



SolarVela & SolarNoah Serie

Betriebs- und Wartungshandbuch für leichte, flexible PV-Module

Shandong ZKFN Solar Technology Co., Ltd.

Veröffentlichungsdatum: 2026-05-09 | Version: ZKFN-ATSD-FLX-OMM-122

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 Technische Support-Informationen.....	- 4 -
2. Sicherheitsbetriebsanweisungen für Betrieb und Wartung.....	- 4 -
2.1 Allgemeine Sicherheitswarnungen	- 4 -
2.2 Sicherheitsanforderungen für Wartungspersonal.....	- 5 -
2.3 Sicherheitsanforderungen für Geräte	- 6 -
2.4 Verbotene Betriebs- und Wartungsaktivitäten	- 7 -
3. O&M-Inspektionsspezifikationen	- 8 -
3.1 Allgemeine O&M-Anforderungen	- 8 -
3.2 Inspektionshäufigkeit und -gegenstände	- 9 -
3.3 Sonderinspektionen.....	- 11 -
4. Reinigung der PV-Module.....	- 11 -
4.1 Grundlegende Reinigungsanforderungen	- 11 -
4.2 Reinigungsmethoden.....	- 11 -
4.3 Reinigungszeitpunkt	- 12 -
4.5 Reinigungsvorsichtsmaßnahmen	- 12 -
4.6 Inspektion nach der Reinigung	- 13 -
5. Modulreparatur und -austausch	- 13 -
5.1 Allgemeine Austauschforderungen	- 13 -
5.2 Austauschverfahren für klebmontierte Module (SolarVela-Serie).....	- 14 -
5.3 Austauschverfahren für klammerbefestigte Module (SolarNoah-Serie)	- 14 -
5.4 Systemverifizierung nach Modulaustausch.....	- 15 -
6. Häufige Fehlerdiagnose und Fehlerbehebung	- 15 -
6.1 Abnormale Modulleistungsdegradation.....	- 15 -
6.2 Hot-Spot-Effekt des Moduls	- 16 -
6.3 Modulverdrahtungs- und Steckverbinderfehler.....	- 17 -
6.4 Fehlerdiagnose auf Wechselrichter- und String-Ebene.....	- 18 -

7.1 Notfallmaßnahmen bei elektrischem Leck eines Moduls	- 18 -
7.2 Notfallmaßnahmen bei Modulbrand.....	- 19 -
7.3 Notfallmaßnahmen bei Naturkatastrophen.....	- 20 -
7.4 Notfallmaßnahmen bei Blitzeinschlag.....	- 21 -
8. O&M-Aufzeichnungen und Archivmanagement	- 21 -
8.1 O&M-Aufzeichnungsmanagementsystem.....	- 21 -
8.2 Archivklassifizierung und Ablagesystem.....	- 22 -
8.3 Jährlicher O&M-Bericht.....	- 22 -
9.1 Häufig gestellte Fragen (FAQ).....	- 23 -
9.2 Checkliste für gängige Betriebs- und Werkzeugzeuge und -instrumente-	24 -
9.3 Technischer Support und Kontaktinformationen.....	- 25 -
9.4 Revisionshinweise zum Handbuch	- 25 -

1. Handbuchübersicht, Rechte und Pflichten

1.1 Anwendungsbereich

Dieses Betriebs- und Wartungshandbuch (nachfolgend als "dieses Handbuch" bezeichnet) wird von der Shandong ZKFN Solar Technology Co., Ltd. (nachfolgend als "ZKFN SOLAR" bezeichnet) herausgegeben und gilt für alle Betriebsaspekte während des gesamten Lebenszyklus der leichten PV-Module der Serien SolarVela und SolarNoah (nachfolgend gemeinsam als "Module" bezeichnet), einschließlich: Routineinspektion und spezielle Prüfungen, Modulreinigung, Fehlerdiagnose und -behebung, Modulreparatur und -austausch, Notfallmaßnahmen sowie Betriebs- und Wartungsaufzeichnungen und Archivverwaltung.

Die SolarVela-Serie besteht aus flexiblen, anpassungsfähigen Modulen, die mittels direkter Verklebung mit Strukturklebstoff ohne Montageschienen oder Halterungen installiert werden, geeignet für T-förmige und gewellte Farbstahlziegeldächer sowie Dachabdichtungsmembranen von Flachdächern. Die SolarNoah-Serie besteht aus leichten Modulen mit starrem Rückrahmen, die mit dem Quick-Clamp-Schnellbefestigungssystem installiert werden, eine zerstörungsfreie Demontage unterstützen und für verschiedene Farbstahlziegeldächer (einschließlich Stehfalz- und Trapezfalztypen) sowie Flachdachszenarien geeignet sind. Beide Serien sind mit der exklusiven TSR-Armor™ Anti-Mikroriss-Technologie von ZKFN SOLAR ausgestattet.

Dieses Handbuch richtet sich an qualifizierte Betriebs- und Wartungsunternehmen sowie Betriebs- und Wartungspersonal. Die genannten Unternehmen und ihr Betriebspersonal sind verpflichtet, vor Arbeitsbeginn alle Bestimmungen dieses Handbuchs zu lesen, vollständig zu verstehen und strikt einzuhalten sowie dem Endbesitzer relevante Sicherheits- und Wartungshinweise schriftlich offenzulegen.

1.2 Haftungsausschluss

ZKFN SOLAR behält sich das Recht vor, dieses Handbuch ohne vorherige Ankündigung aufgrund von Produkttechnologie-Upgrades, Prozessverbesserungen oder Aktualisierungen von Standards zu ändern. Die neueste Version dieses Handbuchs wird gleichzeitig im Downloadbereich der offiziellen Website von ZKFN SOLAR veröffentlicht. Kunden und Betriebs- und Wartungsparteien sind dafür verantwortlich, proaktiv die Verwendung der neuesten Version zu überprüfen und sicherzustellen. Jegliche Betriebsabweichungen, die aus der Verwendung einer veralteten Version dieses Handbuchs resultieren, liegen in der alleinigen Verantwortung des Benutzers.

Die Nichteinhaltung der im Betriebs- und Wartungshandbuch festgelegten Anforderungen (einschließlich Änderungen, die während des Betriebs- und Wartungszeitraums auf der offiziellen Website von ZKFN SOLAR veröffentlicht werden) durch den Kunden beim Betrieb und der Wartung der Module führt zum Erlöschen der dem Kunden gewährten eingeschränkten Produktgarantie.

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

1.3 Haftungsumfang

Unabhängig davon, ob die Modulwartung gemäß den Anweisungen in diesem Handbuch durchgeführt wird, übernimmt ZKFN SOLAR keine rechtliche Haftung für Schäden, die



während des Betriebs- und Wartungsprozesses entstehen (einschließlich, aber nicht beschränkt auf Personenschäden und Sachschäden, die aus der Handhabung von Modulen und der Systemwartung resultieren).

Bei Abweichungen zwischen verschiedenen Sprachversionen dieses Handbuchs ist die chinesische Version maßgebend.

Dieses Handbuch dient ausschließlich als Betriebs- und Wartungsanleitung. Keine Aussage in diesem Handbuch, weder ausdrücklich noch stillschweigend, stellt eine Garantieurkunde dar.

1.4 Garantiebedingungen

Alle Produkte der Serien SolarVela und SolarNoah von ZKFN SOLAR unterliegen einer 12-jährigen Produktgarantie und einer 25-jährigen linearen Leistungsgarantie. Der genaue Garantiefumfang, die Abwicklungsverfahren und die Ausschlussklauseln richten sich nach dem offiziellen Garantiedokument, das zum Zeitpunkt des Produktkaufs ausgehändigt wird.

Wichtige, während des Betriebs und der Wartung ausgetauschte Hilfsmaterialien, einschließlich Module, Klemmen, Strukturklebstoffe und Steckverbinder, müssen den von ZKFN SOLAR empfohlenen oder zertifizierten Spezifikationsmodellen entsprechen, 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 Technische Support-Informationen

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

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

Kontakt-E-Mail: tech-support@zkfnsolar.com

Offizielle Website: www.zkfnsolar.com

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

2. Sicherheitsbetriebsanweisungen für Betrieb und Wartung

2.1 Allgemeine Sicherheitswarnungen

1. Sämtliche Betriebs- und Wartungsarbeiten müssen in vollständiger Übereinstimmung mit lokalen und regionalen Vorschriften sowie geltenden nationalen oder internationalen elektrischen Normen durchgeführt werden.
2. Stromschlag- und Verbrennungsgefahr: 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 der Module in irgendeiner Weise zu berühren. Der Kontakt mit spannungsführenden Komponenten kann zu schweren Verbrennungen oder tödlichen Stromschlägen führen.

