

Photovoltaik-Anlagen auf Dächern mit brennbaren Baustoffen



Zusammenfassung

Diese Publikation beschreibt mögliche Gefahren bei der Installation von Photovoltaik-Anlagen (PV-Anlagen) auf Dachflächen mit brennbaren Baustoffen und wie man die damit verbundenen Risiken mindern kann. Bei Neuanlagen können alternative Maßnahmen zur Erreichung des Schutzziels recht einfach umgesetzt werden – bei Anlagen im Bestand kann es aufwendiger sein. Aber hier bieten sich auch gute Möglichkeiten an, wenn z. B. Wechselrichter getauscht werden sollen.

Von daher sprechen diese Richtlinien nicht nur Planer, Errichter und Betreiber an, sondern ebenso Investoren, die in PV-Anlagen investieren wollen. Der Versicherungswirtschaft sollen sie eine Hilfe bei der Beurteilung von Risiken sein und ggf. Möglichkeiten für eine Versicherbarkeit derselben aufzuzeigen.

Quelle Titelbild: VGH

Die vorliegende Publikation ist unverbindlich. Die Versicherer können im Einzelfall auch andere Sicherheitsvorkehrungen oder Installateur- oder Wartungsunternehmen zu nach eigenem Ermessen festgelegten Konditionen akzeptieren, die diesen technischen Spezifikationen oder Richtlinien nicht entsprechen.

Photovoltaik-Anlagen auf Dächern mit brennbaren Baustoffen

Inhalt

Zusammenfassung	2
0 Geltungsbereich	4
1 Situationsbeschreibung	4
2 Ausführungen von PV-Anlagen und Dächern	4
2.1 PV-Anlagen	4
2.2 Dächer	5
3 Übersicht von Maßnahmen zur Risikominimierung	6
4 Normative Anforderungen an PV-Anlagen	6
Anhang A	
Übersicht von unterschiedlichen Dachaufbauten mit einer Beurteilung ihrer Brandeigenschaften	8
Anhang B	
Mögliche Defekte an PV-Komponenten, die zu einer Brandgefahr führen können	9

0 Geltungsbereich

Diese Publikation gilt für PV-Anlagen auf Dächern mit brennbaren Baustoffen von Industrie-, Gewerbe- und Kommunalen Objekten.

1 Situationsbeschreibung

Im Fehlerfall geht von jeder elektrischen Anlage oder jedem elektrischen Betriebsmittel eine Brandgefahr aus. Produkt- und Errichtungsnormen sowie die in der EU geltenden Sicherheitsstandards sorgen dafür, dass die Verwirklichung der Gefahr unterhalb eines akzeptierten Risikos (Grenzrisiko) verbleibt und man von einer vorhandenen Sicherheit ausgehen darf. Erfahrungen zeigen aber auch, dass beispielsweise aufgrund von mangelhaften Produkten, Fehlern beim Planen und Errichten von Anlagen, Alterung oder besonderen Einflüssen von außen, nicht bestimmungsgemäßen Gebrauch, Brände durch elektrische Betriebsmittel verursacht werden.

Ein Dachaufbau von Industrie-, Gewerbe- oder kommunalen Objekten enthält in der Regel brennbare Baustoffe, wie z. B. Dämmstoffe oder Abdichtungen. Eine PV-Anlage muss im Fehlerfall als Zündquelle angesehen werden. Durch den Aufbau einer PV-Anlage auf einem Dach erhöht sich das Brandrisiko für das Gebäude. Auch die Module, Leitungen und Befestigungselemente aus Kunststoff stellen eine Brandlast dar. Sind diese Anlagen außerhalb des Schutz- und Überwachungsbereiches von Lösch- und Brandmeldeanlagen installiert, müssen sie besonders kritisch beurteilt werden.

In den vergangenen Jahren kam es immer wieder zu Dachbränden, ausgelöst durch PV-Anlagen. Zum Fall eines Brandes in Wittmund am 02.06.2013 traf das OLG Oldenburg im Urteil 13 U 20/17 folgende Feststellung:

„Eine Dach-Photovoltaikanlage muss so installiert werden, dass eine sichere Trennung zwischen den elektrischen Komponenten als Zündquellen und der Dachoberfläche als Brandlast gewährleistet ist. Andernfalls muss die Montage unterbleiben. [...] Die Beklagte [Elektrofachbetrieb, Errichter] haftet daher für den entstandenen Schaden.“

Damit stellt sich grundsätzlich die Frage, ob PV-Anlagen auf den (Flach-)Dächern von Industrie- und Gewerbegebäuden oder kommunalen Einrichtungen errichtet werden dürfen. Festzustellen ist, dass diese Anlagen in großer Zahl vorhanden sind und weiter errichtet werden. Ausführungen in

baurechtlichen Verordnungen und Normen geben keine abschließenden Antworten. Was aber immer gilt ist, ein Brand benötigt Sauerstoff (immer vorhanden), eine Zündquelle (PV-Anlage im Fehlerfall) und einen brennbaren Stoff (z. B. brennbarer Dachbaustoff).



