

PV – Anlagen Auslegung, Montage und Vorschriften

Bernd Eggers

12.03.2024

bfe.de

© BFE
Verwendung nur für Unterrichtszwecke des BFE.
Nachdruck und Verwendung in elektronischen Systemen verboten.

Planung der Generatorfläche

Um was für eine Dachform handelt es sich?



Abmessungen:

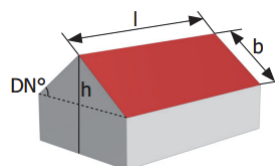
GEBÄUDEABMESSUNGEN:

Länge l m
(Ortgang-Ortgang)

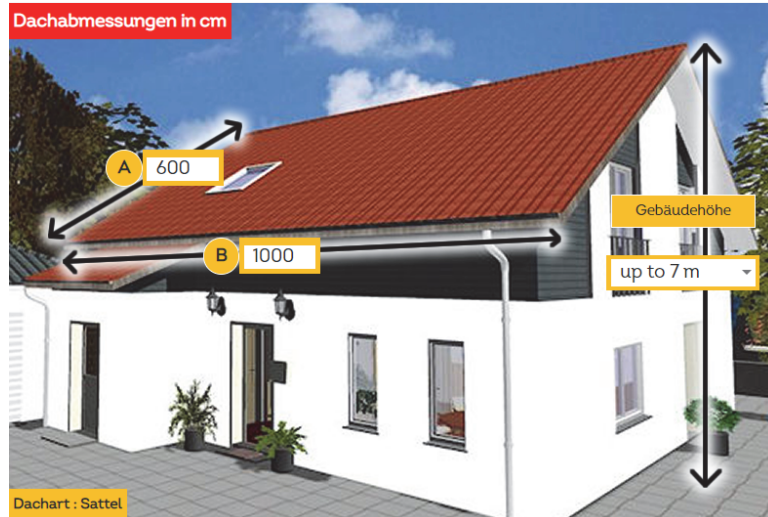
Breite b m
(First-Traufe)

Höhe h m
(Boden-First)

Dachneigung °



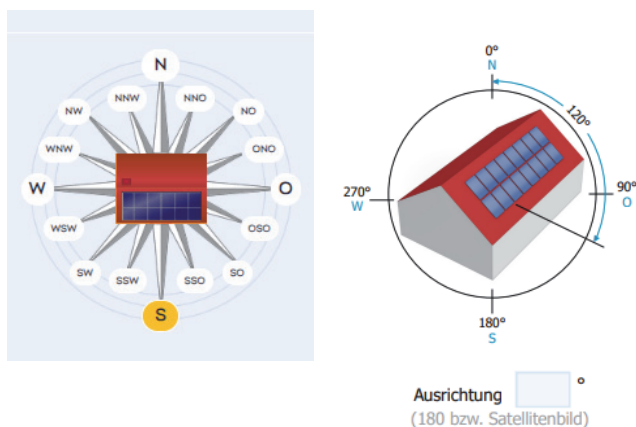
Soldraft - Planungstool



4

Planung der Generatorfläche

Ausrichtung der Fläche



5

Quelle: Soldraft, S:FLEX-Checkliste

Aspekte bei der Planung

- max. zulässige Belastung
- Zusätzliche Lastannahmen (Wind-Schneelast),
- Ausreichendes Gefälle der Dachkonstruktion,
- Abdichtung,
- Wärmedämmung,
- Schutzlagen,
- Verlegeart
- Bestehende Hindernisse
- Verschattungen,
- Leitungsführung
- Leitungsdurchführungen
- ...
- Dachstatik / Tragfähigkeit
- Systemstatik
- Brandabschnitte
- Blitzschutz
- Überspannungsschutz AC und DC
- ...

6

Fachregel für Dachdeckungen mit Dachziegeln und Dachsteinen 2023



Deutsches Dachdeckerhandwerk – Regelwerk –

Fachregel für Dachdeckungen mit Dachziegeln und Dachsteinen

Gelbdruck 01.Juli 2023

7

Quelle: ZVDH

Fachregel für Dachdeckungen mit Dachziegeln und Dachsteinen 2023

ZVDH-Fachausschuss Dachziegel & Dachsteine

Gelbdruck Fachregel für Dachdeckungen mit Dachziegeln und Dachsteinen 1.Juli 2023

4.10 Dacheinbauteile und Dachsystemteile

- (1) Dacheinbauteile oder Dachsystemteile wie Schneefangeinrichtungen, Laufanlagen, Sicherheitsdachhaken, Befestigungseinrichtungen für Solaranlagen etc. sind regensicher in die Dachdeckung einzubauen. Es sollten Systemteile verwendet werden. Sie müssen für den jeweiligen Verwendungszweck geeignet sein und den technischen Vorschriften entsprechend eingebaut werden. Einbauteile dürfen unter Belastung die Dachdeckung nicht beschädigen, andernfalls sind geeignete lastverteilende Unterlagen zusätzlich einzubauen. Systemgerechte Einbauteile oder Formteile, welche die Dacheindeckung nicht durchdringen, können zur Regensicherheit beitragen.
- (2) Formteile aus Kunststoff dürfen die Einstufung der Deckung als „Harte Bedachung“ nicht beeinträchtigen.
- (3) Für Befestigungen von Solaranlagen gelten folgende Regelungen.

Fachregel für Dachdeckungen mit Dachziegeln und Dachsteinen 2023

2.1 Form und Überdeckungsbereich von Dachziegeln

- (1) Dachziegel werden mit einfachen oder mehrfachen Kopf-, Fuß- und Seitenfalzen (Ringverfaltung) oder auch ohne Verfaltung hergestellt. Variable Höhen- und Seitenüberdeckungen sind vom Hersteller anzugeben.
Der Hersteller hat die Dachziegel einer Dachziegelart nach Tabelle 3 zuzuordnen.
- (2) Die Ausbildung und Lage der Falze, die Form und die Überdeckungen sowie besondere Merkmale des Dachziegels bestimmen die Regensicherheit der Dachdeckung.
Es gelten folgende Begriffe:
 - Mulde: wasserführender Bereich zur Ableitung des Niederschlagswassers
 - Krenpe: aufliegender/oberer Teil der Seitenüberdeckung
 - Rippe: Aufkantung oder Steg
 - Nut: Vertiefung zwischen 2 Rippen oder einer Rippe und einer Stufe
 - Falz: Nut mit 2 flankierenden Rippen bzw. eine Nut zwischen einer Rippe und einer Stufe
 - Wasserfalz: nach oben gerichteter Falz in der Höhen- oder Seitenüberdeckung, Kopf- und Seitenfalz
 - Deckfalz: nach unten gerichteter Falz in der Höhen- und Seitenüberdeckung
 - Verfaltung: Kombination aus Wasser- und Deckfalz
 Besondere Merkmale sind:
 - tiefer liegende, muldenförmige Ausbildung der wasserführenden Ebene,
 - besondere Ausprägung der Rippen und Wasserführung in den Falzen,
 - Rückführung des Restwassers aus den Falzen in die Mulde des gleichen Dachziegels,
 - Führung des Restwassers aus dem Seitenfalz in die wasserführende Ebene eines darunter liegenden Dachziegels,
 - hoch liegender Seitenfalz
 - Eignung für Verbanddeckung
- (3) Dachziegeldeckungen müssen die Regensicherheit über die gesamte Spanne der vom Hersteller anzugebenden möglichen Lattweiten (im gezogenen und gedrückten Zustand nach Abb. 72 und Abb. 73) bei Einhaltung der Regeldachneigung nach Tabelle 3 sicherstellen.
- (4) Tabelle 3 fasst die Regelungen der Abschnitte 2.2 bis 2.6 zusammen und zeigt die RDN für die unterschiedlichen Dachziegeldeckungen.

