DGUV
Deutsche Gesetzliche
Unfallversicherung
Spitzenverband

203-080

DGUV Information 203-080



# Montage und Instandhaltung von Photovoltaik-Anlagen

April 2015

**Impressum**

Herausgeber:
Deutsche Gesetzliche
Unfallversicherung e.V. (DGUV)

Glinkastraße 40
10117 Berlin
Tel.: 030 288763800
Fax: 030 288763808
E-Mail: info@dguv.de
Internet: www.dguv.de

Sachgebiet „Elektrotechnik und Feinmechanik“,
Fachbereich „Energie Textil Elektro Medienerzeugnisse (FB ETEM)“ der DGUV.

Layout & Gestaltung:
Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V. (DGUV), Medienproduktion

Ausgabe: April 2015

Bildnachweis: Titelbild, Abb. 1-8, 10-28, 32-36: © H.ZWEI.S Werbeagentur GmbH - DGUV

DGUV Information 203-080
zu beziehen bei Ihrem zuständigen Unfallversicherungsträger oder unter www.dguv.de/publikationen

# Montage und Instandhaltung von Photovoltaik-Anlagen

DGUV Information 203-080 April 2015

# Inhaltsverzeichnis


| | | Seite |
|---|---|---|
| **Vorbemerkung** | | **5** |
| **1** | **Anwendungsbereich** | **6** |
| **2** | **Begriffe** | **7** |
| **3** | **Gefährdungsbeurteilung** | **9** |
| **4** | **Organisation und Verantwortung** | **10** |
| 4.1. | Maßnahmen im Verantwortungsbereich des Auftragnehmers | 10 |
| 4.2. | Maßnahmen im Verantwortungsbereich des Auftraggebers/Betreibers | 11 |
| **5** | **Gefährdungen und Schutzmaßnahmen** | **13** |
| 5.1. | Absturz, Durchsturz | 13 |
| 5.2. | Elektrische Gefährdungen | 18 |
| 5.3. | Weitere Gefährdungen | 28 |
| 5.4. | Kurzzeitige Arbeiten, Wartung und Instandhaltung | 29 |
| **6** | **Anhang** | **32** |
| 6.1. | Weitere Informationen | 32 |
| 6.2. | Literatur | 33 |
| 6.3. | Überstieg von einer Hubarbeitsbühne | 33 |
| 6.4. | Hinweise zum Brandschutz | 34 |

# Vorbemerkung

Montage, Wartung und Instandhaltung von Photovoltaik-Anlagen (PV-Anlagen) erfordern meistens Arbeiten auf Dachflächen mit Absturzgefährdung. Bei den elektrotechnischen Anschlussarbeiten und bei Prüfungen können elektrische Gefährdungen auftreten.

Mit der neuen DGUV Information 203-080 „Montage und Instandhaltung von Photovoltaik-Anlagen“ wird die Beurteilung der möglichen Gefährdungen erleichtert und unterstützt.

Die systematische Erfassung und Beurteilung arbeitsbedingter Gefährdungen sowie die Festlegung zielgerichteter Maßnahmen für eine Gefahrenprävention ist Pflicht des Unternehmers.

Diese DGUV Information wurde unter Mitwirkung von Anlagenerrichtern, Serviceunternehmen, Gutachtern und Berufsgenossenschaften erarbeitet.

# 1 Anwendungsbereich

Diese DGUV Information findet Anwendung bei

- Errichtung und Montage/Demontage
- Betrieb, Wartung und Prüfung

von Photovoltaik-Anlagen.

Sie findet keine Anwendung auf

- die werksseitige Herstellung von Teilen und Komponenten
- den Transport von Teilen und Komponenten zum Anlagenaufstellungsort
- Nebenarbeiten, z. B. Gerüstbau.

# 2 Begriffe

**1. Abschalten**
Das Abschalten beinhaltet je nach Arbeitsaufgabe oder Arbeitsstelle mindestens eine der nachfolgend genannten Schalthandlungen:

- Herstellen des spannungsfreien Zustands auf der AC-Seite
- Lastfreischalten auf der Generatorseite
- Spannungsfreischalten auf der Generatorseite.

**2. AC-Seite (Wechselstromseite)**
Teil einer PV-Anlage von den AC-Anschlüssen des PV-Wechselrichters bis zum Anschluss des PV-AC-Versorgungskabels oder der PV-AC-Versorgungsleitung an die elektrische Wechselstromversorgungsanlage.

**3. Anlagenbetreiber**
Person, welche die Verantwortung und die Pflicht für den sicheren Betrieb und ordnungsgemäßen Zustand der elektrischen Anlage wahrnimmt.

**4. Anlagenverantwortlicher**
Person, die beauftragt ist, während der Durchführung von Arbeiten die unmittelbare Verantwortung für den Betrieb der elektrischen Anlage bzw. der Anlagenteile zu tragen, die zur Arbeitsstelle gehören.

**5. Arbeitsverantwortlicher**
Person, die beauftragt ist, die unmittelbare Verantwortung für die Durchführung der Arbeit zu tragen. Erforderlichenfalls können einige mit dieser Verantwortung einhergehende Verpflichtungen auf andere Personen übertragen werden.

**6. Auftraggeber**
ist im Sinne dieser DGUV Information entweder eine Privatperson oder ein Unternehmen in dessen Auftrag eine PV-Anlage errichtet/gewartet werden soll. Für ein Unternehmen gelten umfassende Verpflichtungen für das Zusammenwirken von Auftraggeber und dem ausführenden Unternehmen als Auftragnehmer. Eine Privatperson hat dem gegenüber nur eine eingeschränkte Mitwirkungspflicht bei der Information des ausführenden Unternehmens, z. B. zu Besonderheiten in der Dachkonstruktion, Alter der Dacheindeckung.

**7. Auftragnehmer**
ist das vom Auftraggeber mit der Errichtung/ Wartung einer PV-Anlage beauftragte Fachunternehmen. Der Auftragnehmer kann Arbeiten teilweise oder vollständig an andere Fachunternehmen weitergeben.

Anmerkungen: Besondere Fachkunde ist z. B. erforderlich für:

- Elektrotechnische Arbeiten → Elektrofachkraft gemäß DGUV Vorschrift 3 und 4/VDE 0105-100
- Errichtung von Gerüsten → Befähigte Person gemäß TRBS 2121 Teil 1
- Asbestsanierung → Fachkunde gemäß TRGS 519.

**8. DC-Seite (Generatorseite)**
Teil der PV-Anlage von einer PV-Zelle bis zu den Gleichspannungsanschlüssen des PV-Wechselrichters

**9. Elektrofachkraft**
Als Elektrofachkraft gilt, wer aufgrund fachlicher Ausbildung, Kenntnissen und Erfahrungen sowie Kenntnis der einschlägigen Bestimmungen die übertragenen Arbeiten beurteilen und mögliche Gefahren erkennen kann.

**10. Elektrotechnisch unterwiesene Person (EuP)**
Eine EuP ist eine Person, die durch eine Elektrofachkraft über die ihr übertragenen Aufgaben und die möglichen Gefahren bei unsachgemäßem Verhalten unterrichtet und erforderlichenfalls angelernt sowie hinsichtlich der notwendigen Schutzeinrichtungen, persönlichen Schutzausrüstungen und anzuwendenden Schutzmaßnahmen unterwiesen wurde.

**11. ENS**
Selbsttätige Schaltstelle zwischen einer netzparallelen Eigenerzeugungsanlage und dem öffentlichen Niederspannungsnetz. Diese wird als Sicherheitsschnittstelle zwischen der Erzeugungsanlage und dem Niederspannungsnetz eingesetzt und dient als Ersatz für eine jederzeit dem Verteilungsnetzbetreiber (VNB) zugängliche Schaltstelle mit Trennfunktion. Sie verhindert eine unbeabsichtigte Einspeisung der Erzeugungsanlage in ein vom übrigen Verteilungsnetz getrenntes Teilnetz (Inselnetzbetrieb).

**12. Freischalten**
Durch Freischalten werden Trennstrecken in Luft oder gleichwertiger Isolation hergestellt, so dass sichergestellt ist, dass kein Überschlag erfolgt.

**13. Potential Induced Degradation (PID)**
ist die Leistungsminderung von PV-Modulen aufgrund von Potentialunterschieden zwischen Modulrahmen und PV-Zellen. Dieser Effekt tritt überwiegend bei Dünnschichtmodulen auf und kann durch Erdung eines aktiven Teils oder durch Potentialkompensation gemindert werden.

**14. PV-Strang (String)**
Stromkreis, in dem PV-Module zu einem PV-Teilgenerator in Reihe geschaltet sind, um die festgelegte Ausgangsspannung zu erreichen. In der Praxis wird überwiegend der englische Begriff „String“ verwendet, so auch im Weiteren in vorliegender Information.

**15. PV-Generator Anschlusskasten**
Gehäuse, in dem alle PV-Stränge elektrisch verbunden sind und in dem sich, falls erforderlich, Schutzeinrichtungen befinden.

**16. TCO-Korrosion**
ist die Leistungsminderung von PV-Dünnschichtmodulen durch Korrosion der TCO-Schicht der Zellen (TCO: Transparent Conductive Oxide). Sie wird unter anderem verursacht durch Potentialunterschiede zwischen Modulrahmen und PV-Zellen. Dieser Effekt kann durch Erdung eines aktiven Teils oder durch Potentialkompensation vermindert werden.

# 3 Gefährdungsbeurteilung

Die Gefährdungsbeurteilung ist die geforderte systematische Ermittlung und Bewertung relevanter Gefährdungen der Beschäftigten mit dem Ziel, die erforderlichen Maßnahmen für Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit festzulegen. Es werden dabei alle voraussehbaren Tätigkeiten und Arbeitsabläufe betrachtet; dazu gehören auch Wartung, Instandhaltung und Reparatur.

Arbeiten an PV-Anlagen sind gemäß der BaustellV als Errichtung und Änderung von baulichen Anlagen bzw. gemäß der DGUV Vorschrift 38 und 39 als Bauarbeiten einzustufen. Die Organisation dieser Arbeiten erfolgt auf der Grundlage der vorgenannten Vorschriften. Grundlegend muss für diese Tätigkeiten eine Gefährdungsbeurteilung erstellt und dokumentiert werden. Weitergehend ist eine Unterweisung der Beschäftigten notwendig. Häufig werden Arbeiten in Zusammenarbeit mehrerer Unternehmen durchgeführt bzw. werden Fremdunternehmen beauftragt. In diesen Fällen obliegt die Verantwortung für die Durchführung der Gefährdungsbeurteilung und Unterweisung in erster Linie demjenigen Unternehmen, welches die Tätigkeiten ausführt.

Erfolgt eine Beauftragung durch ein Unternehmen an ein Fremdunternehmen, so hat das Auftrag erteilende Unternehmen das Fremdunternehmen hinsichtlich der Gefährdungsbeurteilung zu unterstützen. Weiterhin werden durch DGUV Vorschrift 1 und DGUV Vorschriften 38 und 39 sowie durch die BaustellV eine Leitung, Aufsichtführung und ggf. eine Koordinierung der Arbeiten gefordert.

Die Einhaltung und Umsetzung der vorgenannten Maßnahmen sowie die Benennung der jeweiligen Verantwortlichen richtet sich nach den Inhalten (Bedingungen) der Auftragsvergabe. Deshalb ist es wichtig, die nachfolgend aufgeführten organisatorischen Maßnahmen den jeweiligen Vertragsparteien verantwortlich zu zuordnen bzw. im Zuge der Auftragsvergabe schriftlich zu regeln. Bei Auftragserteilung durch eine Privatperson obliegt der wesentliche Teil der Organisationsaufgaben beim Auftragnehmer. Dieses entbindet den Auftraggeber nicht von seiner eingeschränkten Mitwirkungspflicht, z. B. bei Besonderheiten in der Dachkonstruktion, Alter der Dacheindeckung usw.

# 4 Organisation und Verantwortung

## 4.1. Maßnahmen im Verantwortungsbereich des Auftragnehmers

### 4.1.1. Allgemeine organisatorische Maßnahmen

Auf Basis der zuvor genannten Gefährdungsbeurteilung hat der Auftragnehmer neben der allgemeinen Unterweisung der Mitarbeiter, eine arbeitsplatz- und tätigkeitsbezogene Unterweisung für die Montagestelle durchzuführen. Hierbei müssen die örtlichen Gegebenheiten, z. B. die Art des Daches oder die Aufgaben zur Erfüllung der Verkehrssicherungspflicht, berücksichtigt werden. Diese erfolgt üblicherweise durch den Fachbauleiter oder verantwortlichen Montageleiter vor Ort. Die Erstellung einer Kurzdokumentation zum Montageobjekt, einschließlich der Dokumentation der durchgeführten Unterweisung, unterstützt den Vorgesetzten in der Erfüllung seiner Aufgaben und Verpflichtungen (siehe Anhang).

Auf der Dachfläche installierte Sicherungseinrichtungen dürfen durch die PV-Anlage nicht beeinträchtigt werden.

**Checkliste**

**Organisatorische Maßnahmen für den Auftragnehmer / Montagebetrieb:**

- Berücksichtigen Sie bei der Angebotsabgabe die erforderlichen Absturzsicherungen (Absturz und Durchsturz).
- Überzeugen Sie den Kunden von der Notwendigkeit der Schutzmaßnahmen als Bestandteil des Angebotes. Die Anforderungen an die Montage einer PV-Anlage seitens Gesetzgeber und Unfallversicherungsträger müssen dem Auftraggeber bekannt sein.
- Legen Sie die anzuwendenden Schutzmaßnahmen und den Arbeitsablauf in einer Montageanweisung fest.
- Bestimmen Sie den aufsichtsführenden Fachbauleiter/ Montageleiter, der Sie vor Ort vertritt, schriftlich und klären Sie mit ihm alle Fragestellungen während der Ausführung der Arbeiten ab.
- Benennen Sie oder veranlassen Sie die Bestimmung eines Koordinators bei der Zusammenarbeit mehrerer Unternehmer ggf. in Absprache mit dem Auftraggeber oder Bauleiter.
- Bestimmen Sie einen Arbeitsverantwortlichen, gemäß VDE 0105-100, bzw. eine Elektrofachkraft für die Durchführung der elektrotechnischen Arbeiten.
- Veranlassen Sie die Unterweisung aller Mitarbeiter vor Ort durch den Fachbauleiter und die Besprechung des Arbeitsablaufes.
- Legen Sie die Verkehrssicherungsmaßnahmen und die Transportabläufe fest.
- Stellen Sie die Rettungskette für den Not- und Rettungsfall sicher, zur Rettung von Personen von hochgelegenen Arbeitsplätzen (DGUV Regel 112-199) sowie Maßnahmen nach elektrischer Körperdurchströmung und Störlichtbogeneinwirkung (DGUV Informationen 204-022 und 203-002).