Bild 1: Schaden nach einem im PV-Modul generierten Lichtbogen (Quelle: VGH)

Die grundsätzliche baurechtliche Genehmigungsfreiheit von PV-Anlagen entbindet nicht von einer Risikobetrachtung. Die Brandbeanspruchung einer „harten Bedachung“ durch einen Lichtbogen liegt deutlich über der genormten Prüfbeanspruchung. Es wird davon ausgegangen, dass alle brennbaren Dachabdichtungen und -dämmstoffe durch einen Defekt an einer PV-Anlage zu einer Entzündung und ggf. selbständigen Brandausbreitung führen können.

Die Sachversicherungen müssen diese bestehenden Risiken bewerten, für sich Entscheidungen zur Versicherbarkeit des Risikos treffen und ggf. dem Kunden Möglichkeiten aufzeigen, das Risiko zu mindern. Die folgenden Ausführungen sollen hierzu Hinweise geben und Bewertungskriterien erläutern.

2 Ausführungen von PV-Anlagen und Dächern

2.1 PV-Anlagen

Grundsätzlich sind elektrische Anlagen, damit auch PV-Anlagen, so zu errichten, dass die Schutzziele der geltenden Normen erreicht und durch Erst- und Wiederholungsprüfungen nachgewiesen werden. Hier sind folgend zunächst nur einige wenige angeführt, während eine erweiterte Auflistung in Kapitel 4 ("Normative Anforderungen an PV-Anlagen") aufgezeigt wird.

Für Niederspannungsanlagen gelten die Forderungen der Reihe VDE 0100 und hier im Besonderen für PV-Anlagen:

- **DIN VDE 0100-712 (VDE 0100-712)** Errichten von Niederspannungsanlagen – Teil 7-712: Anforderungen für Betriebsstätten, Räume und Anlagen besonderer Art – Photovoltaik-(PV)-Stromversorgungssysteme
- **DIN VDE 0100-600 (VDE 0100-600)** Errichten von Niederspannungsanlagen – Teil 6: Prüfungen
- **DIN VDE 0105-100/A1 (VDE 0105-100/A1)** Betrieb von elektrischen Anlagen – Teil 100: Allgemeine Festlegungen; Änderung A1: Wiederkehrende Prüfungen
- **DIN EN 62466-1 (VDE 0126-23-1) und -2** Photovoltaik(PV)-Systeme – Anforderungen an Prüfung, Dokumentation und Instandhaltung

Darin gestellte Mindestanforderungen gelten als allgemein anerkannte Regeln der Technik. Dies bedeutet auch, dass man von ihnen abweichen kann. Bei einer ordnungsgemäßen Installation, Einhaltung der VDE-Normen und den Anforderungen aus dem Bauordnungsrecht sollen keine Kompensationsmaßnahmen gefordert werden, so fern kein besonderes Risiko festgestellt wird. Bei Abweichungen von den normativen Anforderungen ist grundsätzlich nachzuweisen, dass durch die getroffenen technischen Ausführungen das jeweilige Schutzziel erreicht wird. Ordnungsgemäß geplante, errichtete und regelmäßig instand gehaltene PV-Anlagen gelten als sicher.

Zu diesen möglichen Schutzziel orientierten Maßnahmen bei Dächern mit brennbaren Baustoffen gehören beispielsweise der Einsatz von Lichtbogendetektionseinrichtungen mit Meldung bzw. Freischaltung und/oder auch eine besondere Verlegung von Kabeln und Leitungen, siehe Kapitel 3. Diese Maßnahmen sind zum Teil auch bei Bestandsanlagen möglich.

Im Anhang B findet sich eine Zusammenstellung von Fehlerrisiken der Komponenten von PV-Anlagen aus dem IEA-Report „Quantification of Technical Risks in PV Power Systems 2021“. Diese Fehler sind hinsichtlich ihrer Auswirkung gewichtet und es werden Maßnahmen zu deren Senkung aufgeführt.

2.2 Dächer

Ein Dach besteht im wesentlichen aus einer Dachabdichtung/Abdeckung, Wärmedämmung und tragenden Konstruktion. Diese Basiselemente können in sehr unterschiedlichen technischen Ausführungen und Materialien realisiert werden – auch hinsichtlich ihrer Brandeigenschaften.

