

Risk Control Guide

# PHOTOVOLTAIK-ANLAGEN

## Einführung und Anwendungsbereich

Zweck dieses Dokuments ist es, Endbenutzern von Photovoltaik (PV)-Anlagen eine Anleitung zu geben. Dies berücksichtigt dachmontierte und ebenerdig montierte Anlagen.

Als Photovoltaik bezeichnet man die direkte Umwandlung von Lichtenergie (Photonen) in elektrische Energie mit Hilfe von Halbleitern. Der photovoltaische Effekt ist ein physikalisches und chemisches Phänomen. PV-Anlagen machen einen maschinengetriebenen Generator überflüssig, indem sie die von der Sonne empfangene Lichtenergie direkt in eine nutzbare Form von elektrischer Energie umwandeln.

Es gibt 2 anerkannte Technologien:

- PV-Zellen aus kristallinem Silizium sind am weitesten verbreitet, erfordern jedoch aufgrund des hohen Siliziumgehalts eine größere Investition. Untertypen dieser Technologie sind (in abnehmender Reihenfolge des Wirkungsgrades): monokristalline, polykristalline und Dickschicht-Paneelen
- Dünnschicht-PV-Zellen sind eine neuere Entwicklung, die nur einen Bruchteil des Siliziumgehalts benötigt, aber zu einem niedrigeren elektrischen Wirkungsgrad führen (etwa die Hälfte des kristallinen Wirkungsgrads).

Der gebräuchlichste Typ ist polykristallines Silizium wegen seines höheren Preis-Leistungs-Verhältnisses.

Die nachstehenden Punkte werden im Rahmen dieser Unterlage behandelt:

- Systemkomponenten und Spezifikationen
- Überlegungen zu Design und Installation
- Betriebliche Überlegungen
- Wartung und Inspektionen
- Eigentumsrisiken
- Schadenerwartungen

# Systemkomponenten und Spezifikationen

## Fachbegriffe

Die Hauptkomponenten einer PV-Anlage sind:

- PV-Zelle: Kleines elektrisches Gerät (15cm x 15cm), welches die Energie des Lichts in Gleichstrom umwandelt
- PV-Modul/Panel: Stabiler Rahmen, der eine Anzahl miteinander verbundener PV-Zellen gruppiert. Gemeinsame Merkmale sind: 72 (6x12) Zellen, 300 Watt (Spitze), 36 Volt, 8 Ampere, 15% Wirkungsgrad, 26 kg.
- PV-Feld: Verbundene Ansammlung von PV-Modulen, normalerweise mit MC4-Steckverbindern verdrahtet. Sie werden auf Strukturen installiert, die fest oder beweglich sein können (Solar-Nachführeinrichtung).
- Anschlussdose: Gehäuse, in dem Module und PV-Gruppen miteinander verbunden werden
- Wechselrichter: Leistungselektronik, die den Gleichstrom (DC) eines PV-Feldes in Wechselstrom (AC) mit Netzfrequenz umwandelt.
- Transformator: passives Gerät zur Erhöhung der Wechselspannung. Sie können trocken oder ölgefüllt sein.
- USV: unterbrechungsfreies Stromversorgungssystem einschließlich Batterien, die hauptsächlich zur Notversorgung von Steuersystemen verwendet werden.
- Verkabelung, Erdung und Messgeräte.

## Standards

Eine PV-Anlage sollte nach international anerkannten Standards ausgelegt werden. Die geltenden Normen der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) sind:

- IEC 61215 Terrestrische kristalline Silizium-Photovoltaik-(PV)-Module - Bauarteignung und Bauartzulassung
- IEC 61730 Photovoltaik (PV) Module - Sicherheitsqualifikation
- IEC 61701 Salznebel-Korrosionsprüfung von photovoltaischen (PV-)Modulen.

Diese Normen spiegeln die neuesten Entwicklungen und Sicherheitserfahrungen auf dem Gebiet der PV-Module wider. Daher ist eine detaillierte Untersuchung der Anlage durchzuführen, wenn diese nicht erfüllt werden.

Die folgenden IEC-Normen gelten für andere Anlagenteile:

- IEC 62093 Leistungsumrichter für photovoltaische Systeme - Prüfung der Bauarteignung
- IEC 62109 Sicherheit von Wechselrichtern zur Anwendung in photovoltaischen Energiesystemen.

Die Normen des Underwriters Laboratory (UL) für PV-Paneele sind:

- UL 1703 Standard for Safety for Flat-Plate Photovoltaic Modules and Panels (Sicherheitsstandard für Photovoltaik-Flachplattenmodule und -Paneele)
- UL 2703 Standard for Mounting Systems, Mounting Devices, Clamping/Retention Devices, and Ground Lugs for Use with Flat-Plate Photovoltaic Modules and Panels (Standard für Montagesysteme, Montagevorrichtungen, Klemm-/Haltevorrichtungen und Erdungslaschen zur Verwendung mit Photovoltaik-Flachplattenmodulen und -Paneelen).

Letzteres ist die einzige internationale Norm für Befestigungssysteme.

Andere lokale Normen können je nach Standort angewendet werden.

## Überlegungen zu Design und Installation

Bei der Planung und Installation des PV-Panelnsystems gibt es wichtige Faktoren zu berücksichtigen, die sowohl die Systemleistung als auch die Kontrolle der Risiken beeinflussen. Die wichtigsten Punkte sind:

### Standort

- Zu berücksichtigende lokale Umweltbedingungen sind nominale und maximale Windgeschwindigkeiten, Hagel- und Staubsturmrisiken, Erdbeben- oder Blitz- und Überschwemmungszonen. Wind-, Schnee- und Sandsturmlasten sollten besonders berücksichtigt werden. Vorhandene Berechnungen sollten überprüft werden.
- Für die Befestigung ist eine Windbemessung nach Eurocode 1 zu verwenden. Die höchsten Windlasten liegen nahe der Gebäuderänder, so dass es nicht ungewöhnlich ist, zwei Konstruktionen mit weit mehr Befestigungen um den Umfang herum zu haben. Wenn deren Widerstandsfähigkeit nicht gewährleistet werden kann, sollte der Einbau von Windabweisern in Betracht gezogen werden, die das Eindringen von Wind unter die Anordnung verhindern.
- Bei dachmontierten Systemen muss die Dachfestigkeit unter Berücksichtigung des Komponentengewichts und der zusätzlichen Lasten, die durch Sand- oder Schneestürme, Schneeverwehungen und Eis verursacht werden, sichergestellt werden. Zusätzliche Belastungen stellen eine Gefahr für die Dachintegrität dar und sollten vermieden werden.
- Die Gestelle sind mechanisch an der Dachkonstruktion zu verankern, wobei Klebstoff und Ballast zu vermeiden sind, da sie bei starkem Wind bekanntermaßen unzuverlässig sind. Bei Dächern mit Metallpaneelen sind sie an der darunter liegenden Struktur zu befestigen, vorausgesetzt, dass dadurch die Dämmung/Dichtungsbahn nicht verletzt wird. Andernfalls sind spezielle Clips zu verwenden, die vom Dachhersteller zugelassen sind. Wenn dies nicht möglich ist, sind detaillierte Berechnungen durchzuführen und zu überarbeiten, da besondere Konstruktionen erforderlich sein können.
- Der Widerstand von PV-Modulen für übliche Standorte muss 2400 Pascal (Auftrieb/Wind) und 5400 Pascal (Schnee) betragen. Dieser Wert kann sich jedoch erhöhen, wenn mit starken Wind-, Schnee- oder Sandstürmen zu rechnen ist (d.h. in Hurrikangebieten ist eine Auftriebsfestigkeit von 5400Pa erforderlich).
- Besondere Vorsicht ist geboten, wenn die vorherrschenden Winde aus dem Norden (auf der Nordhalbkugel) oder Süden (Südhalbkugel) kommen, da dies die Windexposition im ungünstigsten Szenario aufgrund der Neigung der Module erhöht.
- Nachgeführte Solarsysteme sind besonders anfällig für Windschäden. Um die Paneele in die Sicherheitsposition (horizontal) zu bringen, sollte ein schnelles automatisches System sowie Windabweiser (Vermeidung von Resonanz) in Betracht gezogen werden.
- Bei der Anordnung der Paneele muss ein ausreichender Abstand zwischen den Paneelen gewährleistet werden, um einen guten Zugang für Befestigungsschrauben und allgemeine Inspektionen zu ermöglichen. Zu diesem Zweck sind Laufstege vorzusehen. Außerdem müssen Laufstege zu jedem Dachabfluss vorgesehen werden, so dass diese leicht auf Ablagerungen überprüft und gereinigt werden können. Es dürfen keine Paneele über Dachabflüssen installiert werden. Für den Zugang der Feuerwehr wird alle 46m ein zusätzlicher Abstand von 1,2 m in jeder Richtung sowie 1,2m kurz vor den Dachkanten empfohlen. Von brennbaren Oberlichtern sollte ein Abstand von 5 m und von allen anderen Oberlichtern ein Abstand von 1,5 m vorgesehen werden. Stellen Sie sicher, dass sich die Rauchabzugsöffnungen vollständig öffnen können, wenn die Paneele angebracht sind. Für die Befestigungsschrauben der Paneele sind doppelte Muttern vorzusehen, insbesondere dann, wenn der Raum für ein periodisches Nachziehen der Schrauben nicht vorhanden ist. Die zweite Mutter muss eine Sicherungsmutter aus rostfreiem Stahl mit einem Nyloneinsatz sein.

- Hydrologie. Die hydraulische Studie muss ausgewertet werden. Bei der Berechnung aller Entwässerungssysteme ist eine Wiederkehrperiode von 100 Jahren zu berücksichtigen.
- Die Auswirkungen einer Überschwemmung durch Wasser sind besonders besorgniserregend für die Wechselrichter und Batterien, da sie sehr anfällig für Wasserschäden sind. Wenn diese Möglichkeit besteht, müssen sie angehoben oder verlegt werden.
- Bodenbeschaffenheit: Bei bodenmontierten Systemen müssen die geotechnischen und phreatischen Studien, einschließlich des Risikos von expansivem Lehm und/oder Bodenverflüssigung, vom Risikoberater bewertet werden, wobei sicherzustellen ist, dass alle empfohlenen Abhilfemaßnahmen in das Projekt einbezogen werden.
- PV-Paneele sollten nicht auf brennbaren Dächern oder Dächern mit brennbarer Isolierung angebracht werden. Bei bestehenden Anlagen dieser Art ist wegen des hohen inhärenten Risikos besondere Vorsicht geboten. In diesen Fällen ist es von entscheidender Bedeutung, eine gleichmäßige Oberfläche beizubehalten, die einen kontinuierlichen Widerstand im gesamten Modulfeld ermöglicht, um durch den Zellfehlanpassungseffekt erzeugte Hot Spots zu vermeiden. Beschädigte oder verschattete Zellen, die in einem Strang einen geringeren Strom erzeugen, leiten die in den guten Zellen erzeugte Leistung ab. Zu den Abhilfemaßnahmen gehören
  - die Optimierung der Häufigkeit der Modulreinigung und des Austauschs beschädigter Einheiten
  - die Sicherstellung, dass Bypass-Dioden installiert und betriebsbereit sind sowie
  - die Optimierung der Häufigkeit von Prüfungen an Steckverbindern und Verschraubungen sowie
  - die Durchführung von IR-Untersuchungen.

Eine teilweise Abschattung der Module, die durch Antennen, Masten oder andere Strukturen hervorgerufen wird, ist durch eine Neuordnung der Einrichtungen zu vermeiden. Bei Neuinstallationen sollte jede brennbare Schicht ersetzt oder angemessen abgedeckt werden, bevor die PV-Paneele montiert werden. Beschädigte Module müssen kurzfristig ersetzt werden, ohne dass ein Stück Klebeband über sie gelegt wird. PV-Module ohne Bypass-Dioden sind zu vermeiden. Es sind bereits mehrere Schäden aufgetreten, wo Brände von Solarpaneelen auf brennbare Dachbedeckung übergreifen haben. Das Vorhandensein von Paneelen auf dem Dach ermöglicht im Brandfall die Übertragung von Strahlungswärme vom Dach auf das Paneel und umgekehrt und führt dazu, dass die Flammen viel näher zum Dach umgelenkt werden als bei einem typischen Dachbrand. Dies kann die Brandgefahr der einzelnen Dach- und Paneel-Systeme erhöhen, da es möglich ist, dass der Wärmefluss eines Brandes einen kritischen Punkt überschreitet und somit eine Brandausbreitung ermöglicht.