Tabelle 3 Regeldachneigung (RDN) von Dachziegeldeckungen

Dachziegelart/Merkmal mit Beispiel/en	RDN
Dachziegel mit Ringfalz gemäß Abschnitt 2.2 - Flachdachziegel - Romanische Dachziegel	22°
Dachziegel mit Kopffalz oder Kopfrippe und Fußrippe und Seitenverfaltung gemäß Abschnitt 2.3 - Doppelmuldenfalzziegel bei Deckung im Verband - Doppelmuldenfalzziegel mit besonderen Merkmalen bei Deckung in Reihe - Glattziegel bei Deckung im Verband - Reformziegel mit besonderen Merkmalen - Verschiebeziegel mit besonderen Merkmalen	25°
Dachziegel mit Kopffalz oder Kopfrippe und Fußrippe und Seitenfalz gemäß Abschnitt 2.4 - Doppelmuldenfalzziegel - Reformziegel - Glattziegel - Verschiebeziegel	30°
ebene Dachziegel gemäß Abschnitt 2.4 in Doppel- und Kronendeckung Biberschwanzziegel	
Dachziegel mit seitlich eingreifender Überdeckung gemäß Abschnitt 2.5 Strangfalzziegel	
Dachziegel mit seitlich übergreifender Überdeckung gemäß Abschnitt 2.5 Krempziegel	35°
gewölbte Dachziegel gemäß Abschnitt 2.5 in Aufschnittdeckung Hohlpfanne	
gewölbte Dachziegel gemäß Abschnitt 2.6 in Vorschnittdeckung Hohlpfanne	
gewölbte Dachziegel gemäß Abschnitt 2.6 in Einfachdeckung Mönch und Nonne	40°
ebene Dachziegel gemäß Abschnitt 2.6 in Einfachdeckung mit Spließen Biberschwanzziegel	

Quelle: Fachregel für Dacheindeckungen

Fachregel für Dachdeckungen mit Dachziegeln und Dachsteinen 2023

3.1 Form und Überdeckungsbereich von Dachsteinen

- (1) Dachsteine werden in unterschiedlichen Formen, profiliert oder eben, mit oder ohne Mittelwulst, mit oder ohne mehrfache Seitenfalze sowie mit oder ohne Fußrippen hergestellt.

Die Seitenverfaltung besteht aus Wasser- und Deckfalz. Die Ausbildung der Seitenverfaltung, die Fußverrippung, die Höhenüberdeckung und die Form der Dachsteine bestimmen die Regensicherheit der Dachdeckung.

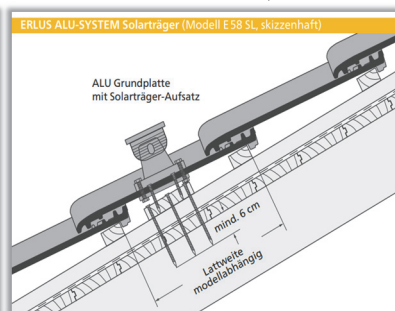
- (2) Tabelle 13 fasst die Regelungen der Abschnitte 3.1 bis 3.3 zusammen und zeigt die Regel-dachneigungen für die unterschiedlichen Dachsteindeckungen.

Tabelle 13 RDN von Dachsteindeckungen

Dachsteinart/Merkmal und Deckungsart	RDN
Profilierte Dachsteine mit hoch liegender Seitenfalz in Einfachdeckung	22°
Ebene Dachsteine mit tief liegender Seitenfalz in Einfachdeckung	25°
Ebene Dachsteine ohne Falz in Doppel- und Kronendeckung	30°
Ebene Dachsteine ohne Falz in Einfachdeckung mit Spließen	40°

Fachregel für Dachdeckungen mit Dachziegeln und Dachsteinen 2023

Befestigungssystem	Beschreibung/Anforderungen	Dachneigung
Systemziegel oder Systemstein oder Systemhalter, auf dem die Tragkonstruktion der Solarmodule/-kollektoren befestigt wird	Systemteil als Zubehörziegel/-stein des Dachziegel-/Dachstein-Herstellers Formschlüssig, mit identischer Verfaltung passend zur Form und Verfaltung der Dachziegel/-steine ohne handwerkliche Anpassung. Hinsichtlich der Höhen- und Seitenüberdeckung sowie der Wasserführung besteht kein Unterschied zu den Flächenziegeln/-steinen	Zuordnung nach Abschnitt 2.1 und 3.1 Die minimale Dachneigung beträgt 10° (Minstdachneigung).

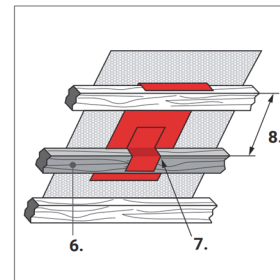
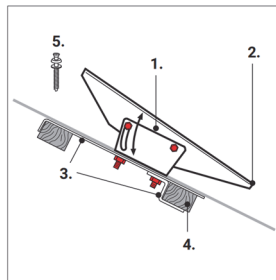
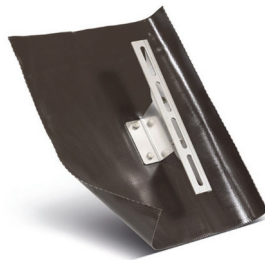


Fachregel für Dachdeckungen mit Dachziegeln und Dachsteinen 2023

Universal-Zubehör aus Metall, auf dem die Tragkonstruktion der Solarmodule/-kollektoren befestigt wird

Metallzubehörteil, welches annähernd formschlüssig zur Verfalzung des Dachziegels/-steins passt, jedoch für eine Vielzahl von Dachziegeln/Dachsteinen einsetzbar ist.
Die Höhen- und Seitenüberdeckung sowie die Wasserführung weichen von den Flächenziegeln/-steinen ab.

≥ Regeldachneigung nach Abschnitt 2.1 und 3.1



12

Quelle: Fleck-Dach

Fachregel für Dachdeckungen mit Dachziegeln und Dachsteinen 2023

Solarhalter, durch die fußseitige Öffnung eines Lüfters geführt.

Zubehörziegel/-stein welcher annähernd formschlüssig zur Verfalzung des Dachziegels/-steins passt, jedoch fußseitig eine größere Öffnung zur Durchführung des Solarhalters aufweist. Die Kopfverfalzung der Dachziegels/die Fußrippen der Dachsteine dürfen nicht bearbeitet werden. Die Öffnung ist durch besondere Maßnahmen, wie z.B. Dichtungen, gegen Wassereintritt zu sichern.
Die Höhenüberdeckung sowie die Wasserführung weichen von den Flächenziegeln/-steinen ab und der Wassereintritt wird begünstigt.

≥ Regeldachneigung nach Abschnitt 2.1 und 3.1



13

Quelle: Creaton

Fachregel für Dachdeckungen mit Dachziegeln und Dachsteinen 2023

Solarhalter, die Kopf- und/oder Fußfalze/Fußrippen der Dachziegel/ Dachsteine werden bearbeitet.

Durch die Bearbeitung der Falze/Fußrippen in der Höhenüberdeckung sind die Regensicherheit und die Tragfähigkeit der Dachziegel/Dachsteine eingeschränkt, und bergen Risiken in der nicht kontrollierbaren Dachdeckung unter der Solaranlage.

≥ Regeldachneigung nach Abschnitt 2.1 und 3.1
Die Solarhalter sollten ≥ 30° eingesetzt werden.



14

Quelle: K2-System

Dachhaken

- **Links: Ausgeschlagener, engobierter Dachziegel (Haarrisse, gerissene Dachziegel).**
- **Rechts: Mit der Flex angepasster Dachziegel, ohne Auflage auf den darunter liegenden Dachziegel.**



15

Quelle: BFE

Checkliste vor Ort Termin

Wird die Druckbelastbarkeit der Dämmung geprüft?	☐	☐	
Ist sie noch funktionsfähig?	☐	☐	
Ist die Dämmschicht begebar?	☐	☐	
Hält sie die Zusatzbelastungen bei der Montage aus?	☐	☐	
Wird die zulässige punktuelle Druckspannung der Wärmedämmung berücksichtigt?	☐	☐	
Ist die Dicke der Wärmedämmung zukunftsorientiert (= für die Nutzungsdauer von mind. 20 Jahren) dimensioniert?	☐	☐	
Entspricht ihr Wärmedämmkoeffizient noch den heutigen Energiestandards?	☐	☐	
Erfüllt die Wärmedämmung auch zukünftige Anforderungen an den U-Wert eines Flachdaches?	☐	☐	
Wird sie durch die PV-Anlage bzw. durch evtl. Auflasten nicht stärker als 2 % ihrer Dicke zusammenge-drückt?	☐	☐	
Findet eine Prüfung des Schichtaufbaus auf techni-sche und bauphysikalische Richtigkeit statt?	☐	☐	
Sind alle vorhandenen Ab- und Anschlüsse auf Funk-tionsfähigkeit geprüft worden?	☐	☐	
Sind sie zu Wartungszwecken frei zugänglich?	☐	☐	
Werden die Entwässerungsleitungen auf ihre Funkti-onstüchtigkeit geprüft?	☐	☐	
Wird gewährleistet, dass die PV-Anlage den Ablauf von Regenwasser auf der Dachabdichtung nicht be-hindert?	☐	☐	
Sind die Abläufe zu Wartungszwecken zugänglich?	☐	☐	
Findet eine Prüfung der bestehenden Tragkonstruk-tion statt?	☐	☐	
- Ist ihre Tragfähigkeit ausreichend? - Kann sie noch Zusatzlasten schadlos aufneh-men?	☐	☐	
Falls unklar: Wird ein statischer Nachweis von einem Planer ein-gefordert und erbracht?	☐	☐	

17

Errichtungsbestimmungen

- Die Normenreihe **DIN VDE 0100** gilt für die Errichtung von PV-Anlagen.
- Besondere Bestimmungen sind in **DIN VDE 0100-712** geregelt.
- In besonderen Anwendungsfällen sind weitere Normen wie z.B. **DIN VDE 0100-420** oder **VDE 0100-705** zu berücksichtigen.