Im Anhang A findet sich eine Übersicht der unterschiedlichsten Dachaufbauten mit einer Beurteilung von Brandeigenschaften.

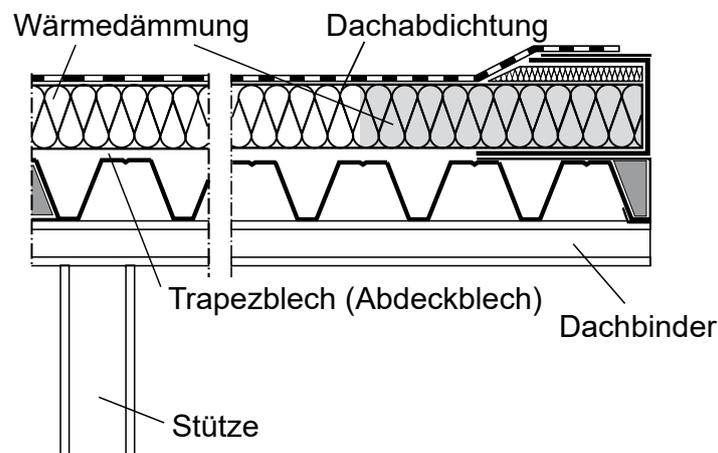


Bild 2: Beispiel eines Dachaufbaus aus VdS 2216 Brandschutzmaßnahmen für Dächer – Auszug

3 Übersicht von Maßnahmen zur Risikominimierung

Wie bei vielen Risiken muss zwischen neu errichteten und Bestandsanlagen unterschieden werden.

Bei der Planung neuer PV-Anlagen besteht die Möglichkeit, bereits im Vorfeld Risiken des Daches und der PV-Anlage zu betrachten und mit entsprechenden Maßnahmen mindernd zu gestalten.

Bei Anlagen im Bestand ist dies anders gelagert. Dach und PV-Anlage sind bereits vorhanden, bauliche Maßnahmen zur Risikominimierung wie z. B. Austausch einer brennbaren Dämmung gegen eine nichtbrennbare, stellt eine sehr wirksame Maßnahme dar, kann jedoch wirtschaftlich nicht umsetzbar sein. Das Aufbringen einer Kiesschicht kann eine machbare Maßnahme sein. Eine Mangelbeseitigung wie z. B. das fachgerechte Verlegen von DC-Leitungen auf dem Dach oder über Brandwände sowie die Wiederherstellung der Funktion einer Blitzschutzanlage ist davon unabhängig in jedem Fall umzusetzen. Technische Schutzziel orientierte Maßnahmen wie z. B. der Austausch von Wechselrichtern mit aktivierter Lichtbogenerkennung und -abschaltung (ohne automatische Wiedereinschaltung) oder eine automatisierte Weiterleitung von Stör- und Betriebsmeldungen sind auch bei Bestandsanlagen möglich.

Beispiele für Schutzziel orientierte Maßnahmen bei Dächern mit brennbaren Baustoffen:

- elektrotechnisch
 - Leitungsverlegung in aufgeständerten Kabelbühnen aus gelochtem Metall
 - Einsatz von Wechselrichtern mit aktivierter Lichtbogenerkennung und -abschaltung
 - Automatische Weiterleitung von Betriebs- und Störmeldungen an einen Fachbetrieb, Empfehlung: Wartungsvertrag
 - Einsatz von PV-Modulen, die einer Klassifizierung als schwerentflammbar oder nichtbrennbar aufweisen
- organisatorisch
 - Instandhaltungsmaßnahmen mit regelmäßigen Prüfungen (Prüfung/Wartung nach VDE 0105-100 bzw. VDE 0126-23-1 und -2, halbjährliche Sichtkontrolle und nach besonderen Ereignissen, z. B. Sturm; jährliche Thermografie; mindestens alle 4 Jahre messtechnische Überprüfung)
 - Bei Indikation müssen Inspektionsintervalle zeitlich kürzer eingeplant und durchgeführt werden, wenn sich die Instandsetzung ver-

zögert. Der Regelfall sind visuelle Inspektionen ohne Kontakt zu den Betriebsmitteln.

- Störmeldungen aus Anlagenschutzrichtungen/Gefahrenmeldeanlagen (kein automatisches Wiedereinschalten, klare Meldewege, je nach Meldung angepasste Interventionszeiten; auch von Feuerwehren; Ersatzmaßnahmen bei temporärer Außerbetriebnahme von Anlagenschutz- bzw. Gefahrenmeldesystemen)
- Die Inspektionsfähigkeit der Anlagentechnik muss unterstützt werden durch Monitoringsysteme, die wesentliche Betriebsdaten der PV-Anlage kontinuierlich aufzeigen.