3. Verbot von Lastschaltvorgängen: 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 sind, und es müssen strenge Maßnahmen zur Wiedereinschaltsperrung und Spannungsfreiheitsprüfung umgesetzt werden. Es ist unter keinen Umständen gestattet, Steckverbinder oder elektrische Verbindungen unter Last zu trennen. Das Trennen unter Last erzeugt einen gefährlichen und zerstörerischen Gleichstromlichtbogen, der Brände, Geräteschäden und schwere Personenschäden verursachen kann.
4. Handhabung beschädigter Module: Module, bei denen während der Betriebs- und Wartungsinspektionen optische Schäden festgestellt werden (einschließlich, aber nicht beschränkt auf Oberflächendurchdringung, Rissbildung, Kratzer auf der Rückseitenfolie mit Durchdringung, Rissbildung im Anschlusskasten oder inneren Wassereintritt), müssen sofort isoliert und für den Austausch eingeplant werden. Beschädigte Module sind nicht reparierbar und stellen ein extrem hohes Risiko von Stromlecks und Stromschlägen dar, da ihre Isolationsleistung vollständig ausgefallen ist. Es ist aus irgendeinem Grund untersagt, Module zu zerlegen, Modulkomponenten zu entfernen oder die Verkabelung der Bypass-Dioden zu modifizieren. Die Abdeckungen der Modulanschlusskästen müssen jederzeit sicher verschlossen bleiben.
5. Risiko eines Kurzschlusses zwischen Plus und Minus: Es ist untersagt, die positiven und negativen Steckverbinder eines einzelnen Moduls direkt zu verbinden, da dies einen Modulkurzschluss verursacht. Vor der Durchführung von Betriebs- und Wartungsarbeiten müssen alle Isolierstopfen oder Dichtungsringe der Steckverbinder überprüft und bestätigt werden, dass sie intakt und richtig eingesetzt sind, um Kurzschlüsse durch Isolationsfehler zu verhindern, die zu Brand- oder Stromschlaggefahren führen könnten.
6. Umwelt- und elektrische Grenzwerte: Der vorgesehene stabile Betriebsumgebungstemperaturbereich der Module beträgt -40 °C bis $+85\text{ °C}$. Die maximale Systemleerlaufspannung darf bei jeder zu erwartenden minimalen Umgebungstemperatur die auf dem Modulproduktetikett angegebene maximale Systemgleichspannung von 1500 V nicht überschreiten. Ein Betrieb außerhalb der Nennparameter ist während Wartung und Betrieb untersagt.
7. Brandschutz: Wenn am Betriebs- und Wartungsstandort 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 untersagt, Wasser oder Schaum direkt auf die Module und das elektrische System zu sprühen, ohne zuvor die Stromversorgung zu unterbrechen.
8. Anwendungsklasse und Warnung: Diese Modulerie ist der Anwendungsklasse A (äquivalent zu IEC 61730-1 Sicherheitsklasse II) zugeordnet und für Systeme geeignet, die für die Öffentlichkeit zugänglich sind. Wenn die Systemleerlaufspannung 50 V überschreitet, müssen gemäß den Sicherheitsvorschriften gut sichtbare Warnschilder mit der Aufschrift "Gefahr: Stromschlag" in der Nähe der String-Verbindungsanordnungen und an leicht zugänglichen Stellen wie Wechselrichtern angebracht werden.

2.2 Sicherheitsanforderungen für Wartungspersonal

1. Qualifikationsanforderungen: Das gesamte Personal, das für Betrieb und Wartung (O&M) von PV-Anlagen verantwortlich ist, muss eine professionelle O&M-Schulung für PV-Anlagen absolviert haben, gültige einschlägige Qualifikationszertifikate (einschließlich, aber nicht beschränkt auf Niederspannungs-Elektriker-Zertifikat, Hochspannungs-Elektriker-Zertifikat, Höhenarbeits-Zertifikat) besitzen und vor Beginn der O&M-Arbeiten gründlich mit allen Sicherheitsvorschriften in diesem Handbuch sowie den einschlägigen lokalen Regierungsvorschriften vertraut sein.
2. Zwei-Personen-Regel: Um Risiken im Zusammenhang mit Einzelarbeiten (wie versehentlicher Stromschlag, Sturz aus großer Höhe usw.) zu minimieren, müssen alle O&M-Arbeiten vor Ort, Handhabungs- und Verdrahtungsarbeiten von mindestens zwei Personen gemeinsam durchgeführt werden. Einzelne risikoreiche Arbeiten sind verboten.
3. Persönliche Schutzausrüstung (PSA): O&M-Personal muss während der Arbeiten zertifizierte persönliche Schutzausrüstung korrekt tragen, einschließlich, aber nicht beschränkt auf: isolierte Handschuhe, isolierte Schuhe und Schutzhelm. Bei Arbeiten in der Höhe muss jederzeit ein stoßdämpfender Sicherheitsgurt mit Doppelhaken getragen und sicher an einem unabhängigen, zuverlässigen Ankerpunkt befestigt werden. Bei der Verwendung von Prüfgeräten wie Multimetern und Infrarot-Thermometern müssen die Geräte gemäß der Geräteanleitung korrekt bedient werden, um Geräteschäden oder Personenschäden zu vermeiden.
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 während der Arbeit die Moduloberfläche 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 Stärke 4 (ca. 7,9 m/s) oder mehr verboten. Feuchte Umgebungen erhöhen das Risiko eines Stromschlags erheblich. O&M-Personal muss sicherstellen, dass alle Module, Werkzeuge und elektrischen Verbindungspunkte vor Arbeitsbeginn sauber und trocken sind.
6. Sicherheitsbewusstsein: O&M-Personal muss eine "Sicherheit zuerst"-Einstellung entwickeln. Es ist strengstens verboten, die metallischen spannungsführenden Teile von Modulen zu berühren, ohne die Stromversorgung zu trennen. Es ist strengstens verboten, in der Nähe des Modul-Arrays zu rauchen oder offenes Feuer zu verwenden. Wenn Sicherheitsrisiken wie elektrische Leckagen oder Brände an Modulen festgestellt werden, müssen die Arbeiten sofort eingestellt, die Stromversorgung getrennt und die entsprechenden Notfallverfahren eingeleitet werden.

2.3 Sicherheitsanforderungen für Geräte

1. Stromkreissicherheit: Die Verkabelung des PV-Modul-Arrays muss den elektrischen Sicherheitsvorschriften entsprechen. Anschlussklemmen müssen fest verbunden sein, um Lockerung und Oxidation zu vermeiden. Der Hauptschalter, Leistungsschalter, Sicherungen und andere Schutzvorrichtungen des Modul-Arrays müssen in den regelmäßigen Inspektionsumfang einbezogen werden, um sicherzustellen, dass sie ordnungsgemäß funktionieren und im Falle eines Kurzschlusses oder Überlasts im Stromkreis die Stromversorgung rechtzeitig trennen können. Unbefugte Änderungen

der Modul-Stromkreisverbindungsmethode oder das Hinzufügen zusätzlicher Lasten sind strengstens verboten.

2. Brandschutz: Der Bereich um das Modul-Array muss frei bleiben. Die Lagerung von brennbaren und explosiven Materialien (wie Benzin, Diesel, Kartons, chemische Lösungsmittel usw.) ist strengstens verboten. Das Kraftwerk muss mit einer ausreichenden Anzahl geeigneter Feuerlöschgeräte (Trockenpulverlöscher, Kohlendioxidlöscher) ausgestattet sein. Feuerlöschgeräte müssen in den regelmäßigen Inspektionsplan aufgenommen werden, um sicherzustellen, dass sie innerhalb der Gültigkeitsdauer und in gebrauchsfähigem Zustand bleiben. O&M-Personal muss die grundlegende Methode der Brandbekämpfung in PV-Kraftwerken beherrschen: zuerst die Stromversorgung trennen, dann geeignete Feuerlöschgeräte zur Bekämpfung einsetzen.
3. Modul-Erdungsbefreiungserklärung: Da das Design aller Module der Serien SolarVela und SolarNoah keinen nicht isolierten externen Metallrahmen (Rand) aufweist, stellt das Modul selbst eine vollständige Isolationsstruktur der Klasse II dar (äquivalent zu IEC 61730-1 Sicherheitsklasse II). Daher ist keine explizite Erdungsbehandlung eines Teils des Modulkörpers erforderlich. Diese Befreiungserklärung ändert nichts an den allgemeinen Blitzschutz-Erdungs- und elektrischen Schutz-Erdungsanforderungen der PV-Anlage.

2.4 Verbotene Betriebs- und Wartungsaktivitäten

Um die Modulleistung, die persönliche Sicherheit und die Gültigkeit der Garantie zu gewährleisten, sind die folgenden Aktivitäten während des Betriebs und der Wartung strengstens untersagt:

1. Physische Beschädigung und Beschichtungen: Es ist verboten, scharfe Gegenstände zu verwenden, um 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. Kabel- und Steckerschäden: Es ist verboten, die werkseitig installierten Kabel und Stecker des Moduls auf irgendeine Weise zu zerkratzen, zu durchtrennen, zu quetschen oder zu ziehen. Es ist verboten, Kabel und Stecker ohne ausreichenden Schutz über längere Zeit direkter Sonneneinstrahlung oder Wasser auszusetzen.
3. Unsachgemäße Handhabung und Druck: Es ist verboten, Module durch Greifen der Anschlussdose, der Ausgangsleitungen oder der Stecker anzuheben, zu tragen oder zu ziehen. Module müssen mit beiden Händen, die den Boden stützen, getragen werden. 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 Geräte zu verwenden, um zusätzliches Sonnenlicht oder künstliches Licht auf die Moduloberfläche zu konzentrieren.
5. Wassereintauchung und Stapelung: Es ist verboten, Module über längere Zeit oder dauerhaft in Umgebungen zu platzieren, in denen sich Wasser ansammeln kann oder sie kontinuierlich Feuchtigkeit ausgesetzt sind. Während aller Phasen der Lagerung, Handhabung und des Betriebs und der Wartung ist es verboten, Module mit der

Vorderseite nach unten zu platzieren, Module übereinander zu stapeln oder Drucklasten auf Module auszuüben.

