

Arbeitssicherheit DC Photovoltaik

Durch die konsequente Einhaltung von lebenswichtigen Sicherheitsregeln können Arbeitsunfälle vermieden und Leben gerettet werden. Die wichtigsten Regeln bei elektrotechnischen Tätigkeiten an PV-Anlagen werden nachstehend dargelegt.

1 Hintergrund

PV-Anlagen haben zwei Eigenheiten, die bezüglich Arbeitssicherheit ein besonderes Augenmerk erfordern. Einerseits liefern die PV-Module einen Gleichstrom (DC) in Abhängigkeit von der Einstrahlung, und andererseits können die Module nicht abgeschaltet werden (ausser durch Abdecken der Module). Die Arbeit mit Elektrizität birgt Risiken, die selbst von Elektrofachkräften immer wieder unterschätzt werden. Da Elektrizität unsichtbar und geruchlos ist, sind die damit verbundenen Gefahren nur schwer erkennbar. Das gilt genauso für die Arbeit an Photovoltaikanlagen und bedingt daher eine konsequente Einhaltung der lebenswichtigen Sicherheitsregeln im Umgang mit Elektrizität.

1.1 Elektrounfälle in der Schweiz

Jedes Jahr verlieren bis 2 oder mehr Elektrofachleute ihr Leben aufgrund eines Elektrounfalls. Bei Installationen, Wartungen und Reparaturen gibt es über die letzten Jahre eine steigende Tendenz von gemeldeten Elektrounfällen wegen Stromschlägen, wobei einige Berufsleute schwerste Verletzungen erleiden (gemeldete Elektrounfälle 2022: 671, 2023: 792).

Bei der Erfassung wird nicht zwischen AC- und DC-Unfällen unterschieden. Das Risiko einer lebensgefährlichen Verletzung ist bei Elektrounfällen etwa 4-mal höher als bei anderen Unfällen.

[Link zu: ESTI-Unfallstatistik](#)

2 Gefahren durch Elektrizität bei PV-Anlagen

2.1 Allgemeiner Unterschied AC/DC

Der grösste Unterschied zwischen Wechselstrom (AC) und Gleichstrom (DC) ist die Art des Stromflusses. Bei DC fliesst die elektrische Ladung nur in eine Richtung, während sie bei AC periodisch die Flussrichtung ändert. Gleichstrom ist bezüglich der Lichtbogengefahr gefährlicher als Wechselstrom, da er keine Nulldurchgänge hat. Ein Lichtbogen kann automatisch gelöscht werden, indem der Stromfluss lang genug unterbrochen wird. Bei Wechselstrom (50 Hz) geschieht dies beim Nulldurchgang 100-mal pro Sekunde, was eine Selbstlöschung begünstigt.

Bei Photovoltaikanlagen erfolgt der Unterbruch des Gleichstroms entweder durch den Wegfall der Sonneneinstrahlung oder durch geeignete Trennvorrichtungen wie z.B. Sicherungen oder DC-Lastschalter.

2.2 Gefahren bei Stromschlag DC

Im Allgemeinen wird eine Gefahr für Personen angenommen, wenn die Berührungsspannung 50 Volt bei Wechselspannung oder 120 Volt bei Gleichspannung überschreitet.

Eine Photovoltaikanlage produziert bei Tageslicht deutlich höhere Spannungen, und ein elektrischer Schlag kann somit auch lebensbedrohliche Folgen haben, wie beispielsweise einen Herzstillstand, eine Atemlähmung oder auch die Bildung von toxischen Eiweisszerfallprodukten im Blut, die zu Nierenschäden oder Vergiftungserscheinungen führen können. Häufig kommt es neben dem eigentlichen Stromschlag auch zu Folgeverletzungen durch schwere Stürze, da viele Installationsarbeiten im Zusammenhang mit PV in der Höhe stattfinden.