#### 4.1.2. Maßnahmen zur Verkehrssicherung

Bei der Montage von PV-Anlagen sind auch Vorkehrungen zu treffen, die eine Gefährdung von Personen und Schädigung von Sachwerten verhindern. Gefährdungen können auftreten bei/durch:

- Fahrzeugverkehr oder Abladen von LKWs
- Transport und Lagerung der Module am Montageort
- Ungesichertes Werkzeug oder Befestigungsmaterial am hochgelegenen Montageort

Als Schutzmaßnahmen können zur Anwendung kommen:

- Technische Maßnahmen, wie Absperrung der Gefahrstelle mit Bauzaun oder die Abgrenzung eines Zuganges zum Gebäude
- Organisatorische Maßnahmen, wie Festlegung der Lagerfläche der Module auf dem Boden, auf dem Dach oder die Art des Transports der Module auf die Dachfläche
- Zeitversetztes Arbeiten, um eine Gefährdung von Personen auszuschließen
- Information der Mitarbeiter, Bewohner/Besucher eines Gebäudes, z. B. über die anstehenden Arbeiten und die technischen und organisatorischen Maßnahmen vor Ort

#### 4.1.3. Maßnahmen für elektrotechnische Arbeiten

Elektrotechnische Arbeiten dürfen nur von Elektrofachkräften oder unter deren Leitung und Aufsicht durchgeführt werden. Unter „Leitung und Aufsicht einer Elektrofachkraft“ ist nicht zu verstehen, dass diese ständig zugegen sein muss. Sie muss sich vielmehr in angemessenen Zeitabschnitten davon überzeugen, ob die erteilten Anweisungen beachtet werden und sicherheitsgerecht gearbeitet wird. Die Elektrofachkraft ist insoweit für die übertragenen Tätigkeiten verantwortlich.

Werden elektrotechnische Arbeiten an Personen bzw. Arbeitsgruppen oder an Fremdunternehmen vergeben, so ist ein Arbeitsverantwortlicher zu benennen.

Zu dessen Aufgaben zählen insbesondere:

- Elektrotechnische Unterweisung der Beteiligten vor Ort
- Festlegung der Aufsichtführung
- Meldungen an den Anlagenverantwortlichen
- Einhaltung der Sicherheitsmaßnahmen
- Kontrolle der fachgerechten Ausführung der Arbeiten
- Prüfung und Pflege der Ausrüstung, Werkzeuge, Hilfsmittel, usw.

Vor Beginn der geplanten Arbeiten hat sich der Arbeitsverantwortliche mit dem Anlagenverantwortlichen (siehe auch Abschnitt 4.2) und anderen bauleitenden Monteuren abzustimmen sowie die Arbeitsmethoden festzulegen. Bei der Errichtung und Instandhaltung von Kleinanlagen (bis etwa 30 kWp) werden üblicherweise die Aufgaben des Anlagen- und Arbeitsverantwortlichen von ein und derselben Person wahrgenommen.

#### 4.1.4. Umsetzung und Wirksamkeitskontrolle der Schutzmaßnahmen

Die Umsetzung der festgelegten Schutzmaßnahmen erfolgt an der Baustelle. Hierzu gehört z. B. die Übergabe des erstellten Gerüstes durch den Gerüstbauer an den Fachbauleiter oder bauleitenden Monteur als Vertreter des Arbeitgebers der ausführenden Firma. Für die Wirksamkeitskontrolle sind der Arbeitgeber oder seine Vertreter vor Ort verantwortlich. Der Fachbauleiter muss evtl. notwendige Anpassungen oder Ergänzungen der vorher festgelegten Schutzmaßnahmen erkennen. Hierzu kann der Verantwortliche vor Ort die „Ergänzende Gefährdungsbeurteilung“ der BG ETEM (Anhang 6) nutzen.

### 4.2. Maßnahmen im Verantwortungsbereich des Auftraggebers/Betreibers

#### 4.2.1. Allgemeine organisatorische Maßnahmen

Der Auftraggeber vergibt die Arbeiten ausschließlich an Fachfirmen bzw. Fachabteilungen. Eine Fachkunde ist u.a. für folgende Arbeiten notwendig:

Elektrotechnische Arbeiten →Elektrofachkraft gemäß DGUV Vorschrift 3 und 4/VDE 0105-100

Errichtung von Gerüsten → Befähigte Person gemäß TRBS 2121 Teil 1

Asbestsanierung → Fachkunde gemäß TRGS 519

Bei Auftragserteilung durch ein Unternehmen sind folgende besondere Pflichten zu beachten:

- Vergewissern, dass Beschäftigte des Auftragnehmers angemessene Anweisungen hinsichtlich Sicherheit und Gesundheit erhalten haben
- Die teilweise oder vollständige Weitergabe von Arbeiten an Subunternehmern, bedarf der Zustimmung

- dafür sorgen, dass die Anlage entsprechend den elektrotechnischen Regeln vor der Inbetriebnahme und wiederkehrend geprüft wird
- Benennung eines Anlagenverantwortlichen für die Dauer der Arbeiten an elektrischen Anlagen

Bei Auftragserteilung durch eine Privatperson obliegt die Beurteilung der jeweiligen Fachkunde durch Einsichtnahme entsprechender Referenzen sowie weitergehenden Fachkundenachweisen der beauftragten Fachfirma. Der Betreiber einer PV-Anlage hat den ordnungsgemäßen Zustand der PV-Anlage sicherzustellen. Dazu hat er wiederkehrende Prüfungen zu organisieren.

#### 4.2.2. Organisatorische Maßnahmen für elektrotechnische Arbeiten

Die Durchführung von Arbeiten an elektrischen Anlagen erfordert gemäß VDE 0105-100 die Benennung eines Anlagenverantwortlichen.

Bei Kleinanlagen (bis 30 kWp) können die Aufgaben des Anlagenverantwortlichen vom Auftragnehmer wahrgenommen werden, wenn dieser über ausreichende Kenntnisse der Anlage verfügt.

Der Anlagenverantwortliche muss Elektrofachkraft sein und Weisungsbefugnis besitzen.

Zu den fachlichen Aufgaben gehören insbesondere:

- Anweisungen zu Schalthandlungen
- Festlegung von Arbeitsmethoden und Sicherheitsmaßnahmen
- Weisungen an den Arbeitsverantwortlichen
- Koordinierung von mehreren Auftragnehmern

# 5 Gefährdungen und Schutzmaßnahmen

## 5.1. Absturz, Durchsturz

### 5.1.1 Grundlagen der Schutzmaßnahmen

Für Arbeiten auf Dächern müssen Arbeitsplätze so eingerichtet und beschaffen sein, dass sicheres Arbeiten gewährleistet ist. Dabei sind u. a. zu berücksichtigen:

- Art der baulichen Anlage, z. B. nicht begehbare Bauteile (u. a. Lichtkuppeln, Lichtbänder, Glasdächer, Faserzement-Wellplatten), Dachüberstände, Dachgauben, Höhe der Attika
- wechselnde Bauzustände und Baufortschritt
- Gefährdungen durch andere Gewerke
- Witterungsverhältnisse, z. B. Regen, Wind, Raureif, Schnee, Vereisung
- jeweils auszuführende Arbeiten, z. B. Verlegung der Unterkonstruktion.

Arbeitsplätze und Verkehrswege sind so einzurichten, dass die Gefährdung durch Absturz von Beschäftigten so weit als möglich vermieden wird.

**Wesentliche Forderungen aus §12 der DGUV Vorschrift 38, 39 und ASR A2.1:**

- Unabhängig von der Absturzhöhe gilt, dass an Arbeitsplätzen und Verkehrswegen über Wasser oder anderen festen oder flüssigen Stoffen, in denen man versinken kann, Absturzsicherungen benötigt werden.
- Ab 1,00 m Höhe ist zu beachten, dass Absturzsicherungen an freiliegenden Treppenläufen und -absätzen, Wandöffnungen und Bedienungsständen von Maschinen und deren Zugängen benötigt werden.
- Ab 2,00 m Höhe werden an allen übrigen Arbeitsplätzen und Verkehrswegen Absturzsicherungen benötigt.

Bei der Umsetzung von Arbeitsschutzforderungen ist zu beachten, dass vorrangig technische vor organisatorischen oder persönlichen Maßnahmen anzuwenden sind.




Lassen sich aus arbeitstechnischen Gründen Absturzsicherungen nicht verwenden, müssen stattdessen Einrichtungen zum Auffangen abstürzender Personen vorhanden sein. Auffangeinrichtungen sind Fanggerüste und Auffangnetze.

Anseilschutz darf nur verwendet werden, wenn das Verwenden von Absturzsicherungen und Auffangeinrichtungen unzweckmäßig ist und für die auszuführenden Arbeiten geeignete Anschlageinrichtungen (s. hierzu DGUV I 201-056) vorhanden sind.

Auf Einrichtungen und Maßnahmen zur Sicherung gegen Absturz von Personen kann nur verzichtet werden, wenn Arbeitsplätze oder Verkehrswege auf Flächen mit weniger als 20 ° Neigung liegen und in mindestens 2,00 m Abstand von den Absturzkanten feste Absperrungen vorhanden sind.

Unmittelbar vor Beginn der Arbeiten mit Absturzgefahr, sind die Beschäftigten über die vorhandenen Gefahren und die erforderlichen Schutzmaßnahmen konkret zu unterweisen. Die Unterweisung ist zu dokumentieren.

Im Rahmen der Gefährdungsermittlung und der Personalauswahlverantwortung muss der Unternehmer prüfen, ob die Beschäftigten, welche Absturzgefährdungen ausgesetzt sind, für diese Tätigkeit geeignet sind.

### 5.1.2. Praktische Umsetzung der Maßnahmen

Die Maßnahmen zum Schutz gegen Absturz/Durchsturz sind vor Beginn der Arbeiten sorgfältig zu planen und vorzubereiten. Dabei ist eine Rangfolge der Maßnahmen zu beachten.

Arbeiten ohne Absturzsicherungen sind in der Regel nicht zulässig. Der Unternehmer muss sich zuerst mit der Frage auseinandersetzen, welche Absturzsicherungen zum Einsatz kommen müssen. Absturzsicherungen sind im Wesentlichen Einrichtungen, z. B. Geländer, die verhindern, dass Personen über Absturzkanten hinaus abstürzen können.

**Rangfolge der Schutzmaßnahmen gegen Absturz**




Maßnahmen, die ein Abstürzen von Personen verhindern, z. B. Geländer, Abeckung;
hier: Seitenschutz




Einrichtungen zum Auffangen von abstürzenden Personen, z. B. Schutznetz, Schutzwand;
hier: Fanggerüst




Persönliche Schutzausrüstung gegen Absturz (PSAgA)

**Abb. 1** Rangfolge der Schutzmaßnahmen gegen Absturz in prinzipieller Darstellung

Einige Beispiele sind nachfolgend dargestellt.

Bei Arbeiten auf geneigten Dächern mit einer Dachneigung von mehr als 20° wird ein Dachfanggerüst benötigt. Dabei sind die Abmessungen nach Abbildung 2 einzuhalten:

Werden Arbeiten auf ebenen Flächen (Neigung < 20°) ausgeführt und werden diese ausschließlich weit entfernt von der Absturzkante ausgeführt, ist es ausreichend, sich hinter einer festen Absperrung, z. B. aus Ketten oder Seilen bestehend, aufzuhalten.

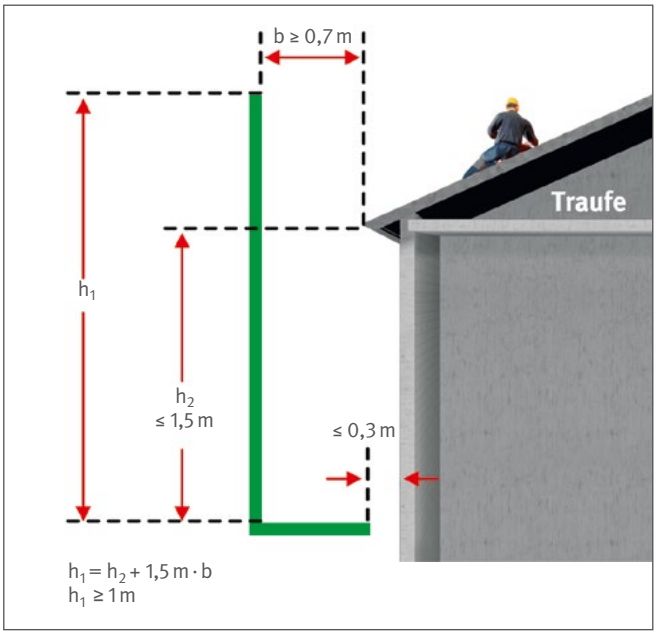



**Abb. 2** Abmessungen von Fanggerüsten



**Abb. 3** Beispiel einer Absturzsicherung, welche ab 2,00 m Höhe zwingend erforderlich ist und die direkt an der Absturzkante angebracht ist.