Hinweis: Die Einhaltung der Errichtungsnormen sowie eine fachgerecht durchgeführte und dokumentierte Inbetriebnahme der PV-Anlage sind die Voraussetzung für einen Betrieb der Anlage!

Dies zeigt sich beispielsweise bei den oft anzutreffenden fehlerhaften Installationen mit herabhängenden oder auf dem Boden liegenden Leitungen und Steckverbindern mit direktem Sicherheitsrisiko. Normgerecht ist: Diese Leitungen und Steckverbindungen müssen fixiert oder geschützt verlegt werden. Dazu gehören der Schutz vor dauerhaft anstehendem Wasser oder vor Eisgang, vor Tierverbiss und vor UV-Einwirkungen. Zum Erhalt gehören regelmäßige Systeminspektionen. Unregelmäßigkeiten werden einer Elektrofachkraft gemeldet, die für Instandsetzung sorgt.

4 Normative Anforderungen an PV-Anlagen

Reihe DIN VDE 0100 Errichten von Niederspannungsanlagen

DIN VDE 0100-100 Berichtigung 1 Errichten von Niederspannungsanlagen – Teil 1: Allgemeine Grundsätze, Bestimmungen allgemeiner Merkmale, Begriffe

DIN VDE 0100-712 Errichten von Niederspannungsanlagen – Teil 7-712: Anforderungen für Betriebsstätten, Räume und Anlagen besonderer Art – Photovoltaik-(PV)-Stromversorgungssysteme

VDE-AR-E 2100-712 Anwendungsregel Maßnahmen für den DC-Bereich einer Photovoltaikanlage zum Einhalten der elektrischen Sicherheit im Falle einer Brandbekämpfung oder einer technischen Hilfeleistung

DIN VDE 0100-600 Errichten von Niederspannungsanlagen – Teil 6: Prüfungen

DIN VDE 0105-100/A1 Betrieb von elektrischen Anlagen – Teil 100: Allgemeine Festlegungen; Änderung A1: Wiederkehrende Prüfungen

DIN EN 62466-1 (VDE 0126-23-1) Photovoltaik(PV)-Systeme – Anforderungen an Prüfung, Dokumentation und Instandhaltung – Teil 1: Netzgekoppelte Systeme – Dokumentation, Inbetriebnahmeprüfung und Prüfanforderungen

DIN EN IEC 62446-2 (VDE 0126-23-2) Photovoltaik (PV)-Systeme – Anforderungen an Prüfung, Dokumentation und Instandhaltung – Teil 2: Netzgekoppelte Systeme – Instandhaltung von PV-Systemen

Reihe DIN EN IEC 61730 mit DIN EN IEC 61730-1 (VDE 0126-30-1) Photovoltaik(PV)-Module – Sicherheitsqualifikation – Teil 1: Anforderungen an den Aufbau

DIN EN IEC 61730-2 (VDE 0126-30-2) Photovoltaik (PV)-Module – Sicherheitsqualifikation – Teil 2: Anforderungen an die Prüfung

Reihe DIN EN IEC 61215 (VDE 0126-31) Terrestrische Photovoltaik(PV)-Module – Bauarteignung und Bauartzulassung

DIN EN 62305-3 Beiblatt 5 (VDE 0185-305-3 Beiblatt 5) Blitzschutz – Teil 3: Schutz von baulichen Anlagen und Personen – Beiblatt 5: Blitz- und Überspannungsschutz für PV-Stromversorgungssysteme

DIN IEC/TR 63225 (VDE 0126-301) Inkompatibilität von Steckverbindern für Gleichstromanwendungen in Photovoltaikanlagen

In Arbeit:

Umfangreiche Überarbeitung VDE 0100-712 Lichtbogendetektion wird als Möglichkeit zur Risikominimierung erwähnt; DC-Bussysteme; Moduloptimierer, Batteriespeicher

E DIN EN 63027 (VDE 0126-27) Gleichstrom-Lichtbogenerfassung und -unterbrechung in photovoltaischen Energiesystemen

Weiterführende Literatur:

Report IEA-PVPS T13-23 Performance, Operation and Reliability of Photovoltaic Systems – Quantification of Technical Risks in PV Power Systems [Report IEA-PVPS T13-23:2021]

VdS 3145 Photovoltaikanlagen

VdS 2234 Brand- und Komplextrennwände, Merkblatt für die Anordnung und Ausführung

DGUV Information 203-080 Montage und Instandhaltung von Photovoltaik-Anlagen

Anhang A

Übersicht von unterschiedlichen Dachaufbauten mit einer Beurteilung ihrer Brandeigenschaften

Diese grobe Abschätzung erfolgt aufgrund von Schadenerfahrungen.

