



SolarPega & SolarPegaF Serie

Wartungshandbuch für leichte starre PV-Module

Shandong ZKFN Solar Technology Co., Ltd.

Veröffentlichungsdatum: 2026-05-09 | Version: ZKFN-ATSD-LG-OMM-342

Inhaltsverzeichnis

1. Handbuchübersicht, Rechte und Pflichten	- 3 -
1.1 Anwendungsbereich	- 3 -
1.2 Haftungsausschluss	- 3 -
1.3 Haftungsumfang	- 3 -
1.4 Garantiebedingungen	- 4 -
1.5 Informationen zum technischen Support.....	- 4 -
2. Sicherheitsbetriebsanweisungen für Betrieb und Wartung.....	- 4 -
2.1 Allgemeine Sicherheitswarnungen	- 4 -
2.2 Sicherheitsanforderungen für Wartungs- und Instandhaltungspersonal	- 5 -
2.3 Verbotene Wartungstätigkeiten.....	- 6 -
3. Wartungsinspektionsspezifikationen	- 7 -
3.1 Allgemeine Wartungsanforderungen	- 7 -
3.2 Inspektionshäufigkeit und -punkte.....	- 9 -
3.3 Sonderinspektionen.....	- 10 -
4. Reinigung der PV-Module.....	- 11 -
4.1 Bestimmung der Reinigungshäufigkeit und des Zeitpunkts	- 11 -
4.2 Anforderungen an die Reinigungswasserqualität	- 11 -
4.3 Standard-Reinigungsverfahren.....	- 12 -
4.4 Anforderungen an die Inspektion nach der Reinigung.....	- 13 -
5. Häufige Fehlerdiagnose und Fehlerbehebung	- 13 -
5.1 Ungewöhnliche Leistungsdegradation des Moduls.....	- 13 -
5.2 Hot-Spot-Effekt des Moduls	- 14 -
5.3 Modulverdrahtungs- und Steckverbinderfehler.....	- 15 -
5.4 Fehlerdiagnose auf Wechselrichter- und String-Ebene.....	- 16 -
6. Modulreparatur und -austausch	- 17 -
6.1 Allgemeine Anforderungen an den Modultausch	- 17 -
6.2 Austauschverfahren für klebend montierte Module	- 17 -
6.3 Austauschverfahren für Module mit Klemm-/Befestigungsvorrichtungen... ..	- 18 -
6.4 Systemverifizierung nach Modulaustausch.....	- 19 -
7. Notfallmaßnahmen.....	- 19 -
7.1 Notfallmaßnahmen bei elektrischer Leckage eines Moduls	- 19 -

7.2 Notfallmaßnahmen bei Modulbrand.....	- 20 -
7.3 Notfallmaßnahmen bei extremen Wetterbedingungen	- 20 -
7.4 Emergency Response to Lightning Strikes	- 18 -
8. Betriebs- und Wartungsaufzeichnungen sowie Archivverwaltung	- 22 -
8.1 Betriebs- und Wartungsaufzeichnungen - Verwaltungssystem	- 22 -
8.2 Archivklassifizierung und -ablage	- 22 -
8.3 Jährlicher Betriebs- und Wartungsbericht	- 23 -
9. Anhang.....	- 23 -
9.1 Häufig gestellte Fragen (FAQ).....	- 23 -
9.2 Checkliste für gängige O&M-Werkzeuge und -Instrumente	- 25 -
9.3 Technischer Support und Kontaktinformationen.....	- 25 -
9.4 Revisionshinweise zum Handbuch	- 25 -

1. Handbuchübersicht, Rechte und Pflichten

1.1 Anwendungsbereich

Dieses Handbuch ist das offizielle O&M-Leitfadendokument, herausgegeben von Shandong ZKFN Solar Technology Co., Ltd. (im Folgenden "ZKFN SOLAR") für die SolarPega-Serie (SolarPega, SolarPegaL) und die SolarPegaF-Serie (SolarPegaF, SolarPegaFL) TOPCon leichte starre kristalline Silizium-PV-Module (im Folgenden "Module"). Dieses Handbuch deckt alle betrieblichen Aspekte während des gesamten Lebenszyklus des PV-Systems nach der netzgekoppelten Inbetriebnahme ab, einschließlich: Routineinspektion und spezielle Prüfung, Modulreinigung, Fehlerdiagnose und -ortung, Modulreparatur und -austausch, Notfallmaßnahmen und Verwaltung der O&M-Aufzeichnungen.

Dieses Handbuch richtet sich an Systemintegratoren, EPC-Generalunternehmer, O&M-Dienstleister sowie fachlich qualifiziertes Personal, das mit dem Betrieb und der Wartung der oben genannten Modulerien befasst ist. Jede Person, die für den Betrieb, die Inspektion oder die Reparatur dieses Produkts verantwortlich ist, ist verpflichtet, vor Arbeitsbeginn alle Bestimmungen dieses Handbuchs zu lesen, vollständig zu verstehen und strikt einzuhalten. Die Nichteinhaltung der in diesem Handbuch festgelegten Betriebsverfahren, Sicherheitsvorkehrungen und technischen Spezifikationen kann zu schweren Personenschäden oder Sachschäden führen. Der Betrieb und die Wartung von PV-Modulen erfordert Fachkenntnisse und darf nur von qualifiziertem Personal mit entsprechender Zertifizierung durchgeführt werden. Die O&M-Einrichtung muss dem Endkunden die in diesem Handbuch enthaltenen Sicherheits- und Wartungshinweise schriftlich mitteilen.

1.2 Haftungsausschluss

ZKFN SOLAR behält sich das Recht vor, dieses Handbuch ohne vorherige Ankündigung aufgrund von Produkttechnologie-Upgrades, Prozessverbesserungen oder Aktualisierungen von Normen zu ändern. Die neueste Version dieses Handbuchs wird gleichzeitig im Download-Center der offiziellen Website von ZKFN SOLAR veröffentlicht. Kunden und O&M-Parteien sind dafür verantwortlich, proaktiv die neueste Version zu prüfen und deren Verwendung sicherzustellen. Betriebliche Abweichungen, die aus der Verwendung einer veralteten Version dieses Handbuchs resultieren, liegen in der alleinigen Verantwortung des Benutzers.

Die Nichteinhaltung der im O&M-Handbuch festgelegten Anforderungen (einschließlich der während des O&M-Zeitraums auf der offiziellen Website von ZKFN SOLAR veröffentlichten Änderungen) durch den Kunden während des Betriebs und der Wartung der Module führt zum Erlöschen der dem Kunden gewährten beschränkten Produktgarantie.

ZKFN SOLAR übernimmt keine ausdrückliche oder stillschweigende Gewährleistung in Bezug auf die in diesem Handbuch enthaltenen Informationen. Benutzer und O&M-Personal müssen vor Ort technische Untersuchungen des Projekts durchführen, um sicherzustellen, dass die angewandten O&M-Methoden den örtlichen Gesetzen, Vorschriften und Bauvorschriften entsprechen.

1.3 Haftungsumfang

Unabhängig davon, ob die Modul-O&M gemäß den Anweisungen in diesem Handbuch durchgeführt wird, übernimmt ZKFN SOLAR keine rechtliche Haftung für Schäden, die während des O&M-Prozesses entstehen (einschließlich, aber nicht beschränkt auf Personenschäden und Sachschäden, die aus der Handhabung von Modulen und der Systemwartung resultieren).

Im Falle von Abweichungen zwischen verschiedenen Sprachversionen dieses Handbuchs ist die chinesische Version maßgebend.

Dieses Handbuch dient ausschließlich als Betriebsanleitung für O&M. Keine Aussage in diesem Handbuch, weder ausdrücklich noch stillschweigend, stellt eine Garantiekunde dar.

1.4 Garantiebedingungen

Alle Produkte der Serien ZKFN SOLAR SolarPega und SolarPegaF unterliegen einer 15-jährigen Produktgarantie und einer 30-jährigen linearen Leistungsgarantie. Die spezifischen Garantieleistungen, das Verfahren zur Geltendmachung von Ansprüchen und die Ausschlussklauseln richten sich nach dem offiziellen Garantiedokument, das zum Zeitpunkt des Produktkaufs ausgehändigt wird.

Wichtige, mit den Modulen verwendete Hilfsmaterialien, einschließlich Klemmen, Strukturklebstoffe und MC4-kompatible Steckverbinder, müssen Spezifikationsmodelle verwenden, die von ZKFN SOLAR empfohlen oder zertifiziert wurden, um die Gesamtsystemkompatibilität, Zuverlässigkeit und Sicherheit zu gewährleisten. Schäden am Produkt oder System, die durch die Verwendung nicht zertifizierter Hardware verursacht werden, sind von der Garantie ausgeschlossen.

1.5 Informationen zum technischen Support

Für detailliertere technische Supportdokumentation, projektspezifische Lösungskoordination oder Unterstützung bei anormalen Betriebs- und Wartungsproblemen kontaktieren Sie ZKFN SOLAR bitte über die folgenden offiziellen Kanäle:

Service-Hotline: (+86) 400 6768 100 (Office Hours: 8:30-17:30, Beijing Time)

Technischer Support E-Mail: tech-support@zkfnsolar.com

Offizielle Website: www.zkfnsolar.com

Adresse des Fertigungsstandorts: Building 1, Xinshenglin, Lvhaihui Intelligent Manufacturing Industrial Park, Jining Economic Development Zone, Jining City, Shandong Province

2. Sicherheitsbetriebsanweisungen für Betrieb und Wartung

2.1 Allgemeine Sicherheitswarnungen

1. Sämtliche Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten müssen in vollständiger Übereinstimmung mit lokalen und regionalen Vorschriften sowie den geltenden nationalen oder internationalen elektrischen Normen durchgeführt werden.
2. Gefahr von Stromschlag und Verbrennungen: PV-Module sind Gleichstrom-Energieerzeugungsgeräte. Wenn ihre Oberflächen Licht ausgesetzt sind, liegt an den positiven und negativen Anschlüssen und Steckverbindern Gleichspannung an, selbst wenn sie nicht an einen Stromkreis angeschlossen sind. Die Spannung eines PV-Arrays, das aus mehreren in Reihe geschalteten Modulen besteht, kann Werte erreichen, die die persönliche Sicherheit gefährden. Personal, das keine professionelle Schulung oder Autorisierung erhalten hat, ist es untersagt, die Anschlüsse, Steckverbinder oder freiliegenden spannungsführenden Teile des Moduls in irgendeiner Weise zu berühren. Der Kontakt mit spannungsführenden Komponenten kann zu schweren Verbrennungen oder tödlichen Stromschlägen führen.
3. Verbot von Lastschalthandlungen: Vor der Durchführung von Modulwechsel-, Verkabelungs- oder Systemänderungsarbeiten muss zunächst sichergestellt werden, dass sowohl das DC-seitige als auch das AC-seitige System vollständig spannungsfrei geschaltet sind, und es müssen strenge Maßnahmen zur Wiedereinschaltsperrung und

Spannungsfreiheitsprüfung umgesetzt werden. Es ist unter keinen Umständen erlaubt, Steckverbinder oder elektrische Verbindungen unter Last zu trennen. Das Trennen unter Last erzeugt einen gefährlichen und zerstörerischen DC-Lichtbogen, der Brände, Geräteschäden und schwere Personenschäden verursachen kann.

