dadurch wird der Stromkreis sicher geöffnet.



Technische Möglichkeiten zur Abschaltung von Solargeneratoren



Fa. NEWTOS:

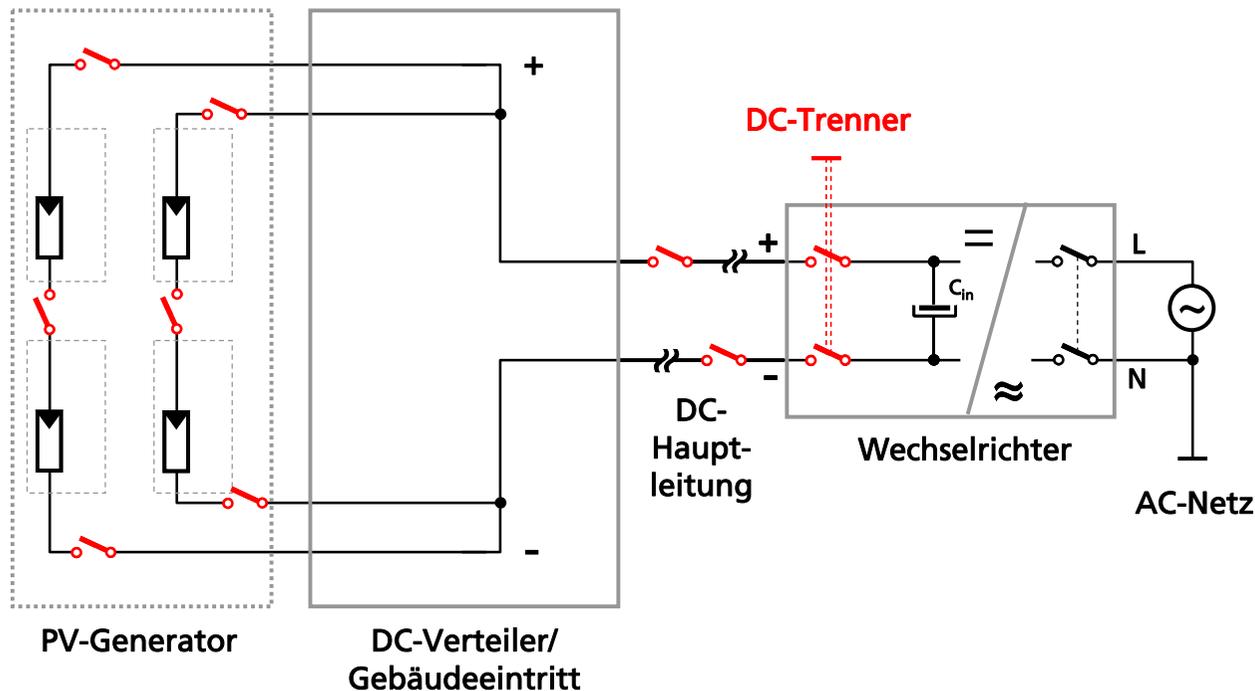
[http://newtos.com/index.php?option=com_content
&view=article&id=65&catid=36&Itemid=197](http://newtos.com/index.php?option=com_content&view=article&id=65&catid=36&Itemid=197)