Es wird davon ausgegangen, dass alle brennbaren Dachabdichtungen und -Dämmstoffe durch einen Defekt an einer PV-Anlage entzündet werden können.

Die Wahrscheinlichkeit der selbständigen Brandausbreitung bei den Kombinationen von Dachabdichtung und Dachdämmung:

nicht wahrscheinlich	wenig wahrscheinlich	wahrscheinlich
----------------------	----------------------	----------------

Dachdeckung/-abdichtung	Dachdämmung		
	Mineralwolle oder sonstige nichtbrennbare Dämmstoffe	PUR/PIR mind. C nach EN 13501-1	PUR/PS oder andere brennbare Dämmstoffe
nichtbrennbare Dachdeckung (z. B. Dachpfannen, Trapezblech)			
Abdichtungsbahn aus Kunststoff			
Bitumenbahnen oder andere bitumenhaltige Abdichtungen			

PUR-Sandwichelement [z. B. \leq C nach EN 13501-1]	
PUR-Sandwichelement [z.B. \geq D nach EN 13501-1]	

PUR = Polyurethan
PIR = Polyisocyanurate
PS = Polystyrol

Eine feuerbeständige Dachschalung (z. B. Beton) reduziert das Risiko einer Brandübertragung vom Dach ins Gebäudeinnere maßgeblich.

Für die abschließende Beurteilung durch den Versicherer müssen alle verbauten Materialien und deren Kombination detailliert bewertet werden. Diese vorstehende Tabelle dient einer groben Orientierung.

Die Risikoeinschätzung obliegt dem Versicherer. Die Vielfalt der anzutreffenden Dachaufbauten mit unterschiedlichen Baustoffen lassen sich in einer solchen Publikation nicht abbilden.

Anhang B

Mögliche Defekte an PV-Komponenten, die zu einer Brandgefahr führen können

Quelle für PV-Anlagen – Fehlerrisiken von Komponenten und Reduktionsmaßnahmen: „Quantification of Technical Risks in PV Power Systems 2021 – IEA report“ bearbeitet.

Die hier angesprochenen Fehlerkategorien entsprechen Beschreibungen aus dem Bild 7 des oben erwähnten IEA Report IEA-PVPS T13:

- **gelb hinterlegte Defekte** können zu einem Brand führen, wenn ein Folgefehler und/oder ein zweiter Fehler auftritt;
- **rot hinterlegte Defekte** können direkt zu einem Brand führen.

Komponenten > Defekte	Mögliche Gefahrenvermeidung			Erweitert um Hinweise aus Sicht der Schadenverhütung
	kurzfristige/zeitnahe Instandsetzungsmaßnahmen	empfohlene schadenverhütende Maßnahmen	optionale schadenverhütende Maßnahmen	
Module > Zellrisse/-brüche	Module mit direktem Sicherheitsrisiko sollten ausgetauscht werden; regelmäßige Inspektionen zur Überwachung des Status der nicht ersetzten Module sollten erfolgen.	Angemessene Transportverfahren; Installation und Reinigung durch geschultes Personal; bei wahrscheinlich hohen Schneelasten bzw. Hagel risikominierende zertifizierte Module installieren.	EL-Bilder aus der Produktion anfordern; Vor-Versand- oder Lager-Inspektionen; EL-Bilder mit mobilem Labor vor bzw. während der Installation erstellen; regelmäßige EL-Inspektion oder nach Extremwetter (Sturm/Hagel/Schnee).	Zellrisse führen zunächst zu einem Minderertrag. Das Brandrisiko besteht nur bei stark geschädigten Modulen – optisch sichtbaren Schäden. Diese Module müssen ausgetauscht werden.
Module > Verfärbung der Front- oder Rückseite	Module mit direktem Sicherheitsrisiko sollten ausgetauscht werden; regelmäßige Inspektionen zur Überwachung des Status der nicht ersetzten Module sollten erfolgen.	Gültigkeit des IEC 61215 Zertifikates überprüfen	Regelmäßige Systeminspektionen; für Gebiete mit rauem Klima gelten höhere Anforderungen an die Module und somit härtere Testbedingungen der Prüfungen nach IEC 61215.	Einbau der nach IEC 61215 zertifizierten Module überprüfen