2.3 Lichtbogenproblematik

Grundsätzlich wird zwischen seriellen und parallelen Lichtbögen unterschieden. Das Risiko für serielle Lichtbögen ist grösser als dasjenige für parallele Lichtbögen. Serielle Lichtbögen können aber von modernen Wechselrichtern detektiert und mittels Stromunterbrechung gelöscht werden. Parallele Lichtbögen können vom Wechselrichter nicht unterbrochen werden.

2.3.1 Serielle Lichtbögen

Serielle Lichtbögen entstehen durch die Öffnung von Kontaktstellen im Stromkreis, z.B. durch Trennen unter Last, durch defekte Modulanschlussdosen, schlecht gecrimpte DC-Stecker, falsches Vorgehen beim Schalten von Strings oder falsch dimensionierte Strangsicherungen.

2.3.2 Parallele Lichtbögen

Parallele Lichtbögen entstehen typischerweise zwischen dem Plus- und dem Minuspol durch Kurzschlüsse in DC-Sammelmästen oder durch defekte Kabelisolierungen.

2.3.3 Gefahren von Lichtbögen

Lichtbögen bergen aufgrund der hohen Temperaturen verschiedene Gefahren:

- Verbrennung von Körperteilen
- Blendung
- Brand und Bildung von giftigen Gasen
- Folgeunfälle

Zudem besteht die Gefahr, dass vermeintlich unterbrochene Stromkreise beim Durchbruch eines Lichtbogens plötzlich wieder stromführend sind.

2.4 Falsche Sicherheit durch Abschaltung

Eine der Herausforderungen für Installateure besteht darin, dass trotz der Abschaltung des Stromkreises am Wechselrichter grosse Teile der Anlage sowie die Leitungen weiterhin unter Spannung stehen. Zwar wird durch die Abschaltung des Wechselrichters der Stromfluss unterbrochen, jedoch bleibt die Gleichspannung weiterhin bestehen.

2.5 Schutzziele

Folgende Schutzziele sind unbedingt einzuhalten:

- Schutz vor Körperdurchströmung (Elektrisierung)
- Schutz vor Lichtbogen (Hitze, Blendung)
- Schutz vor Folgeschaden (Sturz, Brand etc.)

3 Schutzmassnahmen

Jedes Unternehmen ist verpflichtet, basierend auf seiner eigenen Gefährdungsbeurteilung und Risikoanalyse die konkreten Schutzmassnahmen für den Betrieb festzulegen und deren Umsetzung sicherzustellen.

Die Voraussetzungen für ein sicheres Arbeiten müssen bereits vor Arbeitsbeginn festgelegt werden. Um ein Höchstmass an Sicherheit zu gewährleisten, sind eine sorgfältige Planung und eine gezielte Koordination der Arbeiten unerlässlich. Dazu gehören die Erstellung klarer Arbeitsaufträge und, wo erforderlich, eine umfassende Gefährdungsbeurteilung. Die geplanten Arbeiten müssen im Detail mit den Mitarbeitenden besprochen werden.

Es ist sicherzustellen, dass qualifiziertes Personal das notwendige Material, geeignete Werkzeuge sowie die erforderlichen Geräte und Schutzausrüstungen zur Arbeitsstelle mitbringt und dort fachgerecht einsetzt. Zudem dürfen nur geprüfte Anlagen in Betrieb genommen werden. Nur so lassen sich gefährliche Situationen vor Ort wirksam vermeiden.

3.1 Sicherheits- und Gesundheitsschutzkonzept

Gemäss Art. 4 der Bauarbeitenverordnung (BauAV) ist der Arbeitgeber verpflichtet sicherzustellen, dass vor Beginn der Bauarbeiten ein Konzept vorliegt, das die erforderlichen Sicherheits- und Gesundheitsschutzmassnahmen für die Arbeiten auf der Baustelle darlegt. Dieses Konzept muss insbesondere auch die Notfallorganisation klar regeln.