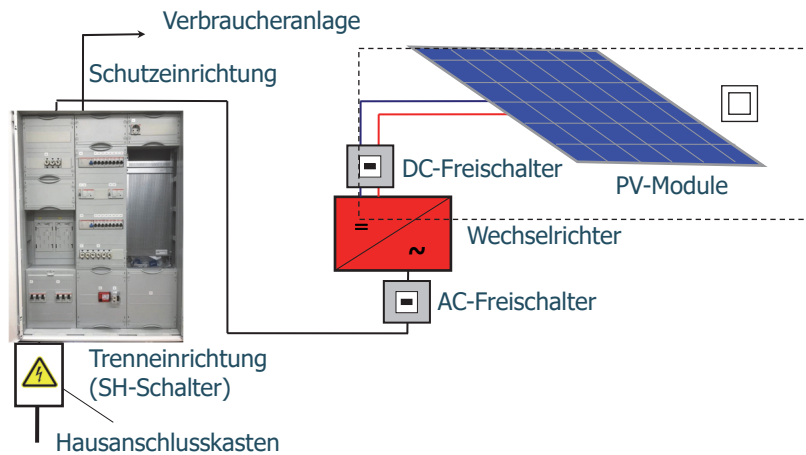
DEUTSCHE NORM		Juni 2009
	DIN VDE 0100-100 (VDE 0100-100)	 VDE
Diese Norm ist zugleich eine VDE-Bestimmung im Sinne von VDE 0022. Sie ist nach Durchführung des vom VDE-Präsidium beschlossenen Genehmigungsverfahrens unter der oben angeführten Nummer in das VDE-Vorschriftenwerk aufgenommen und in der „Liste Elektrotechnik - Automation“ bekannt gegeben worden.		
Vervielfältigung – auch für innerbetriebliche Zwecke – nicht gestattet.		
ICS 91.140.50	Ersatz für DIN VDE 0100-100 (VDE 0100-100); 2002-08 und DIN VDE 0100-300 (VDE 0100-300); 1999-01 Siehe jedoch Beginn der Gültigkeit	
Errichten von Niederspannungsanlagen – Teil 1: Allgemeine Grundsätze, Bestimmungen allgemeiner Merkmale, Begriffe (IEC 60364-1:2005, modifiziert); Deutsche Übernahme HD 60364-1:2008		

DEUTSCHE NORM		Oktober 2016
	DIN VDE 0100-712 (VDE 0100-712)	 
Diese Norm ist zugleich eine VDE-Bestimmung im Sinne von VDE 0022. Sie ist nach Durchführung des vom VDE-Präsidium beschlossenen Genehmigungsverfahrens unter der oben angeführten Nummer in das VDE-Vorschriftenwerk aufgenommen und in der „Liste Elektrotechnik - Automation“ bekannt gegeben worden.		
Vervielfältigung – auch für innerbetriebliche Zwecke – nicht gestattet.		
ICS 27.160; 91.140.50	Ersatz für DIN VDE 0100-712 (VDE 0100-712); 2006-06 Siehe Anwendungsbeginn	
Errichten von Niederspannungsanlagen – Teil 7-712: Anforderungen für Betriebsstätten, Räume und Anlagen besonderer Art – Photovoltaik-(PV)-Stromversorgungssysteme; Deutsche Übernahme HD 60364-7-712:2016		

18

Quelle: VDE-Verlag

Elektrischer Anschluss von Photovoltaikanlagen



19

Quelle: BFE

Untergestell Montage



- Durchgängige Modulfläche (Breite 40 m) ohne Wartungsgänge oder Dehnungsausgleiche (Herstellerabhängig Häufig zwischen 6m - 12m).

20

Quelle: BFE

Einleitung der Kräfte ins Bauwerk



21

Quelle: Oldenburg

Kabel- und Leitungen

„Schutz durch doppelte oder verstärkte Isolierung“

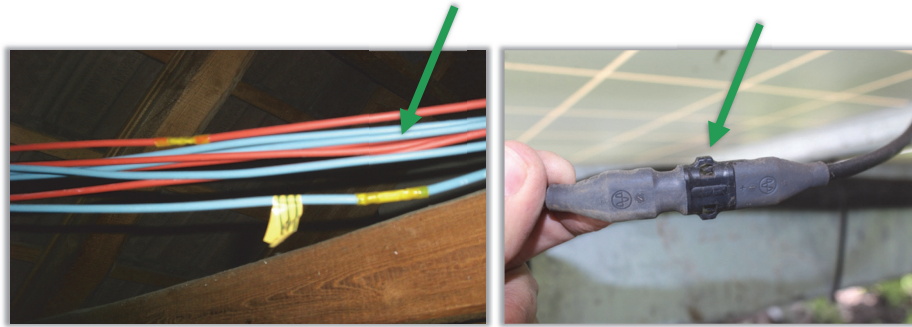


22

Quelle: Multi Contact

Leitungsverbindungen

Doppelte und verstärkte Isolierung durchgängig vorhanden?
Stecksysteme richtig montiert und kompatibel?



23

Quelle: BFE

Kabel- und Leitungen

Die Leitungen sind aufgrund des fehlenden Kurzschlusschutzes **erd- und kurzschlussicher** zu verlegen und für den 1,25-fachen Wert von $I_{SC\ STC}$ zu bemessen.

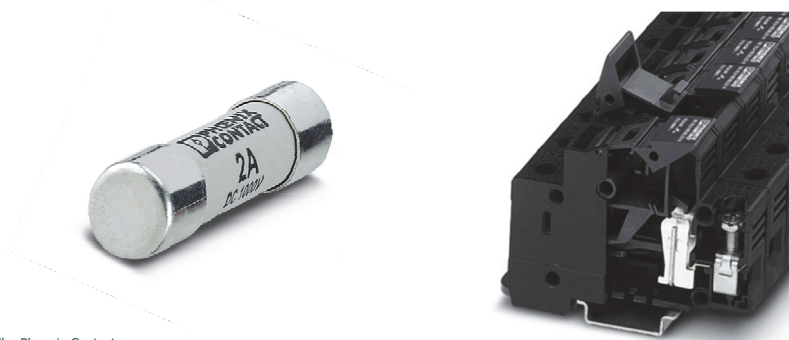
Aufgrund der hohen **Umgebungstemperaturen** im Dachbereich von bis zu 70 °C, sind die Kabel- und Leitungen entsprechend für die Umgebungstemperatur zu wählen.

Die Querschnitte sind entsprechend der zulässigen Strombelastbarkeit unter Berücksichtigung der erhöhten Temperatur entsprechend gemäß DIN VDE 0298-4 oder **VDE 283-618** zu wählen.

24

Überstromschutz

Der vom Modul **gelieferte Strom** kann bei einer hohen Einstrahlung **annähernd den Kurzschlussstrom** ($I_{SC\ STC}$) erreichen, aus diesem Grunde ist ein Schutz der Kabel- und Leitungen mit **konventionellen Sicherungseinrichtungen** wie beispielsweise Leitungsschutzschaltern oder Schmelzsicherungen **nicht möglich**, da diese erst bei einem Vielfachen ihres Nennstromes auslösen.



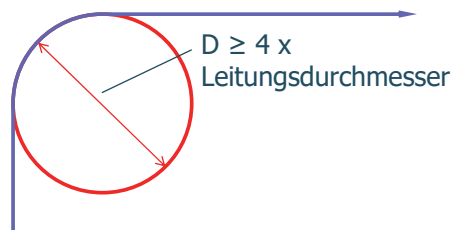
26

Quelle: Phoenix Contact

Biegeradien

Die Mindestbiegeradien sind bei der Montage einzuhalten, sie betragen

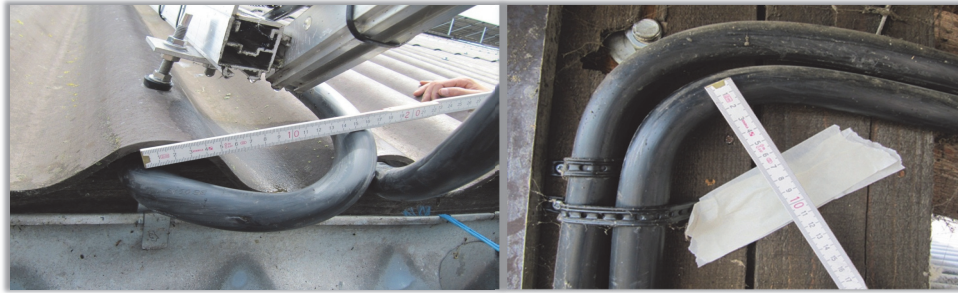
- für fest installierte Leitungen mit einem Durchmesser von $\leq 12\text{mm}$ den 3fachen Durchmesser,
- für Leitungen mit größeren Durchmessern ist der 4fache Durchmesser als Biegeradius zu wählen.



