

Photovoltaik

1 Einleitung

Die Zahl der Photovoltaik-Anlagen hat in den letzten Jahren erheblich zugenommen. Häufig stellen Kommunen oder andere öffentliche Einrichtungen ihre Dachflächen für Photovoltaikanlagen zur Verfügung und verdeutlichen damit die Bedeutung regenerativer Energiequellen (Bild 1).



Bild 1: Beispiel für die Leistungsanzeige einer Photovoltaikanlage auf einem Schulgebäude

Der Aufbau einer Photovoltaikanlage auf dem Dach eines öffentlichen Gebäudes (z.B. einer Schule) darf die Schutzfunktion einer Blitzschutzanlage nicht beeinträchtigen. Für diese Gebäude ist als vorbeugende Brandschutzmaßnahme und aus Gründen des Personenschutzes eine dauerhaft wirksame Blitzschutzanlage in der Regel durch die Bauaufsicht und dem Gesetzgeber verbindlich vorgeschrieben. Photovoltaik-Anlagen können durch direkte oder nahe Blitzeinschläge gefährdet werden. Durch Blitze können hohe Spannungen und Ströme in der Photovoltaik-Anlage auftreten. Beim Überschreiten der zulässigen Strom- und Spannungswerte muss mit einer Zerstörung gerechnet werden (Bild 2 und Bild 3). Durch eingekoppelte Teilblitzströme können die Wechselrichter beschädigt werden (Bild 3). Ein Brand kann in diesem Fall nicht ausgeschlossen werden (Bild 4).

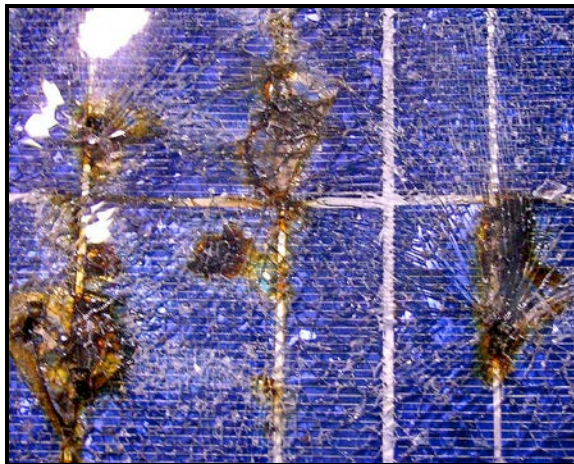


Bild 2: Schäden an PV-Modulen durch Blitzschlag - Vorderseite



Bild 3: Schäden am Wechselrichter

Die Gefahr eines Brandes ist besonders dann gegeben, wenn keine Blitzschutzmaßnahmen vorhanden sind oder die erforderlichen Sicherheitsabstände zur Äußeren Blitzschutzanlage nicht eingehalten werden können (Bild 4).

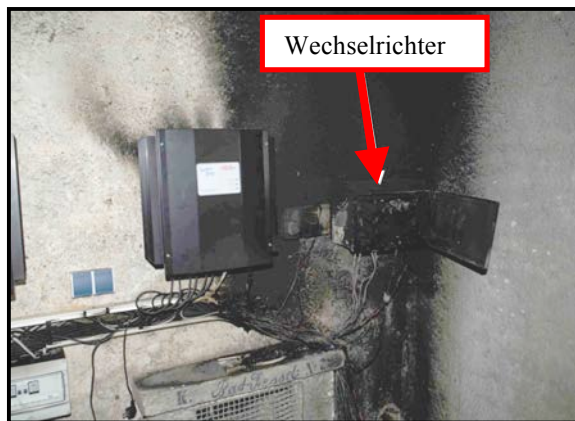


Bild 4: Überspannungen verursachten einen Brand am Wechselrichter

Gefährdungen der Wechselrichter können auch durch eine unsachgemäße Verkabelung entstehen (Bild 5 und Bild 6). Häufig verlaufen die Gleichstromleitungen parallel zu den Fangleitungen, kreuzen diese oder werden sogar an den Fangleitungen befestigt.



Bild 5: Die Verkabelung der Photovoltaikanlage kreuzt die Fangeinrichtung und verläuft parallel entlang der Fangleitung



Bild 6: Die Verkabelung der Photovoltaikanlage kreuzt die Fangeinrichtung und verläuft parallel entlang der Fangleitung

Aus diesen Gründen hat der Blitzschutz von Photovoltaikanlagen in vielen Fällen eine sehr hohe Bedeutung und darf bei der Planung und der Installation nicht vernachlässigt werden.