Unter folgendem Link finden Sie eine Vorlage:

https://www.batisec.ch/fileadmin/pdf/de/Aktion/Sicherheitskonzept_BauAV.pdf



3.2 Allgemeine Regeln im Umgang mit Elektrizität

Im Umgang mit elektrischer Energie gilt:
Bei Unsicherheit oder Gefahr «Stop» sagen.
Alle Kabel und «offenen» Kabelenden müssen immer als unter Spannung betrachtet werden.
Im Allgemeinen gelten die «5+5 Regeln im Umgang mit Elektrizität».



Abbildung 1: Aufkleber mit «5+5 Sicherheitsregeln», Electrosuisse

Allgemeine Regeln für den Umgang mit Elektrizität

- Für klare Aufträge sorgen
- Geeignetes Personal einsetzen
- Sichere Arbeitsmittel verwenden
- Schutzausrüstung tragen
- Nur geprüfte Anlagen in Betrieb nehmen

Sicherheitsregeln für spannungsfreies Arbeiten

- Freischalten und allseitig trennen
- Gegen Wiedereinschalten sichern
- Auf Spannungsfreiheit prüfen
- Erden und kurzschliessen
- Gegen benachbarte, unter Spannung stehende Teile schützen

3.3 Regeln im Umgang mit DC-Stromkreisen bei PV-Anlagen

Zusätzlich zu den bekannten «5+5 Regeln», insbesondere freischalten, gegen Wiedereinschalten sichern und auf Spannungsfreiheit prüfen des Wechselrichters, sind die nachfolgenden Punkte bei Photovoltaikanlagen für sicheres Arbeiten anzuwenden.

3.3.1 Arbeiten bei Steckverbindungen

Beim Ein- und Ausstecken von Steckern besteht die Gefahr eines Lichtbogens, der Verletzungen verursachen kann. Daher wird das Tragen von störlichtbogeengeprüften Schutzhandschuhen empfohlen. Folgendes Vorgehen ist zu beachten:

Stromfreiheit prüfen:

Überprüfen Sie zuerst die Funktionsfähigkeit der DC-Stromzange an einem stromführenden Leiter. Stellen Sie auf der DC-Seite mit der DC-Stromzange fest, dass kein Strom fliesst. Bei parallel geschalteten Strings können Ausgleichsströme auftreten. Achtung: Bei Tageslicht ist bei den Photovoltaikmodulen mit der Leerlaufspannung (UOC) zu rechnen.



Abbildung 2: Überprüfung Funktion Messgerät, Swissolar



Abbildung 3: Stromfreiheit messen, Swissolar

DC-Verbindungen trennen:

Nach erfolgreicher Überprüfung der Stromfreiheit trennen Sie die Steckverbindungen auf der DC-Seite, um eine sichere Arbeitsumgebung zu schaffen.

3.3.2 Arbeiten an freigelegten Leitern

Bevor an freigelegten Komponenten wie Steckern oder Leiterverbindungen gearbeitet wird, muss die Anlage zwingend an einem geeigneten Trennpunkt (z.B. GAK oder Steckverbindung am Solargenerator) spannungsfrei geschaltet werden. Arbeiten an spannungsführenden Teilen dürfen ausschliesslich von speziell ausgebildetem Fachpersonal gemäss NIV Art. 22 durchgeführt werden.

3.4 Arbeiten im spannungsfreien Zustand bei PV-Anlagen

Grundsätzlich dürfen an Photovoltaikanlagen keine Arbeiten unter DC-Spannung durchgeführt werden. Auch auf der AC-Seite sollen Arbeiten unter Spannung, wenn immer möglich, vermieden werden.

Um Arbeiten unter DC-Spannung sicher zu verhindern, sind folgende Schritte von entscheidender Bedeutung.