27

Biegeradien

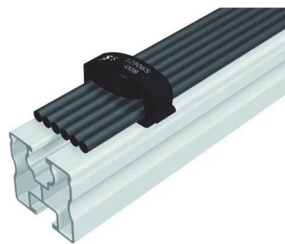
Biegeradien nach DIN VDE 0100-520 der Kabel- und Leitungsanlage nicht eingehalten.



28

Quelle: BFE

Leitungsbefestigung



Quelle: Schletter



Quelle: Reichelt

Die Strangleitungen werden an den Schienen der Unterkonstruktion befestigt.

Kabel und Leitungen (DC-Seite) müssen so ausgewählt werden, dass das Risiko von Erdschlüssen und Kurzschlüssen möglichst gering ist.

Kabel und Leitungen dürfen nicht direkt auf der Dachoberfläche verlegt werden, DIN VDE 0100-712 (VDE 0100-712):2016-10 Abs.:521.

29

DIN VDE 0100-520 (VDE 0100-520):2023-06

Abs.: 522.8.5

Wenn die Kabel- und Leitungsanlage einer andauernden Zugbeanspruchung unterworfen ist (zum Beispiel durch eigenes Gewicht bei senkrechter Verlegung), müssen Kabel- oder Leitungsbauart, Querschnitt und Befestigungsart dafür geeignet sein, eine Beschädigung der Leitungen oder Kabel durch übermäßige Zugbeanspruchung zu vermeiden.

ANMERKUNG

Die alleinige Verwendung von Kabelbindern nach DIN EN IEC 62275 (VDE 0604-201) bei senkrechter Installation kann im Einzelfall nicht ausreichend sein, da eine Beschädigung des Mantels und/oder der Isolierhülle der Leitungen oder Kabel durch übermäßige Zugbeanspruchung nicht ausgeschlossen werden kann.

VdS 2025

Abs. 5.2.14

Probleme bei der Befestigung von Kabeln und Leitungen entstehen, wenn durch Befestigungsmittel, wie z.B. Kabelbinder oder Schellen, punktuelle Belastungen die Isolierungen beschädigen.

Schadenerfahrungen zeigen dieses Problem besonders bei der vertikalen Verlegung.

Befestigungsabstand

Die Leitungsbefestigung muss bei Leitungen in Abhängigkeit des Durchmessers nach DIN VDE 0100-520 gewählt werden.

Ein **waagerechter Befestigungsabstand von 250 mm und senkrechter Befestigungsabstand von 400 mm** ist bei Leitungen mit einem maximalen Durchmesser von 9 mm zu wählen.

Modulkabelverlegung und Dachdurchführung

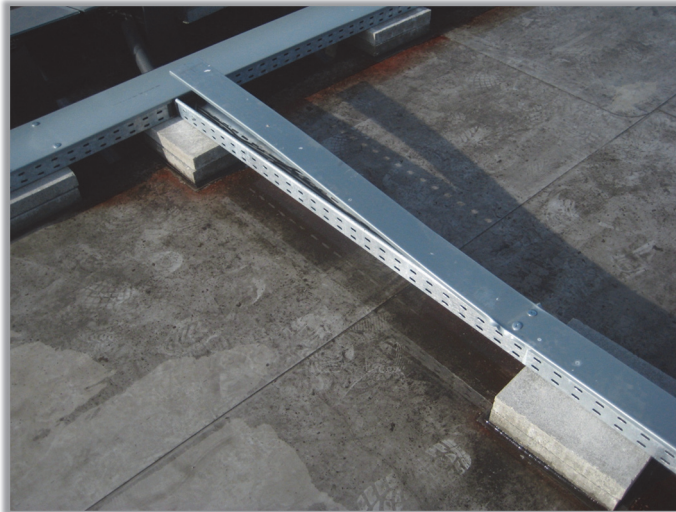
Die Kabel müssen so geführt und verlegt werden, dass es zu keiner mechanischen Beschädigung der Isolierung durch scharfe Kanten der Unterkonstruktion kommen kann.

Die Durchführung der Modulkabel in das Dach erfolgt idealerweise unterhalb der Solarmodule.

Bei isolierten Dächern muss eine Beschädigung der Isolation oder einer vorhandenen Unterspannbahn vermieden werden.

Daher sollten die Kabel in Schutzrohren ins Dach geführt werden, hierzu eignen sich am besten sogenannte **Lüfterziegel**.

Gelöste Kabelbahndeckel



34

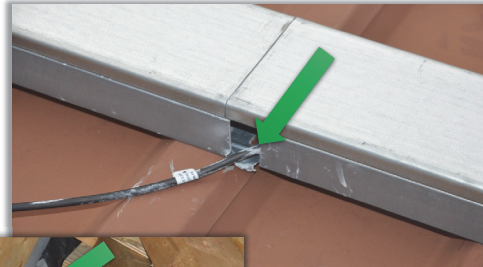
Quelle: BFE

Leitungsverlegung



35

Leitungsverlegung



- Geeignete Verlegewege
- Kantenschutz?

36

Quelle: BFE

Dachdurchführung



37

Quelle: BFE

Leitungsverlegung



38

Quelle: BFE

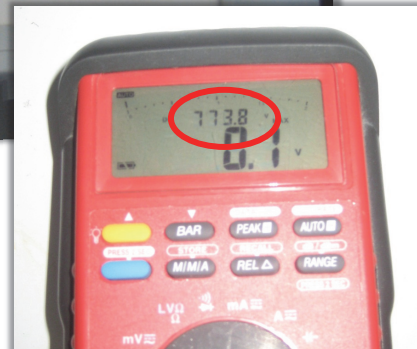
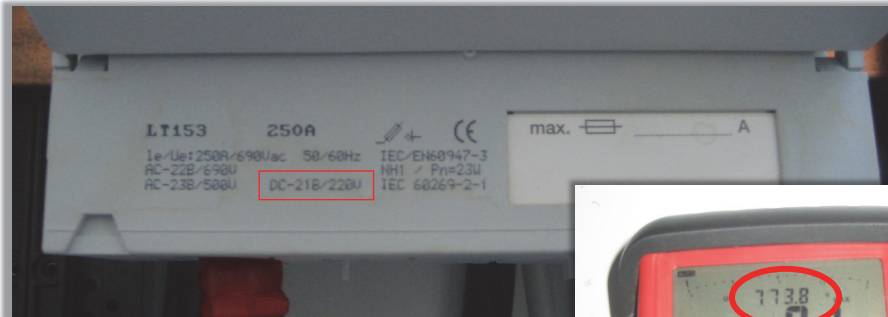
Betriebsmittelauswahl



39

Quelle: BFE

Betriebsmittelauswahl

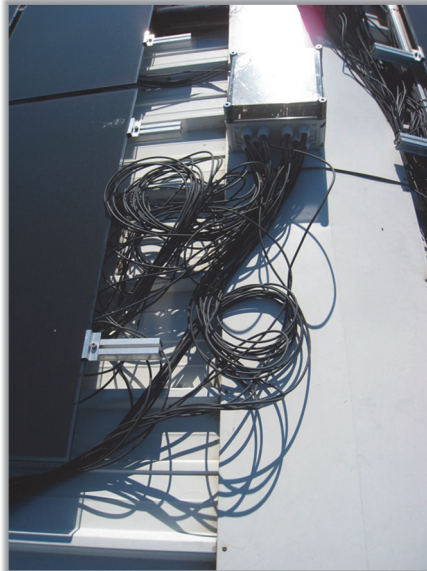


Systemspannung 800 V DC
Trenner 220 V DC

Kabeleinführungen



Induktionsarme Verkabelung



42

Quelle: BFE

Silikon macht das schon...