Patent application DE10 2008 027 189

23

Technische Möglichkeiten zur Abschaltung von Solargeneratoren

Thermischer / mechanischer Trenner an vielen Stellen im System

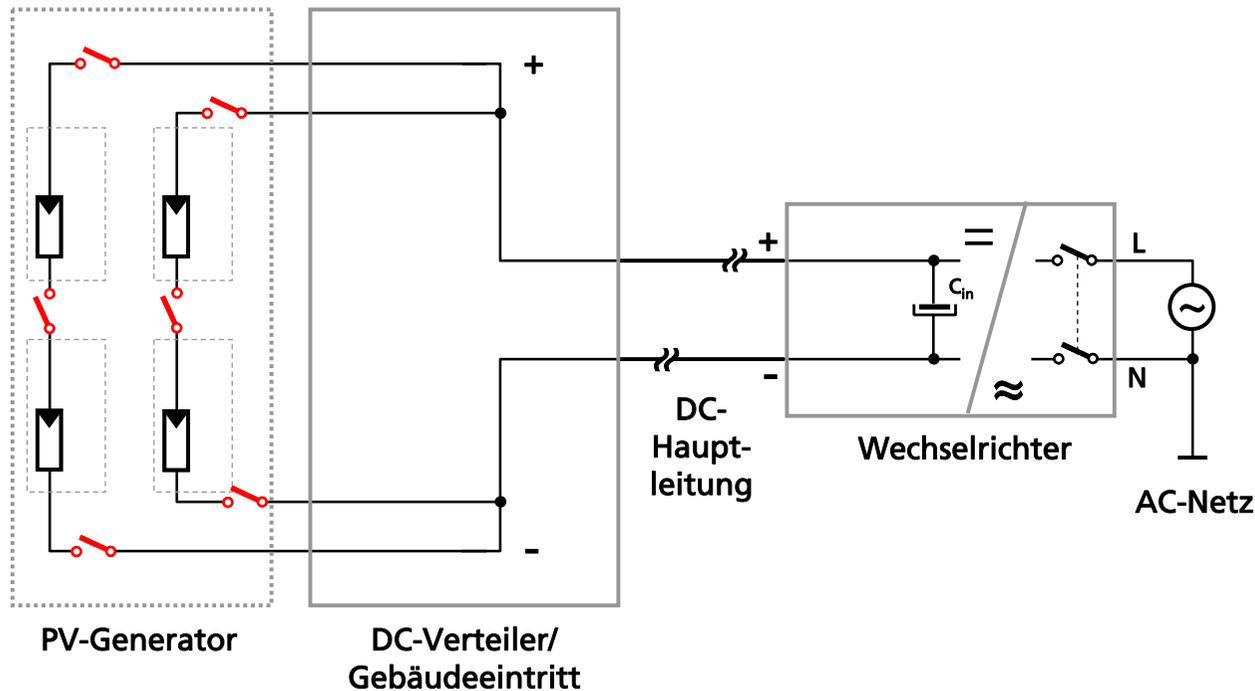


- Wechselrichter spannungsfrei* ■
- DC-Hauptleitung spannungsfrei* ■
- String spannungsfrei (< 120 V)* ■
- Modul spannungsfrei ■
- Autom. Abschalt. bei Netzausfall ■
- Zuverlässigkeit im Betrieb ■
- Energieverluste ■
- Einfache Nachrüstbarkeit ■
- Aufwand / Kosten ■
- Verfügbarkeit ■
- Schutzziel I: im Gebäude * ■
- Schutzziel II: Generator: * ■

* Es ist im Brandfall absolut unklar, welche der Trenner tatsächlich angesprochen haben!

Technische Möglichkeiten zur Abschaltung von Solargeneratoren

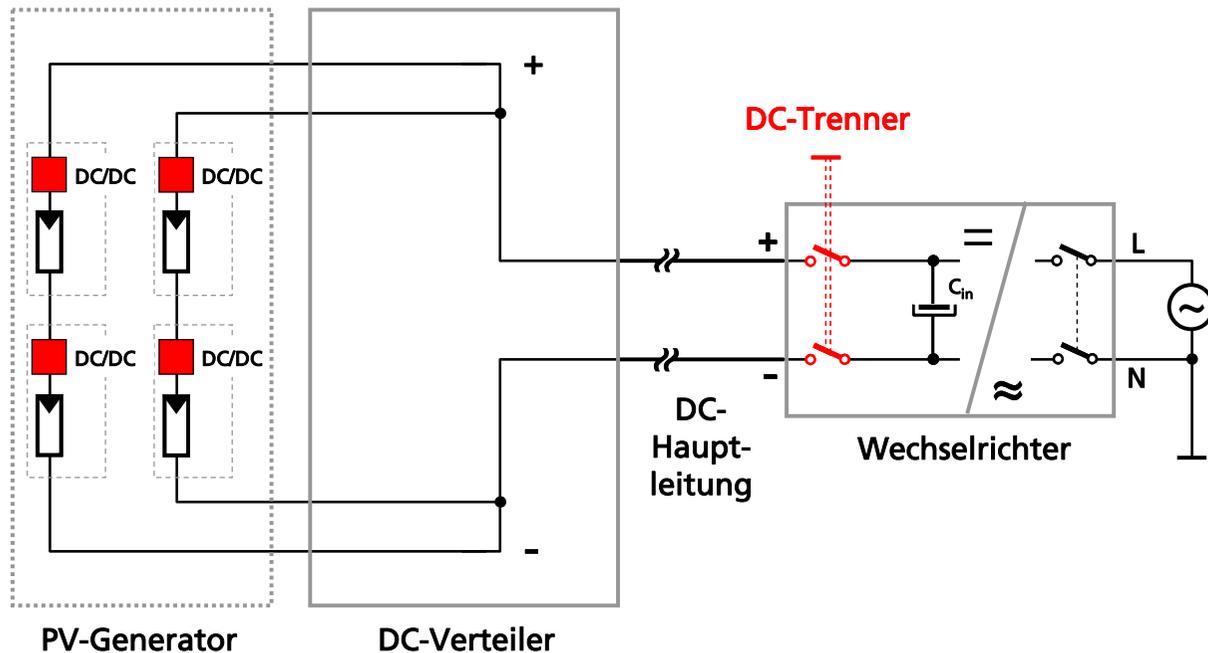
Mehrere *automatische* Trenner innerhalb der Strings



- Wechselrichter spannungsfrei ■
- DC-Hauptleitung spannungsfrei ■
- String spannungsfrei (< 120 V) ■
- Modul spannungsfrei ■
- Autom. Abschalt. bei Netzausfall ■
- Zuverlässigkeit im Betrieb ■
- Energieverluste ■
- Einfache Nachrüstbarkeit ■
- Aufwand / Kosten ■
- Verfügbarkeit ■
- Schutzziel I: im Gebäude ■
- Schutzziel II: Generator ■