Schritte zur Vermeidung von Arbeiten unter DC-Spannung:

- Stringzuleitung auf dem Dach offen lassen
- Stellen Sie sicher, dass die Stringzuleitung während der Arbeiten nicht angeschlossen ist.
- Stringzuleitung unterbrechen Trennen Sie die Verbindung am GAK oder WR.
- Verbindungskabel beidseitig crimpen, bevor eine Seite angeschlossen wird Crimpen Sie die Kabel auf beiden Seiten, bevor eine Seite mit der Anlage verbunden wird, um Spannung zu vermeiden.
- Vorkonfektionierte Kabel verwenden Setzen Sie vorkonfektionierte Kabel ein, um die Gefahren beim Crimpen von Steckern zu reduzieren.
- Keine geschlossenen Kabel durchschneiden
- Vermeiden Sie das Durchtrennen von bereits geschlossenen Kabeln, um das Risiko von Lichtbögen zu minimieren.
- Inbetriebnahme von Optimierern erst nach Abschluss aller Elektroarbeiten Stellen Sie

sicher, dass die Optimierer erst nach vollständiger Fertigstellung der Elektroinstallation aktiviert werden.

Weitere nützliche Tipps:

- **String-Messungen mit vorkonfektionierten Steckern durchführen**
Verwenden Sie vorkonfektionierte Klemmstecker für die Messung, um den Messvorgang sicher zu gestalten.
- **Kabel klar und sauber beschriften**
Beschriften Sie alle Kabel eindeutig, um Verwechslungen und Fehler zu vermeiden.
- **Messungen mit persönlicher Schutzausrüstung (PSA)**
Führen Sie Messungen stets mit geeigneten Isolier- und Thermohandschuhen durch, um sich vor elektrischen Gefahren zu schützen (PSA Isolierhandschuhe nach EN 60903 und mit Störlichtbogentest EN 61482-2).

3.5 Erläuterungen zu Arbeiten unter Spannung

Gemäss NIV Art. 22 dürfen an elektrischen Installationen, die unter Spannung stehen, nur Elektroinstallateure und Elektroinstallateurinnen EFZ oder Personen mit einer gleichwertigen Ausbildung arbeiten. Sie müssen für solche Arbeiten entsprechend den neuesten Erkenntnissen speziell ausgebildet und ausgerüstet sein. Inhaber:innen einer eingeschränkten Installationsbewilligung nach NIV Art. 14 müssen für Arbeiten unter Spannung daher über einen Abschluss als Elektroinstallateur:in EFZ verfügen sowie speziell ausgebildet und ausgerüstet sein.

Für Arbeiten unter Spannung gilt die ESTI-Weisung 407 mit den entsprechenden Arbeitsmethoden, der Verwendung der persönlichen Schutzausrüstung und der entsprechenden Organisation der Arbeiten. Es wird dabei zwischen Arbeiten unter Spannung AuS 1 und AuS2 unterschieden.

3.5.1 Arbeiten unter Spannung AuS 1 und AuS 2 an der DC-Seite von PV-Anlagen

Sobald bei PV-Anlagen die Schutzart IP 2X gegenüber aktiven, spannungsführenden Teilen (über 120 V DC) nicht erfüllt ist, gelten diese Arbeiten als Arbeiten unter Spannung. Die Schutzart IP 2X bietet Schutz gegen das Eindringen von Fremdkörpern, die grösser als 12,5 mm sind, was

bedeutet, dass ein Schutz gegen das Berühren mit einem Finger gewährleistet ist.

Folgende Beispiele zeigen Arbeiten bei PV-Anlagen als AuS 1. In der Regel haben diese Arbeiten keine Veränderungen an aktiven spannungsführenden Teilen zur Folge.

Arbeiten an PV-Anlagen AuS 1:

- Prüfen und Messen an blanken spannungsführenden Teilen
- Anbringen oder Entfernen von Abdeckungen z.B. beim GAK, wenn dadurch das Berühren von spannungsführenden Teilen möglich wird

Folgende Beispiele von Arbeiten gelten bei PV-Anlagen als AuS 2. In der Regel haben diese Arbeiten Veränderungen an aktiven spannungsführenden Teilen zur Folge.