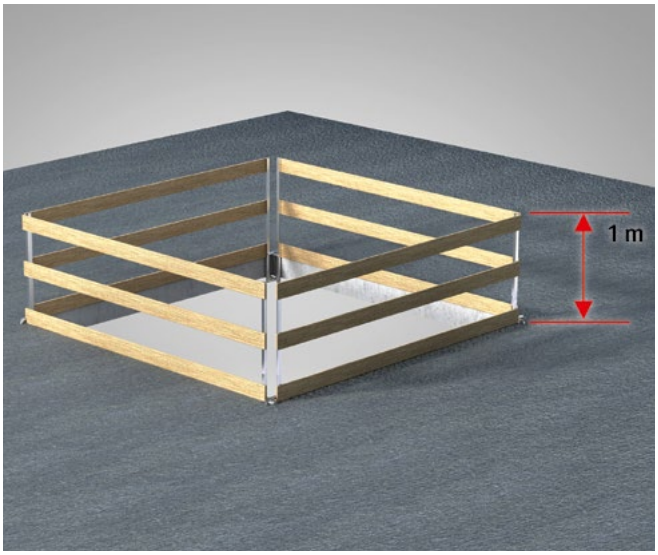



**Abb. 4** Die Abb. zeigt eine Absicherung einer Deckenöffnung mit einem dreiteiligen Seitenschutz (Geländer).

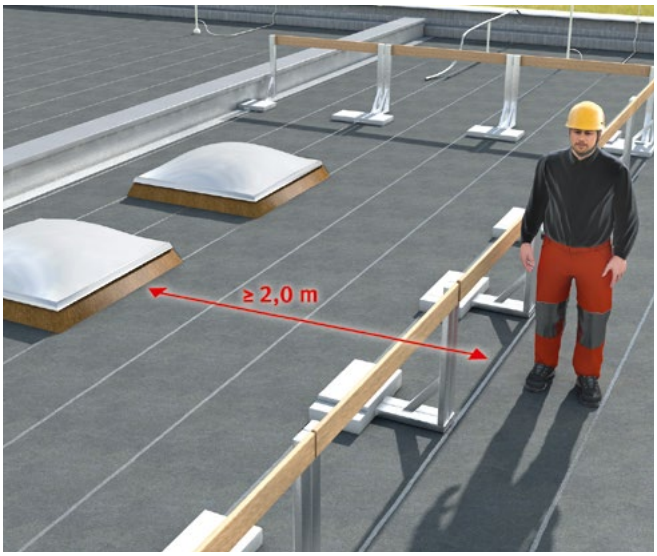



**Abb. 5** Absperrung mehrerer Lichtkuppeln

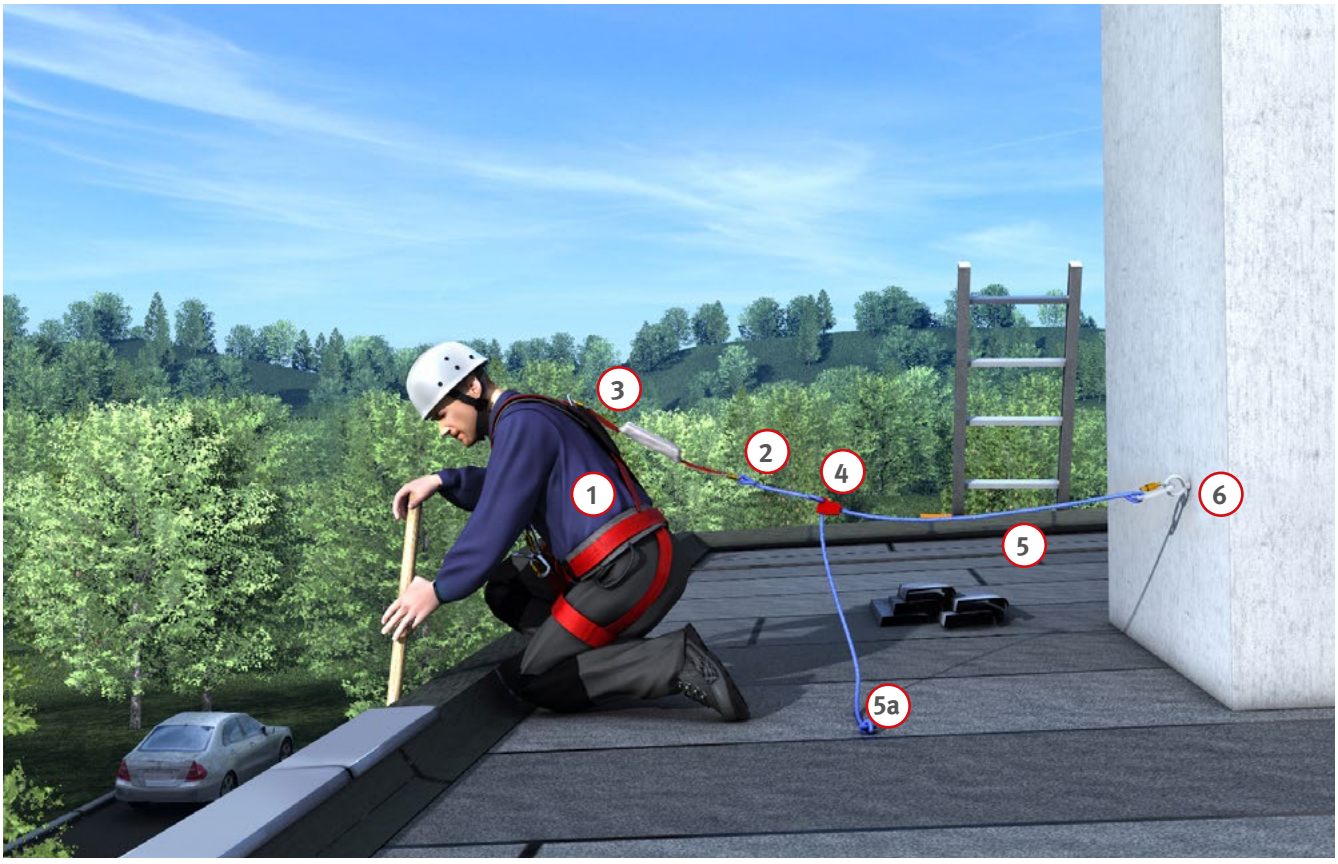



**Abb. 6** (1) Auffanggurt, (2) Verbindungsmittel, (3) Falldämpfer, (4) mitlaufendes Auffanggerät, (5) bewegliche Führung (z. B. Seil, Band), (5a) Seilendsicherung Die bewegliche Führung (5) muss am mitlaufenden Auffanggerät so eingestellt werden, dass ein Absturz nicht möglich ist. (6) Anschlagpunkt

Besteht die Gefahr des Durchsturzes nach innen, z. B. Lichtkuppeln, Dachöffnungen und nicht tragfähige Dacheindeckungen, sind zusätzliche Maßnahmen erforderlich.

Sind Absturzsicherungen oder Auffangvorrichtungen nicht möglich oder aus anderen Gründen unvertretbar, z. B. bei kurzzeitigen Arbeiten im Rahmen der Instandhaltung oder an Materialübergabestellen (siehe Abschnitt 5.3.1), kann auch „Persönliche Schutzausrüstung gegen Absturz“ (PSAgA) genutzt werden. Bei der Benutzung von PSAgA ist durch den Vorgesetzten der Anschlagpunkt festzulegen. Er hat die Verwendung der PSAgA genauestens vorzubereiten und die Anwendung zu kontrollieren. Die Nutzer sind anhand praktischer Übungen zu unterweisen. Ein Rettungskonzept ist vom Vorgesetzten objektbezogen zu erstellen.

### 5.1.3. Zugang zum Dach

Der Zugang zur Arbeitsstelle auf dem Dach ist bereits in der Planungsphase besonders zu berücksichtigen. Es sollen vorzugsweise bauseitig vorhandene Verkehrswege durch das Gebäude genutzt werden. Dabei stellen Dachausstiege auf Dächer, z. B. für Schornsteinfeger, besondere Gefährdungen dar. Sie müssen ein sicheres Aus-und Einsteigen ermöglichen. Dieses ist in der Regel gegeben, wenn:

- Dachausstiege ein Mindestmaß von 0,60 m x 0,80 m (siehe DIN 18 160 Teil 5) aufweisen,
- Steigleitern oder Anlegeleitern mit Einhängevorrichtung benutzt werden,
- die Dachluke sich leicht öffnen lässt und gegen unbeabsichtigtes Zuschlagen gesichert ist,
- Möglichkeiten zum Festhalten vorhanden sind,
- ein sicherer Stand an der Ausstiegsstelle gegeben ist,
- am Dachausstieg oder in dessen Nähe sich ein Anschlagpunkt befindet.

Ist der Zugang zur Arbeitsstelle durch das Gebäude nicht möglich, ist ein anderer sicherer Zugang vorzusehen. Vorzugsweise sind Treppentürme in Verbindung mit Gerüsten zu benutzen. Da Leitern sehr unfallträchtig sind, muss deren Verwendung auf ein Minimum beschränkt werden. Zur Durchführung von Arbeiten auf Dächern kann auch der Einsatz von Hubarbeitsbühnen sinnvoll sein. Hierbei werden die Arbeiten aus dem Arbeitskorb heraus durchgeführt.

Von einer Hubarbeitsbühne aus auf das Dach überzusteigen ist grundsätzlich nicht erlaubt, da diese dabei



**Abb. 7** Beispiel für Arbeiten von einer mobilen Arbeitsbühne aus

umstürzen oder die übersteigende Person abstürzen kann. Unter Berücksichtigung der Betriebsanleitung und Einhaltung bestimmter Maßnahmen (siehe Anhang 6) kann der Unternehmer im Rahmen einer besonderen Arbeitsanweisung das Übersteigen gestatten. Hierzu muss speziell unterwiesen und geschult werden.

### 5.1.4. Arbeitsflächen und Wege auf der Dachfläche

Arbeitsflächen und Verkehrswege auf Dächern müssen ausreichend tragfähig und sicher begehbar sein! Als nicht ausreichend tragfähig sind Eindeckungen und Einbauten anzusehen, wie z. B.:

- Faserzementplatten, Faserzementwellplatten,
- Asbestzementplatten,
- Bitumenwellplatten,
- Lichtkuppeln, Oberlichter,
- Glasdächer.

Lichtkuppeln und Dachöffnungen sind durchsturzsicher abzudecken oder durch Geländer zu sichern. Sind diese Maßnahmen nicht möglich, können neben Auffangnetzen auch Fanggerüste, welche unter den Öffnungen platziert werden, zum Einsatz kommen. Auf nicht tragfähigen Dacheindeckungen müssen immer durchtrittsichere Lauf-und Arbeitsstege vorgesehen werden. Zusätzlich müssen für den gesamten Arbeitsbereich Maßnahmen

gegen Durchsturz, üblicherweise mit Auffangnetzen, getroffen werden. In der Praxis werden die Auffangnetze möglichst etwa 1 bis 2 m unter der Dachfläche montiert. Nähere Informationen zur Auffangnetzmontage sind in DGUV Regel 101-011 enthalten.

Es gibt u. a. auch durchsturzsichere Wellplatten. Bei dieser Art von Dacheindeckung, unter Beachtung der maximal zulässigen Unterstützungsabstände gemäß den Herstellerangaben, kann auf Schutzmaßnahmen gegen Durchsturz verzichtet werden. Durchsturzsichere Wellplatten erkennt man an der Kennzeichnung „DS“ im Prägestempel. Durchsturzsichere Wellplatten gelten trotzdem als nicht begehbare Bauteile und dürfen gemäß Herstellerangaben nur über Laufbohlen oder ähnliche Einrichtungen begangen werden. Die Durchsturzsicherheit wird in der Regel vom Hersteller auf 10 Jahre begrenzt.

Im Allgemeinen muss die Trittsicherheit durch die Gestaltung und Oberflächenbeschaffenheit der Dächer sowie eingesetzter Hilfsmittel (z. B. Dachauflegeleitern) gewährleistet sein.

Ein Schutz gegen Absturz ist bei Arbeitsflächen und Verkehrswegen, welche höher als zwei Meter liegen, immer erforderlich. Alternativ können Arbeitsflächen und Verkehrswege auf Dächern so ausgewählt oder gestaltet werden, dass diese 2 m von Absturzkanten entfernt sind. Hierbei ist aber eine Absperrung zur Absturzkante erforderlich (siehe Abschnitt 5.1.2).



**Abb. 8** Lichtkuppel ist ausreichend gegen Durchsturz gesichert. Der Rahmen muss immer alle vier Seiten umschließen und die Stangen müssen miteinander fest verbunden (verschraubt) sein




**Abb. 9** Prägestempel einer Faserzementwellplatte, DS = Durchsturzsicher, AF = Asbestfrei

## 5.2. Elektrische Gefährdungen

### 5.2.1. Elektrische Gefährdungen und Schutzmaßnahmen auf der Generatorseite

Elektrische Anlagen mit Gleichspannungssystemen wie PV-Anlagen sind gleichermaßen wie Wechselspannungssysteme mit elektrotechnischen Schutzmaßnahmen gemäß der VDE 0100 auszustatten. Hierbei sind insbesondere der Schutz gegen elektrischen Schlag und der Schutz bei Überstrom zu beachten.

Die gebräuchlichsten Maßnahmen bei PV-Anlagen sind:

- Schutz durch doppelte oder verstärkte Isolierung
- Erd-und kurzschlusssichere Leitungsverlegung gemäß VDE 0100-520
- zusätzlicher Schutzpotentialausgleich oder Funktionspotentialausgleich
- Schutzmaßnahmen gemäß dem IT-System

Hinsichtlich der detaillierten Ausführungsbedingungen der Schutzmaßnahmen wird im Rahmen dieser DGUV Information auf die Normenreihe VDE 0100 verwiesen. An dieser Stelle werden nur die speziellen Besonderheiten der Schutzmaßnahmen an PV-Anlagen aufgezeigt.

*5.2.1.1. Wechselrichter mit und ohne galvanische Trennung*

Für PV-Anlagen werden Wechselrichter mit und ohne galvanische Trennung eingesetzt. Dies hängt vom verwendeten Modultyp (Dünnschichtmodul, kristallines Modul) ab.

Zur Anlagensicherheit verfügen beide Wechselrichterausführungen über eine

Isolationsüberwachungseinrichtung (IMD). Bei Wechselrichtern ohne galvanische Trennung („trafolos“) findet vor jedem automatischen Zuschalten eine Prüfung des Isolationswiderstandes statt, z. B. bei jedem Nacht-Tag-Übergang. Bei Wechselrichtern mit galvanischer Trennung ist die Isolationsüberwachungseinrichtung dauernd in Betrieb.

Die Überwachung des Isolationswiderstandes kann nur bei wirksamem Potentialausgleich funktionieren (siehe Abbildung 10). Eine regelmäßige Auslesung der Messwerte und Überwachung ist ein wichtiger Bestandteil zum Erhalt des sicheren Zustands der PV-Anlage.

Die unterschiedlichen Wechselrichterausführungen haben spezielle Anforderungen an die Montage und die Fehlersuche zur Folge. Das muss in der Gefährdungsbeurteilung berücksichtigt werden.