43

Quelle: BFE

Brandschutz

- **Abdichtung der Kabeldurchführung NUR mit Bauschaum.**
- Müssen Kabel und Leitungen der PV-Anlage, durch eine bauliche Trennung mit einer erforderlichen **Feuerwiderstandsklasse** nach DIN 4102 hindurch geführt werden, sind entsprechende Schottsysteme zu verwenden.
- **Leitungsführung im Fallrohr (Zugentlastung!).**

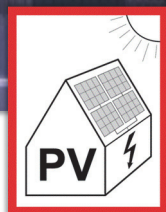


44

Quelle: BFE

Brandschutz

Leitungsbrand durch Marderbiss



Nagetierschutz



45

Quelle: BFE, Kabelscheune

VDE-AR-E 2100-712:2018-12

Bundestechnologiezentrum für
Elektro- und Informationstechnik

Dezember 2018

	VDE-AR-E 2100-712	VDE	
	Dies ist eine VDE-Anwendungsregel im Sinne von VDE 0022. Sie ist nach Durchführung des vom VDE-Präsidium beschlossenen Genehmigungsverfahrens unter der oben angeführten Nummer in das VDE-Vorschriftenwerk aufgenommen und in der „etz Elektrotechnik + Automation“ bekannt gegeben worden.	DKE	

Vervielfältigung – auch für innerbetriebliche Zwecke – nicht gestattet.

ICS 27.160

Ersatz für
VDE-AR-E 2100-712:2013-05

Maßnahmen für den DC-Bereich einer Photovoltaikanlage zum Einhalten der elektrischen Sicherheit im Falle einer Brandbekämpfung oder einer technischen Hilfeleistung

46
Quelle: Eaton

VDE-AR-E 2100-712:2018-12

Bundestechnologiezentrum für
Elektro- und Informationstechnik

Durch die Installation von PV-Anlagen dürfen als Schutzziel gefährliche berührbare Spannungen nicht auftreten. Im Schadenfall, wie z. B. im Brandfall am Gebäude, bei Sturmschäden oder bei Einsturz der Trägerkonstruktion, könnte die Schutzmaßnahme „Doppelte oder verstärkte Isolierung“ im DC-Bereich einer PV-Anlage durch mehrere Fehler, die zeitgleich auftreten können, beeinträchtigt werden.

Folgende Maßnahmen zur Umsetzung der Mindestanforderungen sind zu realisieren:

- Kennzeichnung von Anlagen und PV-DC-Leitungsführung **und**
- bauliche und organisatorische Installationsmaßnahmen **oder**
- technische Installationsmaßnahmen.

Die DC-Spannung kann nach dem Abschalten des AC-Netzes bestehen bleiben.

Zwischen dem Planer, Errichter und dem zukünftigen Betreiber einer PV-Anlage können einzelne Maßnahmen dieser Anwendungsregel vereinbart werden.

47

Gleichspannungs-Freischaltstelle

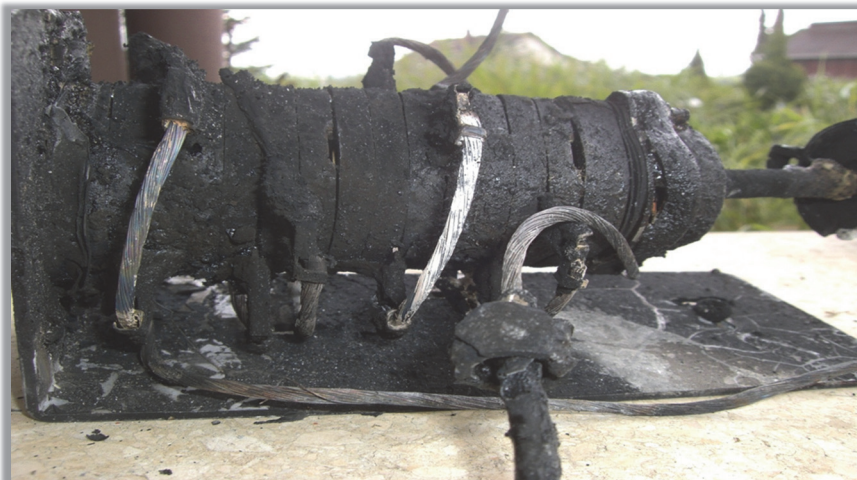


48

Quellen: BFE/Kyocera/SMA/Eaton

Gleichspannungs-Freischaltstelle?

Bauteile müssen für **Gleichspannung** zugelassen sein!



49

Quelle: BFE

Montageflächen



- Die Montage auf brennbaren Holzflächen (Baustoffklasse B3) ist nicht zulässig.
- Die Montage auf Holzflächen (Baustoffklasse B2) ist in der Regel nicht zulässig.
- In den Installationsanleitung der Wechselrichterhersteller wird oftmals auf die Montage auf nicht brennbaren Untergründen (Baustoffklasse A1/A2) hingewiesen.

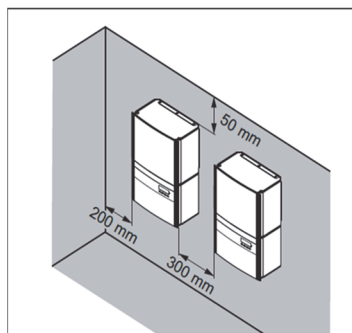
50

Quelle: BFE

Montageanweisungen

Die Montageanweisungen der Hersteller sollten gründlich studiert werden.

Je nach Wechselrichterhersteller können nicht unwesentliche, weitere Anforderungen bestehen.



Standort-Wahl für Außenmontage

Der Wechselrichter ist auf Grund seiner Schutzart unempfindlich gegen Spritzwasser aus allen Richtungen.

Der Hersteller empfiehlt dennoch den Wechselrichter nach Möglichkeit nicht der direkten Witterung auszusetzen, um starke Wasserablagerungen durch Regen oder Schnee zu vermeiden.

Zum Schutz des Displays den Wechselrichter keiner direkten Sonneneinstrahlung aussetzen. Idealerweise den Wechselrichter an einer geschützten Position montieren, z.B. im Bereich der Solarmodule oder unter einem Dachvorsprung.

Den Wechselrichter nicht montieren:

- im Einzugsbereich von Ammoniak, ätzenden Dämpfen, Säuren oder Salzen (z.B. Düngemittel-Lagerplätze, Lüftungöffnungen von Viehställen, chemische Anlagen, Gerberei-Anlagen, etc.)

51

Quelle: Fronius

Montageanweisungen



52

Quelle: BFE

Messungen, Dokumentation und Datenlogger

- Oftmals fehlende Messergebnisse lassen eine Überprüfung nur begrenzt zu.
- Dokumentation fehlt meistens gänzlich.
- Fehlende Datenlogger ermöglichen keine schnelle Erkennung von Ausfällen oder Störungen.

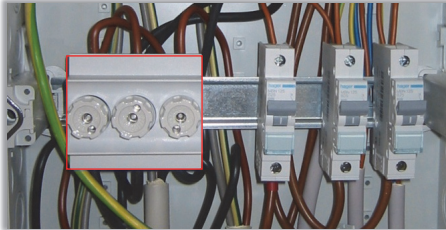


53

Quelle: BFE

AC-Trenneinrichtung

AC-Trenneinrichtung



DIN VDE 0100-530 (VDE 0100-530):
530.4.2

Alle Schaltkontakte mehrpoliger
Einrichtungen zum Trennen und
Schalten müssen mechanisch so
gekoppelt sein, dass sie praktisch
gleichzeitig schließen und gleichzeitig
öffnen.



ACHTUNG!

**Beschädigung des Wechselrichters durch den Einsatz von
Schraubsicherungselementen als Lasttrenneinrichtung!**

Ein Schraubsicherungselement, z.B. D-System (Diazed) oder D0-System (Neozed), ist kein
Lasttrennschalter und darf **nicht** als Lasttrenneinrichtung eingesetzt werden. Ein
Schraubsicherungselement dient lediglich als Leitungsschutz.

Der Wechselrichter kann beim Trennen unter Last mit einem Schraubsicherungselement
beschädigt werden.

- Ausschließlich einen Lasttrennschalter oder einen Leitungsschutzschalter als
Lasttrenneinrichtung einsetzen.

54

Quelle: SMA

Schutz gegen elektrischen Schlag

- Bei **trafolosen Wechselrichtern** sind aufgrund der fehlenden
einfachen (**galvanischen**) **Trennung** zwischen der DC-Eingangsseite
und der AC-Ausgangsseite weitere Schutzmaßnahmen erforderlich.
- Zum Einsatz kommen hier **allstromsensitive**
Fehlerstromschutzschalter (RCDs) vom Typ B mit einem
Bemessungsdifferenzstrom $I_{\Delta n}$ von maximal
300 mA für den Brandschutz und die im WR integrierte RCMU.
- Dieser RCD erfüllt gleichzeitig die Anforderungen der AC-Freischaltestelle.

55

Fehlerstrom-Schutzschalter (RCD)

Ein Schutz der Zuleitung vom Wechselrichter zu dem Einspeisezähler mit entsprechenden **Fehlerstrom-Schutzschaltern** kann durch weitere Normen und Richtlinien wie zum Beispiel

- **DIN VDE 0100-410** Schutz gegen elektrischen Schlag und
- für besondere Betriebsstätten wie Bauernhöfe die **DIN VDE 0100-705** Elektrische Anlagen von landwirtschaftlichen und gartenbaulichen Betriebsstätten;
- **DIN VDE 0100-420** Brandschutz bei besonderen Risiken oder Gefahren sowie
- **VdS 2033** Feuergefährdete Betriebsstätten gefordert sein.