Komponenten > Defekte	Mögliche Gefahrenvermeidung			Erweitert um Hinweise aus Sicht der Schadenverhütung
	kurzfristige/zeitnahe Instandsetzungsmaßnahmen	empfohlene schadenverhütende Maßnahmen	optionale schadenverhütende Maßnahmen	
Module > Front-Delaminierung	Module mit direktem Sicherheitsrisiko sollten ausgetauscht werden; regelmäßige Inspektionen zur Überwachung des Status der nicht ersetzten Module sollten erfolgen; werden individuelle Testverfahren angewendet, sollen alle Module ausgetauscht werden, die über keine ausreichende Dichtheit verfügen.	Gültigkeit des IEC 61215 Zertifikates überprüfen; kontinuierliche Erdschluss-Überwachung des Inverters und anderer Komponenten.	Erweiterte Tests (z. B. feuchte Hitze); Inspektionen vor dem Versand (z. B. Vernetzungsgrad von EVA); regelmäßige visuelle Systeminspektionen	Einbau der nach IEC 61215 zertifizierten Module überprüfen
Module > Rückseiten-Delaminierung oder Rückseitenrisse	Module mit direktem Sicherheitsrisiko sollten ausgetauscht werden; regelmäßige Inspektionen zur Überwachung des Status der nicht ersetzten Module sollten erfolgen; werden individuelle Testverfahren angewendet, sollen alle Module ausgetauscht werden, die über keine ausreichende Dichtheit verfügen.	Gültigkeit des IEC 61215 Zertifikates überprüfen; kontinuierliche Erdschluss-Überwachung des Inverters und anderer Komponenten.	Regelmäßige Systeminspektionen	Bei Glas-Glas-Modulen gelten die Rückseiten als resistenter gegen Folgen von Umwelteinflüssen wie erhöhter Temperatur, mechanischen Spannungen sowie gegen Feuchtigkeit. Einbau der nach IEC 61215 zertifizierten Module überprüfen
Module > Brandflecken	Module mit direktem Sicherheitsrisiko sollten ausgetauscht werden; regelmäßige Inspektionen zur Überwachung des Status der nicht ersetzten Module sollten erfolgen.	Sichtprüfung der Module vor Installation; bei Inbetriebnahme des Systems Infrarot-Thermografie einsetzen.	Regelmäßige Systeminspektionen	Module mit direktem Sicherheitsrisiko müssen ausgetauscht werden; regelmäßige Inspektionen zur Überwachung des Status der nicht ersetzten Module müssen erfolgen; Empfehlung zur Verwendung von WR mit Lichtbogenüberwachung

Komponenten > Defekte	Mögliche Gefahrenvermeidung			Erweitert um Hinweise aus Sicht der Schaden- verhütung
	kurzfristige/ zeitnahe Instandsetzungs- maßnahmen	empfohlene schadenverhütende Maßnahmen	optionale schadenverhütende Maßnahmen	
Module > Glasbruch	Alle defekten Module müssen ausgetauscht werden.	Angemessene Transportverfahren; Installation und Reinigung durch geschultes Personal; bei wahrscheinlich hohen Schneelasten bzw. Hagel risikominierende zertifizierte Module installieren.	Regelmäßige Systeminspektionen	siehe Maßnahmen Hotspot
Module > Zellverbindungsfehler	Module mit direktem Sicherheitsrisiko sollten ausgetauscht werden; regelmäßige Inspektionen zur Überwachung des Status der nicht ersetzten Module sollten erfolgen.	Gültigkeit des IEC 61215 Zertifikates überprüfen	Regelmäßige Systeminspektionen	Empfehlung zur Verwendung von WR mit Lichtbogenüberwachung Einbau der nach IEC 61215 zertifizierten Module überprüfen
Module > Defekte oder abgelöste Modul-Anschlussdose	Module mit direktem Sicherheitsrisiko sollten ausgetauscht werden; regelmäßige Inspektionen zur Überwachung des Status der nicht ersetzten Module sollten erfolgen.	Gültigkeit des IEC 61215 Zertifikates überprüfen; Erdschluss-Überwachung des Inverters und anderer Komponenten.	Regelmäßige Systeminspektionen	Bei diesen Defekten sowie durch Hitze verformte Modulanschlussdosen müssen Module mit direktem Sicherheitsrisiko ausgetauscht werden; regelmäßige Inspektionen zur Überwachung des Status der nicht ersetzten Module müssen erfolgen; Empfehlung zur Verwendung von WR mit Lichtbogenüberwachung; Einbau der nach IEC 61215 zertifizierten Module überprüfen