**Gefahr:**

**Entladezeit der Kondensatoren im Wechselrichter entsprechend dem Herstellerhinweis beachten!**




Quelle: Solaredge Technologies GmbH

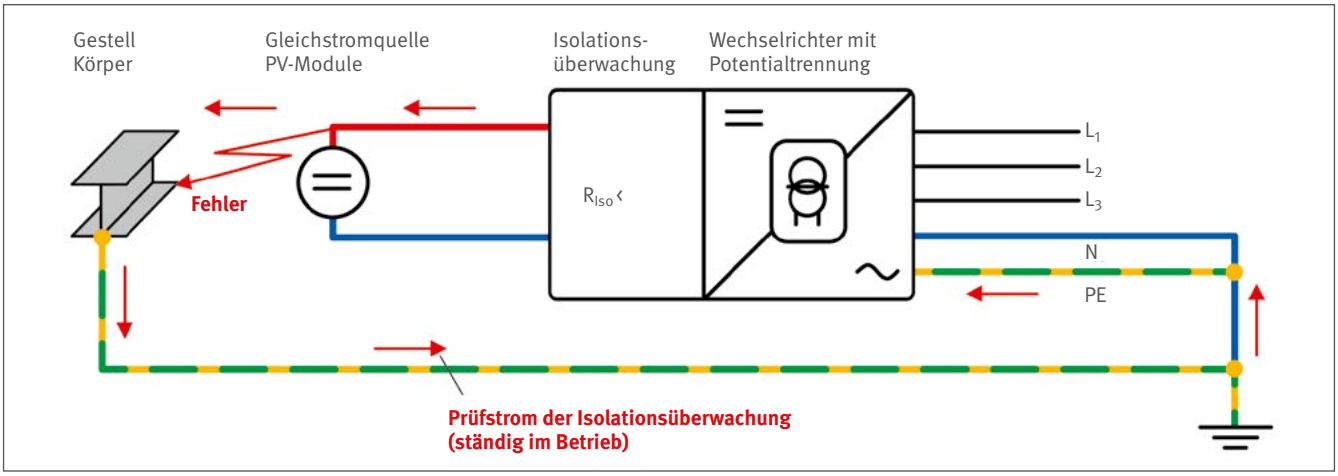



**Abb. 10** Wechselrichter mit galvanischer Trennung, Isolationsfehler im DC-System (TN-System auf der AC-Seite)

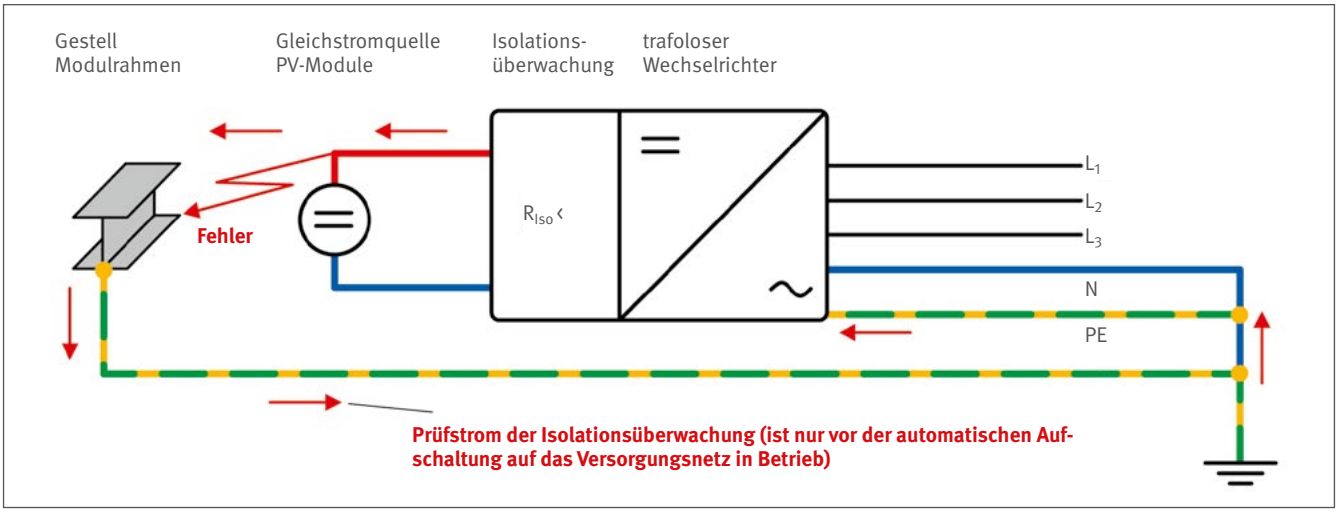



**Abb. 11** Wechselrichter ohne galvanische Trennung, Isolationsfehler im DC-System (TN-System auf der AC-Seite)

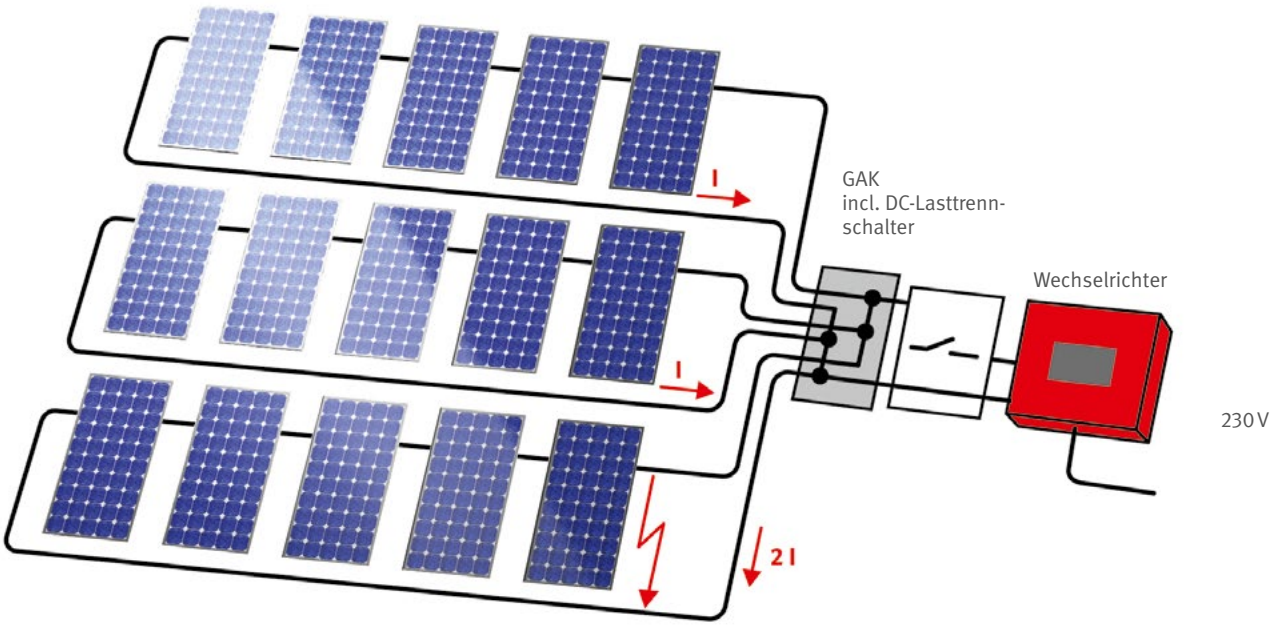



**Abb. 12** Stromfluss in parallel geschalteten Strings bei Kurz - oder Erdschluss in einem String (Prinzipdarstellung)

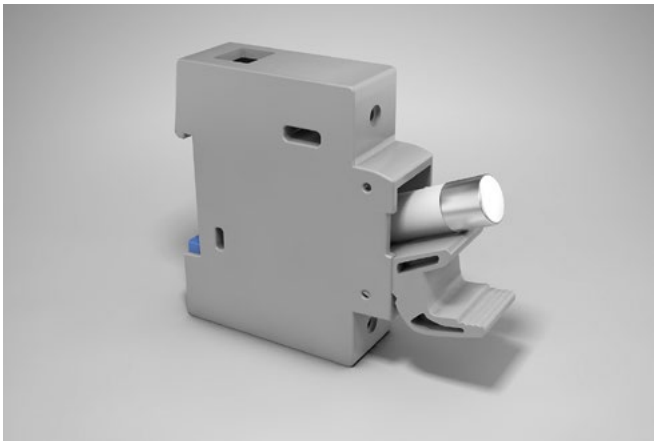


**Abb. 13** Sicherungshalter in fingersicherer Ausführung IP 2X, geeignet für den Überlastschutz auf der DC-Seite

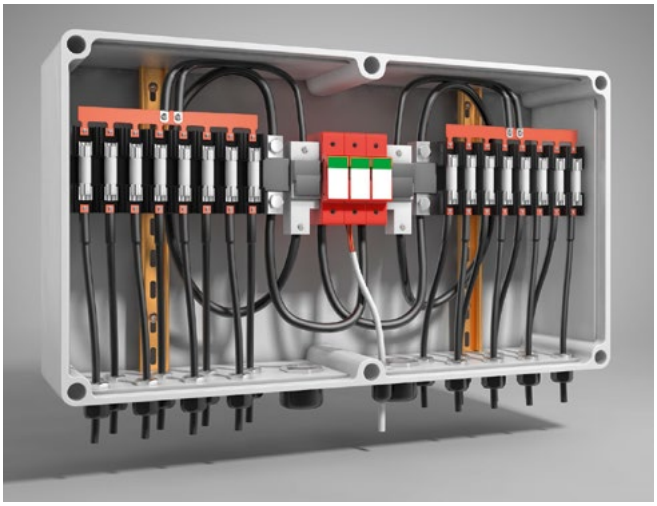


**Abb. 14** Verteilerkasten mit Sicherungshalter in nichtfingersicherer Ausführung

*5.2.1.2. Parallel geschaltete Strings*

Bei parallel geschalteten Strings besteht unter Umständen die Notwendigkeit, geeignete Überstromschutzeinrichtungen in die einzelnen Strings in Form von Schutzdioden oder Überstromschutzorganen einzusetzen. Werden Sicherungen zum Schutz bei Überlast verwendet und verfügen die Sicherungshalter nicht über einen Berührungsschutz IP 2X („fingersicher“) oder höher, so ist ein Einbau im Handbereich von Bedienelementen, wie z. B. Schalter, Leitungsschutzschalter, nicht gestattet.

Der Einbau von Sicherungshaltern in fingersicherer Ausführung verringert die Gefahr der elektrischen Durchströmung beim Sicherungswechsel unter Spannung. Ist die Fingersicherheit nicht gegeben, muss der Sicherungswechsel gemäß der Arbeitsmethode „Arbeiten unter Spannung“ erfolgen.

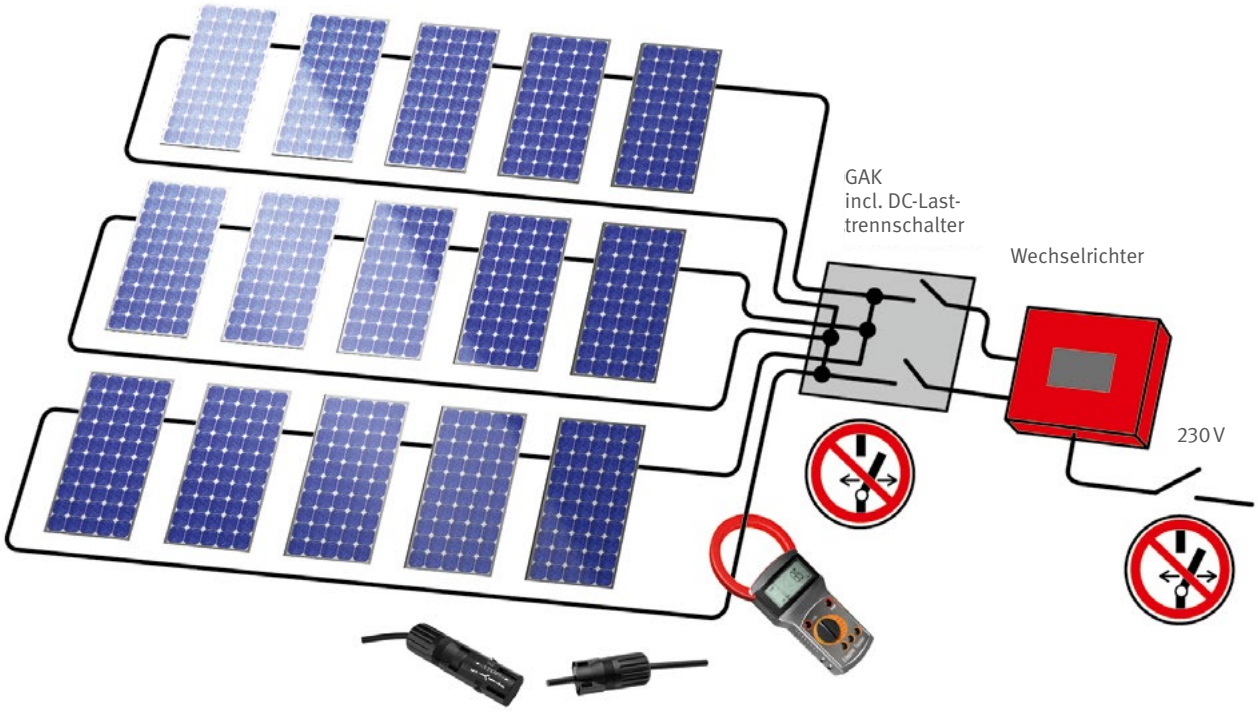



**Abb. 15** Nach „Abschalten“ und „Gegen Wiedereinschalten sichern“ wird durch Verwendung einer Strommesszange die Stromfreiheit geprüft. Erst dann kann der einzelne String gefahrlos mittels der DC-Steckverbinder geöffnet werden (Prinzipdarstellung)..




**Abb. 16** DC-Steckverbinder mit Warnhinweis

*5.2.1.3. Arbeiten auf der DC-Seite*

**a. Arbeiten im spannungsfreien Zustand**

Die Methode „Arbeiten im spannungsfreien Zustand“ ist bei Montage, Instandhaltung und Reparaturarbeiten allen anderen Arbeitsmethoden vorzuziehen. An PV-Anlagen lässt sich der spannungsfreie Zustand bei solarer Einstrahlung nur durch lichtdichtes Abdecken der Module erreichen. Deshalb muss auf der Generatorseite häufig auf die Methode „Arbeiten unter Spannung“ zurückgegriffen werden. Um ein sicheres Verfahren für Arbeiten unter Spannung zu erreichen, ist es sinnvoll, die Spannungen durch Schalthandlungen auf einen Wert mindestens kleiner DC 120 V oder sogar auf den Wert von DC 60 V zu reduzieren. Spannungen kleiner DC 60 V gelten als nicht mehr berührungsgefährlich, es muss aber die Gefährdung durch Lichtbogeneinwirkung berücksichtigt werden.

Die Schalthandlungen zum Freischalten und zum Spannungsreduzieren sind sicher auszuführen. Der freigeschaltete bzw. spannungsreduzierte Zustand der Anlage muss für die Zeit der Arbeiten sicher aufrechterhalten werden. Beispielhafte Schalthandlungen für Arbeiten an der Generatorseite werden nachfolgend aufgeführt.

Beim Abschalten der Generatorseite ist sicher zu stellen, dass die elektrischen Verbindungsstellen der Module bzw. der Strings wegen der Störlichtbogengefahr nicht unter Last getrennt werden. Dies gilt unter anderem auch für bestimmte Arten von DC-Schaltern, welche nur als Trennschalter und nicht als Lasttrennschalter ausgeführt sind. Diese Betriebsmittel sind mit einem Warnhinweis versehen (siehe Abbildung 16).