Technische Möglichkeiten zur Abschaltung von Solargeneratoren

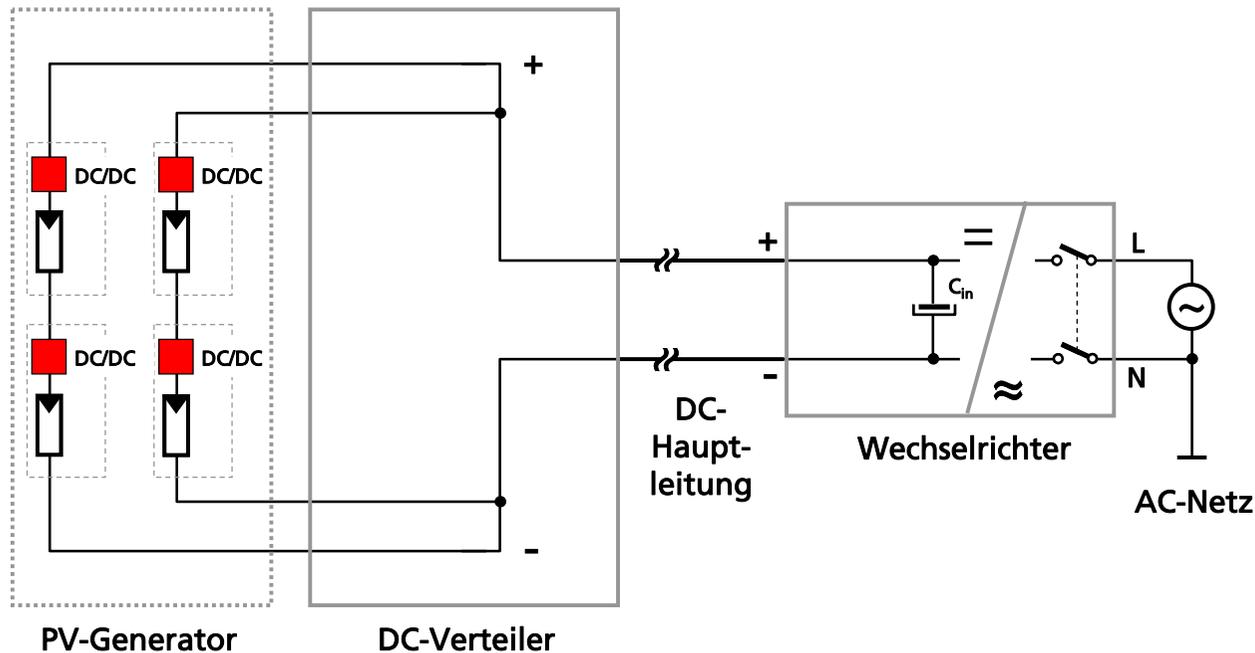
Modul-integrierte DC/DC-Wandler *ohne* Trennfunktion nach DIN VDE



- Wechselrichter spannungsfrei ■
- DC-Hauptleitung spannungsfrei ■
- String spannungsfrei (< 120 V) ■
- Modul spannungsfrei ■
- Autom. Abschalt. bei Netzausfall ■
- Zuverlässigkeit im Betrieb ■
- Energieverluste ■
- Einfache Nachrüstbarkeit ■
- Aufwand / Kosten ■
- Verfügbarkeit ■
- Schutzziel I: im Gebäude ■
- Schutzziel II: Generator: ■

Technische Möglichkeiten zur Abschaltung von Solargeneratoren

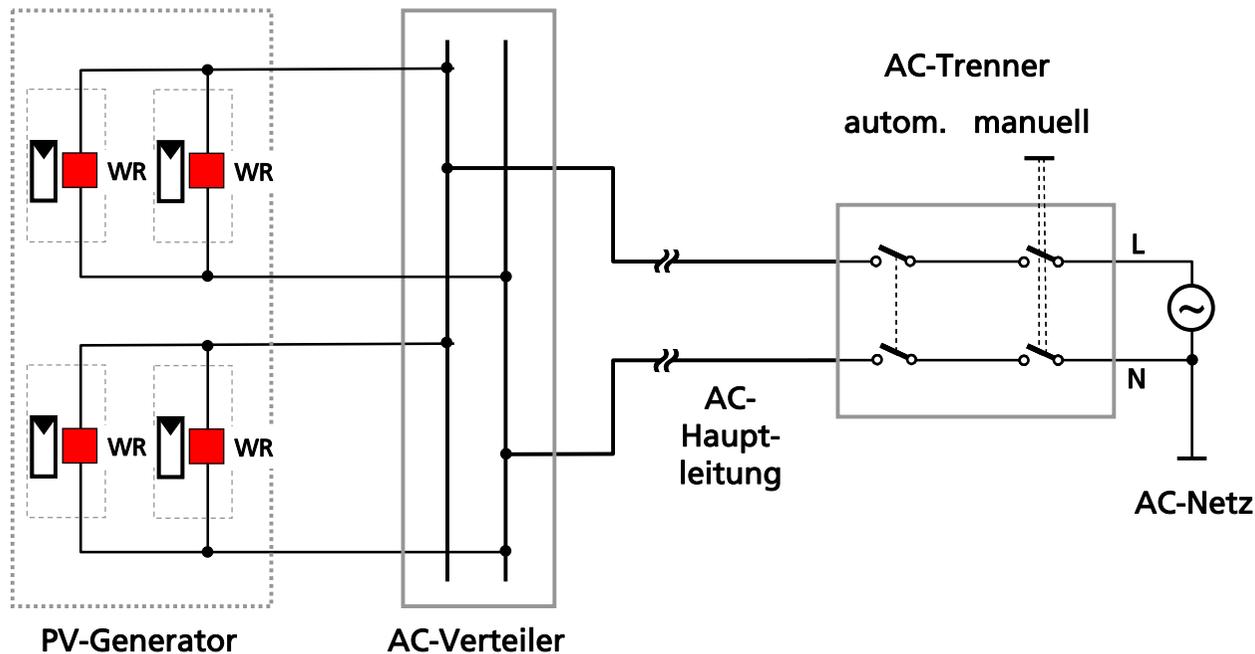
Modul-integrierter DC/DC-Wandler *mit* Trenn-/Kurzschlussfunktion