56

Einsatz RCD

Wenn eine Fehlerstrom-Schutzeinrichtung für den Schutz des PV-Wechselstrom-Kreises verwendet wird, muss diese vom Typ B sein. Eine Ausnahme von dieser Forderung besteht, wenn der Hersteller des Wechselrichters die Freigabe für andere RCD-Typen erteilt.

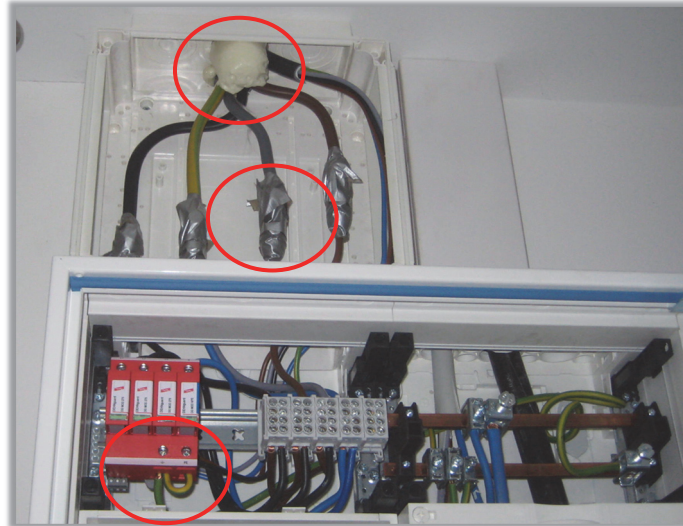
Je nach Installationsort und den örtlichen Bedingungen, kann eine Fehlerstrom-Schutzeinrichtung aufgrund anderer Normen oder Vorschriften nötig sein.

Die verschiedenen Einflüsse sind aber nur vom Installateur vor Ort zu beurteilen.



57

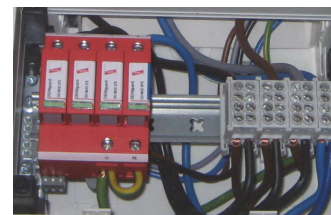
Fehlersuche...



58

Quelle: BFE

Fehlersuche abgeschlossen



1. Bauschaum für Leitungseinführung
2. Basisisolierung der blanken Verbinderr
3. PE-PA-Brücke am ÜSE SPD Typ 2

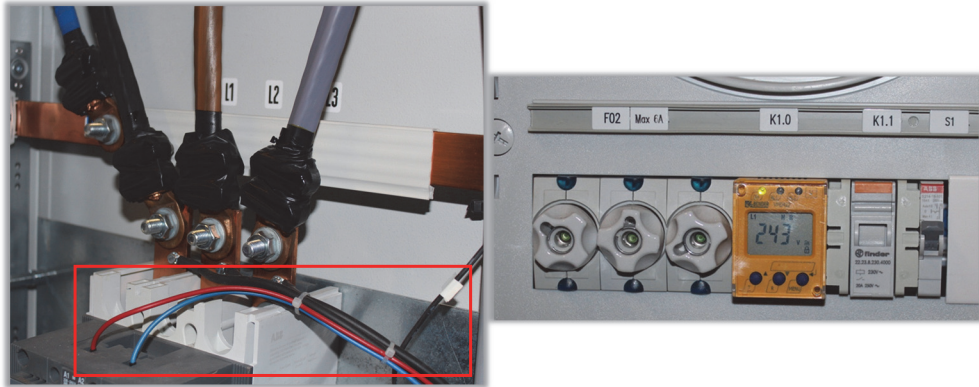


59

Quelle: BFE

Anforderungen NA-Schutz Relais

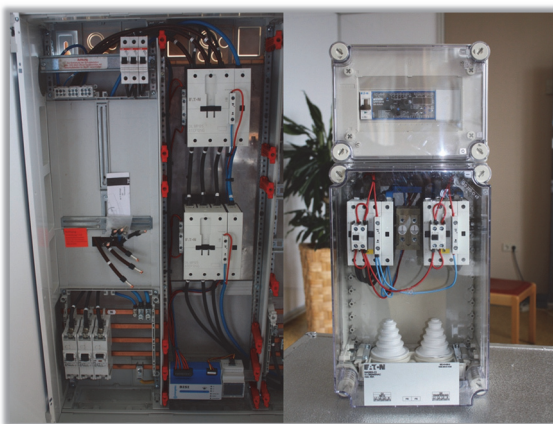
Erd- und Kurzschluss sichere Verlegung erforderlich



60

Quelle: BFE

Kuppelschalter

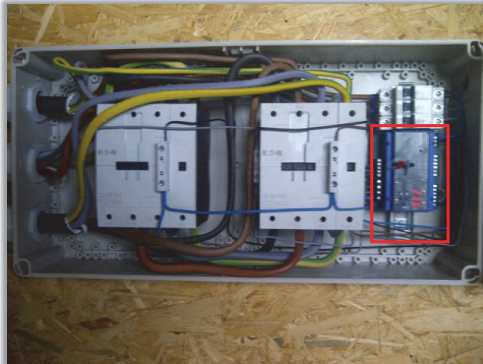


- Einfehlersicherheit
- Kurzschlusschutz
- Verlustwärme
- Schütze bis 100 kVA

61

Quelle: BFE

Fehlerhafter Kuppelschalter

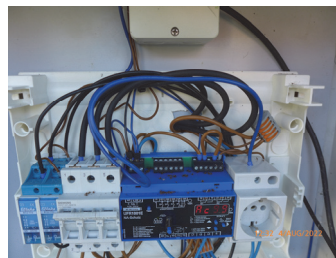


- PEN-Leiter wird geschaltet
- NA-Schutz-Relais wird zu warm – Verlustleistung Schütze

62

Quelle: BFE

NA-Schutz



63

Quelle: BFE Oldenburg

Aluminiumkabel

- Aus Kostengründen wird bei langen Leitungslängen und großen Leistungen, als Hauptleitung Aluminium verwendet.
- Die Klemmen müssen zur Aufnahme dieser großen Leitungsquerschnitte und des verwendeten Materials geeignet sein.

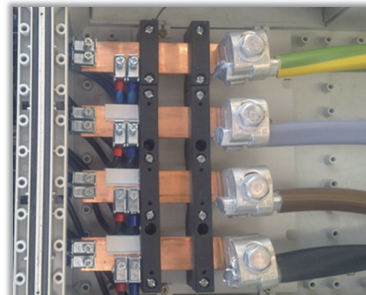


64

Quelle: BFE

Aluminiumkabel

- Es dürfen nur zugelassene Klemmen verwendet werden.
- Die Oxidschicht an der Ader ist zu entfernen.
- Die Leitungsenden sind zu fetten.
- Es sind entsprechende Drehmomente aufzubringen.
- Klemmen müssen nachgezogen werden.



65

Quelle: Hensel

Quelle: BFE

Sektorleiter

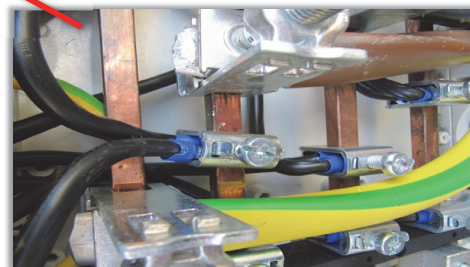
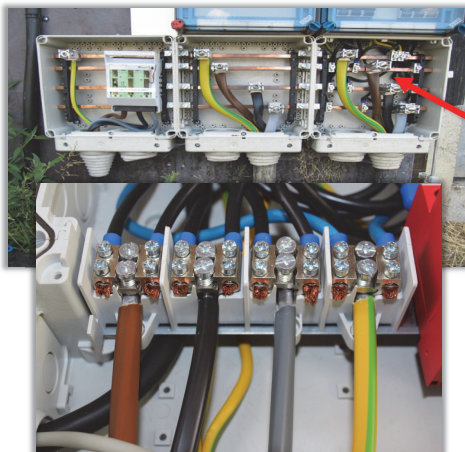
Sektorleiter 240 mm² (315 A) nicht ausgedreht, schlechte Stromübertragung und hohe Stromwärme → BRANDGEFAHR



66

Quelle: BFE

Leitungsanschlüsse

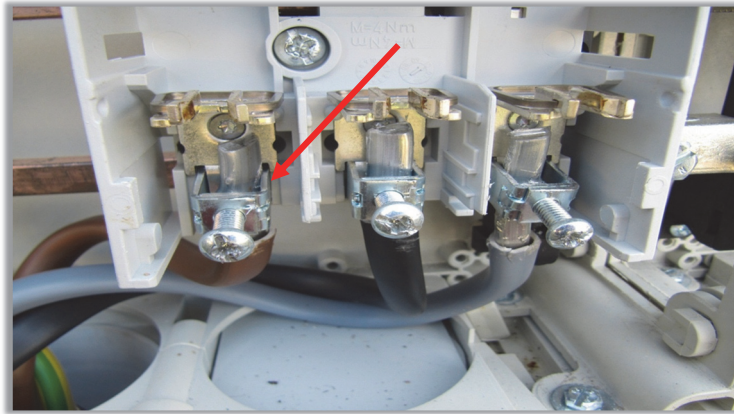


Anschlussklemmen richtig gewählt (**ALU/CU**) und nach **Herstellervorgabe** belegt?