## Ausstattung

- Unter Berücksichtigung des Staub- und Wassereintrittspotenzials externer Geräte sollten die Komponenten nach IP-65 (IEC), NEMA 4 (Nordamerika) eingestuft sein, d.h. sie lassen keinen Staub eindringen und sind beständig gegen Wasserstrahlen normaler Stärke. Da dies die Möglichkeit der Wärmeableitung einschränkt, müssen Anschlussdosen, die im Inneren mit wärmeerzeugenden Geräten wie Dioden versehen sind, regelmäßig überprüft werden.
- Alle elektrischen Geräte müssen vor Sonneneinstrahlung geschützt werden. USV-Batterien, Wechselrichter und Trockentransformatoren sind besonders anfällig dafür, durch hohe Temperaturen beschädigt zu werden. Batteriegestelle müssen im Bereich von 20-25°C klimatisiert werden. Die Auslegungstemperatur von Wechselrichtern und Trockentransformatoren muss 50°C betragen. Wechselrichterraum und gekapselte Trockentransformatoren müssen zwangsbelüftet sein. Besonderes Augenmerk ist auf containerisierte Einheiten zu richten, die zu Überhitzung neigen.
- Wechselrichter sollten sowohl auf der AC- als auch auf der DC-Seite mit Überspannungsschutzgeräten ausgestattet sein. Auch die Bereichsanschlussdosen, die Datenübertragungsleitungen und die Stromanschlüsse an das elektrische Netz sollten mit Überspannungsschutzgeräten versehen sein.

- Die Gleichstromseite des Wechselrichters muss mit einem hochempfindlichen Erdschlussschutz versehen sein, um gefährliche Isolationsfehler zu erkennen. Diese Fehlerarten haben in der Vergangenheit Brände verursacht. Wenn dieses System nicht in den Wechselrichter integriert ist, muss eine zusätzliche Einrichtung installiert werden. Sicherungen sind für diesen Zweck nicht zulässig, da sie eine ausreichende Erkennung und Auslösung nicht gewährleisten können. Um Erdschlüsse zu vermeiden, müssen Gleichstromkabel unbeschädigt und mit wasserdichten Kabeldurchführungen und Anschlussdosen versehen sein.
- Wechselrichter sollten freistehend auf einem Metallrahmen oder an einer feuerbeständigen Wand montiert sein und in jedem Fall mehr als 2 Meter von einer brennbaren Dachhaut oder Isolierung entfernt sein. Bei bereits platzierten Wechselrichtern, bei denen dieser Abstand nicht erreicht werden kann, sollte RSA kontaktiert werden, um eine spezifische Lösung für jeden einzelnen Fall zu finden. Transformatoren sollten aufgrund ihrer inhärenten Brandgefahr physisch oder räumlich getrennt sein.
- DC-Freischalter müssen auf der DC-Seite des Wechselrichters installiert werden, um eine manuelle Isolierung und sichere Brandbekämpfung zu ermöglichen.
- Gekapselte Batterien sind Nass-Batterien vorzuziehen. Nassbatterien bergen wegen der Wasserstoffbildung und der Notwendigkeit regelmäßiger Elektrolytzugaben ein höheres Risiko. Nickel-Cadmium-Einheiten haben eine längere Lebensdauer und einen längeren Temperaturbereich als Blei-Säure-Einheiten, so dass sie in kaum gewarteten Anlagen bevorzugt werden, in denen kein Batteriewechsel zu erwarten ist.

## Blitzschutz, Kabel und Zubehör

- Die Notwendigkeit eines äußeren Blitzschutzes (Fangstangen und -leiter) für jedes Gebäude, jede PV-Anlage oder jede andere Einrichtung muss mit dem Risikobewertungsinstrument der IEC 62305 bestimmt werden.
- Zur Einhaltung eines definierten Trennungsabstandes als Mindestabstand eines Blitzableiters zu elektrisch leitfähigen Materialien müssen PV-Anlagen sowie Klimaanlage, elektrische Sensoren oder jede andere leitfähige Verbindung in das Gebäude mindestens 1m vom Blitzschutz entfernt sein.  
Wenn dies nicht möglich ist (d.h. unzureichender Abstand oder Metalldächer), sind spezielle hochspannungsfeste isolierte Ableiter (z.B. HVI-Leiter) zum Einhalten des Trennungsabstandes zu elektrisch leitenden Teilen zu verwenden, um gefährliche Funkenbildung zu vermeiden.  
Andernfalls sind elektrisch leitende Teile mit geeigneten Blitzstrom- und Überspannungsableitern am elektrischen Übergang zum Gebäude in den Potentialausgleich einzubeziehen. Alle metallischen Bauteile ohne leitende Verbindung in das Gebäude müssen direkt an den Blitzschutz angeschlossen werden.
- Unabhängig davon, ob ein externes Blitzsystem vorhanden ist oder nicht, müssen Wechselrichter, Anschlusskästen, Kommunikationsleitungen, Verbindungen zum elektrischen Netz und Potentialausgleich zwischen Erdungssystemen mit Blitz-/Überspannungs-Schutzeinrichtungen ausgestattet sein.
- Erdungskabel sollten vorhanden sein, um alle metallischen Strukturen, Komponenten und Kabeltrassen zu schützen. Die Erdungskabel sollten einen Querschnitt von mindestens 6qmm haben. Blitzschutz-Ableitungen müssen einen Querschnitt von mindestens 35qmm aufweisen.
- Die Kabel sollten UV- und wasserbeständig und anderweitig vor direkter Sonneneinstrahlung geschützt sein, um UV-Schäden zu vermeiden. Der bevorzugte Kabeltyp ist ein Kabel mit XLPE-Isolierung, LSZH-Außenmantel und Stahlarmierung.
- Alle Kabel sollten auf Gitter- oder perforierten Kabelrinnen verlegt werden, um den Kontakt mit einer brennbaren Dachmembran zu vermeiden und eine ausreichende Belüftung zu ermöglichen. Wenn sie montiert sind, müssen die Schachtabdeckungen einen angemessenen Abstand (10 cm) von der Schachtoberseite haben, andernfalls ist es vorzuziehen, sie entfernen zu lassen, um die Wärmeableitung zu ermöglichen. In jeder Kabelrinne dürfen nicht mehr als 2 Kabelebenen installiert werden. Bei der Verwendung von Rohren ist es wichtig, deren Verschlechterung und Belegung (nicht mehr als 30% ihres Querschnitts) zu überprüfen.
- DC-Steckverbinder müssen vom Typ MC sein (IP-68, UV-beständig). Durchlöcherter Verbinder sind zu vermeiden.
- Der Kontakt der Kabel mit scharfen Kanten (d.h. rauen Beton- oder Metallkanten) ist zu vermeiden.