4. Handhabung beschädigter Module: Module, bei denen bei Wartungs- und Instandhaltungsinspektionen optische Schäden festgestellt werden (einschließlich, aber nicht beschränkt auf Oberflächendurchdringung, Rissbildung, Rückseitenfolienkratzer mit Durchdringung, Rissbildung im Anschlusskasten oder inneren Feuchtigkeitseintritt), müssen sofort isoliert und für den Austausch eingeplant werden. Beschädigte Module sind nicht reparierbar und stellen ein extrem hohes Risiko für Stromleckage und Stromschlag dar, da ihre Isolationsleistung vollständig versagt hat. Es ist aus irgendeinem Grund verboten, Module zu zerlegen, Modulkomponenten zu entfernen oder die Verkabelung von Bypass-Dioden zu modifizieren. Die Abdeckungen der Modul-Anschlusskästen müssen jederzeit sicher verschlossen bleiben.
5. Risiko eines Kurzschlusses zwischen Plus und Minus: Es ist verboten, die positiven und negativen Steckverbinder eines einzelnen Moduls direkt zu verbinden, da dies einen Modulkurzschluss verursacht. Vor der Durchführung von Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten müssen alle Steckverbinder-Isolierstopfen oder Dichtringe überprüft und bestätigt werden, dass sie intakt und richtig eingesetzt sind, um Kurzschlüsse durch Isolationsversagen zu verhindern, die zu Brand- oder Stromschlaggefahren führen könnten.
6. Umgebungs- und elektrische Parameterbegrenzungen: Der ausgelegte stabile Betriebstemperaturbereich für die Module liegt zwischen -40°C und $+85^{\circ}\text{C}$. Die maximale System-Leerlaufspannung bei jeder zu erwartenden minimalen Umgebungstemperatur darf die auf dem Modulproduktetikett angegebene maximale Systemspannung von DC 1500V nicht überschreiten. Der Betrieb außerhalb der Nennparameter ist während der Wartung und Instandhaltung verboten.
7. Brandschutz: Wenn am Wartungs- und Instandhaltungsstandort ein Brand auftritt, muss unter Bedingungen, die sicher sind und kein Risiko für das Personal darstellen, zuerst die Stromversorgung des gesamten PV-Systems (einschließlich sowohl der DC- als auch der AC-Seite) unterbrochen werden. Anschließend ist die Brandbekämpfung gemäß den Vorschriften für Elektrobrände mit nicht leitenden Löschmitteln wie Trockenpulver oder Kohlendioxid durchzuführen. Es ist verboten, Wasser oder Schaum direkt auf die Module und das elektrische System zu sprühen, ohne zuvor die Stromversorgung zu unterbrechen.
8. Anwendungsclassen und Warnhinweis: Diese Modulserie ist der Anwendungsclassenklasse A (äquivalent zu IEC 61730-1 Sicherheitsclassenklasse II) zugeordnet und für Systeme geeignet, die für die Öffentlichkeit zugänglich sind. Wenn die System-Leerlaufspannung 50V überschreitet, müssen gemäß den Sicherheitsvorschriften gut sichtbare Warnschilder mit der Aufschrift "Gefahr: Stromschlag" in der Nähe der String-Verbindungsgeräte und an leicht zugänglichen Stellen wie Wechselrichtern angebracht werden.

2.2 Sicherheitsanforderungen für Wartungs- und Instandhaltungspersonal

1. Qualifikationsanforderungen: Sämtliches Personal, das für den Betrieb, die Inspektion und die Reparatur von PV-Systemen verantwortlich ist, muss eine abgeschlossene professionelle Schulung für die Wartung und Instandhaltung von PV-Systemen absolviert haben, gültige einschlägige Qualifikationszertifikate besitzen (einschließlich, aber nicht beschränkt auf Niederspannungs-Elektriker-Zertifikat, Hochspannungs-Elektriker-Zertifikat, Höhenarbeits-Zertifikat) und mit allen Sicherheitsvorschriften in

diesem Handbuch sowie den einschlägigen lokalen Regierungsvorschriften gründlich vertraut sein.

2. Zwei-Personen-Regel: Um die mit Alleinarbeiten verbundenen Risiken (wie unbeabsichtigter Stromschlag, Sturz aus großer Höhe usw.) zu minimieren, müssen alle Inspektionen, Reinigungs-, Reparatur- und Verdrahtungsarbeiten vor Ort von mindestens zwei Personen gemeinsam durchgeführt werden. Alleinarbeiten mit hohem Risiko sind verboten.
3. Persönliche Schutzausrüstung (PSA): Das Wartungspersonal muss während der Arbeiten ordnungsgemäß zertifizierte persönliche Schutzausrüstung tragen, einschließlich, aber nicht beschränkt auf: rutschfeste Schutzhandschuhe, langärmelige isolierte Arbeitskleidung und durchtrittsichere isolierte Schuhe. Bei Arbeiten an Dachkanten oder in Bereichen mit Sturzgefahr (Höhenunterschied über 2 Meter) muss jederzeit ein doppelhaken-federnder Sicherheitsgurt getragen und sicher an einer unabhängig installierten Sicherungsleine oder einem Ankerpunkt befestigt werden. Zusätzlich sollten Geländer oder Sicherheitsnetze unter der Arbeitsfläche installiert werden.
4. Werkzeuge und Schmuck: Es dürfen nur Werkzeuge verwendet werden, die den Sicherheitsstandards entsprechen und ordnungsgemäß isoliert sind. Das Tragen von metallischem Schmuck (wie Uhren, Ringen, Halsketten, Armbändern usw.) während des Dienstes ist verboten. Solche Gegenstände können eine unbeabsichtigte Stromleitung verursachen, die zu Kurzschlussrisiken führt, oder die Moduloberfläche während der Arbeit zerkratzen.
5. Ungünstiges Wetter: Außeninspektionen, Reinigungs- oder Reparaturarbeiten jeglicher Art sind bei Regen, Schnee, Nebel oder Gewitter sowie bei einer momentanen Windgeschwindigkeit vor Ort von mindestens Windstärke 4 (ca. 7,9 m/s) verboten. Feuchte Umgebungen erhöhen das Risiko eines Stromschlags erheblich. Das Wartungspersonal muss sicherstellen, dass alle Module, Werkzeuge und elektrischen Anschlusspunkte vor Arbeitsbeginn sauber und trocken sind.
6. Bereichskontrolle: Am Wartungsstandort und in den Modullagerbereichen müssen klare Warnschilder und Barrieren angebracht werden. Unbefugten Personen, Kindern oder anderen nicht beteiligten Personen ist der Zutritt verboten, um Unfälle zu vermeiden.
7. Schutz vor Lichteinwirkung: Zu jeder Zeit, auch wenn die Module noch nicht an ein vollständiges System angeschlossen sind, stellen sie eine Stromquelle dar, solange sie Licht ausgesetzt sind. Es ist verboten, die Anschlussdose, Kabelenden oder Metallkontakte in Steckverbindern ohne Schutzmaßnahmen mit bloßen Händen direkt zu berühren.

2.3 Verbotene Wartungstätigkeiten

Um die Modulleistung, die persönliche Sicherheit und die Gültigkeit der Garantie zu gewährleisten, sind die folgenden Tätigkeiten während des Wartungsbetriebs strengstens verboten:

1. Physische Beschädigung und Beschichtungen: Es ist verboten, mit scharfen Gegenständen die Vorder- und Rückseiten der Module zu zerkratzen, zu schlagen, zu biegen oder zu stoßen. Es ist verboten, Farbe, Klebstoffe, Klebeband oder jegliche Art von Beschichtung auf einen Bereich der Moduloberfläche aufzutragen. Es ist verboten, Löcher zu bohren, zu schneiden oder einen Teil des Moduls zu schleifen (es sei denn, es liegt eine vorherige schriftliche Bestätigung von ZKFN SOLAR-Fachpersonal vor).
2. Beschädigung von Kabeln und Steckverbindern: Es ist verboten, die werkseitig installierten Kabel und Steckverbinder des Moduls auf irgendeine Weise zu zerkratzen,

zu durchtrennen, zu quetschen oder zu ziehen. Es ist verboten, Kabel und Steckverbinder ohne ausreichenden Schutz über längere Zeiträume direktem Sonnenlicht oder Wasser auszusetzen.

3. Unsachgemäße Handhabung und Druck: Es ist verboten, Module am Anschlusskasten, an den Ausgangsleitungen oder an den Steckverbindern anzuheben, zu tragen oder zu ziehen. Module müssen mit beiden Händen getragen werden, wobei die Unterseite gestützt wird. Es ist verboten, unsachgemäßen Druck auszuüben, auf der Moduloberfläche zu stehen, zu gehen, zu klettern oder zu springen. Es ist verboten, dass Module mit harten oder scharfen Gegenständen kollidieren, an ihnen reiben oder auf sie stoßen.
4. Künstliche Lichtkonzentration: Es ist verboten, Spiegel, Lupen, Linsen oder andere optische Vorrichtungen zu verwenden, um zusätzliches Sonnenlicht oder künstliches Licht auf die Moduloberfläche zu konzentrieren.
5. Wassereintauchung und Stapelung: Es ist verboten, Module über längere Zeiträume oder dauerhaft in Umgebungen zu platzieren, in denen sich Wasser ansammeln kann oder sie ständig Feuchtigkeit ausgesetzt sind. Während aller Phasen der Lagerung, Handhabung und Wartung ist es verboten, Module mit der Vorderseite nach unten zu platzieren, Module übereinander zu stapeln oder Drucklasten auf Module auszuüben.
6. Fremdkörper auf der Oberfläche und Verschattung: Es ist verboten, während der Wartung Strukturklebstoff, Dichtmittel oder andere Fremdschubstanzen auf die effektive Lichteintrittsfläche der Modulzellen aufzutragen. Nach Abschluss der Wartung müssen alle Ausgangsleitungen und Jumper-Kabel klar verlegt und zuverlässig befestigt sein. Es ist verboten, dass Leiter, Klemmen oder andere Gegenstände die effektive Lichteintrittsfläche der Zellen verschatten.
7. Verschmutzungsquellen und Zündquellen: Es ist verboten, kontinuierliche Emissionsauslässe oder Abluftöffnungen für Fettdämpfe, Staub oder chemisch korrosive Gase in der Umgebung der Module zu installieren. Es ist verboten, offene Flammenquellen oder brennbare und explosive Materialien in der Nähe der Module zu lagern.
8. Unsachgemäße Belastung: Nach Abschluss der Wartungsinspektionen ist es verboten, schwere Gegenstände, Werkzeuge oder Gegenstände mit scharfen Auflagepunkten auf der Moduloberfläche abzulegen, um langfristige spannungsbedingte Schäden zu vermeiden.
9. Verhinderung von Lockerung: Module müssen stets in einem sicher befestigten Zustand bleiben, um allen potenziellen Lasten (einschließlich Wind- und Schneelasten) standzuhalten. Eine Lockerung von Modulen, die an Verbindungskabeln zieht und zu Isolationsversagen, Stromleckagen und Lichtbögen führt, ist eine erhebliche Risikoquelle für verteilte PV-Systeme.
10. Demontageverbot: Es ist verboten, Module zu demontieren oder Bauteile von Modulen zu entfernen. Beschädigte Anschlusskästen und beschädigte Steckverbinder stellen sowohl potenzielle elektrische Gefahren als auch Schnittverletzungsgefahren dar.