Die Stromfreiheit ist festzustellen:

- mit Strommesszangen, oder
- mit fest eingebauten Messgeräten/Meldeleuchten, wenn beim Abschalten die Veränderung der Anzeige beobachtet wird

**Die „5 PV-Sicherheitsregeln“, für Arbeiten an der DC-Seite von PV-Anlagen:**

1. Abschalten
   - Freischalten der AC-Seite
   - Wenn möglich, DC-Seite Freischalten, ansonsten DC-Seite stromlos schalten.
2. Gegen Wiedereinschalten sichern.
3. – Spannungsfreiheit auf der AC-Seite prüfen
   - Stromfreiheit auf der DC-Seite prüfen. Soweit möglich: Arbeitsstelle von speisenden Spannungsquellen (PV-Module) trennen. Gegebenenfalls: Spannungsfreiheit feststellen oder Erreichen der reduzierten Spannung feststellen.
4. Soweit erforderlich und möglich: Erden und Kurzschließen.
5. Benachbarte berührbare unter Spannung stehende Teile abdecken oder abschranken.

**b. Arbeiten unter Spannung**

Können Spannungsfreiheit bzw. Stromfreiheit nicht hergestellt und sicher aufrecht erhalten werden, oder sind bei den Freischaltvorgängen Betriebsmittel nicht berührungsgeschützt ausgeführt, so sind die Maßnahmen zur Arbeitsmethode „Arbeiten unter Spannung“ anzuwenden. Dieses gilt auch bei Messvorgängen, bei denen eine Berührung von unter Spannung stehenden Teilen nicht ausgeschlossen werden kann.

Prinzipiell werden Arbeiten unter Spannung mit und ohne Anwendung besonderer technischer und organisatorischer Maßnahmen unterschieden. Die besonderen Maßnahmen sind in DGUV Regel 103-011 und 103-012 sowie der VDE 0105-100 beschrieben. Für die durchzuführenden Arbeiten sind auf jeden Fall angemessene Kenntnisse und Erfahrungen erforderlich.

Arbeiten unter Spannung an PV-Anlagen, die **besondere** technische und organisatorische Maßnahmen erfordern, sind:

- Wartungsarbeiten und Fehlersuche, wenn erhöhte Lichtbogengefahr gegeben ist oder ein Isolationsfehler vorliegt
- Überbrücken von Teilstromkreisen,
- Abdecken von unisolierten AC-Niederspannungsfreileitungen,
- Auswechseln von Zählern, Schalt-und Steuergeräten.

Arbeiten unter Spannung an PV-Anlagen, die **keine besonderen** technischen und organisatorischen Maßnahmen erfordern, sind:

- Tätigkeiten, bei denen sowohl die Spannung zwischen den aktiven Teilen als auch die Spannung zwischen aktiven Teilen und Erde nicht höher als AC 50 V oder DC 120 V ist (SELV oder PELV)
- Heranführen von Prüf-, Mess-und Justiereinrichtungen bei Nennspannungen bis 1500 V DC.

Die o. g. Auflistungen enthalten nur die typischen, bei PV-Anlagen vorkommenden, Arbeiten (u. a. auch für die AC-Seite der PV-Anlage). Auf der Gleichspannungsseite wird häufig das Anbringen von Steckern unter Spannung ausgeführt. Für diese Tätigkeit sind Elektrofachkräfte mit spezieller Kenntnis und Erfahrung für eine sichere Ausführung erforderlich.

Für Arbeiten unter Spannung sind geeignete Arbeitsverfahren festzulegen. Ein empfohlenes Arbeitsverfahren bei Arbeiten an PV-Anlagen ist das „Arbeiten mit Isolierhandschuhen“. Dieses Verfahren wird u.a. auch bei Heranführen von Spannungsprüfern, Mess-und Justiereinrichtungen notwendig, falls eine gefährliche Spannung in Verbindung mit einem unzureichenden Berührungsschutz (kleiner IP 2x) der aktiven Teile vorliegt.

Müssen keine besonderen Schutzmaßnahmen angewandt werden, so ist trotzdem im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung zu überprüfen, ob eines der anerkannten Arbeitsverfahren angewendet werden muss. Ist z. B. ein auslösbarer gefährlicher Kurzschlussstrom möglich und liegen die Spannungen unterhalb von 120 V DC (z. B. bei Batterie-Speichersystemen), so ist hier wiederum die Arbeitsmethode „Arbeiten im spannungsfreien Zustand“ bevorzugt anzuwenden. Gefährliche Kurzschlussströme können in der Regel in Stromkreisen mit einem Bemessungsstrom der Sicherungen ab 50 A auftreten.

Ist in dieser Situation ein Freischalten aufgrund technischer Umstände nicht möglich und ist jedoch die Vermeidung eines Kurzschlusses aufgrund der Anwendung von isolierten Handwerkzeugen sowie von isolierenden Abdeckmatten sichergestellt, so kann das Verfahren unter Spannung durchgeführt werden.

Es ist u.a. notwendig, für Arbeiten unter Spannung geeignete Messgeräte sowie Mess-und Prüfspitzen zu verwenden, welche gemäß der DIN EN 61010 nach Messkategorien unterteilt werden. Eine Übersicht über die Anwendungsbereiche geeigneter Messgeräte sowie Mess-und Prüfspitzen bietet nachstehende Tabelle:

**Tabelle 1: Anwendungsbereiche und Messkategorien von Messgeräten sowie Mess-und Prüfspitzen**

| Messkategorie | Merkmale der Anlage/ des Stromkreises | Beispiele |
|---|---|---|
| CAT III | Gebäudeinstallation | Messungen an<br>• Wechselrichtern<br>• Verteilern, Leistungsschaltern, Schienenverteilern, Verteilerkästen, Schaltern, Steckdosen der festen Installation, Geräten für industriellen Einsatz |
| CAT IV | Quelle der Niederspannungsinstallation | Messungen an:<br>• primären Überstromschutzeinrichtungen und Rundsteuergeräten |



**Abb. 17** Arbeiten unter Spannung mit PSA ausführen



**Abb. 18** Isolierende Schutzhandschuhe 1 mm dick (Klasse 0)

Nachfolgend ist die zu verwendende Schutzausrüstung für das Verfahren „Arbeiten mit Isolierhandschuhen“ zusammenfassend aufgeführt:

- isolierender Helm mit Gesichtsschutzschirm bei zu erwartenden Lichtbögen mit hoher Energie
- isolierende Schutzhandschuhe, Klasse 00 (bis 500 V) oder Klasse 0 (bis 1000 V)
- Standortisolierung

zusätzliche Ausrüstung:

- isoliertes Werkzeug
- Sicherheitsschuhe
- geeignete Arbeitskleidung

Es darf nur geprüfte Schutzausrüstung verwendet werden. Diese ist weiterhin vor Gebrauch auf sichtbare Mängel zu prüfen.



**Abb. 19** Isolierendes Werkzeug

**c. Besondere Hinweise für die Schutzausrüstung:**

- Isolierende Schutzhandschuhe nach DIN EN 60903/ VDE 0682-311 mit CE - Zeichen
  - Aufblasen und Sichtprüfung zur Feststellung von Beschädigungen, bei Beschädigungen austauschen, wiederkehrende Prüfungen der Schutzhandschuhe können entfallen
- Elektriker-Schutzhelm nach DIN 4840:1981-05 oder nach EN 397 mit CE - Zeichen
  - Sichtprüfung auf mechanische Beschädigungen
  - Gesichtsschutzschirm (beschlagsfrei) mit CE - Zeichen, Sichtprüfung auf Durchsichtigkeit, fester Sitz auf dem Schutzhelm
  - Handwerkszeug zum Arbeiten an unter Spannung stehenden Teilen nach DIN EN 60900 / VDE 0682-201
    - › Sichtprüfung auf Beschädigung der Isolierung
    - › Aufbewahrung erfolgt im separaten (roten) Werkzeugkoffer
  - Isolierende Gummimatten zur Standortisolierung Dicke mind. 2,5 mm nach DIN EN 61111/VDE 0682-512
    - › Bei PV-Anlagen mit Stromkreisen, die nicht erdpotentialfrei sind, ist eine zusätzliche Standortisolierung erforderlich.
    - › Vor der Benutzung auf Risse und Löcher prüfen



**Abb. 20** isolierender Helm mit Gesichtsschutzschirm



**Abb. 21** Isolierende Gummimatte

**d. Arbeiten in der Nähe unter Spannung stehender Teile**

Befinden sich an der Arbeitsstelle aktive Teile in erreichbarer Nähe, die gemäß den 5 Sicherheitsregeln nicht freigeschaltet werden konnten, so sind die jeweiligen Verfahren für Arbeiten in der Nähe unter Spannung stehender Teile gemäß DIN VDE 0105-100 anzuwenden. Hierbei ist das Verfahren „Schutz durch Schutzvorrichtung, Abdeckung, Kapselung oder isolierende Umhüllung“ (Abschnitt 6.4.2) vorrangig gegenüber dem Verfahren „Schutz durch Abstand und Aufsichtführung“ (6.4.3) anzuwenden. Bei nichtelektrotechnischen Arbeiten ist Abschnitt 6.4.4 zu beachten.

Schutzabstände sind nach Tabellen 3 und 4 der DGUV Vorschrift 3 bzw. 4 oder Tabellen 102 und 103 der DIN VDE 0105-100 festzulegen.



**Abb. 22** PV-Anlage, für die Schutzmaßnahmen gemäß den Arbeiten in der Nähe unter Spannung stehender Teile anzuwenden sind

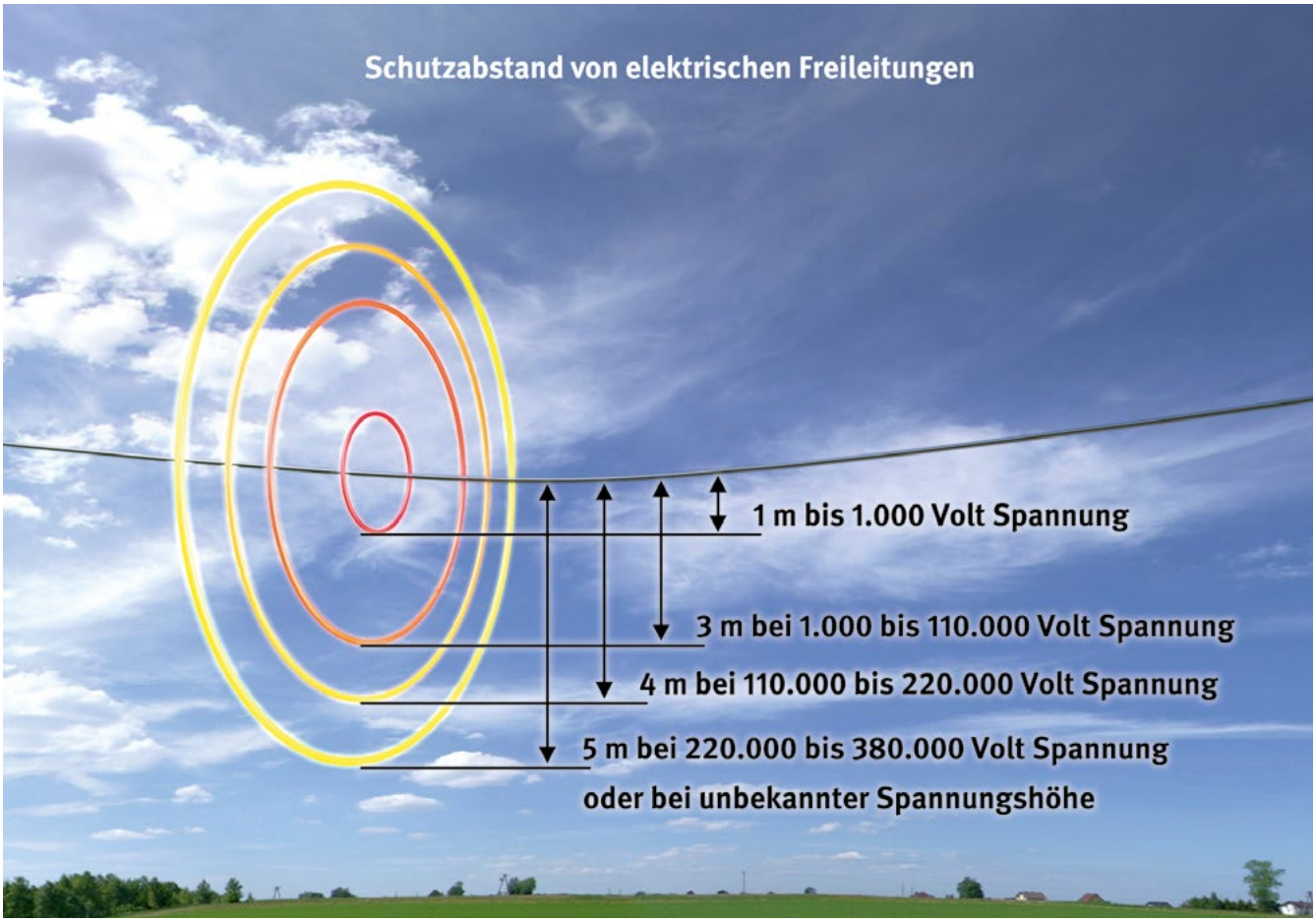



**Abb. 23** Schutzabstände, hier z. B. bei einer Freileitung

### 5.2.2. Elektrische Gefährdungen und Schutzmaßnahmen im AC-System (Netzseite)

Es werden oftmals zum Anschluss an die Energieversorgungsnetze kundeneigene Kabeltrassen, Kabelnetze, Schalt-und Trafostationen errichtet und betrieben. Daraus ergeben sich für den Betrieb unter Umständen besondere Bedingungen. Bestimmungen zum Errichten dieser Anlagen finden sich in den Normenreihen VDE 0100 und VDE 0101. Weitere Bestimmungen werden durch die Technischen Anschlussbedingungen (TAB) der Netzbetreiber beschrieben. Die Dimensionierung der Anlagen hinsichtlich ihrer Belastbarkeit wird u.a. durch Gleichzeitigkeitsfaktoren bestimmt. Gegenüber den konventionellen Netzen mit Verbraucheranschlüssen ist bei PV-Anlagen in der Regel ein Gleichzeitigkeitsfaktor von 1 zu Grunde zu legen.

Zur Vermeidung hoher Leitungsverluste werden die Querschnitte von Kabeln und Leitungen höher dimensioniert als bei Verbraucheranschlüssen (empfohlener Spannungsfall <1%). Als Alternative zu Kupferkabeln werden aus wirtschaftlichen Gründen oft Aluminiumkabel verwendet. Für die Herstellung eines fachgerechten Anschlusses sind Spezialkenntnisse und geeignetes Material erforderlich. Unter anderem ist bei der Brandursachenermittlung in den letzten Jahren eine ungewöhnliche Häufung von mangelhaft ausgeführten Anschlüssen/Klemmverbindungen der Einspeisekabel auffällig.