## Betriebliche Überlegungen

- Vermeiden Sie es, die PV-Panel-Module in Reihe zu schalten, wenn sie nicht an das Netz angeschlossen sind. Die einzelnen Paneele werden normalerweise mit einer undurchsichtigen Materialabdeckung geliefert, um die Erzeugung von Elektrizität zu vermeiden. Diese Abdeckungen sollten an Ort und Stelle bleiben, bis die Felder vollständig angeschlossen sind.
- Die Wechselrichter müssen über eine "Inselerkennung" verfügen, um im Falle einer Netzabschaltung die Stromzufuhr zu unterbrechen und eine lokale Strominsel zu vermeiden, die für die Mitarbeiter der Versorgungsunternehmen gefährlich sein könnte.
- Der Zugang zum Standort oder zum Dach muss eingeschränkt werden. Bei auf Dächern montierten Systemen sollte die Möglichkeit in Betracht gezogen werden, dass ein Zugang zum Dach durch am Gebäude angelagerte Materialien, Strukturen oder Abfallbehälter möglich ist (siehe auch Anhang A - Überlegungen zum Risikomanagement).
- PV-Anlagen sollten mit einer Lastfernüberwachung und einem Alarmmanagement ausgestattet sein, um die Paneele und Wechselrichter mit einzubeziehen. Die Alarmer sollten an eine ständig besetzte Stelle oder auf Mobiltelefone von Standortpersonal weitergeleitet werden. Das informierte Instandhaltungspersonal sollte die Möglichkeit haben, den Anlagenzustand aus der Ferne zu überprüfen. Der für die Anlage im Vorfeld entwickelte Notfallplan sollte im Falle von auf Dächern montierten Systemen in den Gebäudenotfallplan integriert werden. Die Lage der wichtigsten elektrischen Komponenten, die Lage der DC-Freischaltstelle sowie die Standorte der Dachzugänge sollten im Notfallplan angegeben werden.
- Angemessene elektrische Abschaltungen sind erforderlich. Für jeden Wechselrichter (und bei Neuinstallationen auch für jeden Verteilerkasten) sollte eine zugängliche, abgesetzte DC-Freischaltstelle vorgesehen werden („Feuerwehrschaner“), um bei Bedarf eine manuelle Trennung und eine sichere Brandbekämpfung zu ermöglichen.
- Es ist wichtig, alle Vertragsbedingungen zwischen den verschiedenen Parteien abzustimmen (z.B. zwischen dem Systemeigentümer, dem Betreiber, dem Instandhalter, dem Elektrounternehmen und dem Eigentümer des Gebäudes oder Grundstücks). Bei Dachanlagen, bei denen unser Kunde nicht der Eigentümer der PV-Anlage ist, muss sichergestellt werden, dass er über eine Haftpflichtversicherung verfügt, die Brandschäden abdeckt.



## Wartung und Inspektionen

- Wartungsverträge sollten formalisiert werden und alle Aspekte des Systems abdecken (einschließlich der Paneele, Stützstrukturen, Verfolger, Elektronik, elektrischen Kabel, Drainagen und Komponenten).
- Das gesamte Wartungspersonal (sowohl das interne als auch das unter Vertrag genommene) muss für die Ausführung von Aufgaben die geeigneten Arbeitsgenehmigungen verwenden, einschließlich einer Genehmigung für Heiarbeit (falls erforderlich). Eine ständige Anwesenheit während der Brandberwachung nach der Arbeit wird empfohlen. Mechanische Reparaturen sollten einer Reparatur unter Verwendung von Heiarbeiten vorgezogen werden, um die Möglichkeit einer Beschädigung der umliegenden Paneele durch Funken und Hitze zu vermeiden.
- Die Paneele und die Verkabelung sollten wöchentlich visuell auf Anzeichen von Verschlechterung, Verschmutzung oder Überhitzung überprüft werden. Beschädigte Module müssen kurzfristig ersetzt werden. Diese Inspektion sollte auch die Verkabelung von Anschlusskästen, DC-Steckverbindern, Bypass-Dioden-Boxen, Wechselrichtern und Modulen umfassen.
- Mindestens einmal jährlich sollte eine formelle Inspektion des Zustands aller elektrischen / erdungstechnischen Kabel und Verbindungen, Anschlusskästen, Dioden, Schaltanlagen, Transformatoren, USVs und Gleichstrom-/Wechselrichter sowie Hilfskomponenten wie Sicherungen und Schalter durchgeführt werden. Bei allen lisolierten Transformatoren sind lanalysen durchzuführen.
- Luftfilter von Lüftungseinrichtungen an Wechselrichtern sind regelmäßig zu ersetzen, um eine Überhitzung zu vermeiden. Dies gilt insbesondere für Freifeldanlagen, in denen Staub oder Sand vorhanden sind.
- Reinigungsintervalle müssen in Abhängigkeit von den örtlichen Umgebungsbedingungen (z.B. Staub, Vogelschlag usw.) erfolgen und sollten auf der Grundlage der Ergebnisse regelmäßiger Inspektionen angepasst werden. Eine unterschiedlich starke Sonneneinstrahlung auf Module derselben Anlage (z.B. durch Vogelkot oder Beschädigung), muss vermieden werden. Die Module sollten mit sauberem Wasser gereinigt werden, um Oberflchenschmutz und Salz zu entfernen. Es ist unerlässlich, die Paneele regelmäßig zu reinigen, da eine Teilabschattung zu Hot-Spots führen kann, die eine Verschlechterung der Paneele verursachen und zu Fehlern führen, die Brände verursachen. Dies ist besonders wichtig, wenn die Module nicht mit Bypass-Dioden ausgestattet sind.
- Für große Anlagen kann eine robotergestützte Reinigung eine Option sein.
- Thermografische Untersuchungen sind jährlich durchzuführen (zweimal pro Jahr, wenn brennbare Materialien vorhanden sind). Diese Untersuchungen müssen alle elektrischen Geräte wie Wechselrichter, Drahtverbinder, Anschlusskästen, Schalttafeln, Transformatoren, Module usw. umfassen und müssen zu einem Zeitpunkt durchgeführt werden, zu dem eine erhebliche Plattenbelastung vorliegt (d.h. klares Wetter und Spitzenerzeugungszeiten). Der Einsatz von Drohnen und KI (Künstliche Intelligenz) geführter Wrmebildgebung für die Module ist die beste Option für große Anlagen.
- Die elektrischen und steuerungstechnischen Anschlüsse sollten jährlich auf ordnungsgemäße Verbindung (z.B. Nachziehen von Schraubverbindungen), Verschlechterung und Korrosion überprüft werden.
- Bei dachmontierten Systemen sollte das Dach mindestens alle 3 Monate und vor zu erwartenden starken Wind- oder Regenstrmen inspiziert werden. Während dieser Inspektionen sind lose Gegenstände zu entfernen. Überprüfen Sie das Dachmaterial auf Beschädigungen und Ablösungen. Prüfen Sie, ob Dachrinnen und Abflüsse frei von Ablagerungen sind. Prüfen Sie, ob die Sicherheitsbarrieren in gutem Zustand und fest an ihrem Platz befestigt sind. Dachkonstruktionen (z.B. Schornsteine) sollten keine losen Bauelemente aufweisen. Die Plattensttzkonstruktionen sollten fest an ihrem Platz befestigt, in gutem Zustand sein und keine Anzeichen von Korrosion aufweisen.