Komponenten > Defekte	Mögliche Gefahrenvermeidung			Erweitert um Hinweise aus Sicht der Schadenverhütung
	kurzfristige/zeitnahe Instandsetzungsmaßnahmen	empfohlene schadenverhütende Maßnahmen	optionale schadenverhütende Maßnahmen	
Module > Verbindungsfehler an der Modul-Anschlussdose	Module mit direktem Sicherheitsrisiko sollten ausgetauscht werden; regelmäßige Inspektionen zur Überwachung des Status der nicht ersetzten Module sollten erfolgen.	Gültigkeit des IEC 61215 Zertifikates überprüfen; Erdschluss-Überwachung des Inverters und anderer Komponenten	Prüfung von Modulen mit mobilem Teststand vor der Installation; regelmäßige Anlageninspektion; Einbau einer Lichtbogenerkennung	Einsatz bei Anlagenprüfung; ggf. Rückrufe von Modulherstellern beachten! Empfehlung zur Verwendung von WR mit Lichtbogenüberwachung; Einbau der nach IEC 61215 zertifizierten Module überprüfen
Module > Fehlender oder unzureichender Schutz der Bypass-Dioden	Module mit direktem Sicherheitsrisiko sollten ausgetauscht werden; regelmäßige Inspektionen zur Überwachung des Status der nicht ersetzten Module sollten erfolgen.	Dimensionierung Bypass-Dioden prüfen; bei Inbetriebnahme des Systems Infrarot-Thermografie einsetzen.	Prüfung von Bypass-Dioden mit mobilem Teststand vor der Installation; regelmäßige Anlageninspektion mit Infrarot-Thermografie	Anmerkung: offene Bypassdioden sind unserer Erkenntnis nach zur Zeit messtechnisch nicht zu detektieren.
Module > Hotspot	Module mit direktem Sicherheitsrisiko sollten ausgetauscht werden; wenn mehr als 10 % der Module thermische Anomalien zeigen, sollten die Gründe hierfür ermittelt und Korrekturmaßnahmen umgesetzt werden.	Bei Inbetriebnahme des Systems Infrarot-Thermografie einsetzen.	Regelmäßige Systeminspektionen	Empfehlung zur Verwendung von WR mit Lichtbogenüberwachung

Komponenten > Defekte	Mögliche Gefahrenvermeidung			Erweitert um Hinweise aus Sicht der Schadenverhütung
	kurzfristige/zeitnahe Instandsetzungsmaßnahmen	empfohlene schadenverhütende Maßnahmen	optionale schadenverhütende Maßnahmen	
Leitungen und Steckverbinder > Nichtübereinstimmung der DC-Steckverbinder	Alle nicht zusammengehörenden Steckverbinder sollten ersetzt werden.	Lieferanten fragen, Modul prüfen oder Wechselrichter-Datenblätter kontrollieren, um Typ/Hersteller der Steckverbindung zu ermitteln; nur Steckverbindungen desselben Herstellers und als kompatibel zertifiziert dürfen miteinander verpaart werden.	Sicherstellen, dass Module und alle im Leistungspfad vorhandenen Komponenten mit den gleichen Steckverbindern ausgeliefert werden; Ersatz-Steckverbinder und Stringleitungen mit den gleichen Steckverbindern wie von Modulanschlüssen vorhalten.	Alle nicht zertifizierten bzw. nicht zugelassenen DC-Steckverbinder sollten ersetzt werden, siehe DIN IEC/TR 63225 VDE 0126-301 (Inkompatibilität von Steckverbindern für Gleichstromanwendungen in Photovoltaikanlagen); Die Probleme treten häufig an den Schnittstellen verschiedener Komponenten auf wie Modul - Strangkabel; Für die Bearbeitung der Steckverbinder sind die vom Hersteller gegebenen Anweisungen zu befolgen und zugelassene Werkzeuge zu verwenden; Empfehlung zur Verwendung von WR mit Lichtbogenüberwachung
Leitungen und Steckverbinder > Defekter DC-Steckverbinder/Leitungen	Komponenten mit direktem Sicherheitsrisiko sollten ersetzt werden; regelmäßige Inspektionen zur Überwachung des Status der nicht ersetzten Komponenten sollten erfolgen.	Schutz von Steckverbindern und Leitungen vor Feuchtigkeit während der Installation; Verwenden von passenden Crimpwerkzeugen; Installation sollte von geschulten Personen durchgeführt werden.	Erklärung des Installateurs, dass beim Austausch von Steckverbindern dies nach Herstellerangaben erfolgt ist; regelmäßige Systeminspektionen durchführen.	Empfehlung zur Verwendung von WR mit Lichtbogenüberwachung