Arbeiten an PV-Anlagen AuS 2:

- Crimpen von Steckern, wenn das Kabel unter Spannung steht, d.h. auf der PV-Generatorseite nicht ausgesteckt ist
- Anschluss einer unter Spannung stehenden DC-Leitung, z.B. an Klemmen vom Wechselrichter

Beim Arbeiten unter Spannung muss stets die persönliche Schutzausrüstung (PSA) getragen werden. Auf der DC-Seite von PV-Anlagen sind die Kurzschlussströme generell unter 1000 Ampere. Daher ist die Grundstufe der Schutzkleidung zu tragen: langärmelige Bekleidung aus 100 % Baumwolle oder einem gleichwertigen Material und eine Schutzbrille. Zusätzlich müssen Hitze- und Isolierhandschuhe getragen werden. Massgebend für die persönliche Schutzausrüstung ist die ESTI-Weisung 407. Weiter gilt es zu beachten, dass jede Arbeit organisiert und vorbereitet werden muss. Für Arbeiten an elektrischen Installationen, die unter Spannung stehen, sind grundsätzlich zwei Personen einzusetzen. Eine von beiden ist als verantwortlich zu bestimmen. Die ESTI-Weisung 407 wird derzeit überarbeitet. Es ist wichtig, sowohl die aktuellen als auch die zukünftigen Weisungen zu beachten.

4 Installationsbewilligung

Elektroinstallationen dürfen gemäss NIV nur von geschultem Personal mit Bewilligung des ESTI ausgeführt werden. Nur die Montage der PV-Module und das Stecken von Modulverbindungen mit vorkonfektionierten Kabeln auf der Trägerkonstruktion sind ohne Bewilligung erlaubt.

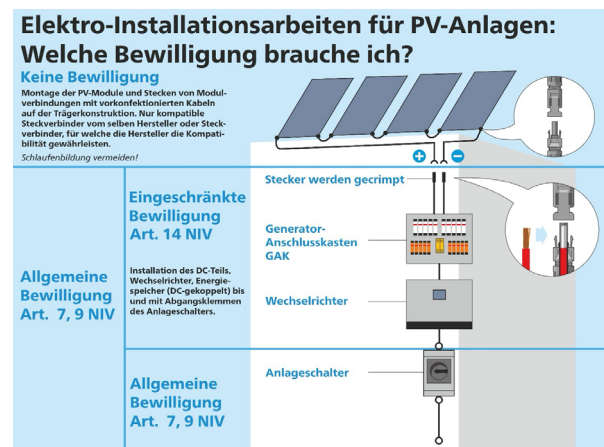


Abbildung 4: Welche Bewilligung brauche ich? Swissolar

5 Aufbau einer PV-Anlage

5.1 PVA mit Strang-Wechselrichter

Eine Photovoltaikanlage besteht aus mehreren Bestandteilen. Vier Elemente – Solarmodule, Unterkonstruktion, Verkabelung und Wechselrichter – sind im Wesentlichen die Hauptkomponenten. Zum Durchführen von Wartungsarbeiten am PV-Wechselrichter müssen Einrichtungen zum Trennen des PV-Wechselrichters auf der Gleichspannungsseite und der Wechselspannungsseite angeordnet werden (NIN 2025 7.12.5.3.7.2.101). Auf der Gleichspannungsseite ist trotz abgeschalteter respektive getrennter Anlage eine gefährliche Spannung vorhanden. Insbesondere sind die Module, Strangverkabelungen und Gleichstromhauptkabel permanent unter Spannung. Es ist je nach Anlage bis zu 1500 Volt Gleichspannung zu erwarten.