- Wenn Solar-Nachführeinrichtung installiert werden, muss das Positionierungsmodul alle 2 Monate überprüft und der Motor gereinigt werden. Einmal pro Jahr ist eine Sichtkontrolle der Nachführwelle und der Kabel, eine Befestigung der Schrauben und eine Schmierung des Antriebes durchzuführen. Es ist auch zu überprüfen, dass die Bewegung der Nachführeinrichtung durch nichts behindert wird.

## Eigentumrisiken

Die Hauptursachen für Sachschäden sind nachstehend aufgeführt:

- Anprallschäden durch Hagel, herabfallende Gegenstände oder böswillige Beschädigung
- Schäden durch extremes Wetter - Sturm, Schneefall, Blitzschlag
- Elektrisches Versagen und Überhitzung, die durch falsches Anlagendesign, Korrosion von Komponenten, Hot Spots, beschädigte Module, lose oder qualitativ minderwertige Verbindungen, extrem heißes Wetter, Ermüdung durch Temperaturwechsel usw. verursacht wird
- Diebstahl - insbesondere Kupferkabel
- Feuer infolge von Elektroschäden, Brandstiftung oder Feuer, welches sich vom Gebäude/offenen Feld auf die Anlage ausbreitet.
- Die Oberseite der PV-Paneele besteht in der Regel aus gehärtetem Glas, aber die Rückseite kann brennbare Stoffe enthalten, z.B. Verkapselungen auf Polyesterbasis oder Rückseitenfolien. Paneele mit Glas, Aluminium oder Rückseiten mit geringerer Brennbarkeit werden bevorzugt.

Es ist bekannt, dass bei Solarpaneelen ein Risiko durch lokale Abschattung besteht. Diese verursachen heiße Stellen in einem Paneel, welche wiederum zu einer Beschädigung und Entzündung des Paneels führen. Lokale Abschattung kann zu einer Stromumkehr und Überlastung in lokalen Bereichen der Paneele führen. Die wichtigsten Sicherheitsvorkehrungen werden im Leitfaden erwähnt und umfassen regelmäßige Reinigung, Inspektionen und Trennvorrichtungen. Bypass-Dioden sollten in umgekehrter Parallelschaltung mit mehreren Solarzellen eingebaut werden, um eine Überlastung zu verhindern. Sie werden normalerweise in Anschlussdosen eingelötet (1 Anschlussdose mit 3 Dioden pro Modul mit 72 Zellen). Diese Vorrichtungen können jedoch selbst durch häufiges Auftreten von Schatten, Überhitzung der Anschlussdosen oder Blitzüberschlag ausfallen.

Um sicherzustellen, dass die Bypass-Dioden funktionsfähig sind, ist zumindest eine Überprüfung erforderlich:

- Die Berechnungen der Dioden, um zu bestätigen, dass Bypass-Dioden leitend sind, wenn nur eine Zelle abgeschattet wird, und dass die Spannung der abgeschatteten Zelle unter ihrer Durchbruchspannung bleibt.
- Der Wartungsplan umfasst regelmäßige Stromeinspeisungen während der Nacht, um zu überprüfen, ob die Dioden aktiv werden und den Strom an den Solarzellen vorbei leiten, insbesondere nach Gewittern.

Die elektrischen Risiken werden hauptsächlich durch eine angemessene vorbeugende Wartung des Systems und der Komponenten gemildert. Dazu gehören regelmäßige Inspektionen, Reinigung, Festziehen der Anschlüsse, vorbeugende Wartung, thermografische Kamerainspektionen und Trendanalysen der Systemlast und der elektrischen Ausrüstung sowie der Raumtemperatur, um potenzielle Probleme wie Überlastung und Lichtbogenbildung zu erkennen.

Witterungsbedingte Schäden sollten so weit wie möglich durch die korrekte Spezifikation der Komponenten entsprechend der örtlichen Wetterbedingungen auf der Grundlage historischer Daten und der Instrumente zur Erkennung von Naturkatastrophengefahren begrenzt werden. Dies kann nicht alle Risiken aufgrund der Zufälligkeit von Naturgefahren vollständig mindern, aber das Risiko kann durch die Wahrscheinlichkeit auf ein akzeptables Maß reduziert werden.