- Wechselrichter spannungsfrei ■
- DC-Hauptleitung spannungsfrei ■
- String spannungsfrei (< 120 V) ■
- Modul spannungsfrei ■
- Autom. Abschalt. bei Netzausfall ■
- Zuverlässigkeit im Betrieb ■
- Energieverluste ■
- Einfache Nachrüstbarkeit ■
- Aufwand / Kosten ■
- Verfügbarkeit ■
- Schutzziel I: im Gebäude ■
- Schutzziel II: Generator ■

Technische Möglichkeiten zur Abschaltung von Solargeneratoren

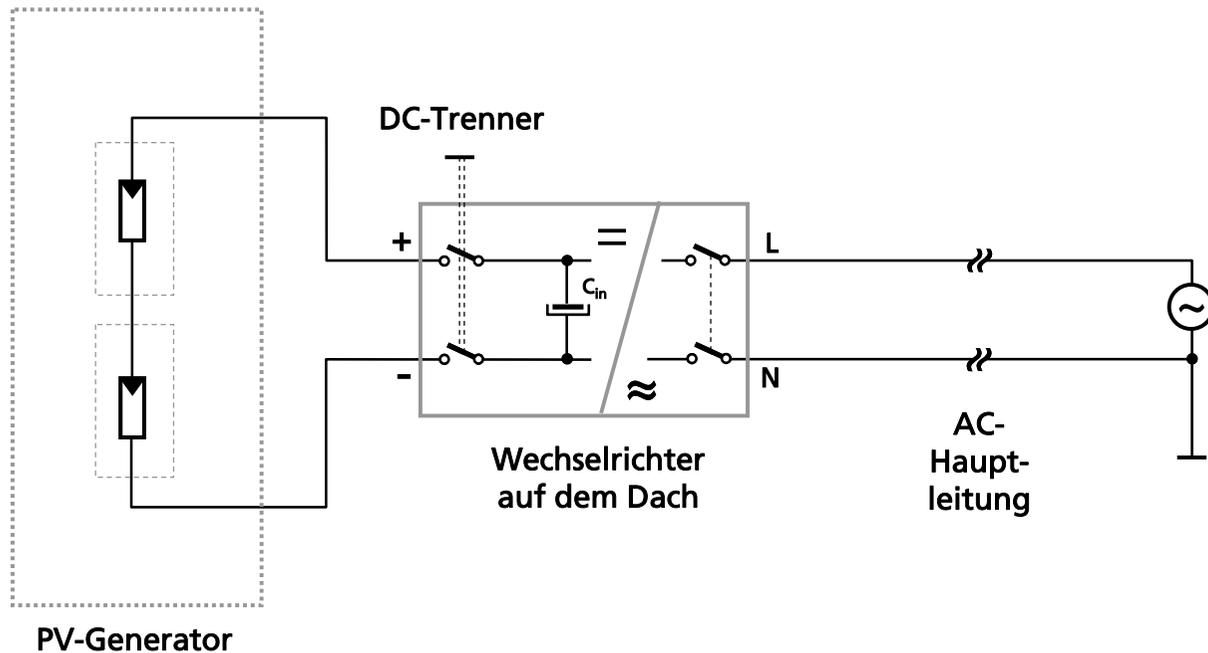
Modul-integrierter Wechselrichter (AC-Module) *mit* Trennfunktion



- Wechselrichter spannungsfrei ■
- AC-Hauptleitung spannungsfrei ■
- String spannungsfrei ■
- Modul spannungsfrei ■
- Autom. Abschalt. bei Netzausfall ■
- Zuverlässigkeit im Betrieb ■
- Energieverluste ■
- Einfache Nachrüstbarkeit ■
- Aufwand / Kosten ■
- Verfügbarkeit ■
- Schutzziel I: im Gebäude ■
- Schutzziel II: Generator ■