6. Oberflächenfremdkörper und Verschattung: Es ist verboten, während des Betriebs und der Wartung Strukturklebstoff, Dichtmittel oder jegliche Fremdschubstanz auf die effektive Lichteinfallfläche der Modulzellen aufzutragen. Nach Abschluss des Betriebs und der Wartung müssen alle Ausgangsleitungen und Jumper-Kabel klar verlegt und zuverlässig gesichert werden. Es ist verboten, dass Leiter, Klemmen oder andere Gegenstände die effektive Lichteinfallfläche der Zellen verschatten.
7. Verschmutzungsquellen und Zündquellen: Es ist verboten, kontinuierliche Emissionsauslässe oder Abluftöffnungen für Öldämpfe, Staub oder chemisch korrosive Gase um die Module herum zu installieren. Es ist verboten, offene Flammenquellen oder brennbare und explosive Materialien in der Nähe der Module zu lagern.
8. Unsachgemäße Belastung: Nach Abschluss von O&M-Inspektionen ist es verboten, schwere Gegenstände, Werkzeuge oder Objekte mit scharfen Auflagepunkten auf der Moduloberfläche abzulegen, um langfristige spannungsbedingte Schäden zu vermeiden.
9. Lockerung verhindern: Module müssen stets in einem fest verschraubten Zustand bleiben, um allen potenziellen Lasten (einschließlich Wind- und Schneelasten) standzuhalten. Eine Lockerung von Modulen, die an Anschlusskabeln zieht und zu Isolationsfehlern, Stromlecks und Lichtbögen führt, stellt eine erhebliche Risikoquelle für verteilte PV-Systeme dar.
10. Demontageverbot: Es ist verboten, Module zu demontieren oder einzelne Komponenten von Modulen zu entfernen. Beschädigte Anschlussdosen und beschädigte Steckverbinder bergen sowohl potenzielle elektrische Gefahren als auch Schnittverletzungsrisiken.

3. O&M-Inspektionsspezifikationen

3.1 Allgemeine O&M-Anforderungen

3.1.1 Verschattungsprävention

Während der Installation und des Betriebs von leichten PV-Modulen ist eine lokale oder vollständige Schattenverschattung (einschließlich, aber nicht beschränkt auf Kabel, Anschlüsse, Entlüftungskapen, Überwachungsgeräte, Wechselrichter, Baumschatten, Brüstungen, Geländer usw.) strengstens verboten. Bei Inspektionen müssen neu auftretende Verschattungsquellen gründlich untersucht und umgehend beseitigt werden.

Nach Regen- oder Schneefällen muss die Moduloberfläche innerhalb von 24 Stunden überprüft werden, und 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 schwere lokale Verschattungen verursachen.

Befolgen Sie eine Kombination aus Routineinspektion und spezieller Prüfung. Führen Sie regelmäßig eine visuelle Überprüfung auf Verschattung durch Schmutz, Unversehrtheit des Moduläußeren und Zustand der Anschlussdose durch. Entfernen Sie umgehend lokale Verschattungsobjekte wie Oberflächenstaub und Vogelkot. Implementieren Sie wirksame Maßnahmen zur Verschattungsprävention und Staubansammlungsvermeidung für das Kraftwerk.

3.1.2 Sicherheitsinspektion der Montagestruktur

1. Strukturelle Klebeverbindungsmethode (SolarVela-Serie): Bei jeder Inspektion muss der Zustand der Klebebereiche überprüft werden, um festzustellen, ob Klebeöffnungen, Ablösungen, Eckenablösungen oder Kantenablösungen vorliegen. Konzentrieren Sie die Inspektion auf die Klebequalität an den vier Ecken und Kantenbereichen der Module. Alle festgestellten Anomalien sollten umgehend dokumentiert und für eine Reparatur eingeplant werden.
2. Klemm-/Befestigungsmethode (SolarNoah-Serie): 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.

3.1.3 Elektrische Sicherheitsinspektion

Konzentrieren Sie sich auf die Überprüfung der Anschlussdichtheit und Befestigung von PV-Steckverbindern und untersuchen Sie, ob Gleichstromkabel Anzeichen von Beschädigung, Alterung, Quetschung oder Spannung aufweisen.

Überprüfen Sie die Spezifikations- und Modellkonsistenz der PV-Steckverbinder. Wenn die verwendeten PV-Steckverbinder nicht in Spezifikation oder Modell mit den Originalsteckverbindern der PV-Module übereinstimmen, kann dies leicht zu übermäßigem Schnittstellenspiel und Versagen der Dichtungsstruktur führen, sodass externe Feuchtigkeit und Staub in den Steckverbinderhohlraum eindringen können, was zu Oxidation und Korrosion der internen Kontaktstifte, erhöhtem Kontaktwiderstand, abnormaler Erwärmung des Steckverbinders, Lichtbogendurchschlag und ernsthaften Sicherheitsrisiken führt.

Warnung: Auf der gesamten Gleichstromseite des gesamten PV-Systems – von den werkseitig installierten Ausgangskabeln der Module, über vor Ort gefertigte Brücken (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 Hotspots

Führen Sie regelmäßig Infrarot-Thermografie-Inspektionen durch. Bei geringfügigen Hotspots (Temperaturdifferenz < 20°C) führen Sie eine Nachverfolgungsüberwachung durch und dokumentieren Sie den Änderungstrend. Module mit schwerwiegenden Hochtemperatur-Hotspots (Temperaturdifferenz ≥ 20°C) müssen sofort außer Betrieb genommen und für den Austausch eingeplant werden. Vermeiden Sie den Modulbetrieb 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 -gegenstände

3.2.1 Routineinspektion (monatlich)

Eine umfassende Geräteprüfung des dezentralen PV-Stromerzeugungssystems ist mindestens einmal pro Monat durch geschultes Fachpersonal für Betrieb und Wartung durchzuführen. Während der Arbeiten muss das Inspektionpersonal stets gummierte Isolierhandschuhe und isolierte Sicherheitsschuhe tragen. Die Inspektion und Prüfung der PV-Module umfasst folgende Punkte:

- Ob die Lichteintrittsfläche der PV-Module sauber ist und ob Staubablagerungen, Vogelkot, Ölflecken oder andere Verunreinigungen sowie neue Verschattungen vorhanden sind
- Ob die Verbindungskabel zwischen den Modulen locker, verbrannt oder gealtert sind und ob die Kabelbinder in gutem Zustand sind
- Ob die Anschlussdosen der PV-Module sicher befestigt sind, die Deckel fest verschlossen und die Steckverbinder vollständig eingesteckt sind
- Ob die PV-Module Verformungen, Risse, Brüche, Verfärbungen, Delamination, Blasenbildung oder andere abnormale Zustände aufweisen
- Ob die Modulbefestigungselemente (Klemmen, Halterungen) locker sind und ob die Kleberebereiche von geklebten Modulen intakt sind
- Ob die Verbindungen zwischen den Montagegestellen der Modulreihen sicher sind und ob die Verbindung zwischen den Gestellen und dem Erdungssystem zuverlässig ist
- Über das Überwachungssystem prüfen, ob die Strom-, Spannungs- und Leistungsdaten jedes Strings innerhalb der normalen Bereiche liegen

3.2.2 Zusätzliche vierteljährliche Inspektionpunkte

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

- Mit einer Infrarot-Wärmebildkamera blockweise eine Hot-Spot-Scannung aller Module durchführen und ein Modultemperaturarchiv anlegen
- Prüfen, ob die Sicherungen, Leistungsschalter, Trennschalter und andere Schutzvorrichtungen der Anlage ordnungsgemäß funktionieren
- Prüfen, ob das Dachablaufsystem frei ist und ob um die Module herum Gefahr von Wasseransammlungen besteht
- Überprüfung des Blitzschutz- und Erdungssystems, Messung, ob die Erdungswiderstandswerte innerhalb des vorgegebenen Bereichs liegen (allgemein gefordert $\leq 4 \Omega$)
- Drehmoment-Nachprüfung von mindestens 10 % der elektrischen Verbindungspunkte

3.2.3 Zusätzliche jährliche Inspektionpunkte

Zusätzlich zur vollständigen Durchführung aller monatlichen und vierteljährlichen Inspektionpunkte ist einmal jährlich eine umfassende Tiefeninspektion durchzuführen:

- Durchführung von Leistungskennlinientests mit einem IV-Kurven-Tracer an jedem Strang oder an mindestens 30 % der Module
- Führen Sie eine EL-Prüfung (Elektrolumineszenz-Bildgebung) an Modulen mit abnormaler Leistungsdegradation durch, um interne Defekte zu erkennen
- Führen Sie eine umfassende Nachprüfung des Anzugsdrehmoments aller elektrischen Verbindungspunkte auf der DC-Seite durch
- Führen Sie eine umfassende Sicherheitsbewertung der Dachunterstützungsstruktur (Tragstruktur, Verankerungspunkte, Rostprüfung) durch
- Verwenden Sie einen Isolationswiderstandstester (DC 1000V-Bereich), um den String-Erde-Isolationswiderstand zu messen

- Erstellen Sie einen jährlichen O&M-Analysebericht, der die Betriebsdaten des Jahres und die Trends der Leistungsänderungen zusammenfasst