Hinsichtlich der Brandrisiken werden folgende Punkte empfohlen:

- Bei großen Anlagen sollte an den ortsfesten Brandschutz gedacht werden. Dieser würde normalerweise in Form einer Gaslöschanlage erfolgen, um die wichtigsten elektrischen Gefahren abzudecken, wie z.B. Transformatoren, Serverräume, Räume, in denen Wechselrichter und Schaltanlagen untergebracht sind, sowie alle Räume, in denen Batterien zur Energiespeicherung verwendet werden.
- Für Wechselrichter, Transformatoren, Batterien, Einrichtungen zur Blindleistungskompensation und Schalttafelräume ist eine automatische Branderkennung vorzusehen.
- Transformatoren müssen mit Temperaturrelais ausgestattet sein, die mit PT-100-Sensoren in den Wicklungen verbunden sind.
- Alle Geräte oder Metallbehälter, die der Sonneneinstrahlung ausgesetzte Geräte enthalten, müssen mit einer Zwangskühlung ausgestattet und die Batterien in klimatisierten Räumen oder Schränken installiert sein.
- Verkabelung - insbesondere Gleichstromverkabelung, die einen höheren Strom führt, sollte in ihrer Länge so weit wie möglich begrenzt werden. Es sind MC-Steckverbinder hoher Qualität zu verwenden.

Für Kabelstrecken, die innerhalb von Gebäuden verlaufen, sind Flammenhemmung und Feuerbeständigkeit vorzusehen.

- Eine abgesetzte DC-Freischaltung in der Nähe der Anlage („Feuerwehrscharter“) trägt dazu bei, die Gefahr des Durchschneidens von DC-Drähten zu vermeiden und auch die Gefahr von Lichtbögen zu verringern, wenn die Panel-Felder in Reihe verdrahtet, aber noch nicht an das Netz angeschlossen sind. Diese Anlage sollte im Notfallplan deutlich gekennzeichnet werden.
- Der Notfallplan sollte eine Liste der verantwortlichen Personen enthalten, die im Brandfall schnell zur Stelle sein können, um die Feuerwehr dabei zu unterstützen, dass die Anlagen abgetrennt und anschließend spannungsfrei geschaltet werden.
- Die Vorplanung muss mit der örtlichen öffentlichen Feuerwehr abgestimmt werden. Diese Vorplanung muss sicherstellen, dass ein angemessener Zugang, eine entsprechende Wasserversorgung und eine elektrische Freischaltung für die Brandbekämpfung zur Verfügung stehen und dass die Feuerwehr mit diesen Merkmalen vertraut ist.

## Schadenerwartung

- Die Größe eines potenziellen Brandes wird von mehreren Faktoren beeinflusst. Zu diesen Faktoren gehören z.B. die Größe der Anlage, die zu erwartende Notfallreaktion, der Abstand zwischen den Modulen (die Brandausbreitung könnte durch Wärmestrahlung oder über Kabel erfolgen), die Dachkonstruktion, die Vegetation für ebenerdige Systeme, die Verfügbarkeit von Löschwasser und die Verfügbarkeit eines Notfallteams.
- Bei dachmontierten Systemen stellen PV-Paneele ein Brandrisiko auf dem Dach dar. Bei einem Betondach ist es unwahrscheinlich, dass sich ein Feuer in das Gebäude ausbreitet, außer über Öffnungen und Kabeldurchführungen. Auf brennbaren Dächern würde sich ein Feuer schnell auf das Dach ausbreiten, wodurch sich die Ausbreitung über das Dach selbst schneller als über die Module vollziehen würde.
- Diebstahlverluste machen einen relativ hohen Anteil der Schäden an PV-Panel-Anlagen aus. Aufgrund der Schwierigkeit, die großen Paneele zu transportieren, konzentrieren sich Diebstähle oft auf die hochwertigen und leicht transportierbaren Kupferkabel. Um das Diebstahlrisiko einzudämmen, sollten physische und elektronische Sicherheitsmaßnahmen zur Vermeidung von Diebstählen sowie aktive Maßnahmen zur Gewährleistung von Notfallreaktionen verwendet werden (siehe Überlegungen zum Risikomanagement).
- Verluste durch böswillige Beschädigung sollten ebenfalls in Betracht gezogen werden. Die Schadenshistorie hat gezeigt, dass erhebliche Schäden durch Solarpaneele entstehen können, wenn benachbarte Landwirte oder Anwohner unglücklich darüber sind, dass die Solaranlage auf ehemals landwirtschaftlich genutztem Land gebaut wurde, indem sie z.B. Steine in die Anlage werfen, um die Paneele absichtlich zu zerstören.
- Ein Verlust aufgrund ungünstiger Wetterbedingungen oder einer Naturkatastrophe ist schwieriger vorherzusagen, aber das Ausmaß eines solchen potenziellen Schadens kann vor allem durch die richtige Projektplanung und Konstruktion unter Berücksichtigung der lokalen Wetterbedingungen, der Topografie und der für das Gebiet vorhandenen Naturkatastrophendaten begrenzt werden.
- Eine Betriebsunterbrechung sollte nach einem Brand, einer Beschädigung oder einem Ausfall von Systemkomponenten in Betracht gezogen werden. Die Verfügbarkeit von Ersatzteilen sollte bewertet werden, wobei Teile mit langer Vorlaufzeit (d.h. Transformatoren, Hochspannungsgeräte) und Teile mit einer höheren Ausfallrate (d.h. Wechselrichtermodule, PV-Module) zu berücksichtigen sind. Die Schadenerfahrung hat gezeigt, dass die Betriebsunterbrechungskosten bei kommerziellen Anlagen etwa die Hälfte des Gesamtschadens ausmachen.
- Es ist bekannt, dass einige Komponenten eine relativ hohe Ausfallrate aufweisen (z.B. die Anschlussdosen auf der Rückseite der Panels, die extremen Temperaturen ausgesetzt sein können, oder die Gleichstromanschlüsse). Diese Faktoren sollten bei der Projektplanung berücksichtigt und vom entsprechenden Risikoberater überprüft werden.
- Bei auf Dächern montierten Systemen muss die allgemeine Zunahme des Risikos am Standort aufgrund der Installation der Paneele vom entsprechenden Risikoberater sorgfältig geprüft werden. Das Brand-, Diebstahl- und Schadensrisiko sollte anhand der in diesem Dokument aufgeführten Richtlinien bewertet werden, wobei erforderlichenfalls Empfehlungen für Verbesserungen gegeben werden sollten. Die Ausgewogenheit des Risikoniveaus gegenüber den mildernden Faktoren sollte sich in der Gesamtrisikobewertung des Standorts widerspiegeln, ebenso wie das erhöhte Expositionsrisiko am Standort.