Beim Anschluss von Aluminiumkabeln sind folgende Arbeitsschritte einzuhalten:

- Entfernung der Oxidschicht von dem abisolierten Ende des Aluminiumleiters mithilfe einer Klinge.
- Das gereinigte Ende sofort in säurefreie und nicht-alkalische (d.h. neutrale) Vaseline tauchen oder damit einreiben.
- Die Klemmstelle sollte so weit wie möglich vor korrosiven Dämpfen und aggressiver Atmosphäre geschützt werden.
- Die Klemmstelle nach einiger Zeit (ca. 200 Betriebsstunden) noch einmal nachziehen, das Fließen des Aluminiums wird so in gewissem Maße ausgeglichen.
- Werden die Leiter ab-und erneut angeklemmt, ist die gesamte Vorbereitungsprozedur zu wiederholen.

Das vom Klemmenhersteller angegebene Anzugsdrehmoment ist unbedingt zu beachten.

Die Hersteller von Zubehör zur Kabelmontage bieten für Aluminiumadern geeignete Kabelschuhe mit einem Al/Cu Übergang oder für Aluminiumsektorkabel geeignete Klemmen an.

#### a. Arbeiten im spannungsfreien Zustand

Die Arbeitsmethode „Arbeiten im spannungsfreien Zustand“ ist vorrangig gegenüber den anderen Arbeitsmethoden anzuwenden. Die jeweiligen Maßnahmen für das Arbeiten im spannungsfreien Zustand sind im Abschnitt 6.2 der VDE 0105-100 beschrieben.

Es werden deshalb nachfolgend nur die besonderen Maßnahmen zum Herstellen des spannungsfreien Zustands bei PV-Anlagen beschrieben.

Netzgekoppelte Anlagen müssen in der Regel mit einer ENS bzw. einem Netz-und Anlagenschutz ausgestattet sein, welches den Wechselrichter bei Netzstörung oder Netzabschaltung selbstständig und zuverlässig abschaltet. Trotz automatischer Abschalteinrichtungen (ENS, Netz-und Anlagenschutz) ist zur Herstellung des spannungsfreien Zustandes sowohl für die netzgekoppelte als auch im Inselbetrieb betriebene PV-Anlage das manuelle Freischalten auf der AC-Seite zwingend erforderlich.

Bei bestimmten Modultypen ist aufgrund des TCO-Korrosions-und PID-Effekts eine Erdung des Plus-oder Minuspols der Modulstrings vorhanden oder anstelle der Erdung eine Offsetkompensationsanlage eingebaut. Die Offsetkompensationsanlage ist in die Schalthandlungen zum Freischalten einzubeziehen.

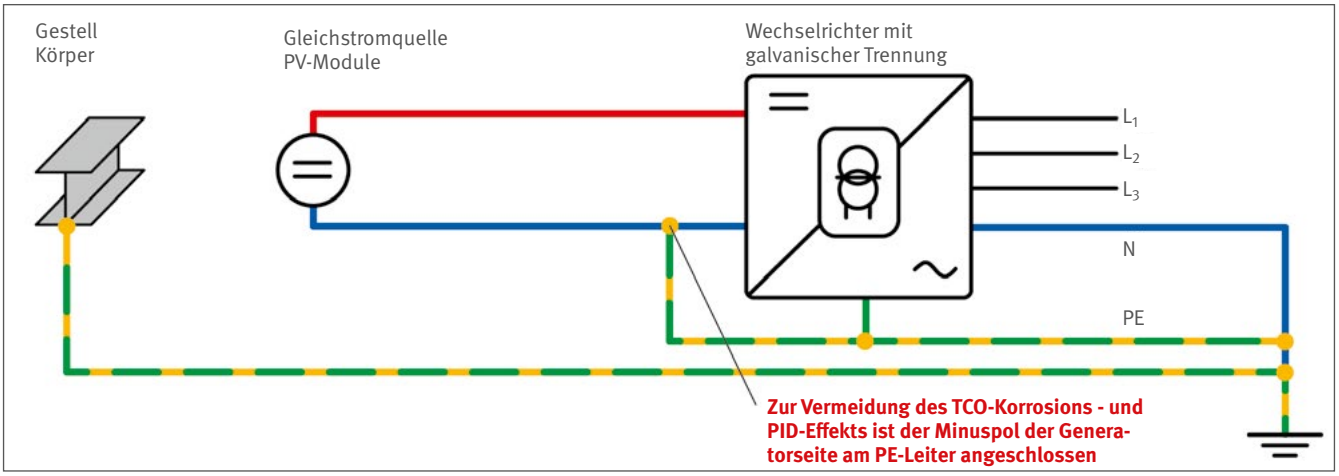



**Abb. 24a** Wechselrichter mit galvanischer Trennung und Anschluss eines Poles der Generatorseite an den PE-Leiter zur Vermeidung des TCO-Korrosions-und PID-Effekts

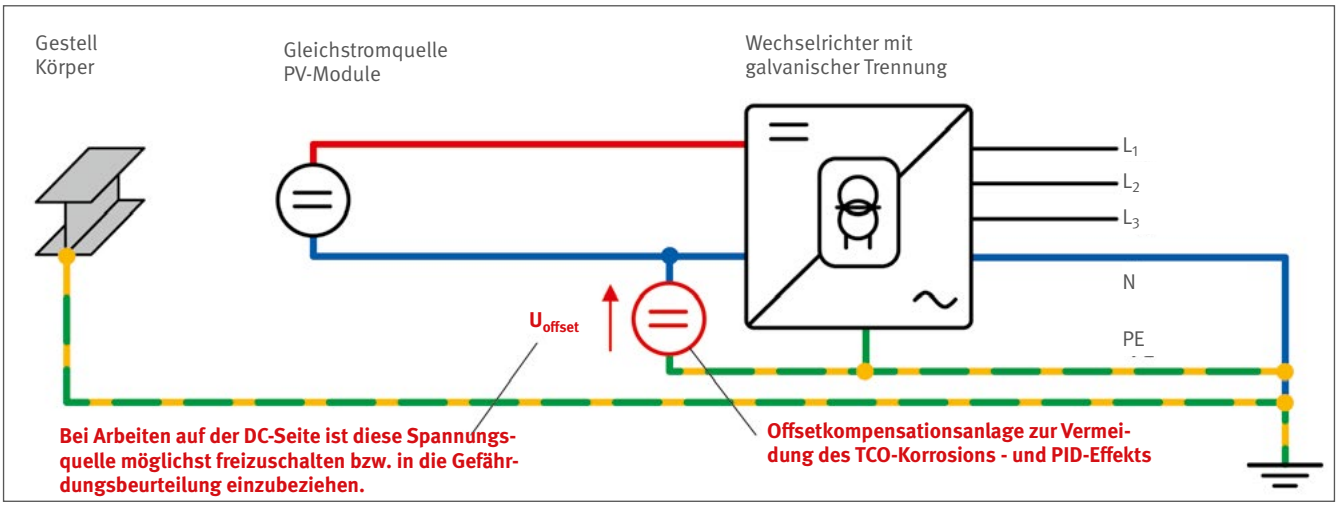



**Abb. 24b** Wechselrichter mit galvanischer Trennung und Offsetkompensationsanlage zur Vermeidung des TCO-Korrosions-und PID-Effekts

Unter anderem werden auch gesamte Wechselspannungsnetze als IT-System in Verbindung mit Offsetkompensationsanlagen betrieben, um den TCO-Korrosions-und PID-Effekt von bestimmten Modultypen einzudämmen. Hierbei wird der Neutralleiter erdbezogen auf einem definierten Potential gehalten. Diese Spannung wird von der Offsetkompensationsanlage erzeugt bzw. geregelt und kann eine für den Menschen gefährliche Spannung verursachen.

Beim Einsatz von Offsetkompensationsanlagen auf der AC-Seite ist immer darauf zu achten, dass der Neutralleiter von der Offsetkompensationsanlage für die Anwendung der Arbeitsmethode „Arbeiten im spannungsfreien Zustand“ freigeschaltet wird.

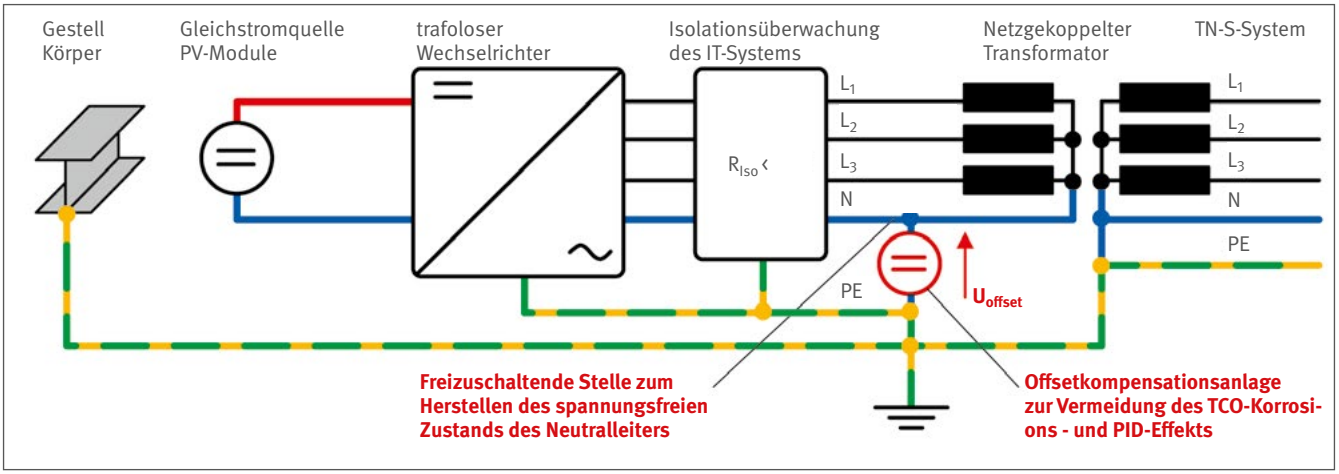



**Abb. 25** Anwendung des IT-Systems in Verbindung mit einer Offsetkompensationsanlage zur Vermeidung des TCO-Korrosions-und PID-Effekts

**b. Arbeiten unter Spannung**

Die Arbeitsmethode „Arbeiten unter Spannung“ ist bereits im Abschnitt 5.2.1.3 b dieser Information ausreichend beschrieben. Bei Arbeiten auf der AC-Seite der PV-Anlage ist analog der dort genannten Vorgehensweisen zu verfahren.

**c. Arbeiten in der Nähe unter Spannung stehender Teile**

Die Arbeitsmethode „Arbeiten in der Nähe unter Spannung stehender Teile“ ist bereits im Abschnitt 5.2.1.3 dieser DGUV Information ausreichend beschrieben. Bei Arbeiten auf der AC-Seite der PV-Anlage ist analog der dort genannten Vorgehensweisen zu verfahren.

Da bei PV-Anlagen meist sehr lange leitfähige Gestellteile (bis zu 6 m Länge) verwendet werden, ist unter Umständen ein Erreichen der Gefahrenzone von Freileitungen möglich (siehe Abbildung 23).

Wird der ermittelte Schutzabstand durch Annäherung von Körperteilen oder Gegenständen unterschritten, so ist die Freileitung entweder freizuschalten oder mit isolierende Abdeckungen auszustatten. Diese Arbeiten müssen vom Netzbetreiber ausgeführt bzw. veranlasst werden.



**Abb. 26** Niederspannungsfreileitung in der Nähe einer PV-Anlage



**Abb. 27** Materialtransport bei entfernter Schutzeinrichtung unter Verwendung von PSAgA

## 5.3. Weitere Gefährdungen

### 5.3.1. Materialtransport auf die Dachfläche

Der Materialtransport zur Dachfläche hat auf Basis der Gefährdungsbeurteilung mit geeigneten Einrichtungen und Hilfsmitteln zu erfolgen. Wird ein manueller Transport durchgeführt, sind geeignete Verkehrswege einzurichten. Der Einsatz von Arbeitsgerüsten ist dem Einsatz von Leitern vorzuziehen. Bei der Verwendung von Leitern ist zu beachten, dass gemäß der DGUV Vorschrift 38 und 39 Gewichte bis zu 10 kg und Windangriffsflächen bis zu 1m$^2$ für den Materialtransport zugelassen sind. Der überwiegende Teil der marktüblichen PV-Module verfügt über eine Modulfläche von mehr als 1 m$^2$. Deshalb dürfen solche Module nicht über Leitern transportiert werden.

Geeignete Transportmittel sind:

- Baustellen-und Lastenaufzüge
- Krane

Hubarbeitsbühnen sind grundsätzlich nur eingeschränkt für den Materialtransport verwendbar. Es ist hierzu eine spezifische Gefährdungsbeurteilung unter Berücksichtigung der Bedienungsanleitung des Herstellers erforderlich.

Werden Baustellenaufzüge eingesetzt, so ist darauf zu achten, dass durch den Aufbau der Aufzüge Schutzeinrichtungen gegen Absturz nicht entfernt bzw. unwirksam gemacht werden. Es empfiehlt sich, Gerüste bzw. Schutzgerüste so zu planen, dass der Lastenaufzug oberhalb des Seitenschutzes bzw. der Schutzwand geführt werden kann. Ebenfalls ist bei einer solchen Planung darauf zu achten, dass das Gerüst die auftretenden Belastungen durch den Aufzug aufnehmen kann. Müssen trotzdem Schutzeinrichtungen gegen Absturz aufgrund des Materialtransports mittels Lastenaufzüge entfernt werden, so sind an den entsprechenden Absturzstellen geeignete Schutzmaßnahmen zu ergreifen. Hier empfiehlt sich der Einsatz von PSAgA während der Dauer der Transportarbeiten. Nach Beendigung der Transportarbeiten sind die entfernten Schutzeinrichtungen unter Anwendung von PSAgA wieder anzubringen.

Bei Lagerung und Transport der PV-Module können sich weitere mechanische Gefährdungen ergeben, z. B. durch:

- den Transport von Modulen bei fehlerhafter Ladungssicherung,
- das mögliche Herabfallen vom LKW-Ladekran, Gabelstapler oder Dachdeckerschrägaufzug ,
- Stolperstellen bei Handtransport,
- Schwerpunktverlagerung und damit Abrutschen der gelagerten Module auf Gerüsten oder Dachflächen
- Quetsch-und Schnittverletzungsgefahr von Finger und Arm bei der Montage auf der Unterkonstruktion.

Durch die Festlegung von Maßnahmen zur Gefahrenabwehr, wie Ladungssicherung, Beachtung von Verkehrssicherungsmaßnahmen, sichere Lagerung der Module und Benutzung von Schutzhandschuhen werden mechanische Gefährdungen verringert.