3. Wartungsinspektionsspezifikationen

3.1 Allgemeine Wartungsanforderungen

3.1.1 Management der Verschattungsvermeidung

Während des Betriebs von leichten, starren PV-Modulen ist eine lokale oder vollflächige Verschattung (einschließlich, aber nicht beschränkt auf Kabel, Anschlüsse,

Entlüftungshauben, Überwachungsgeräte, Wechselrichter, Baumschatten, Brüstungen, Geländer usw.) strengstens untersagt. Bei O&M-Inspektionen müssen neu auftretende Verschattungsquellen gründlich untersucht und umgehend beseitigt werden.

Nach Regen- oder Schneeeignissen muss die Moduloberfläche innerhalb von 24 Stunden überprüft werden. Angesammelter Staub auf der Moduloberfläche sollte abgespült werden, um zu verhindern, dass sich Staub mit Regenwasser vermischt und Schlammflecken bildet, die auf der Moduloberfläche verbleiben und starke lokale Verschattungen verursachen.

Halten Sie eine Kombination aus Routineinspektion und spezieller Prüfung ein. Führen Sie regelmäßig eine Sichtkontrolle auf Verschattung durch Fremdkörper, Moduloberflächenintegrität und Zustand der Anschlussdose durch. Entfernen Sie umgehend lokale Verschattungsobjekte wie Oberflächenstaub und Vogelkot. Implementieren Sie wirksame Maßnahmen zur Verschattungsvermeidung und Staubansammlungsprävention für das Kraftwerk.

3.1.2 Sicherheitsinspektion der Montagestruktur

1. Strukturelle Klebeverbindungsmethode: Bei jeder Inspektion muss der Zustand der Klebestellen überprüft werden, um festzustellen, ob Klebeöffnungen, Ablösungen, Eckenablösungen oder Kantenablösungen vorliegen. Konzentrieren Sie die Inspektion auf die Klebequalität an den vier Ecken und Randbereichen der Module. Eventuelle Anomalien sollten umgehend dokumentiert und für eine Reparatur eingeplant werden.
2. Klemm-/Befestigungsmethode: Bei jeder Inspektion müssen die Festigkeit der Klemmen und Befestigungen sowie die Anzugsmomente der Schrauben überprüft werden. Gleichzeitig muss der Sicherheitszustand der relevanten tragenden Strukturen des Gebäudes untersucht werden. Für M8-Schrauben, die zur Klemmbefestigung verwendet werden, sollte das Anzugsmoment im Bereich von 15~20 N·m gehalten werden.

Hinweis: Leichte, starre Module von ZKFN SOLAR können unter bestimmten Bedingungen zu Wartungszwecken begangen werden, ohne die Module zu beschädigen, was die Zugangsprobleme bei der O&M von Leichtbaumodulen löst. Spezifische Bedingungen und Anforderungen für das Begehen finden Sie im Installationshandbuch für PV-Module der Serien SolarPega und SolarPegaF von ZKFN SOLAR.

3.1.3 Elektrische Sicherheitsinspektion

1. Konzentrieren Sie sich auf die Überprüfung der Dichtheit der Verbindungen und der Befestigung von PV-Steckverbindern und untersuchen Sie, ob Gleichstromkabel Anzeichen von Beschädigung, Alterung, Quetschung oder Spannung aufweisen.
2. Überprüfen Sie die Spezifikation und Modellkonsistenz von PV-Steckverbindern. Wenn die verwendeten PV-Steckverbinder in Spezifikation oder Modell nicht mit den Originalsteckverbindern der PV-Module übereinstimmen, kann dies leicht zu übermäßigem Spalt in der Schnittstellenpassung und zum Versagen der Dichtungsstruktur führen, sodass äußere Feuchtigkeit und Staub in den Steckverbinderhohlraum eindringen können. Dies verursacht Oxidation und Korrosion der internen Kontaktstifte, erhöht den Kontaktwiderstand, führt zu abnormaler Erwärmung der Steckverbinder, Lichtbogendurchschlag und stellt ernsthafte Sicherheitsrisiken dar.

Warnung: Auf der gesamten Gleichstromseite des gesamten PV-Systems – von den werkseitig installierten Ausgangskabeln der Module, über vor Ort gefertigte Überbrückungskabel (String-Verlängerungskabel) bis hin zu den Eingangsanschlüssen von Kombinationskästen und Wechselrichtern – muss an jeder Position, an der Steckverbindungen erforderlich sind, sichergestellt werden, dass die männlichen und

weiblichen Steckverbinder vom selben Hersteller stammen und zur selben Produktmodellreihe gehören.

3.1.4 Vermeidung von Hot Spots

Führen Sie regelmäßig Infrarot-Thermografie-Inspektionen durch. Bei geringfügigen Hot Spots (Temperaturdifferenz $< 20^{\circ}\text{C}$) führen Sie eine Nachverfolgungsüberwachung durch und dokumentieren Sie den Änderungstrend. Module mit schwerwiegenden Hochtemperatur-Hot Spots (Temperaturdifferenz $\geq 20^{\circ}\text{C}$) müssen sofort außer Betrieb genommen und zum Austausch eingeplant werden. Vermeiden Sie den Betrieb von Modulen mit Fehlern, verhindern Sie Hochtemperatur-Brandrisiken und gewährleisten Sie eine sichere und stabile Stromerzeugung des Arrays.

3.1.5 Verbot der Moduldemontage

PV-Module sind hermetisch integrierte elektrische Geräte, und die Demontage vor Ort birgt mehrere unkontrollierbare Risiken. Es ist strengstens untersagt, dass Personal am O&M-Standort oder während Reparaturprozessen Modul-Frontplatten, Anschlussdosen, Rückseitenfolien, interne Zellen oder andere Komponenten demontiert. Eine unbefugte Entfernung der werkseitig installierten Dichtungsstrukturen und elektrischen Anschlusspunkte des Moduls ist nicht gestattet.

3.2 Inspektionshäufigkeit und -punkte

3.2.1 Monatliche Inspektionspunkte

Eine umfassende Inspektion des PV-Systems muss mindestens einmal pro Monat von geschultem professionellem O&M-Personal durchgeführt werden. Während der Arbeiten müssen Inspektionspersonal stets Gummihandschuhe und isolierte Stiefel tragen. Die monatlichen Inspektionen umfassen die folgenden Punkte:

- ✧ Überprüfung der Moduloberflächenreinheit: Sichtprüfung der Lichteintrittsfläche des Moduls auf Staub, Vogelkot, Ölflecken und andere Verunreinigungen; Feststellung, ob Reinigungsarbeiten eingeplant werden müssen.
- ✧ Modul-Oberflächenintegritätsprüfung: Module einzeln auf Risse, Brüche, Kratzer, Verformungen, Verfärbungen, Delamination, Blasen und andere Auffälligkeiten auf der Moduloberfläche prüfen
- ✧ Prüfung auf Verschattungsobjekte: Auf neue Verschattungsquellen auf und um die Moduloberflächen prüfen (Baumwuchs, neue Bauwerke, Vogelkotansammlungen usw.)
- ✧ Prüfung von Anschlussdose und Steckverbinder: Prüfen, ob Anschlussdosen sicher sitzen, Deckel fest verschlossen sind, Steckverbinder vollständig eingesteckt sind und ob Anzeichen von Lichtbogenbrandspuren vorhanden sind
- ✧ Kabel- und Leitungsprüfung: Prüfen, ob Verbindungskabel zwischen den Modulen locker, gealtert oder beschädigt sind; ob Kabelbefestigungen in gutem Zustand sind; und ob die Kabelführung vorschriftsmäßig ist
- ✧ Prüfung der Montagestruktur: Bei der Klebemethode den Verbindungszustand der Module prüfen (Klebeöffnung, Ablösung, Eckenabhebung); bei der Klemmmethode die Klemm-/Befestigungsfestigkeit prüfen
- ✧ Überprüfung der Überwachungsdaten: Über das Überwachungssystem prüfen, ob Stringstrom, -spannung und -leistungsdaten im normalen Bereich liegen; auffällige Strings kennzeichnen

3.2.2 Zusätzliche vierteljährliche Prüfpunkte

Zusätzlich zur Durchführung aller monatlichen Prüfpunkte sind vierteljährlich folgende spezielle Prüfungen durchzuführen:

- ✧ Umfassender Infrarot-Thermografie-Scan: Mit einer Infrarot-Thermografiekamera blockweise eine Hot-Spot-Prüfung aller Module durchführen und Temperaturanomaliepunkte erfassen
- ✧ Prüfung von String-Sicherungen und Schutzvorrichtungen: Prüfen, ob DC-seitige Sicherungen, Leistungsschalter und Trennschalter ordnungsgemäß funktionieren
- ✧ Entwässerungssystemprüfung: Prüfen, ob Dachrinnen und Fallrohre frei sind und ob rund um die Module Wasseransammlungsgefahren bestehen
- ✧ Blitzschutz- und Erdungssystemprüfung: Prüfen, ob die Verbindungen der Erdungsableiter sicher sind und ob die Erdungswiderstandswerte innerhalb des vorgegebenen Bereichs liegen
- ✧ Steckverbinder-Drehmoment-Stichprobe: Führen Sie eine Nachziehprüfung an mindestens 10 % der Steckverbinder durch, um sicherzustellen, dass keine Lockerung vorliegt

3.2.3 Zusätzliche jährliche Prüfpunkte

Zusätzlich zur Durchführung aller monatlichen und vierteljährlichen Prüfpunkte ist einmal jährlich eine umfassende eingehende Prüfung durchzuführen:

- ✧ IV-Kennlinienmessung: Führen Sie mit einem IV-Kennlinienmessgerät eine Leistungskennlinienprüfung an jedem Strang oder an mindestens 30 % der Module durch und bewerten Sie die Abweichung zwischen der tatsächlichen Stromerzeugungsleistung und den Nennwerten
- ✧ EL-Prüfung (Elektrolumineszenz-Bildgebung): Führen Sie eine EL-Prüfung an Modulen mit abnormaler Leistungsdegradation durch, um interne Defekte wie Mikrorisse in den Zellen, unterbrochene Finger-Elektroden und Kaltlötstellen zu erkennen
- ✧ Drehmoment-Nachprüfung aller elektrischen Anschlusspunkte: Führen Sie eine Drehmoment-Nachprüfung aller elektrischen Anschlusspunkte auf der Gleichstromseite (einschließlich Steckverbinder, Klemmen und Anschlussklemmen des Kombinererkastens) durch
- ✧ Sicherheitsbewertung der Dachunterkonstruktion: Führen Sie eine umfassende Sicherheitsprüfung der Dachlasttragstruktur, der Montageschienen und der Verankerungspunkte durch und bewerten Sie diese auf Rost, Verformung und Lockerung
- ✧ Isolationswiderstandsprüfung: Messen Sie mit einem Isolationswiderstandsprüfgerät (empfohlen wird der DC 500V/1000V-Bereich) den Isolationswiderstand zwischen Strang und Erde und bestätigen Sie, dass dieser den relevanten Normvorgaben entspricht
- ✧ Erstellung des jährlichen O&M-Berichts: Zusammenstellung der Inspektionsdaten des Jahres, der Störungsbehebungsprotokolle und der Leistungsdegradationstrends zur Erstellung des jährlichen Analyseberichts für den PV-Kraftwerksbetrieb und die Wartung

3.3 Sonderinspektionen

Sonderinspektionen müssen unverzüglich nach extremen Wetterereignissen oder besonderen Betriebsbedingungen organisiert werden:

- ✧ Nach Gewitterwetter: Überprüfen Sie mit einer Wärmebildkamera, ob die Temperaturen der Anschlussdosen von Modulen in blitzgefährdeten Bereichen ungewöhnlich erhöht sind; prüfen Sie, ob die Blitzschutzeinrichtungen ausgelöst haben.