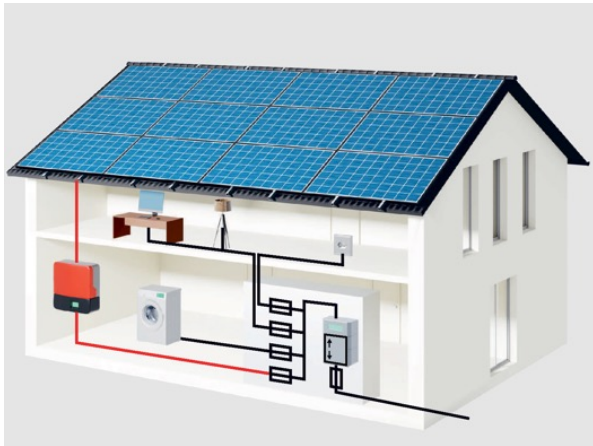


Abbildung 5: Symbolischer Aufbau einer PV-Anlage, Fachbuch «Photovoltaik», Christof Bucher

Die maximale Spannung des PV-Generators $U_{G \text{ Max}}$ kann nach NIN wie folgt abgeschätzt werden:

$$U_{OC \text{ Gen. max}} = U_{OC} \cdot n \cdot k_T$$

Legende

U_{OC} = Leerlaufspannung eines Moduls gem.

Hersteller-Datenblatt (bei STC)

n = Anzahl der Module pro Strang

k_T = Korrekturfaktoren für tiefe Temperaturen

Korrekturfaktoren k_T gemäss NIN:

1,15 für alle Gebiete ≤ 800 m.ü.M

1,20 für alle Gebiete > 800 bis ≤ 1500 m.ü.M

1,25 für alle Gebiete > 1500 m.ü.M

Diese Faktoren können angepasst werden, sofern ein entsprechender Nachweis vorliegt. Dies ist dem Moduldatenblatt zu entnehmen.

6 Anforderungen an das Personal

6.1 Pflichten Arbeitgeber

Die Sicherheit im Unternehmen hängt davon ab, ob die Mitarbeitenden die Gefahren und Risiken ihrer Arbeit kennen. Nur durch eine systematische Ausbildung und Instruktion bleibt das nötige Wissen jederzeit abrufbar.

Für Vorgesetzte gilt:

- Bilden Sie Ihre Mitarbeitenden systematisch aus, und dokumentieren Sie die durchgeführten

Ausbildungen und Instruktionen.

- Übertragen Sie Arbeiten mit besonderen Gefahren nur an Mitarbeitende, die die entsprechende Ausbildung dafür mitbringen.
- Führen Sie neue Mitarbeitende und temporär Beschäftigte sorgfältig in ihr Aufgabengebiet ein.
- Stellen Sie die PSA, Werkzeuge usw. ihren Mitarbeitenden zur Verfügung.

Für das Arbeiten an elektrischen Anlagen hat der Arbeitgeber bezüglich Ausbildung und Materialien klare Anforderungen zu erfüllen. Der Arbeitgeber sorgt dafür, dass alle in seinem Betrieb beschäftigten Arbeitnehmenden, einschliesslich der dort tätigen Arbeitnehmenden eines anderen Betriebes, über die bei ihren Tätigkeiten auftretenden Gefahren informiert und über die Massnahmen zu deren Verhütung angeleitet werden. Diese Information und Anleitung haben zum Zeitpunkt des Stellenantritts und bei jeder wesentlichen Änderung der Arbeitsbedingungen zu erfolgen und sind falls nötig zu wiederholen (Art. 6 Abs. 1 VUV).

Der Arbeitgeber, der in seinem Betrieb Arbeitskräfte beschäftigt, die er von einem anderen Arbeitgeber ausleiht, hat hinsichtlich der Arbeitssicherheit gegenüber diesen die gleichen Pflichten wie gegenüber den eigenen Arbeitnehmenden (Art. 10 VUV). Vor dem Einsatz von Personal von Dritt- und Temporärunternehmen ist daher der Ausbildungsstand zu prüfen und gegebenenfalls eine Ausbildung zu veranlassen.