3.3 Sonderinspektionen

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

- Nach Gewitter: Überprüfen Sie mit einer Wärmebildkamera, ob die Anschlussdosen-Temperaturen von Modulen in Blitzschlagrisikobereichen abnormal erhöht sind; prüfen Sie, ob Blitzschutzeinrichtungen ausgelöst haben
- Nach Starkwind: Überprüfen Sie, ob PV-Modulklemmen und -Befestigungen abgefallen oder gelockert sind; ob Module durch starken Wind umgekippt oder verschoben wurden; ob das Dach stabil bleibt
- Nach Hagel/Schnee: Untersuchen Sie die Frontscheiben der PV-Module Block für Block auf Risse oder Bruch; prüfen Sie auf Modulverformungen durch Schneelast
- Nach Sandsturmwetter: Prüfen Sie, ob Sandeinschlagspuren auf den Moduloberflächen vorhanden sind; führen Sie umgehend Reinigungsarbeiten durch, um angesammelten Staub von der Oberfläche zu entfernen

4. Reinigung der PV-Module

4.1 Grundlegende Reinigungsanforderungen

PV-Module sollten während des Betriebs saubere Oberflächen aufweisen. Im Allgemeinen sollte mindestens einmal pro Monat gereinigt werden, wobei die Häufigkeit unter rauen natürlichen Umweltbedingungen angemessen erhöht werden sollte. 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. PV-Module müssen umgehend gereinigt werden, wenn sie sichtbar verschmutzt sind, um die photoelektrische Umwandlungseffizienz der Module sicherzustellen. Die Reinigung sollte durchgeführt werden, wenn eine der folgenden Bedingungen erfüllt ist:

- Die Sichtprüfung zeigt, dass die Lichteintrittsfläche des Moduls merklich verschmutzt ist und eine sichtbare Staubschicht aufweist
- Bei Verwendung eines hochpräzisen DC-Wattstundenzählers zur gleichzeitigen Echtzeitmessung der Energieausbeute von 2 zu reinigenden Strings und 2 bereits gereinigten Strings beträgt die Abweichung des Vergleichswerts $\geq 4\%$
- Die Leistungsabgabe des PV-Generators fällt unter 85 % des Ausgangszustands (Leistung nach Abschluss der letzten Reinigung)
- Die Überwachungsdaten des Kraftwerks zeigen einen Rückgang der Erzeugungleistung um mehr als 5 % gegenüber dem Normalniveau, und Gerätestörungen sowie meteorologische Faktoren wurden ausgeschlossen

4.2 Reinigungsmethoden

Es wird empfohlen, ein feuchtes weiches Tuch, einen Schwamm oder eine weiche Rolle zu verwenden, um Oberflächenverschmutzungen von ZKFN SOLAR Leichtbau-PV-Modulen zu entfernen. Bei hartnäckigen Flecken kann ein neutrales Reinigungsmittel (wie Glasreiniger, Neutralreiniger, Spülmittel) oder ein Tensid (Entfetter, Fleckenentferner) zur Unterstützung der Reinigung verwendet werden. Die Verwendung von Drahtbürsten, Stahlwolle, Metallschabern, harten Bürsten oder ähnlichen Werkzeugen als Reinigungsutensilien ist verboten.

Standard-Reinigungsablauf: Zuerst von oben nach unten mit sauberem Wasser abspülen, um losen Staub zu entfernen, dann vorsichtig mit einem weichen, mit sauberem Wasser oder neutraler Reinigungslösung angefeuchteten Tuch abwischen, und abschließend gründlich mit reichlich sauberem Wasser nachspülen und mit einem sauberen, weichen Tuch trockenwischen. Die Verwendung von korrosiven Lösungsmitteln zur Reinigung oder harten Gegenständen zum Abwischen von PV-Modulen ist verboten.

4.3 Reinigungszeitpunkt

Um künstliche Verschattung während der Reinigungsarbeiten zu vermeiden, die Hot-Spot-Effekte verursachen könnte, Erzeugungsverluste des PV-Kraftwerks zu reduzieren und die Sicherheit des Reinigungspersonals zu gewährleisten, sollte die Reinigung unter Vermeidung von Zeiten hoher Temperatur, starker Einstrahlung und optimaler PV-Erzeugungszeit durchgeführt werden. Um Stromschlagverletzungen des Reinigungspersonals und Schäden an den PV-Modulen durch die hohe Spannung und den hohen Strom des PV-Kraftwerks zu vermeiden, sollte die Reinigung in Zeiten durchgeführt werden, in denen die Einstrahlung unter 200 W/m^2 liegt, typischerweise am frühen Morgen, späten Nachmittag, in der Nacht oder an bewölkten Tagen.

4.4 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: $\leq 50 \text{ mg/L}$

Hinweis: Wo die Bedingungen es zulassen, sollte bevorzugt enthärtetes Wasser oder deionisiertes Wasser verwendet werden, um Kalkablagerungen auf der Moduloberfläche zu vermeiden.

4.5 Reinigungsvorsichtsmaßnahmen

Bei Reinigungsarbeiten sind die folgenden Sicherheits- und Betriebsspezifikationen strikt einzuhalten:

- Es ist strengstens verboten, für Reinigungsarbeiten auf die flexiblen Module der SolarVela-Serie (rahmenlos) zu treten
- Es ist strengstens verboten, dass Wasser auf die Modulrückseite und die Kabelverlegungsbereiche spritzt
- Reinigungsarbeiten sind bei schweren Wetterbedingungen wie Starkregen, starkem Schneefall, Sandstürmen und Hagel untersagt
- Vermeiden Sie äußere Krafteinwirkung und andere mechanische Stöße oder Druck auf die Module
- Es ist verboten, die Moduloberflächen mit Hochdruckgas oder Druckluft zu reinigen, um Schäden durch Winddruck zu vermeiden
- Vermeiden Sie erhebliche Temperaturunterschiede zwischen der Reinigungswassertemperatur und der Moduloberflächentemperatur (der Temperaturunterschied sollte $10 \text{ }^\circ\text{C}$ nicht überschreiten)
- Bei Reinigung mit Druckwasser wird ein Wasserdruck von $0,1 \sim 0,2 \text{ MPa}$ empfohlen
- Es ist jederzeit strengstens verboten, mit einem Hochdruckwasserstrahl aus nächster Nähe auf die Anschlussdosenfugen und Steckverbinder zu spritzen

- Es ist verboten, während der Modulreinigung auf Modulen zu gehen, zu stehen oder zu sitzen
- Die Anschlussdose der SolarVela-Serienmodule befindet sich auf der Vorderseite des Moduls; bei der Reinigung müssen Werkzeuge den Bereich der Anschlussdose meiden, um ein Ablösen der Dichtleiste oder Beschädigungen des Gehäuses zu vermeiden

4.6 Inspektion nach der Reinigung

Nach Abschluss der Reinigungsarbeiten sind folgende Inspektionen durchzuführen und schriftlich zu dokumentieren:

- Das Gesamterscheinungsbild der Module sollte optisch sauber und glänzend sein, frei von Rückständen und Wasserflecken
- Es sind keine neuen Kratzspuren oder durch Menschen verursachte Risse auf der Moduloberfläche vorhanden
- Module zeigen keine Neigung oder Verbiegung, und Anschlüsse zeigen kein Lösen oder Lockern
- Steckverbinder bleiben trocken und sauber, mit intakten Dichtringen
- Reinigungsdatum, Reinigungspersonal, Reinigungsumfang, Reinigungsmethode sowie Vergleichsdaten der String-Leistung vor und nach der Reinigung dokumentieren

5. Modulreparatur und -austausch

5.1 Allgemeine Austauschforderungen

Vor Modulaustauscharbeiten müssen potenzielle Risiken während des Arbeitsprozesses umfassend identifiziert werden (einschließlich, aber nicht beschränkt auf: Personenschnittverletzungen durch Werkzeughandhabung, Stürze aus großer Höhe, Stromschlaggefahr beim Trennen/Wiederherstellen von Stromkreisen sowie Splitterflug beim Entfernen alter Module usw.), und für jedes Risiko müssen spezifische Minderungsmaßnahmen entwickelt werden. Vor jedem Arbeitseinsatz muss eine „Sicherheitseinweisung vor Arbeitsbeginn“ durchgeführt werden. Der Arbeitsleiter erläutert allen teilnehmenden Personen den Tagesarbeitsinhalt, die spezifischen Aufgabenverteilungen, Sicherheitsvorkehrungen und Notfallverfahren. Schriftliche Aufzeichnungen sind anzufertigen und von allen Personen zu unterzeichnen, bevor mit der Arbeit begonnen werden darf.

Vor dem Austausch muss jedes neue Modul einzeln auf äußere Beschädigungen überprüft werden (Bestätigung, dass keine Oberflächenkratzer, Risse, Verformungen vorliegen und die Anschlüsse intakt und ohne Mängel sind). Die Modellbezeichnung, Nennleistung, elektrischen Parameter und andere Typenschildinformationen des Moduls müssen mit denen des alten Moduls auf Übereinstimmung geprüft werden, um die elektrische Kompatibilität zwischen alten und neuen Modulen sicherzustellen, bevor sie in Betrieb genommen werden können.