- ✧ Nach Sturmweather: Überprüfen Sie, ob Modulklemmen und Befestigungen abgefallen oder gelockert sind; ob Module durch Wind umgekippt oder verschoben wurden; und ob die Dachabdichtung intakt ist.
- ✧ Nach Hagel-/Schneewetter: Untersuchen Sie die Module blockweise auf Risse oder Brüche, die durch Hagelschlag verursacht wurden; prüfen Sie auf Modulverformungen durch Schneelast.
- ✧ Nach Sandsturmweather: Überprüfen Sie, ob Sandaufprallspuren auf den Moduloberflächen vorhanden sind; veranlassen Sie umgehend Reinigungsarbeiten, um angesammelten Staub von der Oberfläche zu entfernen.

4. Reinigung der PV-Module

4.1 Bestimmung der Reinigungshäufigkeit und des Zeitpunkts

1. Regelmäßige Reinigungshäufigkeit: Im Allgemeinen sollten Module mindestens einmal pro Monat gereinigt werden, um die Oberflächenreinheit zu erhalten. In Gebieten mit starkem Staub (im Umkreis von 50 Metern), wie Zementwerken, Bergbaugebieten und entlang staubiger Straßen, sollte die Reinigungshäufigkeit auf mindestens einmal alle zwei Wochen erhöht werden.
2. Reinigungsbedingungen auf Basis von Auslösern: Wenn die Stromerzeugungsleistung des Kraftwerks um mehr als 5 % unter das normale Niveau fällt und Gerätefehler sowie meteorologische Faktoren ausgeschlossen wurden, sollten die Module gereinigt werden. Eine Reinigung sollte auch dann eingeplant werden, wenn eine der folgenden Bedingungen erfüllt ist:
 - ◆ Die Sichtprüfung zeigt, dass die Moduloberfläche merklich verschmutzt ist und eine sichtbare Staubschicht aufweist.
 - ◆ Der Vergleich der Stromerzeugung zwischen gereinigten und noch zu reinigenden Strings zum gleichen Zeitpunkt zeigt eine Abweichung $\geq 4\%$.
 - ◆ Die Leistungsabgabe des PV-Arrays fällt unter 85 % des Ausgangszustands (Leistung nach Abschluss der letzten Reinigung).
3. Optimales Reinigungszeitfenster: Reinigungsarbeiten sollten bei einer Einstrahlung unter 200 W/m^2 durchgeführt werden. Empfohlen werden frühe Morgenstunden, der späte Nachmittag oder bedeckte Tage. Die Reinigung von PV-Modulen bei Wetterbedingungen mit Windstärke über 4, Starkregen oder starkem Schneefall ist strengstens untersagt.

4.2 Anforderungen an die Reinigungswasserqualität

Das Reinigungswasser muss die folgenden Standards erfüllen, um Kalkablagerungen oder Korrosion auf der Moduloberfläche zu vermeiden:

- Gesamthärte (als CaCO_3): $\leq 200 \text{ mg/L}$
- Gesamtgehalt an gelösten Feststoffen (TDS): $\leq 500 \text{ mg/L}$
- pH-Wert: $6,5 \sim 8,5$
- Schwebstoffe: $\leq 50 \text{ mg/L}$
- Chloride (als Cl^-): $\leq 250 \text{ mg/L}$

Hinweis: Sofern die Bedingungen es zulassen, sollte für die Reinigung vorzugsweise enthärtetes oder entionisiertes Wasser verwendet werden, um bereits an der Quelle die Bildung schwer entfernbarer Kalkablagerungen auf der Moduloberfläche zu verhindern.

4.3 Standard-Reinigungsverfahren

Schritt 1: Vorbereitung

- ✧ Das Reinigungspersonal muss vollständige persönliche Schutzausrüstung tragen, einschließlich isolierender Handschuhe, isolierender Stiefel, Schutzhelm und Sicherheitsgurt.
- ✧ Überprüfen, dass die Reinigungswerkzeuge (weiches Tuch, weiche Walze, sauberer Wassereimer, Neutralreiniger usw.) vollständig und sauber sind.
- ✧ Bestätigen, dass Warnschilder im Reinigungsbereich aufgestellt wurden und unbefugtes Personal den Arbeitsbereich nicht betreten darf.
- ✧ Sicherstellen, dass die Wetterbedingungen die Anforderungen für Reinigungsarbeiten erfüllen (kein Regen oder Schnee, Windgeschwindigkeit unter Stärke 4, Einstrahlung unter 200 W/m²).

Schritt 2: Erste Spülung

- ✧ Spülen Sie die Moduloberfläche von oben nach unten mit sauberem Wasser, um losen Staub und Schmutz zu entfernen
- ✧ Vermeiden Sie erhebliche Temperaturunterschiede zwischen dem Reinigungswasser und der Moduloberflächentemperatur (der Temperaturunterschied sollte 10 °C nicht überschreiten), um thermische Schockschäden an den Modulen zu verhindern
- ✧ Es ist strengstens verboten, mit einem Hochdruckwasserstrahl aus nächster Nähe auf die Anschlussdosenfugen und Steckverbinder zu spritzen

Schritt 3: Tiefenreinigung

- ✧ • Bei allgemeiner Verschmutzung vorsichtig mit einem weichen Tuch oder einer weichen Rolle, die mit sauberem Wasser angefeuchtet ist, in eine Richtung wischen; wiederholtes Hin- und Herreiben vermeiden
- ✧ • Wenn hartnäckige Anhaftungen wie Ölflecken auf der Moduloberfläche vorhanden sind, verwenden Sie ein nicht scheuerndes neutrales Flüssigreinigungsmittel (pH 6,0~8,0) zur Unterstützung der Reinigung
- ✧ • Es ist verboten, organische Lösungsmittel mit sauren oder alkalischen Bestandteilen zur Reinigung der Module zu verwenden
- ✧ • Es ist verboten, harte Werkzeuge wie Drahtbürsten, Stahlwolle oder Metallschaber zum Abwischen der Moduloberfläche zu verwenden
- ✧ • Es ist verboten, Dampfreiniger oder Hochtemperaturwasserstrahlen zu verwenden
- ✧ • Es ist verboten, das gesamte Modul in Wasser zu tauchen

Schritt 4: Spülen und Trocknen

- ✧ • Spülen Sie die Moduloberfläche gründlich mit reichlich sauberem Wasser ab, um sicherzustellen, dass keine Reinigungsmittelrückstände zurückbleiben
- ✧ • Trocknen Sie verbleibende Wassertropfen auf der Moduloberfläche mit einem sauberen, weichen Tuch (Mikrofasertuch empfohlen); vermeiden Sie natürliche Lufttrocknung, da diese Wasserflecken hinterlassen kann
- ✧ • Die Rückseite des Moduls muss in der Regel nicht gereinigt werden; falls eine Reinigung der Rückseite erforderlich ist, muss besonders darauf geachtet werden, dass keine Reinigungsflüssigkeit in das Modulinnere oder die Dichtflächen der Anschlussdose eindringt

Schritt 5: Überprüfung der Reinigungswirksamkeit

- ✧ • Ein repräsentativer String mit der stärksten Verschmutzung kann zunächst als Referenz für die Reinigung ausgewählt werden
- ✧ • Wenn die Leistungsverbesserung nach der Reinigung weniger als 5 % beträgt, ist eine vollständige Reinigung des gesamten Arrays unter den aktuellen Bedingungen in der Regel nicht erforderlich
- ✧ • Die obige Überprüfung sollte unter stabilen Einstrahlungsbedingungen (klares Wetter, stabile Einstrahlung, keine Bewölkung) durchgeführt werden, um die Gültigkeit der Vergleichsdaten sicherzustellen

4.4 Anforderungen an die Inspektion nach der Reinigung

4.4.1 Sichtprüfung

- ✧ • Das Gesamterscheinungsbild der Module sollte optisch sauber und hell sein, frei von Rückständen und Wasserflecken
- ✧ • Führen Sie Stichproben auf verbliebene Staubablagerungen auf der Moduloberfläche durch
- ✧ • Bestätigen Sie, dass keine neuen Kratzspuren auf der Moduloberfläche vorhanden sind
- ✧ • Bestätigen Sie, dass keine durch Menschen verursachten Risse oder Beschädigungen auf der Moduloberfläche vorhanden sind

4.4.2 Strukturprüfung

- ✧ • Prüfen Sie, ob gereinigte Module Verformungen oder Durchbiegungen aufweisen
- ✧ • Prüfen Sie, ob die Modulanschlüsse Anzeichen von Ablösung oder Lockerung zeigen
- ✧ • Prüfen Sie, ob die Steckverbinder trocken und sauber bleiben und die Dichtringe intakt sind

4.4.3 Aufzeichnungen und Archivierung

Füllen Sie das PV-Modul-Reinigungsprotokoll aus, einschließlich: Reinigungsdatum, Reinigungspersonal, Reinigungsumfang (String-Nummern), Reinigungsmethode, Wasserverbrauch sowie Vergleichsdaten der String-Leistung vor und nach der Reinigung usw.

5. Häufige Fehlerdiagnose und Fehlerbehebung

5.1 Ungewöhnliche Leistungsdegradation des Moduls

Fehlersymptome

Die Ausgangsleistung des Moduls liegt deutlich unter der Nennleistung, und die Leistungsdegradationsrate überschreitet den normalen Bereich (Degradation im ersten Jahr > 1 %, jährliche Degradation vom 2. bis zum 30. Jahr > 0,4 %), oder es kommt innerhalb kurzer Zeit zu einem unerwartet schnellen Leistungsabfall.