Technische Möglichkeiten zur Abschaltung von Solargeneratoren

Konventioneller Wechselrichter dicht bei Solargenerator

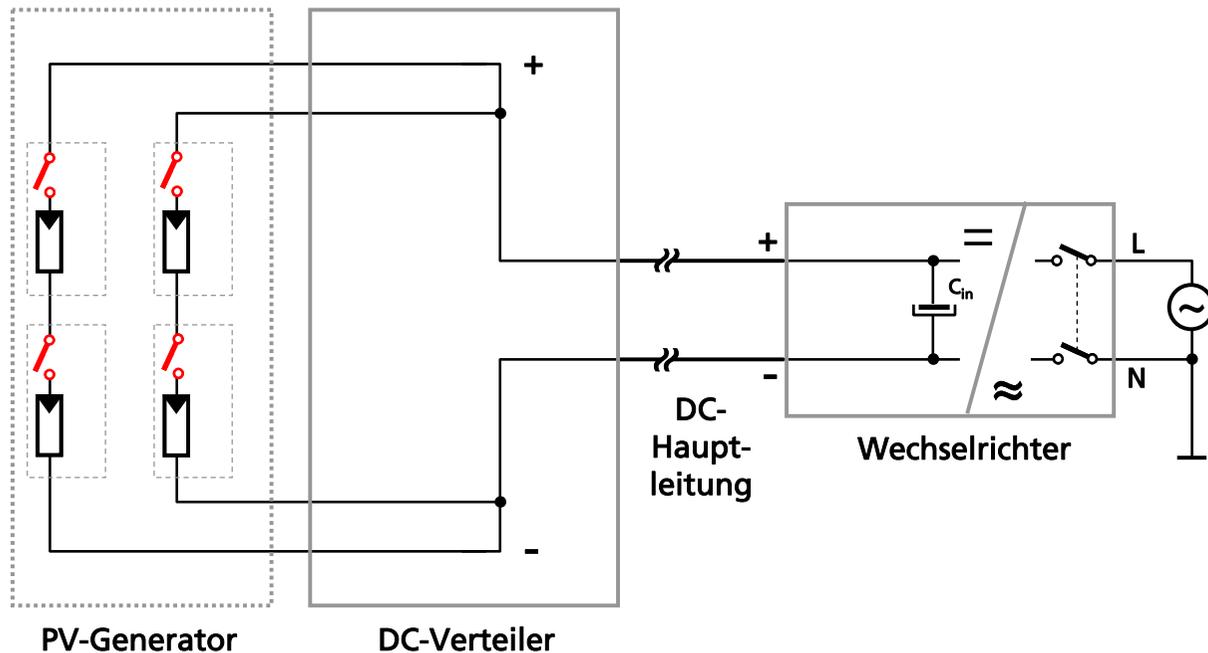


- Wechselrichter spannungsfrei ■
- AC-Hauptleitung spannungsfrei* ■
- String spannungsfrei ■
- Modul spannungsfrei ■
- Autom. Abschalt. bei Netzausfall ■
- Zuverlässigkeit im Betrieb ■
- Energieverluste ■
- Einfache Nachrüstbarkeit ■
- Aufwand / Kosten ■
- Verfügbarkeit ■
- Schutzziel I: im Gebäude ■
- Schutzziel II: Generator ■

* Bei abgeschaltetem AC-Netz

Technische Möglichkeiten zur Abschaltung von Solargeneratoren

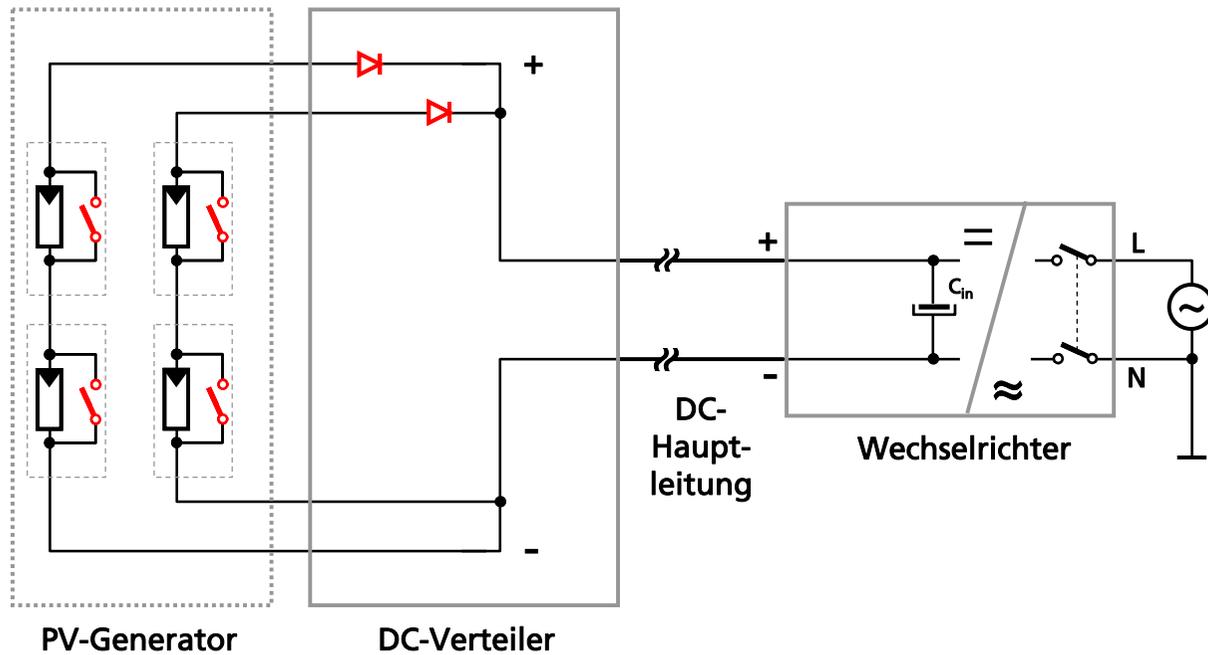
Serienschalter *mit sicherer Trennung* in jedem Modul