## Anhang A: Überlegungen zum Risikomanagement

Sofern nicht bereits vor Ort oder geeignete Alternativstrategien vorhanden sind, sollten die unten aufgeführten Punkte von Beratern übernommen werden.

### Kriminalität

- Zäune und Tore: Diese Schutzeinrichtungen können sehr unterschiedlich ausgeführt sein (z.B. durch Wildtierzäune, Palisaden, Maschendraht, natürliche Schutzeinrichtungen (z.B. Hecken / Entwässerungsgräben usw.). Berater sollen berichten, welche Einfriedung an Ort und Stelle vorhanden ist, aber danach die Bemühungen auf die anderen, in Anhang A angesprochenen Punkte konzentrieren. Wenn sie vor der Entwicklung eines Standortes konsultiert werden, dann ist die Umzäunung eine erste Option, doch für die erwähnten Variabilitäten wird es sehr schwierig sein, dies zu spezifizieren. Der Zaun und alle darin befindlichen Tore sollten in Übereinstimmung mit den örtlichen Vorschriften errichtet werden.
- Standortsicherheit - Minimierung der Eintrittspunkte zum Solarpark: Stellen Sie sicher, dass die Eintrittspunkte minimiert, kontrolliert und überwacht werden, wobei nur autorisiertem Personal der Zutritt zur Anlage gestattet wird.
- Sicherheit am Standort – Installation eines Videoüberwachungssystems (CCTV)  
Installieren Sie ein ferngesteuertes Videoüberwachungssystem. Das System sollte von einem Fachunternehmen installiert und gewartet werden. Das Fachunternehmen sollte eine Spezifikation für das System vorlegen, die den örtlichen Vorschriften entspricht.

#### Schutz-Spezifikation:

- Wärmebildtechnik, um die Erkennung von Entstehungsbränden im Freien zu ermöglichen. Hierbei Abdeckung des gesamten Anlagenumfangs und der wichtigsten Anlagenbereiche mit Wechselrichtern.
- Videoanalyse zur Erkennung eines Eindringlings.
- Die Signalübertragung erfolgt über eine ISDN-Leitung oder Breitband-Leitung, unterstützt durch einen sekundären Kommunikationspfad wie GPRS oder ein Satellitenkommunikationssystem.
- Klare Anweisungen sollten in einem "Reaktionsplan" oder einer "Servicevereinbarung" festgehalten werden, in denen die nach einer Alarmauslösung oder einem Fehlersignal erforderlichen Maßnahmen dargelegt werden.
- Eine Kopie der vorgeschlagenen CCTV-Spezifikation sollte an RSA zur Zustimmung weitergeleitet werden, bevor eine Auftragserteilung an das Fachunternehmen erfolgt.

#### Allgemeine Anforderungen:

- Verwendung eines anerkannten Übertragungssystems zur Weiterleitung von Alarmen oder Störungen auf die Alarmempfangsstelle eines anerkannten Wach- und Sicherheitsunternehmens (z.B. VdS-angewiesen).
- Wird eine Kamera funktionsunfähig oder anderweitig beeinträchtigt, ruft die Alarmempfangszentrale entsprechendes Interventionspersonal an, um die Örtlichkeit der Solaranlage zu untersuchen. Die Reaktionszeit bis zum Eintreffen an der Solaranlage sollte maximal 1 Stunde betragen.
- Verbesserung der Sicherheit von Solarpaneelen: Verbessern Sie die Sicherheit von Solarpaneelen durch die Verwendung von Schraubensicherung gegen unbefugtes Lösen, mit denen die Paneele an den Montagerahmen befestigt werden.  
Bei Verwendung von Abreißmutter wird die Mutter wie eine normale Mutter auf ein Gewinde gedreht. Infolge einer Sollbruchstelle unterhalb des Sechskantes schert dieser bei einem definierten Drehmoment ab. Es bleibt das kugelförmige Unterteil der Mutter auf dem Gewinde. Durch die runde Form gibt es keine Möglichkeit die Verschraubung zu lösen  
Alternativ dazu sind Sicherungsschraube mit Teilabdrehkopf gute Alternativen. Die Schraube besitzt einen abgesetzten Kopf, der sich beim Festziehen durch die definierte Einschnürung unterhalb des Kopfes bei einem festgelegten Drehmoment absichert. Der verbleibende Teil besitzt ebenfalls keine Möglichkeit die Schraubverbindung zu lösen.

Für neue Standorte, die sich in der Entwicklung befinden, ist die Verwendung von Schraubensicherungen gegen unbefugtes Lösen eine Erwartung.

- Upgrade der Kabelsicherheit: Bei erdmontierten Systemen sollten die Kabel in Gräben vergraben werden, die mit Sand verfüllt, mit Trassenwarnband markiert und verdichtet werden. Zusätzliche Sicherheit in Form von Diebstahlsicherungsklemmen oder forensischen Markierungsprodukten kann am Kabel angebracht werden, die verhindern, dass das Kabel aus dem Graben gezogen wird. Direkt erdverlegte Kabel sollten gepanzert sein, um Beschädigungen zu verhindern, Dies solle insbesondere dort erfolgen, wo eine Straßenüberquerung möglich ist. String-Wechselrichter, die am Ende eines Feldes gruppiert sind, sollten ebenfalls mit Diebstahlsicherungsklemmen versehen werden.
- Erweitern Sie das Sicherheitskonzept um eine 24-Stunden-Bewachung bei bereits erhaltenen Verlusten durch Diebstahl oder als vorübergehende Lösung bis zur Realisierung des oben angegebenen Schutzes: Erweitern Sie die Sicherheit, um einen professionellen Bewachungsdienst zu integrieren. Dieser Dienst sollte regelmäßige Rundgänge vor Ort unter Verwendung eines Wächterkontrollsystems durchführen. Der Personalbedarf wird je nach den Einsatzanweisungen und der Ausdehnung des Geländes/des Standorts variieren. Im Idealfall steht das am Standort der Solaranlage eingesetzte Wachpersonal über Mobilfunk in einem ständigem Kontakt mit einer ständig personell besetzten Leitstelle / Wache, die sich an einem sicheren Ort befindet und in der Lage ist, bei Bedarf einen entsprechenden Alarm auszulösen.