Es ist verboten, übermäßige Kraft zum Aufhebeln von Modulen anzuwenden, um Modulbruch oder Personenschäden zu vermeiden. Während des Entfernungsprozesses ist darauf zu achten, benachbarte Moduloberflächen und elektrische Anschlüsse vor Beschädigungen zu schützen. Abfallmodule, Glassplitter, beschädigtes Zubehör und andere Gegenstände müssen getrennt gesammelt und zentral gelagert werden. Beschädigte Module sind gemäß den Anforderungen zur Entsorgung von Gefahrstoffen fachgerecht zu entsorgen. Das willkürliche Wegwerfen oder Vermischen mit gewöhnlichem Bauschutt ist verboten.

Warnung: Beim Austausch von Modulen muss die Vorderseite des auszutauschenden Moduls vollständig mit lichtundurchlässigem Material (z. B. schwarzem Lichtschutztuch oder dicker Pappe) abgedeckt werden. Module, die Sonnenlicht ausgesetzt sind, erzeugen eine hohe Spannung, was extrem gefährlich ist.

5.2 Austauschverfahren für klebemontierte Module (SolarVela-Serie)

Gilt für flexible, anpassungsfähige Module der SolarVela-Serie. Die Austauschschritte sind wie folgt:

3. Planvorbereitung: Vor dem Modulaustausch ist ein Umsetzungsplan für den Austausch von Leichtbaumodulen zu erstellen, der den Arbeitsablauf, die Personalzuweisungen, Sicherheitsmaßnahmen und Qualitätsabnahmekriterien festlegt
4. Spannungsfreischaltungsbestätigung: Vor Arbeitsbeginn muss die entsprechende Stromversorgung des Kombinierekastens und des Wechselrichters für das Modul unterbrochen werden. An der Unterbrechungsstelle ist ein Warnschild „Nicht schalten, Personen arbeiten“ anzubringen. Nachdem ein zertifizierter Elektriker die Spannungsfreiheit mit einem Multimeter bestätigt hat, können die nachfolgenden Arbeiten beginnen
5. Modulabdeckung: Decken Sie die Vorderseite des auszutauschenden Moduls vollständig mit lichtundurchlässigem Material ab, um Lichteinfall zu blockieren
6. Elektrische Trennung: Verwenden Sie spezielle Entriegelungswerkzeuge, um die positiven und negativen Steckverbinder des Moduls zu trennen; kennzeichnen Sie die Kabelnummern.
7. Entfernung des alten Moduls: Verwenden Sie Werkzeuge wie Cuttermesser und Schaber, um den PV-spezifischen Strukturklebstoff entlang der Verbindungsfläche vorsichtig zu durchtrennen und das alte Modul schrittweise vom Dachuntergrund zu lösen. Achten Sie während des Vorgangs auf kontrollierte Kraft und Schnittwinkel, um Schäden an umliegenden Modulen und der Dachabdichtung zu vermeiden.
8. Reinigung des Untergrunds: Entfernen Sie gründlich restlichen Strukturklebstoff und Schmutz vom Dachuntergrund und stellen Sie sicher, dass die Klebefläche trocken, sauber und eben ist. Führen Sie bei Bedarf eine leichte Anschleifung der Untergrundoberfläche durch, um die Oberflächenrauheit wiederherzustellen.
9. Installation des neuen Moduls: Befolgen Sie strikt die standardisierten Verfahren im ZKFN SOLAR SolarVela & SolarNoah Series PV-Modul-Installationshandbuch für Klebstoffauftrag, Modulplatzierung, Andrücken mit der Walze und Positionierung.
10. Aushärtungsschutz: Während der Aushärtezeit des Strukturklebstoffs (Referenz-Aushärtezeiten: 24 Stunden bei 25°C~40°C, 48 Stunden bei 10°C~25°C, 72 Stunden bei 0°C~10°C) ist es strengstens untersagt, das Modul zu stören. Im Austauschbereich sind Schutzbarrieren und Warnschilder anzubringen.
11. Elektrische Anschlüsse: Nach vollständiger Aushärtung des Strukturklebstoffs die Steckverbinder gemäß der markierten Polaritätszuordnung (positiv/negativ) wieder anschließen und dabei auf ein hörbares Einrastgeräusch ("Klick") achten.
12. Inbetriebnahmetest: Entfernen Sie das Abdeckmaterial und schließen Sie den Schalter, um die Stromversorgung wiederherzustellen. Messen Sie die Ausgangsparameter des neuen Moduls und bestätigen Sie die Kompatibilität mit anderen Modulen im selben String.
13. Dokumentation und Archivierung: Dokumentieren Sie alle Informationen zum Austauschvorgang detailliert, einschließlich Austauschdatum, Austauschgrund, Seriennummern von altem und neuem Modul sowie Prüfdaten, ausführendes Personal usw.; aktualisieren Sie das O&M-Archiv der Anlage.

5.3 Austauschverfahren für klammerbefestigte Module (SolarNoah-Serie)

Gilt für starre Rückrahmenmodule der SolarNoah-Serie. Die Austauschschritte sind wie folgt:

1. Planerstellung: Vor dem Modulaustausch ist ein Implementierungsplan für den Austausch von klemmfixierten Modulen zu erstellen, der den Arbeitsablauf und die Sicherheitsmaßnahmen festlegt
2. Spannungsfreiheitsbestätigung: Wie Anforderung 2 des Verfahrens zum Austausch von Klebmodulen
3. Modulabdeckung: Wie Anforderung 3 des Verfahrens zum Austausch von Klebmodulen
4. Elektrische Trennung: Wie Anforderung 4 des Verfahrens zum Austausch von Klebmodulen
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 heben Sie das alte Modul vorsichtig von der Montagefläche ab. Achten Sie während des Vorgangs darauf, Kollisionen mit benachbarten 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 Zubehörteile zuerst repariert oder ersetzt werden
7. Installation des neuen Moduls: Positionieren Sie das neue Modul an der vorgesehenen Stelle und passen Sie die Randabstände gleichmäßig und einheitlich an. Montieren Sie die Klemmen der Reihe nach und ziehen Sie die M8-Schrauben gleichmäßig mit einem Drehmoment von 15–20 N·m an. Die Klemmen müssen auf dem vorgesehenen Lastbereich des Modulrahmens aufliegen und dürfen nicht auf der darüber liegenden aktiven Zellenfläche drücken
8. Elektrische Anschlüsse: Wie Anforderung 9 des Verfahrens zum Austausch von Klebmodulen
9. Einschalttest: Wie Anforderung 10 des Verfahrens zum Austausch von Klebmodulen
10. Aufzeichnungen und Archivierung: Wie Anforderung 11 des Verfahrens zum Austausch von Klebmodulen

5.4 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 sowie mit 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 eine Infrarot-Thermografie-Scanning des Bereichs des neu ausgetauschten Moduls durch, um das Fehlen abnormaler Erwärmungspunkte zu bestätigen

6. Häufige Fehlerdiagnose und Fehlerbehebung

6.1 Abnormale Modulleistungsdegradation

Fehlersymptome

Die Ausgangsleistung des Moduls ist deutlich niedriger als die Nennleistung, und die Leistungsdegradationsrate überschreitet den normalen Bereich, oder es tritt innerhalb kurzer Zeit ein unerwarteter schneller Leistungsabfall auf.

Fehlerursachenanalyse

- Langfristiger Betrieb von Modulen 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 einem kontinuierlichen Rückgang der Lichtdurchlässigkeit führen
- Interne Zellmikrorisse und unterbrochene Fingerkontakte 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 zu dauerhafter Zelldegradation führt
- Schlechter Steckerkontakt oder Kabelalterung, die zu einem abnormalen Anstieg des Serienwiderstands führen

Diagnose- und Fehlerbehebungsmethoden

- Verwenden Sie einen professionellen IV-Kennlinien-Tracer, um die tatsächliche Ausgangsleistung des Moduls zu messen und den Grad der Leistungsminderung sowie das abnormale IV-Kurvenmuster zu bestätigen
- Überprüfen Sie die Moduloberfläche sorgfältig auf Staub, Schmutz, Kratzer, Risse usw.; prüfen Sie, ob der Anschlusskasten intakt ist
- Verwenden Sie eine Infrarot-Wärmebildkamera, um zu prüfen, ob Hot-Spot-Effekte und abnormale Erwärmungspunkte vorhanden sind
- Führen Sie eine EL-Prüfung an Modulen durch, bei denen innere Defekte vermutet werden, um Mikrorisse, unterbrochene Gitterfinger, Kaltlötstellen usw. zu bestätigen
- Wenn durch Oberflächenstaub/Schmutzablagerungen verursacht → Reinigen Sie das Modul umgehend
- Wenn durch lokale Verschattung verursacht → Entfernen Sie die Verschattungsquelle und optimieren Sie die Umgebung des Moduls
- Wenn die interne Diode des Anschlusskastens beschädigt ist → Ersetzen Sie ihn durch einen Anschlusskasten desselben Modells (muss von autorisiertem ZKFN SOLAR-Personal durchgeführt werden)
- Wenn das Modul stark gealtert ist (Leistungsabfall über 20 %) oder irreversible innere Defekte aufweist → Ersetzen Sie das Modul
- Wenn das Modul noch innerhalb der Garanzzeit liegt und ein Produktqualitätsproblem bestätigt wurde → Beantragen Sie den Kundendienst gemäß den Garantieverfahren

6.2 Hot-Spot-Effekt des Moduls

Fehlersymptome

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

Fehlerursachenanalyse

- Lokale Verschattungsobjekte auf der Moduloberfläche (Blätter, Vogelkot, Staubansammlungen, Gebäudeschatten usw.); verschattete Zellen wechseln von Stromerzeugungseinheiten zu stromverbrauchenden Lasten, verbrauchen die von benachbarten normalen Zellen erzeugte elektrische Energie und bilden lokale Überhitzungen

- Leistungsminderung einzelner Zellen im Modul (Wirkungsgradabfall, erhöhter Serienwiderstand), wodurch eine elektrische Fehlanpassung zu anderen normalen Zellen im selben String entsteht
- 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

Behandlungs- und Präventionsmaßnahmen

Sofortmaßnahme: Verschattungsobjekte sofort von der Moduloberfläche entfernen; Module mit schweren Hotspots spannungsfrei schalten und isolieren, um eine Eskalation des Fehlers zu verhindern.