- Wechselrichter spannungsfrei ■
- DC-Hauptleitung spannungsfrei ■
- String spannungsfrei (< 120 V) ■
- Modul spannungsfrei ■
- Autom. Abschalt. bei Netzausfall ■
- Zuverlässigkeit im Betrieb ■
- Energieverluste ■
- Einfache Nachrüstbarkeit ■
- Aufwand / Kosten ■
- Verfügbarkeit (Norm) ■
- Schutzziel I: im Gebäude ■
- Schutzziel II: Generator ■

Technische Möglichkeiten zur Abschaltung von Solargeneratoren

Kurzschließer in jedem Modul



Technische Möglichkeiten zur Abschaltung von Solargeneratoren



(19) Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) DE 10 2006 060 815 A1 2008.06.19

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: 10 2006 060 815.1
(22) Anmeldetag: 21.12.2006
(43) Offenlegungstag: 19.06.2008

(51) Int. Cl.: H02N 6/00 (2006.01)

(66) Innere Priorität:
10 2006 044 473.6 21.09.2006

(74) Vertreter:
Konle, T., Dipl.-Ing., Pat.-Anw., 81247 München

(71) Anmelder:
RES GmbH, 07318 Saalfeld, DE

(72) Erfinder:
Kolm, Hendrik, Dipl.-Ing., 07318 Saalfeld, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: Solarenergieerzeugungsanlage

(57) Zusammenfassung: Solarenergieerzeugungsanlagen sind aus einer oder mehreren parallelen Ketten (Strings) von Photovoltaik-(PV)-Modulen aufgebaut und speisen über Wechselrichter in ein Niederspannungsnetz ein. Erfindungsgemäß ist vorgesehen, dass jedem PV-Modul (1 bis 400) ausgangsseitig ein Schaltelement (A) zugeordnet ist, welches von einem Freigabesignal (FG) schaltbar ist, derart, dass bei fehlendem Freigabesignal (FG) das zugeordnete PV-Modul spannungslos ist und bei vorhandenem Freigabesignal (FG) aktiviert ist (Abb. 6).

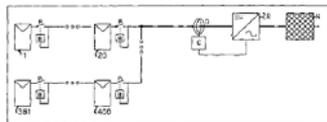


Abb. 5.1 Module spannungslos

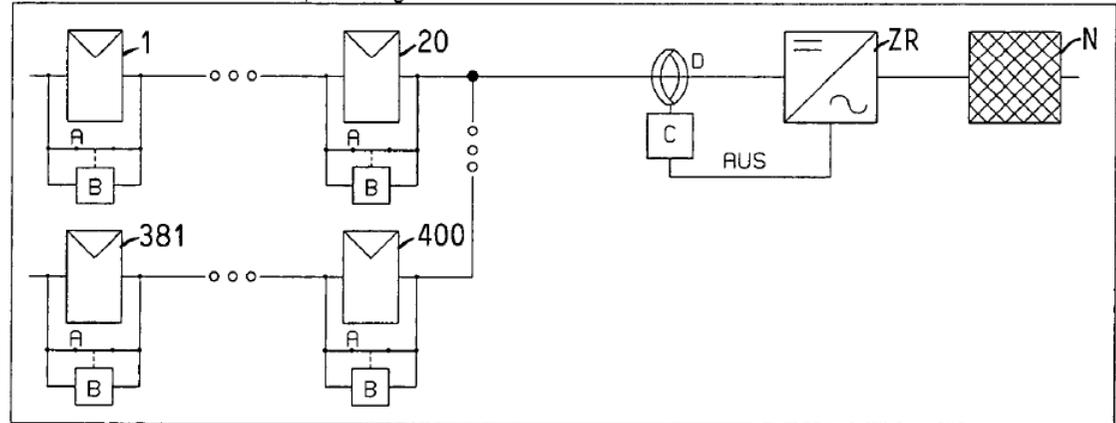
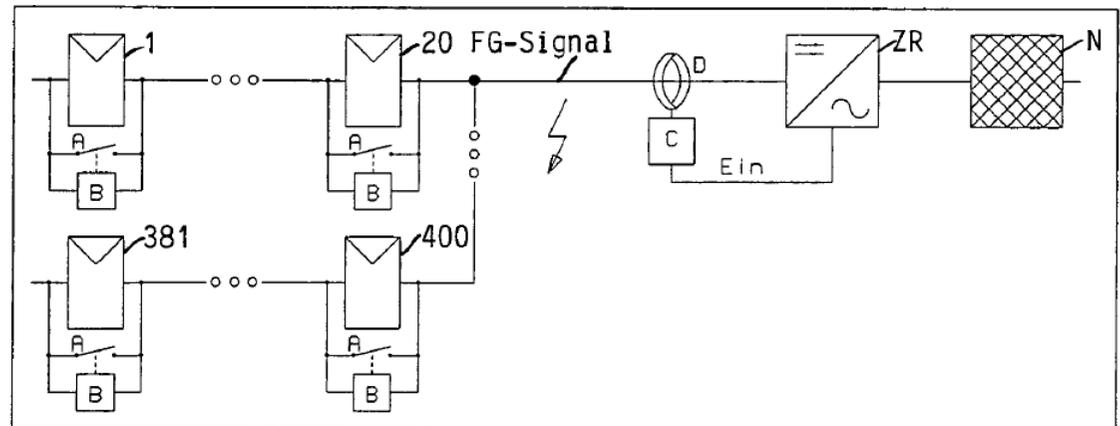