67

Quelle: BFE

Leitungsanschlüsse

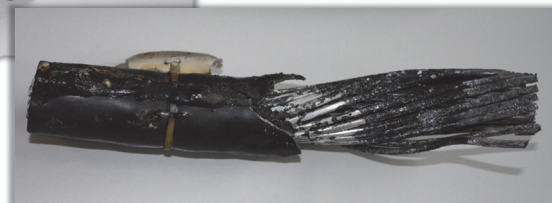


Anschlussklemmen für **Sektorleiter** geeignet, Sektorleiter **ausgedreht** und **Drehmomente** beachtet?

68

Quelle: BFE

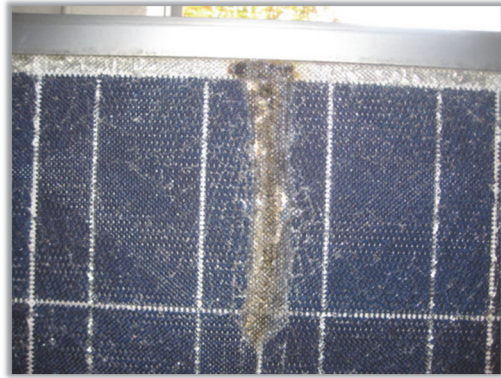
Leitungsverbindungen



69

Quelle: BFE

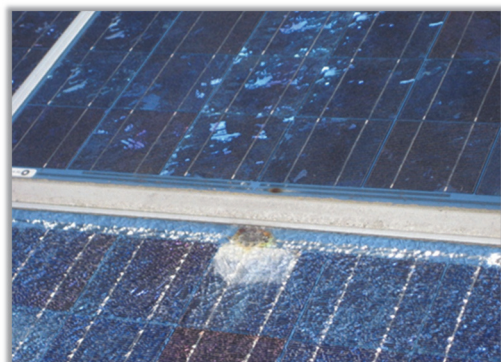
Module als Brandursache



70

Quelle: BFE

Module als Brandursache



71

Quelle: BFE

Feuergefährdete Betriebsstätten

Feuergefährdete Betriebsstätten sind solche, bei denen das **Brandrisiko** durch die Art der verarbeiteten oder gelagerten **brennbaren Materialien** einschließlich der Ansammlung von **Staub**, wie in

- **Scheunen von landwirtschaftlichen Betrieben,**
- Holzverarbeitungswerkstätten,
- Papier- und Textilfabriken oder
- Lagerhallen und Ähnlichem verursacht wird.

72

Feuergefährdete Betriebsstätten



73

Quelle: BFE

Feuergefährdete Betriebsstätten

- In feuergefährdeten Betriebsstätten dürfen nur für den Betrieb **erforderliche elektrische Anlagen** errichtet werden.
- Die **Oberflächentemperatur** der Betriebsmittel darf abgelagerte, **brennbare Stäube** nicht entzünden.
- Leitungen und Kabel müssen gegen **Überlast und Kurzschluss** geschützt werden.
- **Isolationsfehler** an der Kabel- und Leitungsanlage müssen erkannt werden und zur Abschaltung führen.

Die Errichtung von Wechselrichtern für PV-Anlagen innerhalb von feuergefährdeten Betriebsstätten ist nicht zulässig

74

Feuergefährdete Betriebsstätten



- Wechselrichter sollten in separaten, von der feuergefährdeten Betriebsstätte brandschutztechnisch getrennten, Räumen untergebracht werden.

75

Feuergefährdete Betriebsstätten



- Alternativ ist bei geeigneten Wechselrichtern eine Außenmontage möglich.
- Beachtung der Ausrichtung – **Gefahr des Deratings!**

76

Quelle: BFE

Feuergefährdete Betriebsstätten



- **Die Leitungsverlegung der DC-Leitungen darf nicht im Bereich der Feuergefährdeten Betriebsstätte erfolgen.**
- Die Leitungsführung sollte Außen erfolgen.
- Ansonsten sind Brandschutzkanäle und Brandschotts zu verwenden.
- **Fehlendes, UV-beständiges Leitungsführungssystem.**
- **Leitungen haben direkten Kontakt mit der Dachfläche.**

77

Quelle: BFE

Zählerplatz

VDE-AR-N 4100 (2019-04) – Anpassung von Anlagen bei Änderungen (1/2)

4.4 Erweiterung oder Änderung in bestehenden Kundenanlagen

Werden in bestehenden Kundenanlagen Erweiterungen oder Änderungen vorgenommen, gelten für die erweiterten oder geänderten Anlagenteile die jeweils aktuell gültigen Anforderungen an den Anschluss und den Betrieb von Kundenanlagen am Niederspannungsnetz.

Bei Erweiterungen, Nutzungsänderungen oder Änderungen der Betriebsbedingungen bestehender elektrischer Anlagen ist **durch den Errichter zu prüfen, ob betroffene Anlagenteile an die jeweils aktuellen Anforderungen** an den Anschluss und den Betrieb von Kundenanlagen am Niederspannungsnetz **anzupassen sind**.

VDE-AR-N 4100 (2019-04) – Anpassung von Anlagen bei Änderungen (2/2)

Derartige Erweiterungen, Nutzungsänderungen oder Änderungen der Betriebsbedingungen können sein:

- Erhöhung der benötigten bzw. eingespeisten elektrischen Leistung;
- Änderung von haushaltsüblichem Verbrauchsverhalten zu Anwendungen mit Dauerstrom;
- Nachrüstung von steuerbaren Verbrauchseinrichtungen nach § 14a EnWG [2];
- Umwandlung einer Bezugsanlage in eine Bezugsanlage mit Netzeinspeisung;
- Änderung der Raumnutzung;
- Änderung einer Anschlussnutzeranlage von einem einphasigen in einen dreiphasigen Anschluss;
- Änderung der Netzform.

Beispiel Anlage EFH mit E-Mob./PV



Prüfungen

DIN EN 62446 (VDE 0126-23)

DEUTSCHE NORM

April 2019

	DIN EN 62446-1 (VDE 0126-23-1)	
	Diese Norm ist zugleich eine VDE-Bestimmung im Sinne von VDE 0022. Sie ist nach Durchführung des vom VDE-Präsidium beschlossenen Genehmigungsverfahrens unter der oben angeführten Nummer in das VDE-Vorschriftenwerk aufgenommen und in der „Liste Elektrotechnik + Automation“ bekannt gegeben worden.	
Vervielfältigung – auch für innerbetriebliche Zwecke – nicht gestattet.		
ICS 27.160	Ersatz für DIN EN 62446-1 (VDE 0126-23-1):2016-12 Siehe Anwendungsbeginn	
Photovoltaik(PV)-Systeme – Anforderungen an Prüfung, Dokumentation und Instandhaltung – Teil 1: Netzkoppelte Systeme – Dokumentation, Inbetriebnahmeprüfung und Prüfanforderungen (IEC 62446-1:2016 + A1:2018); Deutsche Fassung EN 62446-1:2016 + A1:2018		

- Erforderliche **Mindestangaben und Dokumentation** für den Kunden.
- Mindestumfang der **Inbetriebnahmeprüfung**, Prüfkriterien und Prüfdokumentation.
- Anwendung auch für die **wiederkehrende Prüfung**.



Mechanische Konstruktion

- **Systemstatik** des Untergestells.
- **Statische Nachweise der Tragfähigkeit;**
Einleitung der Kräfte in das Bauwerk oder in den Boden, Windlast und Schneelast nach DIN 1055.
- **Ausführungspläne** der Dachkonstruktion, Modultische oder der Schraub- oder Rammpfähle.

84

Betriebs- und Wartungsangaben

- Verfahren zum Nachweis des korrekten Anlagenbetriebes,
- Checkliste, was im Fall eines Anlagenausfalls zu tun ist,
- Not-Abschaltung und Trennverfahren,
- Wartung und Reinigung,
- Hinweise auf zukünftige Arbeiten am Gebäude, die sich auf den PV-Generator auswirken können,
- Gewährleistungsangaben für PV-Module und Wechselrichter, Gewährleistungsbeginn und -dauer und
- Angaben über die zutreffende Ausführungsqualität oder über die Garantie der Wasserdichtheit.