Komponenten > Defekte	Mögliche Gefahrenvermeidung			Erweitert um Hinweise aus Sicht der Schadenverhütung
	kurzfristige/zeitnahe Instandsetzungsmaßnahmen	empfohlene schadenverhütende Maßnahmen	optionale schadenverhütende Maßnahmen	
Leitungen und Steckverbinder > Isolationsfehler	Leitungen und Steckverbinder mit direktem Sicherheitsrisiko sollten ersetzt werden; regelmäßige Inspektionen zur Überwachung des Status der nicht ersetzten Komponenten sollten erfolgen.	Erdschluss-Überwachung durch Inverter oder anderer Einrichtungen; Ordnungsgemäße Leitungsverlegung; Verwenden geschlossener Kabelrinnen	Regelmäßige Systeminspektionen durchführen.	Stör- und Betriebsmeldungen der WR automatisch an eine EFK weiterleiten. Schnellstmögliche Instandsetzung
Leitungen und Steckverbinder > Thermischer Schaden in Generatoranschlusskasten	Komponenten mit Defekt oder anormaler Temperatur austauschen.	Mit Infrarot-Thermografie Komponenten und Verbindungen prüfen, um schlechte Verbindungen und Komponenten zu finden.		Empfehlung zur Verwendung von WR mit Lichtbogenüberwachung
Montage > mangelhafte Modulbefestigung	Module mit direktem Sicherheitsrisiko sollten ausgetauscht werden.	Verwenden Sie nur kompatible Klemmen (Montagestruktur/Module/Klemmen) und folgen Sie der Hersteller-Montageanleitung. Überprüfen Sie die lokalen Wind- und Schneelasten.	Prüfung von Nicht-Standard Montagekonfigurationen durch ein akkreditiertes Prüflabor (z. B. Fassadenmontage); Durchführen regelmäßiger Systemprüfungen	Empfehlung für Sichtkontrollen nach besonderen Ereignissen, z. B. Sturm
Montage > Ungeeignetes/defektes Montage-/Traggestell	Montage-/Traggestell mit direktem Sicherheitsrisiko sollte ausgetauscht werden.	Verwenden Sie nur kompatible Montage-/Traggestell (Boden/Montagestruktur/Module) und folgen Sie der Hersteller-Montageanleitung; überprüfen Sie die lokalen Bedingungen (Wind, Schnee und anderes).	Prüfung von Nicht-Standard Montage-/Traggestell durch ein akkreditiertes Prüflabor (z. B. Fassadenmontage); Durchführen regelmäßiger Systemprüfungen	

Komponenten > Defekte	Mögliche Gefahrenvermeidung			Erweitert um Hinweise aus Sicht der Schaden- verhütung
	kurzfristige/ zeitnahe Instandsetzungs- maßnahmen	empfohlene schadenverhütende Maßnahmen	optionale schadenverhütende Maßnahmen	
Montage > Modulverschattung	Indirekt beschädigte Module mit einem Sicherheitsrisiko sollten ausgetauscht werden; Bäume oder Vegetation, verantwortlich für die verstärkte Beschattungsverluste, sollten eventuell geschnitten werden.	Eine grundlegende Schattierungsanalyse (Ganzjahres Sonnen-/Schattendaten) wird empfohlen, um Bereiche und Zeiträume einer starken Verschattung zu ermitteln; Verschattung ausgesetzte Bereiche im zentralen Teil des Tages oder sonniger Jahreszeit sollten vermieden werden oder angemessen/kostengünstige verschattungsmindernde Maßnahmen umgesetzt werden.	Eine detaillierte Verschattungsverlust-Analyse sollte erfolgen, die verschiedene Systemkonfigurationen und schattenverhindernde Maßnahmen abschätzt und miteinander vergleicht. Durchführen regelmäßiger Systemprüfungen	Verschattung ist grundsätzlich zu vermeiden. Auch durch den Einsatz von Moduloptimierern werden Hotspots nicht verhindert.
Montage > Falsche Installation Wechselrichter, ungeeignete Umgebungs- bedingungen	Demontieren Sie die Komponente und folgen Sie den Installationshinweisen.	Folgen Sie den angegebenen Installationshinweisen; für ausreichende Luftzufuhr sorgen und Ventilatoren und Kühlkörper regelmäßig reinigen.	Überwachen der Wechselrichter-Temperatur	

Anmerkungen:

Einige dieser Gefahren sind vermeidbar durch ordnungsgemäße Planung, Errichtung sowie regelmäßige Instandhaltung.

Erst- und Wiederholungsprüfungen gehören zu den verbindlichen technischen Regeln.

Nach erfolgter Installation ist die PV-Anlage von einem VdS-anerkannten Sachverständigen für PV-Anlagen oder gleichwertigen Experten einer Abnahme zu unterziehen.