Fehlerursachenanalyse

- ✧ Langzeitbetrieb der Module in Umgebungen mit hohen Temperaturen und hoher Luftfeuchtigkeit, was zu beschleunigter Alterung der Zellen und Verkapselungsmaterialien führt
- ✧ Langfristig nicht gereinigte Staub- und Schmutzablagerungen auf der Moduloberfläche, die zu einer kontinuierlichen Abnahme der Lichtdurchlässigkeit führen
- ✧ Interne Zellenmikrorisse und unterbrochene Fingergitter im Modul, die die effektive Sammlung des photogenerierten Stroms beeinträchtigen

- ✧ Ausfall der Bypass-Diode im Anschlusskasten (Kurzschluss- oder Unterbrechungsfehler), der dazu führt, dass Teilzellenstränge im Modul den Betrieb einstellen
- ✧ Anhaltende lokale Verschattung der Moduloberfläche, die langfristige Hot-Spot-Effekte auslöst und eine dauerhafte Zelldegradation verursacht
- ✧ Schlechter Kontakt des Steckers oder Kabelalterung, die zu einem abnormalen Anstieg des Serienwiderstands führt

Diagnose- und Fehlerbehebungsmethoden

- ✧ Leistungstest: Verwenden Sie einen professionellen IV-Kennlinien-Tracer oder einen PV-Modul-Leistungstester, um die tatsächliche Ausgangsleistung des Moduls zu messen und so den Grad der Leistungsminderung sowie das anormale IV-Kurvenmuster zu bestätigen.
- ✧ Sichtprüfung: Untersuchen Sie die Moduloberfläche sorgfältig auf Staub, Schmutz, Kratzer, Risse usw.; prüfen Sie, ob die Anschlussdose intakt und frei von Wölbungen oder Verformungen ist.
- ✧ Thermografieprüfung: Verwenden Sie eine Infrarot-Wärmebildkamera, um festzustellen, ob Hot-Spot-Effekte und anormale Erwärmungspunkte auf dem Modul vorhanden sind.
- ✧ EL-Prüfung: Führen Sie eine Elektrolumineszenz (EL)-Bildgebungsprüfung an Modulen durch, bei denen der Verdacht auf innere Defekte besteht, um das Vorhandensein von Mikrodefekten wie Mikrorissen, unterbrochenen Fingern und Kaltlötstellen zu bestätigen.
- ✧ Wenn durch Oberflächenstaub/-schmutzablagerung verursacht → Reinigung umgehend planen
- ✧ Wenn durch lokale Verschattung verursacht → Verschattungsquelle entfernen und die Umgebung des Moduls optimieren
- ✧ Wenn die interne Diode der Anschlussdose beschädigt ist → Anschlussdose durch dasselbe Modell ersetzen (muss von autorisiertem ZKFN SOLAR-Personal durchgeführt werden)
- ✧ Wenn das Modul stark gealtert ist (Leistungsminderung über 20 %) oder irreversible innere Defekte aufweist → Modul ersetzen
- ✧ Falls das Modul noch innerhalb der Garantiezeit liegt und ein Produktqualitätsproblem bestätigt wurde → Reichen Sie gemäß den Garantieverfahren eine Kundendienstanfrage bei ZKFN SOLAR ein.

5.2 Hot-Spot-Effekt des Moduls

Fehlersymptome

Die Infrarot-Thermografie zeigt lokale Bereiche des Moduls mit deutlich höheren Temperaturen als die umgebenden normalen Bereiche (Temperaturdifferenz ≥ 20 °C). Schwere Hot Spots können zu Verfärbungen und Blasenbildung der Moduloberflächen-Verkapselungsmaterialien, Durchbrennen der Rückseitenfolie, Schmelzen und Verformung der Anschlussdose und in extremen Fällen zur Entstehung offener Flammen führen.

Fehlerursachenanalyse

- ✧ Lokale Verschattungsobjekte auf der Moduloberfläche (Blätter, Vogelkot, Staubansammlungen, Gebäudeschatten usw.); verschattete Zellen wechseln von Stromeinheiten zu Stromverbrauchern, verbrauchen die von benachbarten normalen Zellen erzeugte elektrische Energie und bilden lokale hohe Temperaturen
- ✧ Leistungsminderung einzelner Zellen im Modul (Wirkungsgradabfall, erhöhter Serienwiderstand), was zu einer elektrischen Fehlanpassung mit anderen normalen Zellen im selben String führt

- ✧ Zellen mit Mikrodefekten wie Mikrorissen und unterbrochenen Fingern, bei denen behinderter lokaler Stromfluss zu konzentrierter Erwärmung führt
- ✧ Ausfall der Bypass-Diode, die bei Verschattung die verschattete Zellengruppe nicht umgehen und schützen kann

Behandlungsmaßnahmen

Sofortmaßnahme: Entfernen Sie umgehend Verschattungsobjekte von der Moduloberfläche; spannungsfrei schalten und Module mit schwerwiegenden Hot Spots isolieren, um eine Eskalation des Fehlers zu verhindern.

Inspektion und Bewertung: Verwenden Sie eine Infrarot-Wärmebildkamera, um die genaue Position und Temperaturverteilung von Hot Spots zu bestimmen; führen Sie eine EL-Inspektion an von Hot Spots betroffenen Modulen durch, um den Grad der internen Zellschädigung zu beurteilen.

Abgestufte Maßnahmen:

- ✧ Geringfügige Hot Spots (Temperaturdifferenz $< 20^{\circ}\text{C}$) ohne sichtbare innere Schäden → Nach Entfernen der Verschattungsobjekte weiterverfolgen und überwachen; zur vorrangigen Beobachtungsliste für die nächste Inspektion hinzufügen
- ✧ Mäßige Hot Spots (Temperaturdifferenz $20 \sim 40^{\circ}\text{C}$) → Empfehlung, einen Austauschplan zu entwickeln und den Austausch während des nächsten geplanten Stillstands durchzuführen
- ✧ Schwerwiegende Hot Spots (Temperaturdifferenz $\geq 40^{\circ}\text{C}$) oder Module mit bereits sichtbaren Schäden am Erscheinungsbild → Müssen sofort außer Betrieb genommen und ausgetauscht werden

Vorbeugende Maßnahmen

- ✧ Während der Planungs- und Installationsphase der Modulanordnung sollten die Layouts rational geplant werden, um Verschattung zwischen Modulen zu vermeiden
- ✧ Regelmäßiges Entfernen von Vegetation und Schmutz um die Module, die Verschattungsquellen bilden könnten
- ✧ Sicherstellen, dass die Bypass-Diodenfunktion der Module intakt bleibt; regelmäßig indirekt durch IV-Kurven-Tests überprüfen
- ✧ Führen Sie vierteljährlich umfassende Infrarot-Thermografie-Inspektionen durch, erstellen Sie ein Temperatur-Basislinienarchiv für Module und identifizieren Sie zeitnah Temperaturanomalie-Trends.

5.3 Modulverdrahtungs- und Steckverbinderfehler

Fehlersymptome

Instabile oder vollständig ausbleibende Modul-Ausgangsspannung und -Stromstärke; ungewöhnlich erhöhte Temperaturen an Anschlüssen und Steckverbindern (heiß bei Berührung oder heiße Stellen in der Infrarot-Thermografie sichtbar); Oxidationsverfärbungen und Lichtbogenbrandspuren auf Anschlussoberflächen; in schweren Fällen Schmelzen und Verformen der Steckverbinder-Kunststoffgehäuse mit Brandgeruch.

Fehlerursachenanalyse

- ✧ Steckverbinder nicht vollständig in Position gesteckt, was zu erhöhtem Kontaktwiderstand und lokaler Erwärmung führt.
- ✧ Dichtungsversagen des Steckverbinders (Dichtring gealtert, beschädigt oder gelöst), mit Feuchtigkeits- und Staubeintritt, der Stift-Oxidation und -Korrosion verursacht.

- ✧ Stecker und Buchsen stammen von verschiedenen Herstellern oder unterschiedlichen Modellreihen, was zu großen Passungstoleranzen der Schnittstelle und unzuverlässigem Kontakt führt.
- ✧ Ausgangskabel mit gealterter, rissiger und beschädigter Isolationsschicht durch Langzeitbelichtung, was Stromlecks oder Kurzschlüsse verursacht.
- ✧ Verdrahtungsfehler (vertauschte Polarität Plus/Minus) oder falsche String-Verdrahtungstopologie.
- ✧ Steckverbinder unter längerer Kabelzugbelastung, was zu Lockerung der internen Kontaktstifte führt

Fehlerbehebungsverfahren

- ✧ Sichere Spannungsfreischaltung: Zuerst den entsprechenden Kombinerkasten und die Wechselrichter-Stromversorgung trennen, Spannungsfreiheit überprüfen (mit Multimeter verifizieren) und Warnschilder "Nicht schalten" anbringen
- ✧ Fehlerortung: Mit einem Multimeter nacheinander Durchgang, Spannung und Kontaktwiderstandswerte an jedem Anschlusspunkt prüfen, um die Fehlerstelle zu lokalisieren
- ✧ Lose Klemme → Mit Spezialwerkzeug auf das vorgeschriebene Drehmoment nachziehen (angemessene Kraft anwenden, um Schäden durch Überdrehen zu vermeiden)
- ✧ Anschluss-Oxidation/Korrosion → Beschädigten Abschnitt abtrennen und durch einen neuen Steckverbinder gleichen Modells und gleicher Spezifikation ersetzen
- ✧ Steckverbinder-Modellinkompatibilität → Alle Steckverbinder durch ZKFN SOLAR-zertifizierte passende Modelle ersetzen
- ✧ Kabelschaden → Durch PV-spezifisches Gleichstromkabel gleicher Spezifikation ersetzen, dabei sicherstellen, dass Leitungsquerschnitt und Spannungsfestigkeit dem Original entsprechen
- ✧ Verdrahtungsfehler → Neuverdrahtung gemäß korrekter Plus-/Minus-Polkennzeichnung und String-Verdrahtungsplan durchführen
- ✧ Wiederherstellung und Überprüfung: Nach Abschluss der Verdrahtung die Stromversorgung wiederherstellen, Leerlaufspannung, Kurzschlussstrom und Betriebsstrom des Strings messen, um zu bestätigen, dass der Fehler behoben ist und die Parameter normal sind

5.4 Fehlerdiagnose auf Wechselrichter- und String-Ebene

Fehlersymptome

Das Überwachungssystem zeigt dauerhaft niedrige oder keine Ausgangsleistung für einen bestimmten String; der Wechselrichter meldet einen Fehler mit zu niedrigem Isolationswiderstand, DC-Überspannungs-/Unterspannungsalarme; der Stringstrom weicht erheblich vom Durchschnittsniveau anderer Strings im selben Array ab.

Diagnoseschritte

- ✧ Schritt 1: Identifizieren Sie die fehlerhafte String-Nummer und die entsprechende physische Position über die Überwachungsplattform
- ✧ Schritt 2: Messen Sie unter sicheren, spannungsfreien Bedingungen die Leerlaufspannung (Voc) des Strings und vergleichen Sie diese mit normalen Strings im selben Array. Wenn Voc deutlich niedriger ist, deutet dies auf einen Modulkurzschluss, einen Bypass-Dioden-Kurzschluss oder eine schwere Modulbeschädigung innerhalb des Strings hin

- ✧ Schritt 3: Messen Sie den Kurzschlussstrom (Isc) des Strings. Wenn Isc deutlich niedriger ist, kann eine starke Staubansammlung auf den Modulen, Verschattung, Alterung oder schlechter Steckerkontakt vorliegen
- ✧ Schritt 4: Messen Sie den String abschnittsweise, um den Fehlerbereich schrittweise einzugrenzen, bis das spezifische problematische Modul lokalisiert ist
- ✧ Schritt 5: Führen Sie weitere Diagnosen wie IV-Kurven-Tests und EL-Inspektionen am identifizierten problematischen Modul durch, bestimmen Sie die Fehlerart und ergreifen Sie entsprechende Behandlungsmaßnahmen