Abgestufte Maßnahmen:

- Leichte Hotspots (Temperaturdifferenz $< 20^{\circ}\text{C}$) ohne sichtbare innere Schäden → Nach Entfernen der Verschattungsobjekte weiterverfolgen und überwachen
- Mittelschwere Hotspots (Temperaturdifferenz $20 \sim 40^{\circ}\text{C}$) → Empfehlung, einen Austauschplan zu erstellen und den Austausch beim nächsten geplanten Stillstand durchzuführen
- Schwere Hotspots (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 des Modul-Arrays sollten Layouts rational geplant werden, um eine Verschattung zwischen den Modulen zu vermeiden. Entfernen Sie regelmäßig Vegetation und Schmutz um die Module herum, die Schattenquellen bilden könnten. Führen Sie vierteljährlich umfassende Infrarot-Thermografie-Inspektionen durch und erstellen Sie ein Archiv mit den Temperatur-Basisdaten der Module.

6.3 Modulverdrahtungs- und Steckverbinderfehler

Fehlersymptome

Instabile oder vollständig fehlende Modul-Ausgangsspannung und -strom; abnormal erhöhte Temperaturen an Anschlüssen und Steckverbindern (heiß bei Berührung oder Hotspots in der Infrarot-Thermografie sichtbar); Oxidationsverfärbungen und Lichtbogenbrandspuren auf den Anschlussoberflächen; in schweren Fällen Schmelzen und Verformung der Steckverbinder-Kunststoffgehäuse mit verbranntem Geruch.

Fehlerursachenanalyse

- Steckverbinder nicht vollständig eingerastet, was zu erhöhtem Kontaktwiderstand und lokaler Erwärmung führt
- Dichtungsversagen des Steckverbinders (Dichtring gealtert, beschädigt oder gelöst), wobei Feuchtigkeit und Staubeintritt zu Stiftoxidation und Korrosion führen
- Stecker und Buchsen stammen von verschiedenen Herstellern oder unterschiedlichen Modellreihen, was zu großen Passungstoleranzen an der Schnittstelle und unzuverlässigem Kontakt führt
- Ausgangskabel mit gealterter, rissiger und beschädigter Isolationsschicht durch Langzeiteinwirkung, was zu Stromlecksagen oder Kurzschlüssen führt
- Verdrahtungsfehler (wie vertauschte Plus- und Minuspole) oder falsche String-Verdrahtungstopologie

- Steckverbinder unter längerer Kabelzugbelastung, was zu innerer Stiftlockerung führt

Fehlerbehebungsverfahren

- Sichere Spannungsfreischaltung: Zuerst die entsprechende Kombinatorbox und Wechselrichter-Stromversorgung trennen, Spannungsfreiheit mit einem Multimeter bestätigen und Warnschilder "Nicht schalten" anbringen
- Fehlerortung: Mit einem Multimeter nacheinander Durchgang, Spannung und Kontaktwiderstandswerte an jedem Anschluss prüfen, um den Fehlerpunkt zu lokalisieren
- Lockerer Anschluss → Mit Spezialwerkzeug auf das vorgeschriebene Drehmoment nachziehen
- Anschluss-Oxidation/Korrosion → Beschädigten Abschnitt abtrennen und durch einen neuen Steckverbinder desselben Modells und derselben Spezifikation ersetzen
- Steckverbinder-Modellinkompatibilität → Alle Steckverbinder durch ZKFN SOLAR-zertifizierte passende Modelle ersetzen
- Kabelbeschädigung → Durch PV-spezifisches DC-Kabel derselben Spezifikation ersetzen, wobei Drahtquerschnitt und Spannungsfestigkeit dem Original entsprechen müssen
- Verdrahtungsfehler → Gemäß den korrekten Plus-/Minuspol-Markierungen und dem String-Verdrahtungsplan neu verdrahten
- Wiederherstellung und Überprüfung: Nach Abschluss der Verkabelung die Stromversorgung wiederherstellen, die Leerlaufspannung des Strings, den Kurzschlussstrom und den Betriebsstrom messen und bestätigen, dass der Fehler behoben wurde und die Parameter normal sind

6.4 Fehlerdiagnose auf Wechselrichter- und String-Ebene

Fehlersymptome

Das Überwachungssystem zeigt dauerhaft niedrige oder keine Ausgangsleistung für einen bestimmten String an; 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 Nummer des fehlerhaften Strings und die entsprechende physische Position über die Überwachungsplattform
- Schritt 2: Messen Sie unter sicheren, spannungsfreien Bedingungen die Leerlaufspannung (Voc) des Strings und vergleichen Sie sie 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-Kurventests und EL-Inspektionen an dem identifizierten problematischen Modul durch, bestimmen Sie die Fehlerart und ergreifen Sie entsprechende Behandlungsmaßnahmen

7. Notfallmaßnahmen

7.1 Notfallmaßnahmen bei elektrischem Leck eines Moduls

Bei Feststellung eines elektrischen Leckalarms oder eines vermuteten Lecks an einem Modul muss das Betriebs- und Wartungspersonal unverzüglich die folgenden Maßnahmen durchführen:

- Notfall-evakuierung von Personal: Den Leckbereich sofort verlassen; das leckende Modul und umliegende Metallteile nicht berühren; gleichzeitig andere Personen am Betreten des Bereichs hindern
- Sichere Spannungsfreischaltung: Zertifizierte Fachkräfte mit Isolierhandschuhen der entsprechenden Spannungs-kategorie trennen mit einem isolierten Schaltstab die Stromversorgung des zugehörigen Kombinator- und Wechselrichters und bringen Warnschilder an
- Fehlererkennung: Mit einem Isolationswiderstandsmessgerät den Isolationswiderstand des leckenden Strings abschnittsweise messen; mittels der abschnittswise-n Eliminationsmethode das leckende Modul lokalisieren
- Ursachenermittlung: Das leckende Modul auf Bedingungen wie Wassereintritt in der Anschlussdose, Dichtungsfehler des Steckers, Kabelisolationsschäden und Rückseitenfolienschäden überprüfen
- Reparaturmaßnahmen: Das defekte Modul, beschädigte Kabel oder Stecker je nach Leckageursache ersetzen. Nach Abschluss der Reparatur den Isolationswiderstand erneut messen, um die Wiederherstellung auf akzeptable Werte zu bestätigen
- Wiederinbetriebnahme: Erst nach Bestehen aller Tests dürfen die Warnschilder entfernt und die Stromversorgung wiederhergestellt werden. Nach der Wiederinbetriebnahme ist eine kontinuierliche Überwachung für mindestens 1 Stunde durchzuführen, um das Fehlen von Anomalien zu bestätigen

7.2 Notfallmaßnahmen bei Modulbrand

Die Feuerbeständigkeit der leichten PV-Module der Serien ZKFN SOLAR SolarVela und SolarNoah hat die Prüfung und Zertifizierung nach UL790 Klasse C (Underwriters Laboratories Standard für Brandprüfungen von Dachabdeckungen) bestanden. Diese Einstufung bedeutet, dass die Module in simulierten Brandszenarien eine gute Feuerbeständigkeit aufweisen, einschließlich einer begrenzten Flammenausbreitungsrate, einem geringen Risiko brennender Schmelztropfen und der Einhaltung strenger Feuerwiderstandsanforderungen.

Sollte es an einem Betriebs- und Wartungsstandort zu einem Modulbrand kommen, sind folgende Verfahren einzuhalten:

- Die Hauptstromversorgung des PV-Modulararrays (sowohl DC- als auch AC-seitige Stromversorgung) sofort trennen, um eine Brandausbreitung und Stromschlagunfälle zu verhindern.
- Wenn der Brand klein ist und die Sicherheitsbedingungen es zulassen, einen Trockenpulverlöscher oder Kohlendioxidlöscher verwenden, um den Brand an der Quelle zu unterdrücken. Es ist strengstens verboten, Wasser oder Schaum zur direkten Brandbekämpfung zu verwenden, um das Risiko eines Stromschlags zu vermeiden.
- Wenn der Brand zu groß ist, um ihn eigenständig zu löschen, sofort die 119 anrufen, um den Brand zu melden, und der Feuerwehr wichtige Informationen wie "PV-Kraftwerksbrand, DC-Hochspannungsgefahr" klar mitteilen und das gesamte Personal in einen sicheren Bereich evakuieren.
- Nachdem der Brand gelöscht ist, eine systematische Untersuchung der Brandursache durchführen, den Schadensgrad jedes Moduls und der elektrischen Ausrüstung bewerten und den Brandvorfallanalyse- und Wiederherstellungsplan erstellen.