### 5.3.2. Gefahrstoffe, Asbest

Gemäß der Gefahrstoffverordnung und den technischen Regeln für Gefahrstoffe (TRGS 519) dürfen an asbesthaltigen Produkten ausschließlich Abbrucharbeiten durchgeführt werden (§ 18 Abs. 1 Gefahrstoffverordnung). Das gilt nicht nur für normal auf Unterkonstruktion montierte PV-Anlagen, sondern ebenfalls für aufgeständerte Anlagen.

**Auf Dächern, die mit Asbestzementprodukten gedeckt sind, dürfen keine PV-Anlagen errichtet werden.**

#### 5.3.3. UV-Strahlung

Bereits seit Jahren liegt die Erkenntnis vor, dass UV-Strahlung Hautkrebserkrankungen verursachen kann. Je nach Arbeitsdauer und Witterung sind Schutzmaßnahmen zur Reduzierung der UV-Strahlungsexposition notwendig. Abschattungsmaßnahmen sind zu bevorzugen. Bei der Montage von PV-Anlagen ist das aber nur bedingt möglich. Deshalb ist für lichtdichte Kleidung, Kopfbedeckung sowie Haut- und Augenschutz zu sorgen. Der Betriebsarzt kann zur Festlegung und Abstimmung der Maßnahmen einbezogen werden.

#### 5.3.4. Physische Belastungen

Da die Montage der Unterkonstruktion und der Module einer PV-Anlage von Hand erfolgt, kommt es für die Mitarbeiter, die diese Arbeiten ausführen, zu einer physischen Belastung durch Heben, Halten und Tragen von Lasten. Beim Gehen auf geneigten Dachflächen führt die der Dachneigung angepasste Fußstellung zu einer starken Belastung der Gelenke. Hinzu kommt eine starke Rückenbelastung durch Tätigkeiten in gebückter Zwangshaltung (Rumpfbeugehaltung). Durch den Handtransport (Aufnahme, Transport und Absetzen) der teilweise über 20 kg schweren Module erhöht sich die Rückenbelastung.

Maßnahmen, um Rücken-, Muskel-und Gelenkbeschwerden zu vermeiden, sind:

- Technische Hilfsmittel wie Mobilkran, Hubarbeitsbühnen oder Dachdecker-Lagerböcke und Transportroller
- Auswahl von trainierten Mitarbeitern
- Rotation durch Wechseltätigkeit der Mitarbeiter.
- Ablegen der einzelnen Module mit Hilfe des zweiten Mitarbeiters
- Kurzpausen als Bewegungspausen zur Auflockerung und Dehnung der belasteten Muskulatur
- Benutzung von Knieschützern, die z. B. auch in Arbeitshosen integriert werden können
- Arbeitsmedizinische Beratung und Betreuung der Mitarbeiter.

Bei Bedarf sind den Mitarbeitern Nässe- und Kälteschutzkleidung zur Verfügung zu stellen. Schutzhandschuhe schützen die Hände vor Schnittverletzungen durch die oft scharfkantigen Profile.

### 5.4. Kurzzeitige Arbeiten, Wartung und Instandhaltung

#### 5.4.1. Prüfungen

Elektrische Prüfungen dürfen nur von Elektrofachkräften oder unter deren Leitung und Aufsicht von elektrotechnisch unterwiesenen Personen durchgeführt werden. Für die Messung müssen geeignete Messgeräte und entsprechendes Messzubehör verwendet werden (vergleiche Abschnitt 5.2.1.3 Tabelle 1).

**Tabelle 2: Prüfungen**

| Wann | Wo | Was | Wer |
|---|---|---|---|
| Täglich | Wechselrichter | Kontrolle der Betriebsanzeige | Betreiber |
| | Betriebsdatenüberwachung (System) | Kontrolle des Betriebszustandes per Fernüberwachung (Für den Brandschutz ist insbesondere auf Isolationsfehler zu achten.) | Betreiber/ Elektrofachkraft |
| | | Fehlermeldungen analysieren und geeignete Maßnahmen ergreifen | Elektrofachkraft |
| Monatlich | Generatorfläche | Sichtprüfung auf offensichtliche Mängel, wie z. B. herunterhängende Module, Modulklammern, Montagegestellteile oder PV-Leitungen | Betreiber |
| Intervall von 4 Jahren | Gesamtanlage | Wiederholung der Messungen und Prüfungen nach DIN VDE 0105-100, DIN VDE 0100-600 bzw. DIN VDE 0126-23 | Elektrofachkraft |

### 5.4.2. Reinigen, Schneeräumen

Die sachgerechte Reinigung von Anlagen erfordert Fachwissen und materielle Voraussetzungen. Im Vorfeld muss geklärt werden, ob die Anlage überhaupt betreten werden kann und welche Reinigungstechnik zur Anwendung kommen soll bzw. darf. Für die Arbeiten sollten bevorzugt Hubarbeitsbühnen eingesetzt werden. Ist der Einsatz nicht möglich und müssen Dachflächen betreten werden, besteht bei dieser Arbeit sehr hohe Absturz-und Durchsturzgefahr. Deshalb dürfen diese Tätigkeiten nur unter Beachtung der Schutzmaßnahmen gegen Absturz durchgeführt werden. Kommt PSAgA zur Anwendung, ist durch den Aufsichtsführenden ein ausreichend tragfähiger Anschlagpunkt zu benennen.

In der Regel fallen Reinigungsarbeiten nur für die Modulflächen an. Diese Arbeiten werden oft mit Wasser durchgeführt. Die Zellen sowie deren Verbindungen in den Modulen sind entsprechend den zu erwartenden Witterungsbedingungen geschützt. Die Modulhersteller weisen deshalb meist keine Schutzart hinsichtlich des Eindringens von Nässe aus. Letztendlich sind nur die Modulanschlusskästen, Steckverbinder und Verteilerkästen mit Schutzarten gegen Eindringen von Nässe gekennzeichnet. Modulanschlusskästen und Steckverbinder verfügen in der Regel über Schutzarten von IP X6 (Strahlwasser geschützt) und höher. Bei Verteilerkästen liegt überwiegend die Schutzart IP X5 (Spritzwasser geschützt) und höher vor. Werden Reinigungsarbeiten mit Wasser durchgeführt, so sind die Art und Weise der Tätigkeiten entsprechend der vorliegenden Schutzarten der Betriebsmittel anzupassen. Folgende Maßnahmen werden grundsätzlich empfohlen:

- Herstellerangaben hinsichtlich der Reinigungsarbeiten beachten
- elektrische Betriebsmittel möglichst nicht mit starkem Strahlwasser beaufschlagen, sondern nur Kehr-oder Wischtechniken anwenden
- Steckverbinder und Verteilerkästen soweit möglich nicht mit Reinigungsflüssigkeit beaufschlagen

Müssen PV-Anlagen vom Schnee geräumt werden, dürfen diese Konstruktionen nur dann betreten werden, wenn sichergestellt ist, dass die Tragfähigkeit der gesamten baulichen Anlage gewährleistet ist. Bei der Schneeräumung besteht die besondere Gefahr des Durchsturzes, da nicht durchtrittsichere Bereiche, wie z. B. Oberlichter oder Faserzementplatten, nur schwer erkannt werden können, wenn sie schneebedeckt sind.



**Abb. 28** Reinigung einer PV-Anlage von einer Hubarbeitsbühne aus

### 5.4.3. Modulaustausch

Der Modultausch an einer bestehenden PV-Anlage aufgrund einer Beschädigung oder eines Defektes erfordert eine planmäßige Vorgehensweise nach einer tätigkeitsbezogenen Gefährdungsbeurteilung (siehe Anhang), die eine vorhandene Gefährdungsbeurteilung ergänzt. Hierzu ist es notwendig, dass

- am Objekt nach Inaugenscheinnahme der mögliche Zugangsweg festgelegt wird, eventuell wird eine Demontage von Modulen für den Zugangsweg notwendig,
- der Arbeitsablauf festgelegt und die notwendigen Hilfsmittel, wie z. B. fahrbares Gerüst oder Montagebrücken bestimmt werden,
- festgelegt wird, wie das Modul oder die Module auf die Montagestelle gelangen,
- bestimmt wird, wo und wie sich der Mitarbeiter bei der Montage sichert, falls PSAgA zum Einsatz kommt,
- der Arbeitsablauf für den Austausch festgelegt wird und eine Anweisung hierfür erfolgt und
- eine objekt-und tätigkeitsbezogene Unterweisung des/der Mitarbeiter erfolgt.

Der Transport der Module über eine Leiter scheidet wegen des Gewichts, der Abmessungen und der Montagehöhe meist aus.

Der Einsatz eines Gerüstes, Mobilkrans, Schrägaufzugs oder der Innentransport ist zu prüfen.

Die Anlage ist für die Dauer des Modultausches frei zu schalten.

### 5.4.4. Grünpflege in Freiflächenanlagen

Bei Mäharbeiten ist darauf zu achten, dass durch Mähgeräte oder -fahrzeuge elektrische Anlagenteile nicht beschädigt bzw. durch diese Arbeiten keine elektrischen Gefährdungen verursacht werden. Dies erfordert die Unterweisung der Mitarbeiter und den Einsatz von geeigneten Geräten und Maschinen sowie erforderlichenfalls technischen Schutzeinrichtungen.

Werden zur Grünpflege Tiere eingesetzt, so sind die Betriebsmittel wie z. B. Anschlussleitungen und Verteilerkästen gegen die zu erwartenden möglichen Beschädigungen zu schützen.

# 6 Anhang

## 6.1. Weitere Informationen

Auf den Internetseiten der BG ETEM (www.bgetem.de) sind weitere Praxishilfen und Informationen zu finden, z. B. ein Programm zur Gefährdungsbeurteilung speziell für Photovoltaikanlagen.




**Abb. 29** Leicht handhabbare und praxisgerechte Software zur Gefährdungsbeurteilung (Webcode: 13872948 von www.bgetem.de)

## 6.2. Literatur




Abb. 30 VdS 3145 „Photovoltaikanlagen“




Abb. 31 VdS 2033 „Elektrische Anlagen in feuergefährdeten Betriebsstätten“

## 6.3. Überstieg von einer Hubarbeitsbühne

Das Übersteigen von einer Hubarbeitsbühne aus ist unter bestimmten Voraussetzungen möglich; hierzu gehören eine geeignete Bühne, qualifiziertes Personal, eine zugeschnittene Gefährungsbeurteilung, angepasste Unterweisungen und die nachfolgend genannten Maßnahmen:

Für das Verlassen der angehobenen Arbeitsbühne wird, unter Berücksichtigung der möglichen Absturz- und Quetschgefahren, eine spezielle Gefährdungsbeurteilung durchgeführt.

Die schriftliche Unterweisung der Beschäftigten beinhaltet die besonderen Aspekte des Verlassens der angehobenen Arbeitsbühne. Der Erhalt der schriftlichen Unterweisung wird durch Unterschrift des Unterwiesenen bestätigt.

Das Verlassen der angehobenen Arbeitsbühne und Übersteigen auf ein festes Bauteil ist in einer Betriebsanweisung geregelt.

Die Grundanforderungen für das sichere Betreiben von Hubarbeitsbühnen werden eingehalten.

Die eingesetzten Hubarbeitsbühnen verfügen über ausreichende Tragfähigkeit, Steifigkeit und Standsicherheit.

Es werden Arbeitsbühnen mit Tür verwendet.

Der vorgenannte Ausstieg wird benutzt, d.h. beim Verlassen der Arbeitsbühne erfolgt kein Übersteigen des Geländers.

Es werden nur Arbeitsbühnen verwendet, die den Ausstieg an der dem Überstiegsobjekt zugewandten Seite haben. Die Verwendung zusätzlicher, nicht zur Hubarbeitsbühne gehörender Auf- bzw. Überstiegshilfen wie z. B. Leitern ist unzulässig.

Besteht beim Verlassen der Arbeitsbühne Absturzgefahr, sichern sich die Beschäftigten vor dem Verlassen durch Persönliche Schutzausrüstung gegen Absturz (PSAgA) an geeigneten konstruktiven Anschlagpunkten außerhalb der Arbeitsbühne, die durch den Arbeitgeber festgelegt sind. Diese Anschlagpunkte sind von der Arbeitsbühne aus sicher erreichbar.

Anmerkung: geeignete Anschlagpunkte können z. B. Beton- oder Holzbalken, Träger oder Rohre von Stahlkonstruktionen sein.

Die Arbeitshöhe/Reichweite wird maximal zu 75 % ausgenutzt.

Ist der die Arbeitsbühne Verlassende der Bediener der Hubarbeitsbühne, ist ein zweiter Bediener vor Ort.

Eine Kommunikation zwischen dem Übersteigenden und dem zweiten Bediener vor Ort ist jederzeit sichergestellt.

Im Hinblick auf mögliche Quetschgefahren und Sachschäden werden ausreichende Abstände, die auch Effekte (Wippen, Peitscheneffekt) beim Verlassen der Arbeitsbühne berücksichtigen, zu festen Gegenständen der Umgebung eingehalten.

Es existiert ein Rettungskonzept.

siehe auch
www.dguv.de Webcode: d925593
www.bauforumplus.eu/absturz

## 6.4. Hinweise zum Brandschutz

PV-Module werden häufig auf Dächern mit brennbaren Baustoffen, wie z. B. Dämmstoffen, installiert. Brandschutztechnische Einrichtungen wie Rauch-Wärme-Abzug-Anlagen sind im Dachbereich angeordnet und können durch die PV-Module beeinträchtigt werden. Ebenfalls sind häufig Schutzeinrichtungen, wie z. B. Blitzschutzanlagen, vorhanden. Die PV-Module selbst stellen eine Brandlast dar und sie erzeugen bei Tageslicht trotz einer Abtrennung der Anlage vom Netz weiterhin eine Gleichspannung. Dadurch wird das Brandrisiko erhöht und die Brandbekämpfung erschwert. Die Installation einer PV-Anlage hat immer eine brandschutztechnische Auswirkung auf das Gebäude und ist deshalb bei der Anlagenplanung zu berücksichtigen.

Bei der Auswertung von Brandschäden in der Industrie, an Gewerbegebäuden und kommunalen Objekten zeigt sich, dass die Kombination von PV-Anlagen und brennbarer Dachdämmung zu Brandschäden mit Totalverlust der Gebäude führen kann. Hier stellt sich aktuell für den Sachversicherer die Frage nach der Versicherbarkeit solcher Objekte.

Voraussetzung für einen gefahrlosen Betrieb einer PV-Anlage ist, dass die Anlagen fachgerecht installiert und die brandschutztechnischen Einrichtungen der Gebäude nicht beeinträchtigt werden. Besondere brandschutztechnische Anforderungen des Brandschutzkonzeptes sind zu berücksichtigen. Es kann erforderlich sein, die Freigabe der Baubehörde und die Zustimmung des Sachversicherers vor Baubeginn einzuholen. Daher muss sich jeder Errichter und Planer einer PV-Anlage mit dem Thema Brandschutz auseinandersetzen.