6. Modulreparatur und -austausch

6.1 Allgemeine Anforderungen an den Modultausch

1. Risikoerkennung und -minderung: Vor Austauscharbeiten müssen potenzielle Risiken während des Betriebs umfassend identifiziert werden, einschließlich, aber nicht beschränkt auf: Schnittverletzungen von Personal durch Werkzeughandhabung, Stürze aus großer Höhe (bei Arbeiten auf Dächern oder in der Höhe), Stromschlaggefahr beim Trennen/Wiederherstellen von Stromkreisen sowie umherfliegende Trümmer beim Entfernen alter Module usw. Für jedes Risiko müssen spezifische Minderungsmaßnahmen entwickelt werden.
2. Sicherheitseinweisung vor Arbeitsbeginn: Vor jedem Austauschvorgang muss eine "Sicherheitseinweisung vor Arbeitsbeginn" durchgeführt werden. Der Arbeitsleiter erläutert dem gesamten Personal den Tagesarbeitsinhalt, die spezifischen Aufgabenverteilungen, Sicherheitsvorkehrungen und Notfallverfahren. Es sind schriftliche Aufzeichnungen zu erstellen, die von allen Mitarbeitern unterschrieben werden müssen, bevor mit der Arbeit begonnen werden darf.
3. Überprüfung des neuen Moduls: Vor dem Austausch muss jedes neue Modul einzeln auf äußere Schäden überprüft werden (Bestätigung, dass keine Oberflächenkratzer, Risse, Verformungen vorliegen und die Anschlüsse intakt und fehlerfrei sind). Die Modellbezeichnung, Nennleistung, elektrischen Parameter und andere Typenschildinformationen des Moduls müssen mit dem alten Modul auf Übereinstimmung geprüft werden, um die elektrische Kompatibilität zwischen Alt- und Neumodul sicherzustellen, bevor sie in Betrieb genommen werden können.
4. Fachgerechtes Verhalten: Es ist verboten, übermäßige Gewalt anzuwenden, um Module zu hebeln, zu schlagen oder gewaltsam zu biegen, um Modulbruch oder Personenschäden zu vermeiden. Während des Ausbausvorgangs ist darauf zu achten, benachbarte Moduloberflächen und elektrische Anschlüsse vor Beschädigungen zu schützen.
5. Abfallentsorgung: Altmodule, Glassplitter, beschädigtes Zubehör und andere beim Austausch anfallende Gegenstände müssen getrennt gesammelt und zentral gelagert werden. Beschädigte Module sind gemäß den Anforderungen an die Entsorgung von Sondermüll fachgerecht zu entsorgen. Das willkürliche Wegwerfen oder Vermischen mit normalem Bauschutt ist verboten.

6.2 Austauschverfahren für klebend montierte Module

Gilt für SolarPega / SolarPegaL (rahmenlose) Module. Die spezifischen Austauschschritte sind wie folgt:

1. Planerstellung: Vor dem Modulaustausch ist ein "Umsetzungsplan für den Austausch leichter starrer Module" zu erstellen, der den Arbeitsablauf, die Personalzuweisungen, Sicherheitsmaßnahmen und Qualitätsabnahmekriterien festlegt.

2. Spannungsfreiheitsbestätigung: Vor Arbeitsbeginn muss die entsprechende Stromversorgung des Kombinererkastens und des Wechselrichters für das Modul getrennt werden. An der Trennstelle ist ein Warnschild "Nicht schalten, Personen arbeiten" anzubringen. Ein zertifizierter Elektriker muss mit einem Multimeter die Spannungsfreiheit auf beiden Seiten der Trennstelle überprüfen, bevor mit den weiteren Arbeiten begonnen werden darf.
3. Modulabdeckung: Die gesamte Vorderseite des auszutauschenden Moduls vollständig mit lichtundurchlässigem Material (z. B. schwarzem Lichtschutztuch oder dicker Pappe) abdecken, um Lichteinfall zu verhindern und die Entstehung hoher Spannungen im Modul zu unterbinden.
4. Elektrische Trennung: Mit speziellen Entriegelungswerkzeugen die Plus- und Minussteckverbinder des Moduls trennen; Kabelmarkierungen anbringen.
5. Ausbau des alten Moduls: Mit Werkzeugen wie Cuttermessern und Schabern den Strukturklebstoff entlang der Klebefuge vorsichtig durchtrennen und das alte Modul schrittweise vom Dachuntergrund lösen. Dabei Kraft und Winkel kontrollieren, um umliegende Module und die Dachabdichtung nicht zu beschädigen.
6. Untergrundreinigung: Rückstände von Strukturklebstoff und Schmutz gründlich vom Dachuntergrund entfernen. Sicherstellen, dass die Klebefläche trocken, sauber und eben ist. Falls erforderlich, den Untergrund anschleifen, um die Oberflächenrauheit wiederherzustellen.
7. Installation des neuen Moduls: Die standardisierten Verfahren aus dem ZKFN SOLAR SolarPega & SolarPegaF Series PV Module Installationshandbuch für Klebstoffauftrag, Modulplatzierung, Andrücken mit der Walze und Positionierung strikt befolgen.
8. Aushärtungsschutz: Während der Aushärtezeit des Strukturklebstoffs (24 Stunden bei 25 °C~40 °C Umgebungstemperatur, 48 Stunden bei 10 °C~25 °C, 72 Stunden bei 0 °C~10 °C) ist es strengstens untersagt, das Modul zu bewegen, Kabel anzuschließen oder andere Arbeiten durchzuführen, bei denen auf dem Modul gestanden wird. Im Austauschbereich sind Schutzbarrieren und Warnschilder aufzustellen.
9. Elektrische Anschlüsse: Nach vollständiger Aushärtung des Strukturklebstoffs die Steckverbinder gemäß der markierten korrekten Plus-/Minus-Polarität wieder anschließen. Sicherstellen, dass sie vollständig eingesteckt sind und ein hörbares Einrastgeräusch ("Klick") zu hören ist.
10. Inbetriebnahmetest: Das Abdeckmaterial entfernen, den Schalter schließen, um die Stromversorgung wiederherzustellen. Mit einem Multimeter oder IV-Kurven-Tracer die Ausgangsparameter des neuen Moduls messen und die Kompatibilität mit anderen Modulen im selben String sowie den normalen Betrieb bestätigen.
11. Dokumentation und Archivierung: Austauschdatum, Austauschgrund, Seriennummer des alten Moduls und Fehlertyp, Seriennummer des neuen Moduls und Erstmessdaten, Informationen zum Bedienpersonal usw. detailliert erfassen; das Betriebs- und Wartungsarchiv der Anlage aktualisieren.

6.3 Austauschverfahren für Module mit Klemm-/Befestigungsvorrichtungen

Anwendbar auf SolarPegaF / SolarPegaFL-Module (mit Rückrahmen). Die spezifischen Austauschschritte sind wie folgt:

1. Planvorbereitung: Vor dem Modulaustausch ist ein Austauschplan für klemmfixierte leichte starre Module zu erstellen, der den Arbeitsablauf und die Sicherheitsmaßnahmen definiert.
2. Spannungsfreiheitsbestätigung: Wie Anforderung 2 des Klebmontage-Austauschverfahrens.
3. Modulabdeckung: Wie Anforderung 3 des Klebmontage-Austauschverfahrens.

4. Elektrische Trennung: Wie Anforderung 4 des Klebmontage-Austauschverfahrens.
5. Entfernung des alten Moduls: Lösen und entfernen Sie die Klemmbefestigungsschrauben mit einem Drehmomentschlüssel auf das vorgeschriebene Drehmoment, entfernen Sie die Klemmen der Reihe nach und bewegen Sie das alte Modul vorsichtig von der Montagefläche. Achten Sie während des Vorgangs darauf, Kollisionen mit umliegenden Modulen zu vermeiden.
6. Inspektion der Montagefläche: Entfernen Sie Schmutz und Rost von der Montagefläche; prüfen Sie, ob Klemmen/Halterungen Verformungen, Rost oder Lockerheit aufweisen. Bei Auffälligkeiten müssen die beschädigten Teile zuerst repariert oder ersetzt werden, bevor mit dem nächsten Schritt fortgefahren wird.
7. Installation des neuen Moduls: Positionieren Sie das neue Modul an der vorgesehenen Stelle und passen Sie die Modulposition an, um gleichmäßige Randabstände zu gewährleisten. Montieren Sie die Klemmen der Reihe nach und ziehen Sie die M8-Schrauben gleichmäßig mit einem Drehmoment von 15–20 N·m an. Beachten Sie, dass die Klemmen auf dem vorgesehenen Lastbereich des Modulrückrahmens aufliegen müssen und nicht auf der darüber liegenden aktiven Zellfläche.
8. Elektrische Anschlüsse: Wie Anforderung 9 des Klebmontage-Austauschverfahrens.
9. Einschalttest: Wie Anforderung 10 des Klebmontage-Austauschverfahrens.
10. Aufzeichnungen und Ablage: Wie Anforderung 11 des Verfahrens zum Austausch von Klebmontagen

6.4 Systemverifizierung nach Modulaustausch

Nach Abschluss des Modulaustauschs ist neben der Einzelprüfung des neuen Moduls auch die Gesamtleistung des betroffenen Strings zu verifizieren:

- ✧ Messen Sie die Leerlaufspannung (Voc) und den Kurzschlussstrom (Isc) des Strings und vergleichen Sie diese mit den String-Auslegungswerten und normalen Strings im selben Array
- ✧ Überwachen Sie den Betriebsstrom des Strings, um eine gute Stromanpassung zwischen dem neuen Modul und den vorhandenen Modulen im String zu bestätigen
- ✧ Beobachten Sie die Stromerzeugungsdaten über mindestens einen vollen Sonnentag, um zu bestätigen, dass die String-Leistung wieder auf normale Werte zurückgekehrt ist
- ✧ Führen Sie, wenn die Bedingungen es zulassen, eine Infrarot-Thermografie-Scanning des neu ausgetauschten Modulbereichs durch, um das Fehlen abnormaler Erwärmungspunkte zu bestätigen

7. Notfallmaßnahmen

7.1 Notfallmaßnahmen bei elektrischer Leckage eines Moduls

Bei Feststellung eines elektrischen Leckagealarms eines Moduls oder einer vermuteten Leckagesituation müssen die Betriebs- und Wartungsmitarbeiter unverzüglich die folgenden Bearbeitungsverfahren durchführen:

- ✧ • Personalnotfall-Evakuierung: Entfernen Sie sich sofort vom Leckbereich; berühren Sie nicht das leckende Modul und seine umliegenden Metallkomponenten; verhindern Sie gleichzeitig, dass andere Personen den Bereich betreten
- ✧ Sichere Spannungsfreischaltung: Zertifizierte Fachkräfte mit Isolierhandschuhen, die für die entsprechende Spannungsebene ausgelegt sind, müssen mit einer isolierten Bedienstange den entsprechenden Kombinerkasten und die Wechselrichter-Stromversorgung trennen und Warnschilder anbringen

- ✧ Fehlererkennung: Verwenden Sie einen Isolationswiderstandstester (DC 500V/1000V-Bereich), um den Isolationswiderstand gegen Erde des leckenden Strings abschnittsweise zu messen. Verwenden Sie die abschnittsweise Eliminationsmethode, um das leckende Modul zu lokalisieren
- ✧ Ursachenermittlung: Überprüfen Sie das leckende Modul auf Bedingungen wie Wassereintritt in der Anschlussdose, Dichtungsfehler des Steckers, Kabelisolationsschäden und Rückseitenfolienschäden
- ✧ Reparaturmaßnahme: Ersetzen Sie das defekte Modul, beschädigte Kabel oder Stecker basierend auf der Leckageursache. Nach Abschluss der Reparatur führen Sie erneut eine Isolationswiderstandsmessung durch, um die Wiederherstellung auf akzeptable Werte zu bestätigen
- ✧ Wiederinbetriebnahme: Erst nachdem alle Tests bestanden sind, dürfen Warnschilder entfernt und die Stromversorgung wiederhergestellt werden. Nach der Wiederinbetriebnahme muss mindestens 1 Stunde lang eine kontinuierliche Überwachung durchgeführt werden, um das Fehlen von Anomalien zu bestätigen