- Erst nachdem bestätigt wurde, dass alle Sicherheitsrisiken beseitigt wurden (Struktursicherheit, elektrische Isolierung und Modulintegrität), darf das Kraftwerk gemäß dem Wiederherstellungsplan schrittweise wieder in Betrieb genommen werden.

7.3 Notfallmaßnahmen bei Naturkatastrophen

7.3.1 Starkregen/Überschwemmung

- Vor Eintreffen eines Starkregens prüfen, ob das Entwässerungssystem des Modularrays frei ist, und Ablagerungen an den Abläufen beseitigen.
- Verlegen Sie wichtige Anlagen im Kraftwerk (wie Überwachungsserver, Wechselrichter) an höher gelegene Standorte oder ergreifen Sie wasserdichte Schutzmaßnahmen
- Stellen Sie während des Starkregens sämtliche O&M-Arbeiten im Freien ein. Bei Überschwemmungen im Kraftwerk trennen Sie sofort alle Stromversorgungen
- Nach dem Rückgang des Hochwassers führen Sie eine Trocknungsbehandlung, Reinigung und Isolationsprüfung an allen wassergeschädigten Modulen, Kabeln, Steckverbindern und elektrischen Geräten durch. Erst nach Bestätigung, dass keine Sicherheitsrisiken bestehen, kann der Betrieb schrittweise wieder aufgenommen werden

7.3.2 Starker Wind/Taifun

- Überprüfen Sie vor dem Eintreffen starker Winde umfassend den Befestigungszustand von Modulklemmen und Halterungen und ziehen Sie lose Schrauben nach
- Entfernen Sie lose Gegenstände rund um das Modulfeld, die vom Wind leicht erfasst werden könnten
- Schalten Sie während des Taifuns die Stromversorgung des Kraftwerks ab und evakuieren Sie sämtliches Personal in einen sicheren Bereich
- Überprüfen Sie nach dem Windereignis umfassend, ob Gestelle und Module Verformungen, Verschiebungen, Beschädigungen oder andere Zustände aufweisen. Reparieren Sie beschädigte Bereiche und starten Sie das Kraftwerk erst nach bestandener umfassender Prüfung wieder

7.3.3 Schneesturm/Niedrige Temperaturen

- Entfernen Sie während eines Schneesturms regelmäßig mit einem weichen Schneeschaber (Silikon- oder Gummimaterial) angesammelten Schnee von den Moduloberflächen, um Schneeverdeckung oder Modulverformung durch übermäßige Schneelast zu verhindern
- Prüfen Sie bei niedrigen Umgebungstemperaturen, ob Steckverbinder und Anschlüsse Anzeichen von Vereisung aufweisen. Falls Vereisung aufgetreten ist, warten Sie das natürliche Auftauen und die vollständige Trocknung ab, bevor Sie Arbeiten durchführen, um durch Vereisung verursachte schlechte Kontakte oder Betriebsschäden zu vermeiden.
- Es ist strengstens verboten, bei der Schneeräumung auf die flexiblen Module der SolarVela-Serie zu treten. Das Betreten von SolarVela-Flexmodulen kann leicht irreversible Schäden wie Risse in der Rückseitenfolie und Mikrorisse in den Zellen verursachen und gleichzeitig die Abdichtungsleistung des Moduls beeinträchtigen, was zu Folgeschäden wie Feuchtigkeitseintritt und Kurzschlüssen führen kann.
- Reinigungswerkzeuge dürfen nicht mit den Anschlussdosen in Kontakt kommen. Die Anschlussdose der SolarVela-Serienmodule befindet sich auf der Vorderseite des Moduls. Wenn Werkzeuge während der Reinigung mit der Anschlussdose in Kontakt kommen, kann dies leicht zu einer Ablösung der Dichtleiste, Gehäuseschäden oder Lockerung der internen Anschlüsse und schlechtem Leitungs kontakt führen, was wiederum

Sicherheitsrisiken wie Stromlecks und Leitungsbrüche verursachen kann. Während der Arbeiten muss der Reinigungsbereich der Werkzeuge kontrolliert werden, um den Bereich der Anschlussdose zu meiden. Bei Bedarf kann eine kleine weiche Borstenbürste verwendet werden, um eine geringe Schneemenge um die Anschlussdose separat zu entfernen.

7.4 Notfallmaßnahmen bei Blitzeinschlag

Die Gewittersaison ist eine Hochrisikoperiode für Blitzeinschläge in PV-Kraftwerken. Wenn das Überwachungssystem eine weit verbreitete Unterbrechung der Modulkommunikation, Auslösung von Wechselrichtern oder eine Sichtprüfung vor Ort offensichtliche Blitzeinschlagsspuren an Modulen (wie Durchschlag der Anschlussdose, Lichtbogenverbrennungen auf der Moduloberfläche) zeigt, sind sofort die folgenden Verfahren einzuleiten:

- Unterbrechen Sie sofort alle Stromversorgungen des Kraftwerks; das Personal muss sich umgehend in einen sicheren Innenbereich begeben.
- Nach dem Abklingen des Gewitters führen Sie eine umfassende Inspektion des Blitzschutz- und Erdungssystems durch: Überprüfen Sie die Erdungsableiter auf Brüche oder Schmelzschäden; messen Sie, ob der Erdungswiderstand noch den Konstruktionsanforderungen entspricht (in der Regel $\leq 4\Omega$ erforderlich).
- Überprüfen Sie das Erscheinungsbild der Module Block für Block; verwenden Sie eine Infrarot-Wärmebildkamera, um nach abnormalen Erwärmungspunkten zu suchen.
- Messen Sie den Isolationswiderstand und die IV-Kennlinien der vom Blitzschlag betroffenen Strings; ersetzen Sie Module, die durchgeschlagen wurden oder eine stark verschlechterte Leistung aufweisen.
- Überprüfen Sie, ob die Überspannungsschutzgeräte (SPDs) in den Wechselrichtern und Kombinationskästen ausgelöst oder beschädigt wurden; falls beschädigt, müssen sie umgehend ersetzt werden.

8. O&M-Aufzeichnungen und Archivmanagement

8.1 O&M-Aufzeichnungsmanagementsystem

Die Vollständigkeit und Genauigkeit von O&M-Aufzeichnungen bilden die Grundlage für das Anlagenmanagement von Kraftwerken, Garantieansprüche, Leistungsbewertung und Fehlerverfolgung. Es wird empfohlen, Archivmanagementprinzipien zu etablieren, die "den gesamten Lebenszyklus abdecken, duale elektronische und Papiersysteme nutzen und gleichermaßen Wert auf Sicherheit und Nutzung legen". Durch standardisierte Aufzeichnungserfassung und reguliertes Archivmanagement werden Rückverfolgbarkeit von O&M-Prozessen, Lokalisierbarkeit von Problemen und Unterstützbarkeit von Entscheidungen erreicht, wodurch ein geschlossener Managementkreislauf von "Aufzeichnung – Archivierung – Nutzung – Optimierung" entsteht.

O&M-Personal hat für jede O&M-Aktivität die relevanten Informationen detailliert zu erfassen, die folgende Kategorien umfassen:

- Inspektionsaufzeichnungen: Erfassung von Inspektionsdatum, Inspektionspersonal, Inspektionsumfang, Inspektionsergebnissen (Modulzustand, Betriebsparameterdaten, identifizierte Probleme und Vor-Ort-Behandlung), Nachverfolgung ungelöster Probleme
- Reinigungsaufzeichnungen: Erfassung von Reinigungsdatum, Reinigungspersonal, Reinigungsumfang, Reinigungsmethode, Wasserverbrauch und -qualität, repräsentative String-Leistungsvergleichsdaten vor und nach der Reinigung

- Fehlerbehandlungsaufzeichnungen: Erfassung von Fehlerauftrittsdatum, Fehlermodul-Seriennummer und -Position, Fehlersymptombeschreibung, Fehlerursachenanalyse, spezifische Behandlungsmethoden und -schritte, Behandlungsergebnisse, Unterschrift des Reparaturpersonals, Liste der für die Reparatur verwendeten Materialien und Ersatzteile
- Modulaustauschaufzeichnungen: Erfassung von Austauschdatum, Informationen zum alten Modul (Seriennummer, Modell, Betriebsjahre, Fehlertyp), Informationen zum neuen Modul (Seriennummer, Modell, anfängliche elektrische Leistungstestdaten), Austauschpersonal
- Notfallmaßnahmenaufzeichnungen: Erfassung von Zeitpunkt und Ort des Notfallvorfalls, Vorfalltyp und Schweregrad, spezifische Notfallmaßnahmen und Ausführungsprozess, Maßnahmenergebnisse und anschließende Folgenabschätzung, beteiligtes Personal
- Spezielle Prüfaufzeichnungen: Erfassung von Datum, Umfang, Methode, Rohdaten und Analyseergebnissen spezieller Prüfungen wie IV-Kurvenmessung, EL-Inspektion, Infrarot-Thermografie-Scanning und Isolationswiderstandsprüfung

8.2 Archivklassifizierung und Ablagesystem

Für die Archivverwaltung wird empfohlen, ein vierstufiges Klassifizierungssystem nach dem Schema „Hauptklassifizierung – Sekundärklassifizierung – Dateigruppe – Dokument“ zu verwenden:

- Grundlegende Archivkategorie: Enthält Modulfabrikdokumentation (Konformitätsbescheinigung, Werksprüfbericht, technische Parameterliste), Beschaffungsverträge, Garantievereinbarungen, System-As-Built-Zeichnungen, Abnahmeberichte usw.
- O&M-Prozessarchivkategorie: Fasst die oben genannten verschiedenen O&M-Aufzeichnungen zusammen, wobei die Dateigruppen nach „Jahr – O&M-Typ – Bereich“ organisiert sind. Inspektionsaufzeichnungen sind täglich zusammenzufassen und monatlich zu binden; Störungsbehandlungsaufzeichnungen sind separat als „Ein Fall, eine Akte“ zu führen, einschließlich unterstützender Materialien wie Prüfberichte, Vergleichsfotos vor und nach der Reparatur.
- Leistungsüberwachungsarchivkategorie: Speichert separat professionelle Prüfdaten wie IV-Kurvenmessungen, EL-Inspektionen und Hot-Spot-Scans. Erstellen Sie ein „Modulspezifisches Leistungsregister“, das nach Modulseriennummer indiziert ist, und zeichnen Sie die wichtigsten Leistungsdaten an jedem Prüfpunkt während des gesamten Lebenszyklus auf. Erstellen Sie jährlich den Modulleistungsdegradationsanalysebericht.
- Compliance-Management-Archivkategorie: Enthält Kopien von O&M-Personalqualifikationszertifikaten, Kalibrierzertifikaten von Prüfgeräten, Recycling- und Entsorgungszertifikaten für Abfallmodule, behördlichen Inspektionsaufzeichnungen der Branche, Sicherheitsschulungsaufzeichnungen usw., um sicherzustellen, dass O&M-Aktivitäten vollständig konform und während des gesamten Prozesses rückverfolgbar sind.

8.3 Jährlicher O&M-Bericht

Jährlich ist ein umfassender jährlicher O&M-Analysebericht für das PV-Kraftwerk zu erstellen und einzureichen. Der Bericht muss mindestens die folgenden Inhalte enthalten:

Jährlich ist ein umfassender jährlicher O&M-Analysebericht für das PV-Kraftwerk zu erstellen und einzureichen. Der Bericht muss mindestens die folgenden Inhalte enthalten:

- Jährliche Stromerzeugungstatistik und vergleichende Analyse mit den Planwerten und dem gleichen Zeitraum des Vorjahres
- Zusammenfassung der jährlichen Inspektions- und Reinigungsvorgänge (Anzahl der Inspektionen, Anzahl der Reinigungen, Anzahl und Art 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 O&M-Kostenstatistik sowie O&M-Plan- und Budgetempfehlungen für das Folgejahr
- Wichtige Schwerpunkte und Verbesserungsempfehlungen für das Folgejahr

9.1 Häufig gestellte Fragen (FAQ)

F1: In welchem Intervall sollten die leichten PV-Modulprodukte von ZKFN SOLAR gewartet werden? Welche Hauptpunkte sind zu prüfen?

A: Es wird empfohlen, mindestens einmal pro Monat eine umfassende Inspektion und Wartung durchzuführen, um die Betriebsleistung aller Module sowie die Sicherheit und Zuverlässigkeit des elektrischen Systems zu überprüfen. Die Module sollten mindestens einmal pro Monat gereinigt werden, um die PV-Stromerzeugungseffizienz sicherzustellen. Zu den Hauptprüfungspunkten gehören: ob die Moduloberfläche Beschädigungen aufweist; ob die elektrischen Verbindungen fest sind; ob Anschlussdosen und Steckverbinder intakt sind; ob die Moduloberflächen sauber und frei von Verschattung sind; ob die Montagestützkonstruktionen stabil sind; ob das Blitzschutz- und Erdungssystem normal funktioniert; ob das Überwachungssystem ordnungsgemäß arbeitet; und ob das PV-System eine anormale Leistungsabgabe aufweist.

F2: Wenn eine geringe Menge Staub auf der Moduloberfläche erscheint, aber der Reinigungsauslöseschwellenwert eines Leistungsabfalls von 5 % noch nicht erreicht ist, 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 vorzuziehen, um zu verhindern, dass langfristige Staubansammlungen zu einer Kruste aushärten, was die spätere Reinigung erschwert und die Lichtdurchlässigkeit kontinuierlich 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 zum Abspülen oder Übergießen von vereisten Modulen zu verwenden. Starke Temperaturunterschiede zwischen Kälte und Wärme verursachen Thermoschockbelastungen für die Modulplatte und die Verkapselungsmaterialien, was möglicherweise zu Modulbruch oder Versagen der Verkapselungsschicht führt. 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 Oberflächeneis vorsichtig zu entfernen. Nachdem das Eis

vollständig geschmolzen und die Moduloberfläche trocken ist, überprüfen Sie das Modul auf Anzeichen von Wassereintritt oder Beschädigung.

F4: Dürfen die flexiblen Module der Serien SolarVela & SolarNoah zum Reinigen oder Warten betreten werden?

A: Nein. Die Serien SolarVela und SolarNoah sind flexible Solarmodule. Jegliches Betreten kann irreversible Schäden wie einen Riss der Rückfolie und Mikrorisse in den Solarzellen verursachen. Zudem wird die Dichtleistung der Module beeinträchtigt, was Folgeschäden wie Feuchtigkeitseintritt und elektrische Kurzschlüsse nach sich zieht. Bei Reinigungs- und Wartungsarbeiten müssen spezielle Laufbrücken verwendet werden, und der Zugang darf nur über den Randbereich der Module erfolgen.

F5: Wenn die Leistungsdegradation des Moduls den normalen Bereich überschreitet, das Modul sich aber noch innerhalb der Garantiezeit befindet, wie beantrage ich den Kundendienst?

A: Organisieren Sie zunächst das vollständige Betriebs- und Wartungsarchiv für das Modul (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 Garantiezeit mit den relevanten Nachweisen ein. ZKFN SOLAR wird autorisiertes technisches Personal 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.

F6: Der Anschlusskasten der SolarVela-Serie befindet sich auf der Vorderseite des Moduls. Welche besonderen Vorsichtsmaßnahmen sind bei der Reinigung zu beachten?

A: Der Anschlusskasten der Module der SolarVela-Serie befindet sich auf der Vorderseite (Lichteinfallseite) des Moduls, was ein strukturelles Merkmal seines flexiblen Verkapselungsdesigns ist. Bei Reinigungsarbeiten ist besonders zu beachten: Reinigungswerkzeuge (weiches Tuch, Walze, Wasserabzieher) müssen den Bereich des Anschlusskastens meiden, um zu verhindern, dass Werkzeugstöße zum Ablösen der Anschlusskasten-Dichtleiste, Gehäuseschäden oder Lockerung der internen Anschlüsse führen. Es wird empfohlen, eine kleine weiche Bürste zu verwenden, um eine kleine Menge Staub um den Anschlusskasten separat zu reinigen. Es ist jederzeit strengstens verboten, einen Hochdruckwasserstrahl auf den Anschlusskasten und seine Nähte zu richten.

9.2 Checkliste für gängige Betriebs- und Wartungswerkzeuge und -instrumente

Im Folgenden werden empfohlene gängige Werkzeuge und Testinstrumente für den Betrieb und die Wartung von PV-Kraftwerken aufgeführt:

- Digitalmultimeter (CAT III 1500V Nennspannung) — Messung von DC-Spannung, -Strom und Durchgang
- Zangen-DC-Amperemeter — Messung des String-Betriebsstroms ohne Unterbrechung des Stromkreises
- IV-Kennlinienmessgerät — Messung der Strom-Spannungs-Kennlinie von Modulen/Strings; Diagnose von Leistungsminderungen
- Infrarot-Wärmebildkamera — Erkennung von Hotspots, Untersuchung von Erwärmungspunkten an Steckverbindern und Anschlussklemmen
- Isolationswiderstandsmessgerät (DC 500V/1000V Bereiche) — Messung des Isolationswiderstands von Strings gegen Erde

- EL-Prüfgerät — Erkennung interner Defekte wie Zellmikrorisse, unterbrochene Fingergitter und Kaltlötstellen
- Drehmomentschlüssel (0~30 N·m) — Überprüfung des Anzugsdrehmoments von elektrischen Verbindungen und Klemmbolzen
- Spezialwerkzeuge für MC4-Steckverbinder (Demontage/Montage) — Sicheres Trennen und Verbinden von Steckverbindern
- Erdungswiderstandsmessgerät — Periodische Prüfung von Blitzschutz- und Erdungssystemen
- PV-spezifisches Reinigungsset (Weichwalze, Mikrofasertuch, Abzieher für Weichwasser, weiche Bürste usw.)

9.3 Technischer Support und Kontaktinformationen

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

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

Offizielle Website: www.zkfnsolar.com

Produktionsstandort: 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 auf der Grundlage von Modultechnologie-Upgrades, Aktualisierungen von Industriestandards und Benutzerfeedback überarbeiten und verbessern. Überarbeitete Versionen werden über das Download-Center der offiziellen Website veröffentlicht und registrierten Benutzern per E-Mail und über andere Kanäle mitgeteilt. Benutzer können die neueste Version kostenlos erhalten. Wenn Benutzer bei der Verwendung dieses Handbuchs Probleme feststellen oder Verbesserungsvorschläge haben, können sie eine E-Mail an tech-support@zkfnsolar.com senden. Wir werden diese umgehend prüfen und in den Revisionsplan 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)