2 Allgemeine Informationen zu Photovoltaik-Anlagen

Photovoltaik-Anlagen dienen der Stromerzeugung und können im Parallelbetrieb mit dem allgemeinen Stromversorgungsnetz oder im Inselbetrieb (d.h. mit Speicherbatterie) zur Versorgung von Anlagen eingesetzt werden. Im wesentlichen bestehen Photovoltaik-Anlagen aus folgenden Komponenten:

- a. Photovoltaik-Generator
- b. Wechselrichter
- c. Verbindungsleitungen
- d. Schalt- und Schutzeinrichtungen.

Bild 7 zeigt die wesentlichen Teile einer Photovoltaik-Anlage für den Netzparallelbetrieb. Bei der Verwendung als Inselbetrieb wird an der Stelle des Wechselrichters eine Batterie mit Laderegler eingesetzt.

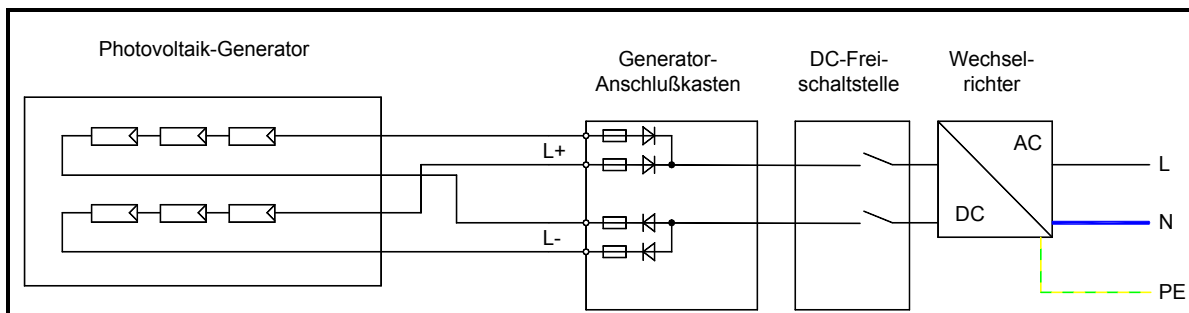


Bild 7: Photovoltaik-Generator, mit Generatoranschlusskasten

Der Photovoltaik-Generator setzt sich aus einzelnen Solarzellen zusammen, die aus einer dünnen Schicht Silizium-Einkristall (ca. 0,4 mm dick) bestehen. Jede Solarzelle stellt eine großflächige Diode dar, die die Strahlungsenergie der Sonne direkt in elektrische Energie umwandelt (Bild 8). Bei Tageslicht liefert jede Solarzelle eine Gleichspannung von ca. 0,5 V. Als Wasserdampfsperre ist hinter den Zellen eine Alufolie angeordnet, die die Solarzellen gegen steile Änderungen des elektromagnetischen Feldes schützt. Solarzelle und Alufolie sind voneinander durch eine Kunststoffschicht isoliert. Die Isolierung zwischen Alufolie und Zelle wird mit 6 kV geprüft (Bild 9)

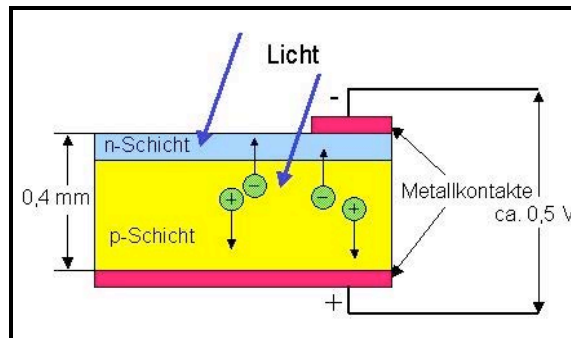


Bild 8: Aufbau einer Solarzelle



Bild 9: Solarzelle

3 Zusammenschaltung von Solarzellen

Durch die Reihenschaltung mehrerer Solarzellen werden sogenannte Strings gebildet, deren Zusammenschaltung wiederum Solarmodule ergeben. Für eine typische Arbeitsspannung von 18 V kann ein Modul z.B. aus 4 Strings zu je 9 Zellen zusammenschaltet werden.