7.2 Notfallmaßnahmen bei Modulbrand

ZKFN SOLAR SolarPega-Serienmodule haben die UL790-Klasse-C-Normprüfung und -Zertifizierung für Brandverhalten bestanden und weisen eine gute Feuerbeständigkeit auf. Wenn am Betriebs- und Wartungsstandort ein Modulbrandvorfall auftritt, sind die folgenden Verfahren zu befolgen:

- ✧ Trennen Sie sofort alle DC-seitigen und AC-seitigen Stromversorgungen des vom Brand betroffenen PV-Systems
- ✧ Wenn der Brand klein ist und die Sicherheitsbedingungen es zulassen, verwenden Sie einen Trockenpulverlöcher oder Kohlendioxidlöcher, um den Brand an der Quelle zu unterdrücken. Es ist strengstens verboten, Wasser- oder Schaumlöcher direkt auf Module und spannungsführende elektrische Geräte anzuwenden
- ✧ Falls das Feuer zu groß ist, um es eigenständig zu kontrollieren, rufen Sie sofort die 119 an, um den Brand zu melden, und kommunizieren Sie klar wichtige Informationen wie "PV-Kraftwerksbrand, Gleichstrom-Hochspannungsgefahr", und organisieren Sie die Evakuierung aller Personen in einen sicheren Bereich
- ✧ Nachdem das Feuer gelöscht ist, führen Sie eine systematische Untersuchung der Brandursache durch, bewerten Sie den Schadensgrad jedes Moduls und der elektrischen Ausrüstung und erstellen Sie den Brandvorfall-Analyse- und Wiederherstellungsplan
- ✧ Erst nach Bestätigung, dass alle Sicherheitsgefahren beseitigt wurden (einschließlich struktureller Sicherheit, elektrischer Isolierung und Modulintegrität), darf das Kraftwerk gemäß dem Wiederherstellungsplan schrittweise wieder in Betrieb genommen werden

7.3 Notfallmaßnahmen bei extremen Wetterbedingungen

7.3.1 Starkregen/Überschwemmung

- ✧ Nach Ausgabe einer Starkregenwarnung überprüfen und reinigen Sie Dachrinnen und Fallrohre von Schmutz, um sicherzustellen, dass das Entwässerungssystem frei ist
- ✧ Sorgen Sie für wasserdichten Schutz oder verlegen Sie Wechselrichter, Kombinationskästen, Überwachungshosts und andere Geräte in Innenräumen oder tiefliegenden Bereichen auf eine sichere Höhe
- ✧ Während des Starkregens stellen Sie alle Außenbetriebs- und Wartungsarbeiten ein. Wenn es im Kraftwerk zu Überschwemmungen kommt, trennen Sie sofort alle Stromversorgungen fern- oder vor Ort

- ✧ • Nachdem das Hochwasser zurückgegangen ist, führen Sie Trocknungsbehandlung, Reinigung und Isolationsprüfungen an allen wassergeschädigten Modulen, Kabeln, Steckverbindern und elektrischen Geräten durch. Erst nach Bestätigung, dass keine Sicherheitsgefahren bestehen, darf der Betrieb schrittweise wieder aufgenommen werden

7.3.2 Starker Wind/Taifun

- ✧ Nach Ausgabe einer Starkwindwarnung die Befestigung der Modulklemmen und Halterungen umfassend prüfen und lose Schrauben nachziehen
- ✧ Lose Gegenstände rund um das Modulfeld entfernen, die vom Wind erfasst werden könnten (Werbeschilder, provisorische Abdeckungen, loses Material usw.)
- ✧ Während des Taifuns die Stromversorgung der Anlage abschalten und das gesamte Personal in einen sicheren Bereich evakuieren
- ✧ Nach dem Windereignis die Module umfassend auf Verschiebung, Ablösung, Verformung und Beschädigung prüfen; prüfen, ob Montagehalterungen und Dachkonstruktionen intakt sind. Beschädigte Bereiche reparieren und die Anlage erst nach bestandener umfassender Prüfung wieder in Betrieb nehmen

7.3.3 Schneesturm/Niedrigtemperatur

- ✧ Während eines Schneesturms regelmäßig mit einem weichen Schneeschaber (Silikon- oder Gummimaterial) angesammelten Schnee von den Moduloberflächen entfernen. Dabei darauf achten, dass das Werkzeug nicht mit Anschlussdosen und Steckverbindern kollidiert
- ✧ Bei niedrigen Temperaturen prüfen, ob Steckverbinder und Anschlüsse Anzeichen von Vereisung aufweisen. Bei Vereisung das natürliche Auftauen und vollständige Trocknen abwarten, bevor Arbeiten durchgeführt werden
- ✧ Bei der Schneeräumung ist das Betreten von Modulen (Das Betreten ist zulässig, sofern die Installationsbedingungen für das Betreten erfüllt sind. Einzelheiten entnehmen Sie bitte den Installationsarbeitsanweisungen) strengstens untersagt, um innere Zellmikrorisse oder Beschädigungen der Verkapselungsstruktur zu vermeiden
- ✧ Nach Schneereignissen die Moduloberflächen auf Risse oder Verformungen durch Schneelast oder Frost-Tau-Wechsel prüfen; beschädigte Module sollten umgehend zum Austausch vorgemerkt werden

7.4 Notfallmaßnahmen bei Blitzeinschlag

Die Gewittersaison ist eine Hochrisikoperiode für PV-Kraftwerke, die von Blitzeinschlägen betroffen sein können. Wenn das Überwachungssystem eine weitreichende Unterbrechung der Modulkommunikation, ein Auslösen der Wechselrichter oder eine Sichtprüfung vor Ort offensichtliche Blitzeinschlagsspuren an Modulen (wie Durchschlag der Anschlussdose, Lichtbogenverbrennungen auf der Moduloberfläche) zeigt, sind sofort die folgenden Behandlungsverfahren einzuleiten:

- ✧ Sofort alle Stromversorgungen des Kraftwerks unterbrechen; das Personal muss sich umgehend in einen sicheren Innenbereich begeben
- ✧ Nach dem Gewitter den Blitzschutz und die Erdungsanlage umfassend prüfen: Erdungsableiter auf Bruch oder Schmelzung kontrollieren; messen, ob der Erdungswiderstand noch den Auslegungsanforderungen entspricht (in der Regel $\leq 4\Omega$ erforderlich)
- ✧ Das Erscheinungsbild der Module blockweise prüfen; mit einer Infrarot-Wärmebildkamera nach abnormalen Erwärmungspunkten scannen

- ✧ Isolationswiderstand und IV-Kennlinien der von Blitzeinschlägen betroffenen Strings messen; Module, die durchschlagen wurden oder eine stark verschlechterte Leistung aufweisen, ersetzen
- ✧ Prüfen, ob Überspannungsschutzgeräte (SPDs) in Wechselrichtern und Kombinationskästen ausgelöst oder beschädigt wurden; bei Beschädigung müssen sie umgehend ersetzt werden

8. Betriebs- und Wartungsaufzeichnungen sowie Archivverwaltung

8.1 Betriebs- und Wartungsaufzeichnungen - Verwaltungssystem

Die Vollständigkeit und Genauigkeit der Betriebs- und Wartungsaufzeichnungen bilden die Grundlage für das Anlagenmanagement des Kraftwerks, Garantieansprüche, Leistungsbewertung und Fehlerverfolgung. Es wird empfohlen, Archivverwaltungsprinzipien zu etablieren: "Abdeckung des gesamten Lebenszyklus, duales System aus elektronischen und Papierunterlagen, gleichwertige Betonung von Sicherheit und Nutzung." Durch standardisierte Aufzeichnungserfassung und regulierte Archivverwaltung sollen eine Rückverfolgbarkeit der Betriebs- und Wartungsprozesse, eine Lokalisierbarkeit von Problemen und eine Unterstützung von Entscheidungen erreicht werden, um einen geschlossenen Managementkreislauf aus "Aufzeichnung – Archivierung – Nutzung – Optimierung" zu bilden.

Betriebs- und Wartungsaufzeichnungen müssen die folgenden Kategorien abdecken:

- ✧ Inspektionsaufzeichnungen: Erfassen Sie das Inspektionsdatum, das Inspektionpersonal, den Inspektionsumfang (Strings/Bereiche), die Inspektionsergebnisse (Modulzustand, Betriebsparameterdaten, identifizierte Probleme und Vor-Ort-Behandlung), die Nachverfolgung ungelöster Probleme
- ✧ Reinigungsaufzeichnungen: Erfassen Sie das Reinigungsdatum, das Reinigungspersonal, den Reinigungsumfang, die Reinigungsmethode, den Wasserverbrauch und die Wasserqualität, repräsentative String-Leistungsvergleichsdaten vor und nach der Reinigung
- ✧ Störungsbehandlungsaufzeichnungen: Erfassen Sie das Datum und die Uhrzeit des Störungsauftritts, die Seriennummer und den Standort des gestörten Moduls, die Beschreibung der Störungssymptome, die Analyse der Störungsursache, die spezifischen Behandlungsmethoden und -schritte, die Behandlungsergebnisse, die Unterschrift des Reparaturpersonals, die Liste der für die Reparatur verwendeten Materialien und Ersatzteile
- ✧ Modulaustauschaufzeichnungen: Erfassen Sie das Austauschdatum, die Informationen zum ausgetauschten Altmodul (Seriennummer, Modell, Betriebsjahre, Fehlertyp), die Informationen zum neuen Modul (Seriennummer, Modell, erste elektrische Leistungstestdaten), das Austauschpersonal
- ✧ Notfallmaßnahmenaufzeichnungen: Erfassen Sie die Zeit und den Ort des Notfallvorfalls, den Vorfalltyp und die Schwere, die spezifischen Notfallmaßnahmen und den Ausführungsprozess, die Ergebnisse der Maßnahmen und die anschließende Folgenabschätzung, das an den Maßnahmen beteiligte Personal
- ✧ Spezialprüfaufzeichnungen: Erfassen Sie das Datum, den Umfang, die Methode, die Rohdaten und die Analyseergebnisse von Spezialprüfungen wie IV-Kurvenprüfung, EL-Inspektion, Infrarot-Thermografie-Scanning und Isolationswiderstandsprüfung

8.2 Archivklassifizierung und -ablage

Für die Archivverwaltung wird ein vierstufiges Klassifizierungssystem empfohlen: "Hauptklassifizierung – Sekundärklassifizierung – Dateigruppe – Dokument":

- ✧ Grundlegende Archivkategorie: Enthält Modulwerksdokumentation (Konformitätsbescheinigung, Werksprüfbericht, technische Parameterliste),

Beschaffungsverträge, Garantievereinbarungen, Systembaupläne, Abnahmeberichte usw. Dateigruppen werden nach "Projekt – Gerätetyp" organisiert