6.1.1 Keine Arbeit ohne Instruktion

Vorgesetzte müssen ihre Mitarbeitenden regelmässig im sicheren Arbeiten instruieren, insbesondere auch über die lebenswichtigen Regeln der Suva. Wer keine Instruktion erhält, sollte sie unbedingt einfordern.

6.2 Pflichten Arbeitnehmer:innen

Der Arbeitnehmer bzw. die Arbeitnehmerin ist verpflichtet, den Arbeitgeber in der Durchführung der Vorschriften über die Verhütung von Berufsunfällen und Berufskrankheiten zu unterstützen. Sie müssen die persönlichen Schutzausrüstungen benutzen, die Sicherheitseinrichtungen richtig gebrauchen und dürfen diese ohne Erlaubnis des Arbeitgebers weder entfernen noch ändern.

6.3 S-T-O-P Prinzip der Suva

Bei der Entscheidung, welche Schutzmassnahmen für einen bestimmten Arbeitsplatz erforderlich sind, hilft das sogenannte S-T-O-P-Prinzip: Es beschreibt, in welcher Reihenfolge die möglichen Massnahmen in Betracht zu ziehen sind.

S: Substitution (Ersatz)

T: Technische Massnahmen

O: Organisatorische Massnahmen

P: Persönliche Schutzmassnahmen
(Quelle: suva.ch)

Der Personenschutz ist immer die letzte Massnahme der Sicherheitskette.

6.4 Hilfsmittel von der Suva:

[5 + 5 lebenswichtige Regeln im Umgang mit Elektrizität](#)

[Ausbildung und Instruktion im Betrieb – Grundlage für sicheres Arbeiten](#)

[Persönliche Schutzausrüstungen \(PSA\), Checkliste](#)

[Elektrizität – eine sichere Sache](#)

[Neun Lebenswichtige Regeln für das Arbeiten auf Dächern und an Fassaden](#)

7 Abkürzungen

AC (Alternating Current, Wechselstrom)
DC (Direct Current, Gleichstrom)
PV (Photovoltaik)
NIV (Niederspannungs-Installationsverordnung)
NIN (Niederspannungs-Installationsnorm SN 411000)
VUV (Verordnung über die Unfallverhütung)
BauAV (Bauarbeitenverordnung)
ESTI (Eidg. Starkstrominspektorat)
GAK (Generatoranschlusskasten)
STC (Standard Test Conditions)
PSA (persönliche Schutzausrüstung)

8 Weiterführende Informationen

Normen und Gesetze:

- EST-Weisung 407
- SN EN 50110-1
- [Energie \(admin.ch\)](#)
- EKAS Richtlinie Nr. 6508, Richtlinie über den Beizug von Arbeitsärzten und anderen Spezialisten der Arbeitssicherheit (ASA-Richtlinie)
- Niederspannungs-Installationsverordnung, NIV
- Niederspannungs-Installationsnorm SN 411000, NIN
- Verordnung über die Unfallverhütung, VUV
- Elektrizitätsgesetz, EleG
- Bauarbeitenverordnung, BauAV

Hinweis

Das vorliegende Merkblatt wurde mit grösstmöglicher Sorgfalt erstellt. Für die Richtigkeit, Vollständigkeit und Aktualität der Inhalte wird keine Gewähr geleistet. Insbesondere entbindet es nicht davon, die einschlägigen und aktuellen Empfehlungen, Normen und Vorschriften zu konsultieren und zu befolgen. Das vorliegende Merkblatt dient ausschliesslich Informationszwecken. Eine Haftung für Schäden, die aus dem Konsultieren bzw. Befolgen dieses Merkblatts entstehen, wird ausdrücklich abgelehnt.

Die Urheberrechte liegen bei Swissolar.
12/2024/Merkblatt-Nr. 21018d

Mit Unterstützung von



In Zusammenarbeit mit



VSEK
ASCE