Neben den brandschutztechnischen Anforderungen der Landesbauordnungen und der Industriebaurichtlinie sind in vielen Bereichen weitergehende Auflagen zu beachten. So darf die nachträgliche Installation einer PV-Anlage auf dem Dach eines Industrieunternehmens nicht vom Brandschutzkonzept des Betriebes abweichen und den Brandschutz nicht beeinträchtigen.

Folgende Mängel werden bei brandschutztechnischen Überprüfungen häufig vorgefunden:

- Unzulässige Installationen im Bereich von Brandwänden
- Beeinträchtigungen brandschutztechnischer Einrichtungen, wie z. B. RWA-Anlagen
- Bildung großer unzugänglicher Generatorflächen
- Beeinträchtigung des äußeren Blitzschutzes
- Installationen innerhalb feuergefährdeter Betriebsstätten
- Fehlender Fehlerstromschutz, obwohl gefordert
- Fehlerhaft dimensionierte und falsch angeschlossene Aluminiumkabel
- Unzureichende Instandhaltung, fehlende Prüfung (z. B. mittels Thermografie)

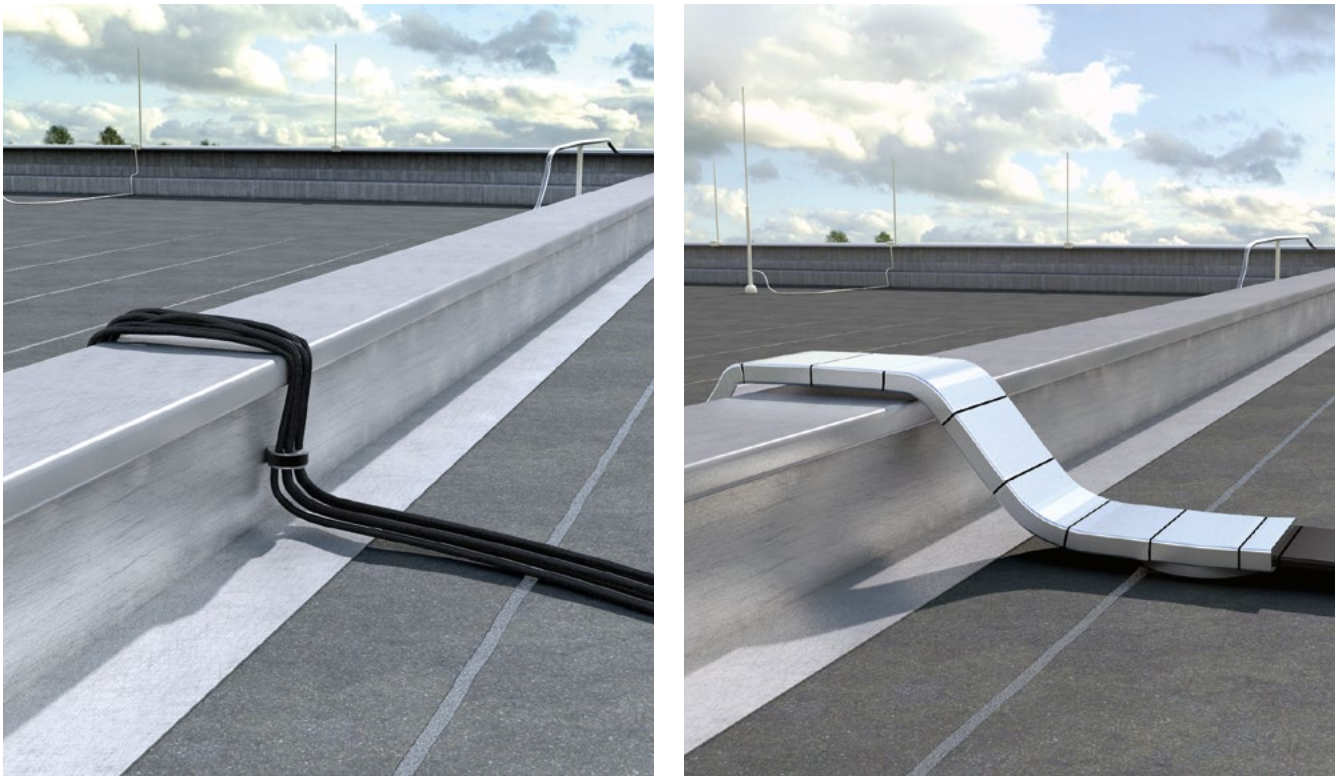


**Abb. 32** links ungeschützte, rechts geschützte Kabelführung über eine Brandwand

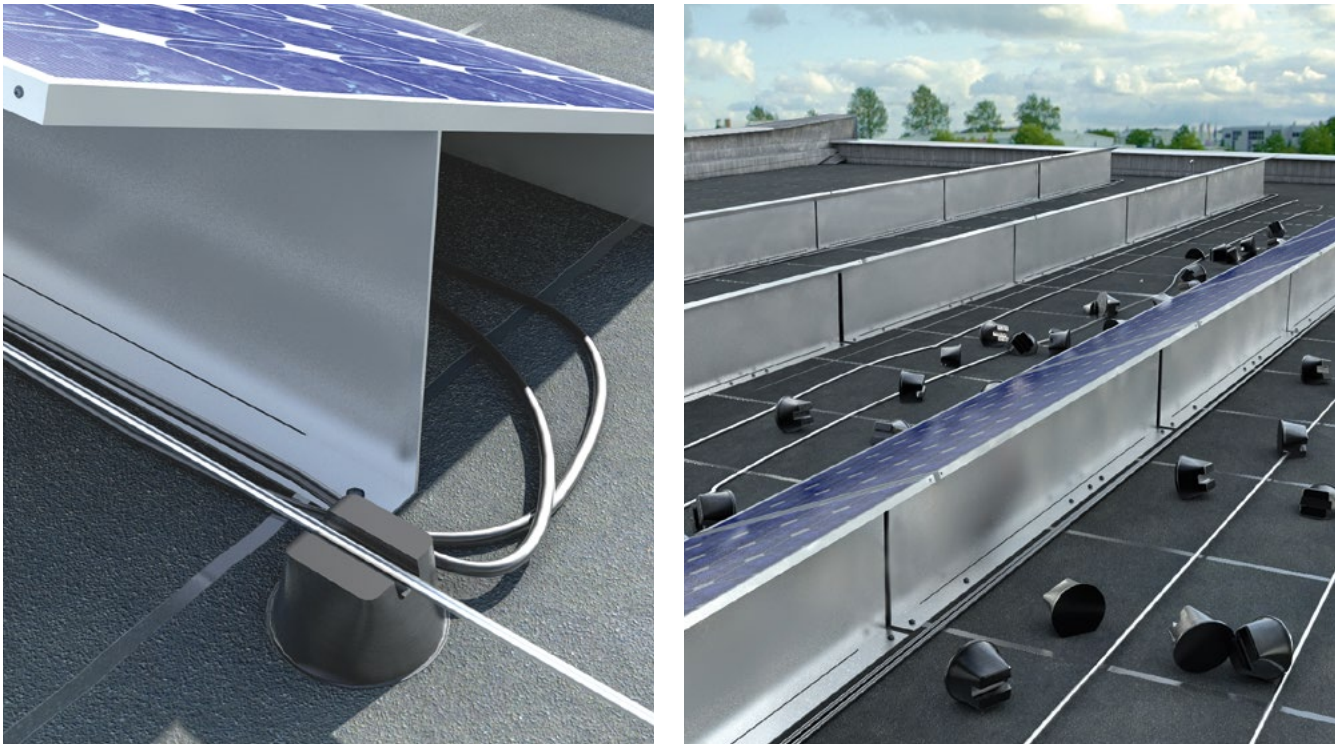


**Abb. 33** Überbaute und demontierte Blitzfangeinrichtungen





**Abb. 34** Unzulässige Montage in „feuergefährdeten Betriebsstätten“

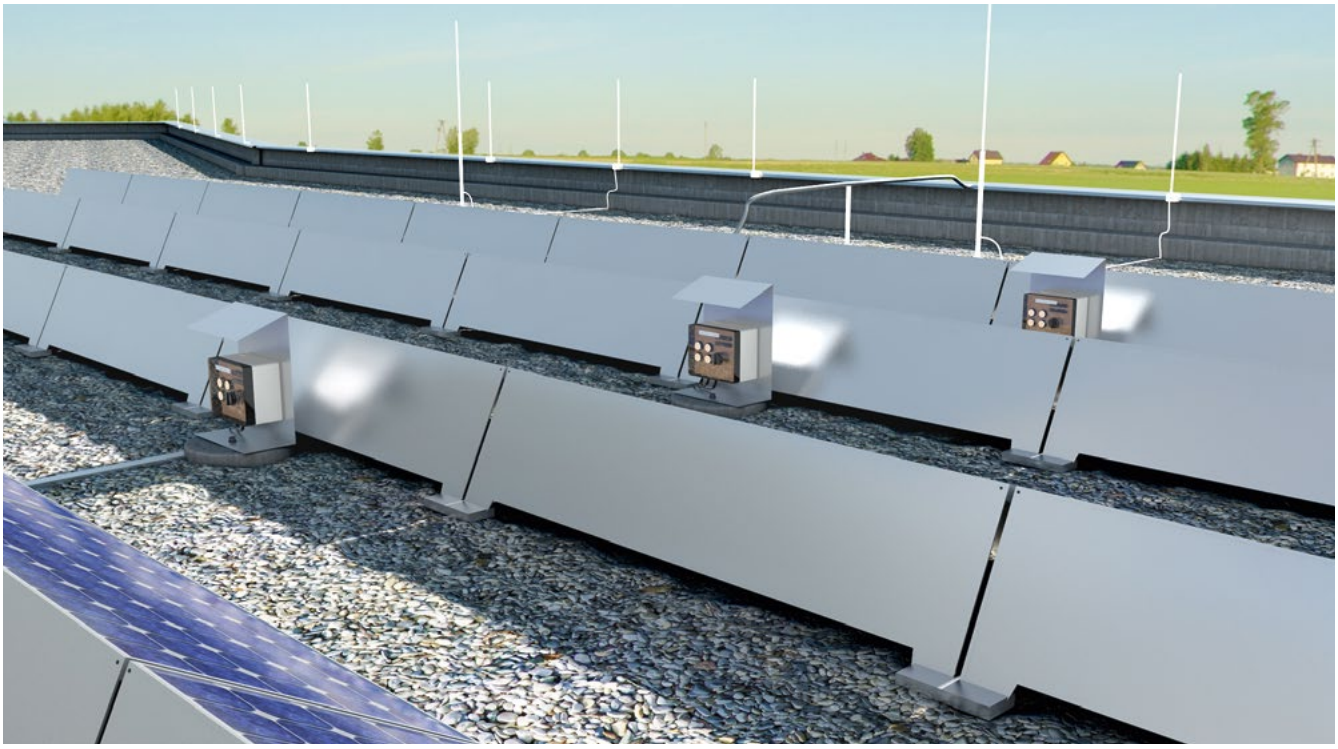


**Abb. 35** Beispiel einer Blitzschutzanlage in Kombination mit einer PV-Anlage

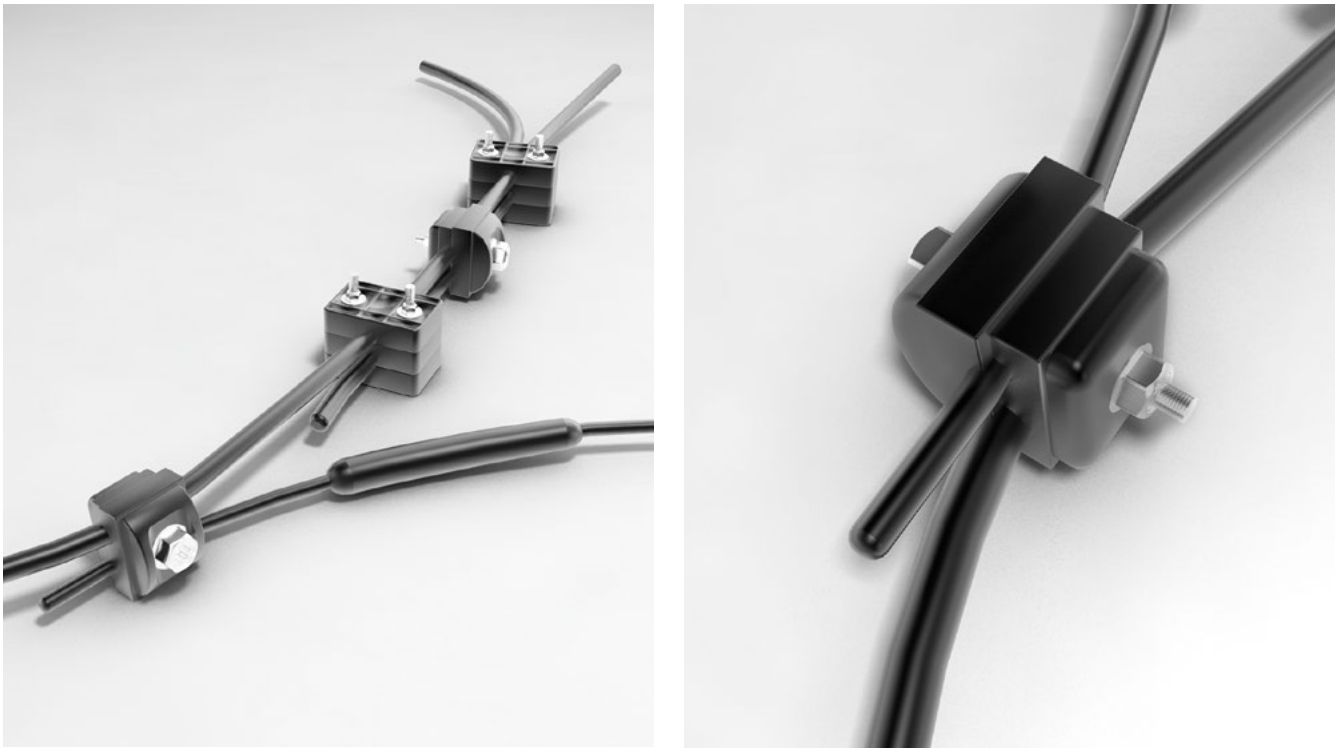


**Abb. 36** DC-Verbindungssystem, welches eine Verschaltung der Generatorseite ohne Abisolieren und Berührung der metallischen Leiter zulässt. Somit ist eine Verschaltung der Leitungen unter Spannung ohne Verwendung von PSA möglich.

Deutsche Gesetzliche
Unfallversicherung e.V. (DGUV)

Glinkastraße 40
10117 Berlin
Tel.: 030 288763800
Fax: 030 288763808
E-Mail: info@dguv.de
Internet: www.dguv.de