- ✧ Betriebs- und Wartungsprozess-Archivkategorie: Fasst die oben genannten verschiedenen Betriebs- und Wartungsaufzeichnungen zusammen, wobei Dateigruppen nach "Jahr – Betriebs- und Wartungstyp – Bereich" organisiert werden. Darunter werden Inspektionsaufzeichnungen monatlich zusammengefasst und entsprechend gebunden; Störungsbehandlungsaufzeichnungen werden separat als "ein Fall, eine Akte" erstellt, einschließlich unterstützender Materialien wie Prüfberichte, Vergleichsfotos vor und nach der Reparatur
- ✧ Archivkategorie Leistungsüberwachung: Speichert separat professionelle Prüfdaten wie IV-Kennlinienmessungen, EL-Inspektionen und Hot-Spot-Scans. Erstellen eines „modulspezifischen Leistungsregisters“, indiziert nach Modulseriennummer, Aufzeichnung der wichtigsten Leistungsdaten an jedem Prüfpunkt während des gesamten Lebenszyklus und jährliche Erstellung des Modul-Leistungsdegradationsanalyseberichts
- ✧ Archivkategorie Compliance-Management: Enthält Kopien der Qualifikationsnachweise des Betriebs- und Wartungspersonals, Kalibrierzertifikate der Prüfgeräte, Recycling- und Entsorgungszertifikate für Altmodule, behördliche Inspektionsaufzeichnungen der Branche, Sicherheitsschulungsaufzeichnungen usw., um sicherzustellen, dass die Betriebs- und Wartungsaktivitäten vollständig konform und während des gesamten Prozesses rückverfolgbar sind

8.3 Jährlicher Betriebs- und Wartungsbericht

Jährlich ist ein umfassender jährlicher Betriebs- und Wartungsanalysebericht für das PV-Kraftwerk zu erstellen und vorzulegen. Der Bericht muss mindestens die folgenden Inhalte enthalten:

- ✧ Jährliche Stromerzeugungstatistik und Vergleichsanalyse mit den Planwerten und dem gleichen Zeitraum des Vorjahres
- ✧ Jährliche zusammenfassende Statistik der Inspektions- und Reinigungsarbeiten (Anzahl der Inspektionen, Anzahl der Reinigungen, Anzahl und Artverteilung der identifizierten und behobenen Probleme)
- ✧ Trendanalyse der Modulleistungsdegradation (basierend auf IV-Kennlinien- und EL-Inspektionsdaten)
- ✧ Fehlerstatistische Analyse (Fehlerartenverteilung, Fehlerrate, mittlere Reparaturzeit, Auswirkungsbewertung auf die Stromerzeugung)
- ✧ Jährliche Betriebs- und Wartungskostenstatistik sowie Betriebs- und Wartungsplan- und Budgetempfehlungen für das Folgejahr
- ✧ Schwerpunkte und Verbesserungsempfehlungen für das Folgejahr

9. Anhang

9.1 Häufig gestellte Fragen (FAQ)

F1: Welches Wartungsintervall wird für die leichten starren PV-Module der Serie SolarPega von ZKFN SOLAR empfohlen? Welche Hauptprüfpunkte sind zu beachten?

A: Es wird empfohlen, mindestens einmal pro Monat umfassende Inspektionen durchzuführen, bei denen die Betriebsleistung aller Module, die elektrische Anschlusssicherheit und -zuverlässigkeit, die Stabilität der Montagestruktur sowie die Sauberkeit der Moduloberfläche überprüft werden. Zu den Hauptprüfpunkten gehören: Unversehrtheit der Moduloberfläche, Festigkeit der elektrischen Anschlüsse, Integrität von Anschlussdose und Steckverbindern, Sauberkeit der Moduloberfläche und

Verschattungszustand, Stabilität der Montageträgerstruktur, Integrität von Blitzschutz- und Erdungssystem, Betriebszustand des Überwachungssystems sowie Normalleistung der Strings. Es wird außerdem empfohlen, die Module mindestens einmal pro Monat zu reinigen, um die PV-Stromerzeugungseffizienz sicherzustellen.

F2: Wenn eine geringe Staubmenge auf der Moduloberfläche auftritt, die jedoch noch nicht den Reinigungsschwellenwert eines Leistungsabfalls von 5 % erreicht hat, ist eine Reinigung erforderlich?

A: Wenn die Staubschicht dünn ist und kurzfristig Niederschlag vorhergesagt wird, kann die Reinigung verschoben werden, während die Leistungstrends kontinuierlich über das Überwachungssystem verfolgt werden. Wenn jedoch die lokale Luftverschmutzung stark ist, der Staub klebrige Substanzen enthält, die zur Verklumpung neigen, oder in der nächsten Woche kein effektiver Niederschlag vorhergesagt wird, wird empfohlen, die Reinigung vorzeitig zu planen, um zu verhindern, dass langfristige Staubansammlungen zu einer Kruste aushärten, was die spätere Reinigung erschwert und die Lichtdurchlässigkeit dauerhaft beeinträchtigt.

F3: Wenn Module im Winter vereisen, kann direkt heißes Wasser zum Schmelzen des Eises verwendet werden?

A: Es ist strengstens verboten, heißes Wasser direkt auf vereiste Module zu gießen oder zu spülen. Starke Temperaturunterschiede zwischen Kälte und Wärme verursachen thermische Spannungen in der Glasabdeckung und den Verkapselungsmaterialien, was zu Glasbruch oder Versagen der Verkapselungsschicht führen kann. Es wird empfohlen, auf einen Anstieg der Umgebungstemperatur zu warten, damit das Eis auf natürliche Weise schmilzt, oder einen speziellen Enteisungsschaber aus Silikon/Kunststoff (Metallwerkzeuge sind strengstens verboten) zu verwenden, um das Eis vorsichtig von der Oberfläche zu entfernen. Nachdem das Eis vollständig geschmolzen ist und die Moduloberfläche trocken ist, überprüfen Sie das Modul auf Anzeichen von Wassereintritt oder Beschädigung.

F4: Wenn die Leistungsdegradation des Moduls den normalen Bereich überschreitet, das Modul jedoch noch innerhalb der Garanzzeit liegt, wie beantrage ich den Kundendienst?

A: Organisieren Sie zunächst das vollständige Betriebs- und Wartungsarchiv des Moduls (einschließlich Inspektionsdaten, IV-Kennlinien-Leistungstestberichte, Fehlerfotos, EL-Inspektionsbilder usw.), kontaktieren Sie die Kundendienstabteilung von ZKFN SOLAR und reichen Sie das Antragsformular für den Kundendienst innerhalb der Garanzzeit mit den entsprechenden Nachweisen ein. ZKFN SOLAR wird autorisierte technische Mitarbeiter für eine Vor-Ort-Überprüfung und -Tests entsenden. Nach Bestätigung, dass es sich um ein Produktqualitätsproblem handelt, werden entsprechende Reparatur- oder Austauschdienstleistungen gemäß der Garantiepolitik erbracht.

F5: Dürfen O&M-Mitarbeiter bei der Reinigung oder Wartung auf Module treten?

A: Die leichten starren Module der ZKFN SOLAR SolarPega-Serie können unter bestimmten Bedingungen zu Wartungszwecken betreten werden, ohne die Module zu beschädigen. Das Betreten muss jedoch strikt den relevanten technischen Bedingungen und Anforderungen entsprechen (siehe Installationshandbuch für spezifische Bedingungen), einschließlich: Einschränkungen des Betretungsbereichs, Anforderungen an das Sohlenmaterial (weichsohlige Schuhe), Maßnahmen zur Lastverteilung usw. Bevor bestätigt ist, dass die Bedingungen erfüllt sind, ist das direkte Betreten der Moduloberfläche strengstens untersagt.

F6: Wie lässt sich feststellen, ob ein Modul ausgetauscht statt repariert werden muss?

A: Module sollten unter folgenden Umständen direkt ausgetauscht und nicht repariert werden: ① Die Moduloberfläche weist durchgehende Risse oder umfangreiche Zersplitterung auf; ② Die Anschlussdose ist stark geschmolzen, verformt oder verbrannt; ③ Die Infrarot-Thermografie zeigt schwere Hotspots (Temperaturdifferenz $\geq 40^{\circ}\text{C}$); ④ Die EL-Prüfung zeigt umfangreiche Mikrorisse in den Zellen (Rissfläche übersteigt 30% der Zellfläche); ⑤ Die Ausgangsleistung des Moduls ist um mehr als 20% vom Nennwert abgefallen; ⑥ Das Eindringen von Wasser in das Modul hat dazu geführt, dass der Isolationswiderstand dauerhaft unter dem Standardwert liegt und nicht wiederhergestellt werden kann.

9.2 Checkliste für gängige O&M-Werkzeuge und -Instrumente

Die folgenden sind empfohlene gängige Werkzeuge und Prüfinstrumente für den O&M-Betrieb von PV-Kraftwerken:

- ✓ Digitalmultimeter (CAT III 1500V Nennspannung) — Messung von DC-Spannung, -Strom und Durchgang
- ✓ Zangen-DC-Amperemeter — Messung des Betriebsstroms von Strings ohne Unterbrechung des Stromkreises
- ✓ IV-Kennlinienmessgerät — Messung der Strom-Spannungs-Kennlinie von Modulen/Strings
- ✓ Infrarot-Thermografiekamera — Hotspot-Erkennung, Untersuchung von Erwärmungspunkten an Steckverbindern
- ✓ Isolationswiderstandsprüfgerät (DC 500V/1000V) — Messung des Isolationswiderstands zwischen String und Erde
- ✓ EL-Prüfgerät — Erkennung interner Defekte wie Mikrorisse in Zellen, unterbrochene Fingergrids und Kaltlötstellen
- ✓ Drehmomentschlüssel (0–30 N·m) — Überprüfung des Anzugsdrehmoments von elektrischen Verbindungen und Klemmbolzen
- ✓ Spezialwerkzeuge für Demontage/Montage von MC4-Steckverbindern — Sicheres Trennen und Verbinden von Steckverbindern
- ✓ Erdungswiderstandsprüfgerät — Regelmäßige Prüfung von Blitzschutz- und Erdungssystemen
- ✓ PV-spezifisches Reinigungsset (weiche Walze, Mikrofasertuch, Abzieher für weiches Wasser usw.)

9.3 Technischer Support und Kontaktinformationen

Kundendienst-Hotline: (+86) 400 6768 100 (Office Hours: 8:30-17:30, Beijing Time)

E-Mail für technischen Support: tech-support@zkfnsolar.com

Offizielle Website: www.zkfnsolar.com

Fertigungsstandortadresse: Gebäude 1, Xinchenglin, Lvhaihui Intelligent Manufacturing Industrial Park, Wirtschaftsentwicklungszone Jining, Stadt Jining, Provinz Shandong

9.4 Revisionshinweise zum Handbuch

Dieses Handbuch ist Version A01, veröffentlicht am 09. Mai 2026. ZKFN SOLAR wird den Handbuchinhalt regelmäßig überarbeiten und verbessern, basierend auf Modultechnologie-Upgrades, Aktualisierungen von Industriestandards und Benutzerfeedback. Überarbeitete Versionen werden über das Download-Center der offiziellen Website veröffentlicht und



registrierten Benutzern per E-Mail und anderen Kanälen mitgeteilt. Benutzer können die neueste Version kostenlos erhalten. Falls Benutzer bei der Verwendung dieses Handbuchs Probleme feststellen oder Verbesserungsvorschläge haben, können sie eine E-Mail an tech-support@zkfn-solar.com senden. Wir werden diese umgehend prüfen und in den Überarbeitungsplan aufnehmen.

Shandong ZKFN Solar Technology Co., Ltd.

www.zkfn-solar.com

Service-Hotline:(+86) 400 6768 100 (Office Hours: 8:30-17:30, Beijing Time)