## Eigentum

- Automatische Branderkennung installieren: Installieren Sie eine automatische Branderkennung in jedem der folgenden Bereiche:
  - Transformatorstationen
  - Wechselrichterstationen
  - Hauptschaltraum
  - Serverraum
  - Batterieraum
  - Kontrollraum
  - Lagerhaus.

Alarmer, die von vorhandenen Schutzeinrichtungen erzeugt werden, sollten an eine personell ständig besetzte Stelle (z.B. an eine zertifizierte Alarmempfangszentrale eines Wach- und Sicherheitsunternehmens) weitergeleitet werden. Die Signalisierungsmethode sollte entweder durch eine nach lokalen Codes getestete und zertifizierte, eine Dualcom GPRS G4-Verbindung oder eine mit der RSA-Gruppe vereinbarte alternative Signalisierungsmethode erfolgen. Wenn möglich, sollten auch Einrichtungen zur Fernabschaltung vorgesehen werden, so dass bestimmte Geräte bei Aktivierung der automatischen Branderkennung aus der Ferne freigeschaltet werden können (z.B. Wechselrichter, Transformatoren).

- Thermografie: Vollständige Wärmebildaufnahmen (Infrarot), die alle wichtigen elektrischen Schaltanlagen, Hauptkabelwege, Transformatoren, Batterien, Kabelanschlüsse und Schlüsselaustrüstung, d.h. PV-Module, umfassen. Sofortige Korrektur aller festgestellten Mängel. Der Einsatz von Drohnen wird für die Module in großen Anlagen empfohlen. Thermographische Inspektion der Verteilerschalttafeln bei geöffneter Schalttafel, um die volle Effektivität der Ergebnisse zu gewährleisten.
- Entwicklung von Notfallreaktionsverfahren - Feuerwehr: Wenden Sie sich an den regionalen Feuerwehr- und Rettungsdienst oder eine gleichwertige lokale Behörde und laden Sie sie (oder zumindest die örtlichen Feuerwehrstationen) zu einem Besuch vor Ort ein, damit sie über die Gefahren aufgeklärt werden und einschätzen können, wie sie mit einem Brandereignis einschließlich Grasbränden umgehen würden. Als Teil des Besuchs sollten sie die Bewertung des Brandrisikos vor Ort formell überprüfen und kommentieren.
- Darüber hinaus sollten sie ein formelles Informationspaket der Feuerwehr erstellen, das alle relevanten Informationen enthält, die diese im Falle eines Vorfalles vor Ort benötigen würde. Nachstehend sind einige typische Aspekte aufgeführt:

- Ein Lageplan mit allen wichtigen Anlagen und Ausrüstungen und den lokalen Gefahren, die identifiziert wurden
- Zugangspunkte (auf dem Lageplan markieren)
- Kontaktnummern für Notfälle
- Anlage/Stromfreischaltstellen/Verfahren (AC & DC)
- Alle spezifischen Maßnahmen, die im Falle eines Zwischenfalls nicht ergriffen werden sollten
- Wasservorräte für die Brandbekämpfung (ggf. auf dem Lageplan markieren)
- Einzelheiten über andere Feuerlöscher-/Löschmedien, die, falls zweckmäßiger, verwendet werden sollten
- Alle anderen Informationen, die für den Umgang mit einem Feuer/Notfall vor Ort als sachdienlich erachtet werden.

Das Informationspaket sollte vor Ort an einem sicheren Ort / Kasten aufbewahrt werden, der eindeutig gekennzeichnet und der Feuerwehr bekannt ist (z.B. in einem sicheren Metallkasten / Behälter an der Seite des Hauptschaltraums).

- Entwickeln Sie eine Geschäftskontinuitätsplanung: Entwickeln und implementieren Sie ein Business-Continuity-Management-System (BCM) und einen Business Continuity Plan (BCP oder Betriebsfortführungsplan), um die Wahrscheinlichkeit von Verlusten zu verringern und die Auswirkungen von Geschäfts-/Betriebsunterbrechungen zu mildern. BCM ist ein systematischer Ansatz zur Risikokontrolle und Geschäftswiederherstellung, der den bestmöglichen Schutz für Ihre Schlüsselergebnisse und die Prozesse und Aktivitäten, die diese unterstützen, gewährleistet. BCM ist mehr als nur die Vorbereitung eines "Notfallwiederherstellungsplans". Es bietet Ihnen die Möglichkeit, die Risiken, denen Ihr Unternehmen ausgesetzt ist, zu identifizieren und zu messen, ihre Widerstandsfähigkeit gegenüber Verlusten und Unterbrechungen zu verbessern und die Wiederherstellung im Schadensfall zu priorisieren. Einige spezifische Bereiche, die als Teil des Prozesses in Betracht gezogen/angegangen werden sollten, sind
  - Lagerbestand an kritischen Ersatzteilen, d.h. Transformatoren, Wechselrichter, Hochspannungsgeräte, Schalttafeln, Kabel usw. an einem sicheren zentralen Ort
  - Wiederherstellungsstrategie im Falle eines Ausfalls der Hauptschaltanlage
  - Geschäftsauswirkungen und Wiederherstellungsstrategie im Falle eines Ausfalls der Schaltwarte des Stromnetzbetreibers.

Dieses Dokument wird den Kunden nur zu Informationszwecken zur Verfügung gestellt und ist nicht Bestandteil der zwischen dem Kunden und RSA geltenden Richtlinien. Die dargestellten Informationen stellen eine Reihe allgemeiner Richtlinien dar und sollten nicht als fachliche Beratung ausgelegt oder als verlässlich angesehen werden. RSA garantiert nicht, dass alle Gefahren und Expositionen im Zusammenhang mit dem Gegenstand dieses Dokuments abgedeckt sind. Daher übernimmt RSA keine Verantwortung gegenüber Personen, die sich auf das Risk Control Bulletin verlassen, noch übernimmt sie irgendeine Haftung für die Richtigkeit der von einer anderen Partei gelieferten Daten oder die Folgen des Vertrauens auf diese Daten.

This document is provided to customers for information purposes only and does not form any part of any policy which is in place between the customer and RSA. The information set out constitutes a set of general guidelines and should not be construed or relied upon as specialist advice. RSA does not guarantee that all hazards and exposures relating to the subject matter of this document are covered. Therefore RSA accepts no responsibility towards any person relying upon the Risk Control Bulletin nor accepts any liability whatsoever for the accuracy of data supplied by another party or the consequences of reliance upon it.