85

Prüfergebnisse und Inbetriebnahmeangaben

- Von allen Prüf- und Inbetriebnahmedaten sind Kopien bereitzustellen.
- Diese müssen mindestens die Ergebnisse der Erstprüfungen enthalten.

Wichtiger Hinweis:

Die Unterschrift des Prüfers, Anlagenerrichters und des Anlageneigentümers ist eine Grundvoraussetzung einer rechtssicheren Anlagenprüfung.

Erstprüfung AC - Seite

- **Besichtigen,**
- **Erproben** und
- **Messen**

Die Prüfung der elektrischen Anlage erfolgt nach der DIN VDE 0100-600.

Sind die Prüfungen der Wechselstromkreise abgeschlossen, muss die Prüfungen der Gleichstromkreise erfolgen.

Es ist ein Prüfbericht anzufertigen!

Messen auf der AC-Seite

- Durchgängigkeit der Leiter (PE und PA),
- Isolationswiderstand der elektrischen Anlage,
- Schutz durch automatische Abschaltung der Stromversorgung:
 - Messung der Fehlerschleifenimpedanz ($I_{kmess} > 1,5 \times I_a$) und
 - Fehlerstrom-Schutzschalter (RCD),
- Messung des Erderwiderstands (TT-System $R_A \leq \frac{U_L}{I_{\Delta n}}$),
 - Zusätzlicher Schutz (Fehlerstrom-Schutzschalter (RCD)) und
- Prüfung des Spannungsfalls.

88

Messgeräte



- Niederohmmessung
- Spannungsmessung AC
- Leerlaufspannung (U_{OC})
- Kurzschlussstrom (I_{SC})
- Betriebsstrom (I_{MPP}) mit optionaler Zange
- Isolationswiderstand (R_{Iso})
- Solare Einstrahlung
- Temperaturen
- Neigung und Ausrichtung

89

Quelle: Benning, HT-Instruments, Fluke

Erstprüfung nach VDE 0126-23-1

Sind die Prüfungen der Wechselstromkreise abgeschlossen, müssen die folgenden Prüfungen an den **Gleichstromkreisen (DC)** durchgeführt werden:

- **Durchgängigkeit** der Schutz- und Potentialausgleichsleiter,
- **Polaritätsprüfung**,
- Prüfung der **Leerlaufspannung** eines Stranges,
- Prüfung des **Kurzschlussstroms** eines Stranges ,
- **Funktionsprüfungen** und
- **Isolationswiderstand** der Gleichstromkreise.

Prüfprotokoll

Prüfprotokoll® für die Wiederholungsprüfung von Photovoltaik-Anlagen
Prüfbescheinigung / Prüfbericht

Prüfung von PV-Anlagen Prüfbescheinigung	
Nr. 1	Blatt von
Auftraggeber: ³	Kunden Nr.: 2023
BFE Oldenburg	Auftragnehmer: ³
Donnerschwer Str. 184	
26123 Oldenburg	
Auftrag Nr.:	

Prüfbericht
Besichtigung nach VDE 0126-23 und VDE 0105-100

Gleichspannungsseite der PV-Anlage	I. O.	n. I. O.	Nicht prüfbar
Die Rahmen und Werkstoffe des Montagegestells der PV-Anlage sind witterungsbeständig	☒	☒	☒
Das Modulfeld weist keine Verschmutzung auf (wenn n. I. O. professionelle Reinigung empfohlen)	☒	☒	☒
Der PV-Generator ist ordnungsgemäß befestigt	☒	☒	☒
Das Gleichspannungssystem wurde im Allgemeinen nach den Anforderungen in VDE 0100 und im Besonderen nach VDE 0100-712 ausgewählt und errichtet	☒	☒	☒
Die Gleichspannungskomponenten sind für den Gleichspannungsdauerbetrieb laut Datenblatt bemessen	☒	☒	☒
Die Gleichspannungskomponenten sind für die höchstmögliche Spannung des Gleichspannungssystems und den höchstmöglichen Fehlerstrom bemessen	☒	☒	☒

Prüfprotokoll

Aufschriften und Kennzeichnung der PV-Anlage			
Alle PV-Stränge, Schutzzeinschaltungen, Schalter und Anschlussklemmen haben geeignete Aufschriften	☐	☐	☐
Alle PV-Generator- und PV-Teilgeneratorschlussdosen tragen einen Warnhinweis, dass die in der Dose befindlichen aktiven Teile von einem PV-Strang gespeist werden und nach der Abschaltung vom PV-Wechselrichter und vom Versorgungsnetz noch spannungsführend sein können	☐	☐	☐
Die Trenneinrichtung auf der Wechselspannungsseite der PV-Anlage ist eindeutig gekennzeichnet	☐	☐	☐
Separate Übergabestelle (falls vorhanden) für die PV-Anlage ist mit der Aufschrift „Trennstelle Erzeugungsanlage – Versorgungsnetz“ gekennzeichnet	☐	☐	☐
Das Hinweisschild nach VDE 100-712 ist ordnungsgemäß angebracht	☐	☐	☐

Checkliste

Blitz- und Überspannungsschutz bei Gebäuden mit PV-Anlagen

Blitz- und Überspannungsschutz (nach DIN EN 62305-3, Beiblatt 5 [VDE 0185-305-3, Beiblatt 6])	Ja	Nein	Nicht prüfbar
Hinweis: Eine PV-Anlage erfordert nicht in jedem Fall die Installation eines Blitzschutzsystems. Dieses kann nach Landesbauordnung (LBO) bzw. Vertragslage (z. B. Versicherungsvertrag) gefordert sein.			
1. Ist ein Blitzschutzsystem für das Gebäude gefordert / vorhanden? (Baurecht, Risikobewertung, VdS)	☐	☐	☐
Wenn ja, sind die Punkte 2. – 11. zu beachten. Wenn nein, weiter mit Punkt 11. (Nachrüstung empfohlen).			
2. Liegt für das Blitzschutzsystem ein Prüfbericht vor?	☐	☐	☐
3. Wurde die äußere Blitzschutzanlage entsprechend angepasst?	☐	☐	☐
4. Liegt eine Trennungsabstandsrechnung vor?	☐	☐	☐
5. Wurde der Trennungsabstand eingehalten?	☐	☐	☐

92

Quelle: ZVEH E-Protokoll Manager

Quelle: ZVEH E-Protokoll Manager

Prüfprotokoll

Wechselrichter:

PV-Stränge Wechselrichter Nummer / Bezeichnung:

Hersteller: WR-Typ: Seriennummer:

Prüfgeräte:

Bestrahlungsstärke während der Messung: (W/m²) oder

Witterungsbedingungen: (z. B. sonnig, leicht bewölkt, bedeckt)

☐ Netzausfallprüfung am Wechselrichter durchgeführt

Zusätzlich notwendige Prüfungen der PV-Anlage:

☐ Funktion zentraler Netz- und Anlagenschutz nach VDE-AR-N 4105 (wenn vorhanden) nachgewiesen

☐ Durchgängigkeit des Erdungsleiters ≤ 10 nachgewiesen

Art der Erdverbindung des PV-Montagesystems: ☐ keine ☐ Funktionserdungsleiter (mind. 6 mm²) ☐ Schutzerdungsleiter (mind. 16 mm²)

Anschluss der Erdverbindung des PV-Montagesystems art: ☐ keine ☐ Haupterdungschiene ☐ Potenzialausgleichschiene

☐ keine ☐ PE Schiene im Verteiler ☐ Fundamentender ☐ Sonstiges:

Wechselrichter

PV Stränge

Strangnummer:	
PV-Generator	Modultyp / - bezeichnung: Menge:
Strang-Parameter (STC)	U _{oc} (V): I _{sc} (A):
	Typ:
Strang-Überstrom- Schutzzeinschaltung	Benennungswert (A): DC-Benennungswert (V): Schaltvermögen (kA):
Verkabelung	Typ: Aktiver Leiter (mm ²): Erdungsleiter (mm ²):
Kontrolle der Polarität und Kennzeichnung	Prüfspannung: Positive Elektrode - Erde (M2): Negative Elektrode - Erde (M2):
Messwerte des Strangs	U _{oc} (V): I _{sc} (A): U _{mp} (V) (bei Bedarf): I _{mp} (A) (bei Bedarf):

PV - Stränge:

93

Quelle: ZVEH E-Protokoll Manager

Quelle: ZVEH E-Protokoll Manager

Danke!



Dozent

Telefon: (0441) 34092-0 / bfe.de / E-Mail: b.eggert@bfe.de