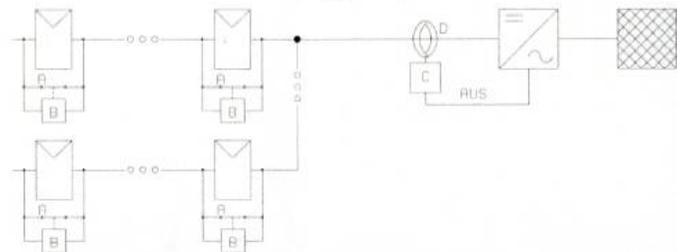
Abb. 5.2 Module aktiv



CoolBox-S[®] abschaltbare Modulanschlusssdose

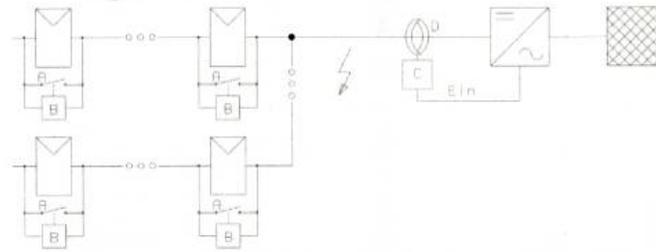


Grundzustand: gesperrt



Ohne Freigabesignal vom Wechselrichter wird auch kein Trägersignal auf die Stringleitung aufmoduliert. Die CoolBox-S (B) verhindert durch den Schalter (A) die Freigabe der Modulspannung.

Freigabe erteilt



Mit einem Freigabesignal vom Wechselrichter wird ein Pilotton vom Freigabebaustein (C) auf die Stringleitung aufmoduliert. Die CoolBox-S (B) detektiert diese Freigabe und gibt die Modulspannung über den Schalter (A) frei.

- ohne Freigabesignal vom Wechselrichter sind alle Module spannungslos geschaltet
- spannungslose Montage der Module möglich - **Unfallverhütung!**
- kein Stringfreischalter mehr erforderlich
- keine zusätzliche Verkabelung notwendig
- **Verhinderung** von Lichtbögen in der Stringleitung und an den Modulen!

Technische Möglichkeiten zur Abschaltung von Solargeneratoren

Die neue **BFA-BOX** von **SolteQ**

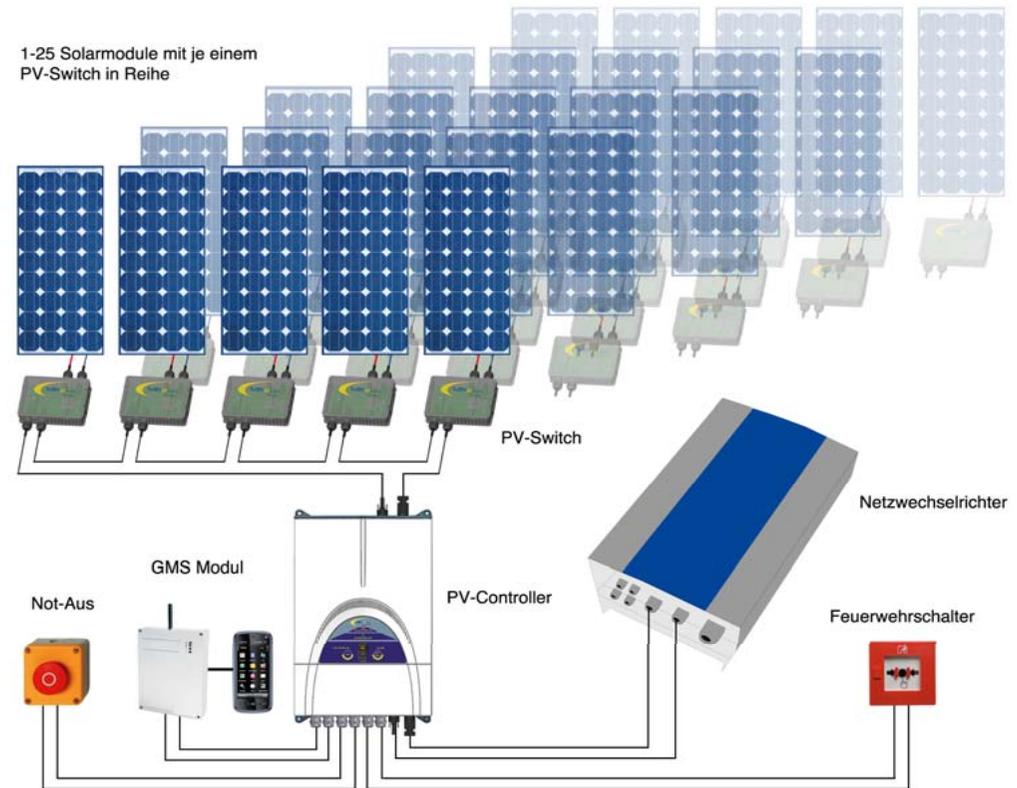
Die Sicherheits-
BrandFallAbschaltung



Eine Sicherheits-Box pro Modul und eine Zentrale, die gleichzeitig der Not-Handmelder ist ... das ist alles !

(Patent beantragt)

Technische Möglichkeiten zur Abschaltung von Solargeneratoren

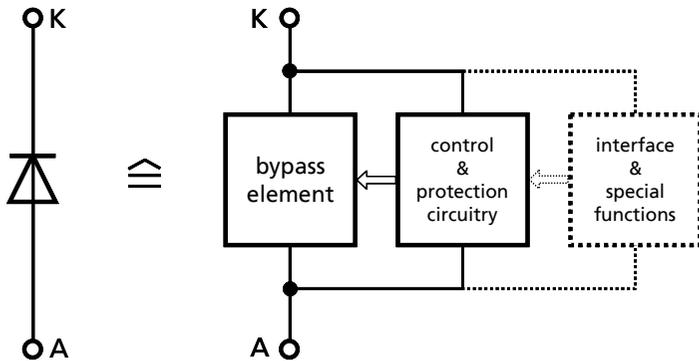


Quelle: <http://www.mitrosunic.de/>

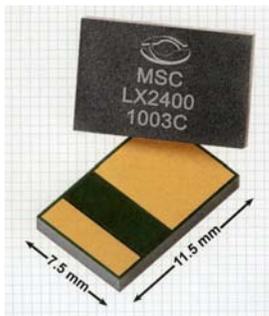
35

Technische Möglichkeiten zur Abschaltung von Solargeneratoren

Doppelnutzung einer "Aktiven Bypass-Diode"



- Hauptziel: Reduktion der Wärmeentwicklung im Bypass-Betrieb
- Zusatzfunktionen wie Modul-Abschaltung können zukünftig zusätzlich implementiert werden
- zwei Produkte (ohne Abschaltung) verfügbar

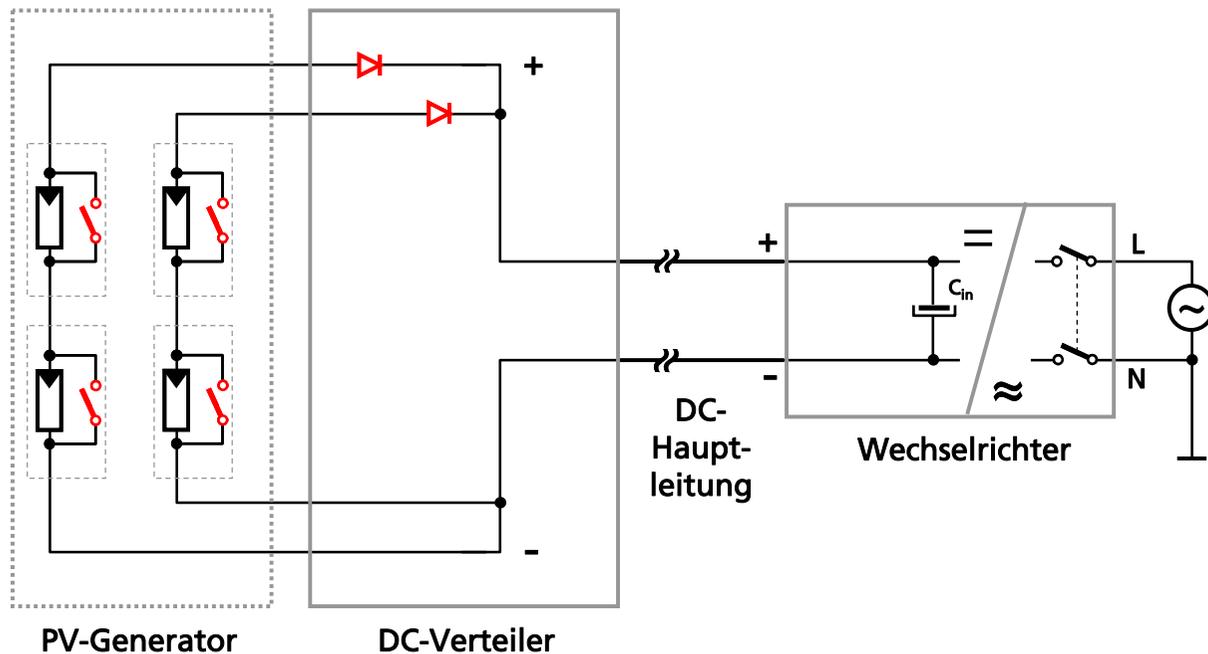


Patent DE 102005 036 153

www.spelsberg.de, www.microsemi.com, www.st.com

Technische Möglichkeiten zur Abschaltung von Solargeneratoren

Kurzschließer in jedem Modul



- Wechselrichter spannungsfrei ■
- DC-Hauptleitung spannungsfrei ■
- String spannungsfrei (< 120 V) ■
- Modul spannungsfrei ■
- Autom. Abschalt. bei Netzausfall ■
- Zuverlässigkeit im Betrieb ■
- Energieverluste (Dioden) ■
- Einfache Nachrüstbarkeit ■
- Aufwand / Kosten ■
- Verfügbarkeit ■
- Schutzziel I: im Gebäude ■
- Schutzziel II: Generator ■

Zusammenfassung

- der Aufgabenstellung angepasste Lösungen einsetzen
- zunächst „konventionelle“ Möglichkeiten ausschöpfen
- kritische Bewertung der Notwendigkeit und der Effektivität zusätzlicher Sicherheitsmaßnahmen
- normative Vorgabe der zu erfüllenden Aufgaben und zugehörigen Prüfvorschriften, dabei *keine* konkrete Lösung favorisieren
- ggf. Entwicklung weiterer Konzepte und Produkte