Generell kommen zwei Arten der Zusammenschaltung von Solarmodulen zur Anwendung:

Parallelschaltung: Durch die parallele Zusammenschaltung erhöht sich mit jedem weiteren Modul die Stromstärke. Nachteil der Reihenschaltung sind größere Kabelquerschnitte und ein erhöhter Verkabelungsaufwand. Vorteilhaft ist dagegen die geringere Unempfindlichkeit gegenüber einer eventuellen Teilabschattung des Photovoltaik-Generators.

Reihenschaltung: Mit der seriellen Zusammenschaltung jedes Moduls erhöht sich die Systemspannung. Nachteil ist, dass die Stromstärke gering bleibt. Vorteilhaft sind dagegen die sehr dünnen Kabelquerschnitte, der geringe Verkabelungsaufwand und die Minimierung der Gleichstromverluste. Seriell verschaltete Anlagen weisen daher hohe Jahresenergieerträge auf.

Die Umsetzung des solar erzeugten Gleichstromes in einen netzkonformen 230 V / 50 Hz Wechselstrom erfolgt mit einem netzgekoppelten Wechselrichter. Bei hoher Systemspannung des Photovoltaik-Generators (d.h. Reihenschaltung der Module) können trafolose Wechselrichter eingesetzt werden. Der Gleichstrom wird auf elektronischem Weg durch Pulsweitenmodulation direkt in Wechselstrom umgewandelt. Integrierte Mikroprozessoren sorgen dafür, dass der Photovoltaik-Generator zu jeder Zeit im Punkt maximaler Leistung betrieben wird.

3.1 Photovoltaik-Generator

Die einzelnen Module können direkt auf dem Dach in einem Photovoltaik-Generator zusammenschaltet werden. Je nach Verschaltungsart kann die Betriebsspannung zwischen 35 V und 850 V betragen.

3.2 String-Wechselrichter

Die Systemtechnik bei Photovoltaikanlagen verursacht ca. 50 % der Anlagenkosten. Diese Kosten können erheblich gesenkt werden, wenn der Aufwand für die Verkabelung auf der Gleichstromseite

reduziert und vereinfacht wird. Bei String-Wechselrichtern erfolgt die Sammlung der Energie erst auf der Wechselstromseite.



Bild 10 : Solarmodul



Bild 11: String-Wechselrichter, Schutzart IP 64, mit selbsttätiger Netzfreischalteinrichtung, Montageort unterhalb des Daches

Die Solarmodule haben auf der Rückseite fertig konfektionierte Anschlussleitungen. Der String-Wechselrichter koppelt immer nur eine geringe Anzahl von in Reihe geschalteten Solarmodulen. (Strings) mit dem öffentlichen Versorgungsnetz.

Moderne Wechselrichter haben werksseitig in der Regel thermisch überwachte Varistoren als Überspannungsschutz eingebaut, die für die Überspannungskategorie III ausgelegt sind. Die Prüf-Stoßspannung ($1,2/50 \mu\text{s}$) beträgt 4 kV. Dieser Schutz ist für Überspannungen aus Blitzeinwirkung in der Regel nicht ausreichend.

4 Sicherheitsanforderungen

Bei der Installation von Photovoltaik-Anlagen ist die DIN VDE 0100-712 (2006-06) zu beachten. Die Anlagen sind meist schutzisoliert nach Schutzklasse 2. Der Personenschutz muss gewährleistet sein. Erreicht wird dies durch einen integrierten, allstromsensitiven FI-Schutzschalter (Fehlerstromschutzschalter) mit einer Auslösecharakteristik von 30 mA und sog. gleitender Basis, die zusammen mit der Isolationsüberwachung dafür sorgen muss, dass eventuelle Fehler in der Isolation sofort entdeckt werden und die Anlage sofort abgeschalt wird. Moderne Wechselrichter haben eine selbsttätige Netz-Freischalteinrichtung, die z.B. von der Berufsgenossenschaft zertifiziert ist.

Trifft dies nicht zu, dann muss ein zusätzlicher örtlicher Potentialausgleich vorgesehen werden, d.h. die berührbaren fremden leitfähigen Teile und das leitfähige Gehäuse des Photovoltaik-Wechselrichters müssen miteinander verbunden sein. Durch diese Maßnahme wird eine Gefährdung

durch einen möglichen Fehler auf der Gleichspannungsseite des Wechselrichters verhindert. Ein erdfreier örtlicher Potentialausgleich auf der Gleichspannungsseite des Photovoltaik-Wechselrichters ist nicht erlaubt.

5 Dachintegrierte Photovoltaik-Anlagen

Alternativ zu den herkömmlichen Photovoltaik-Anlagen können auch dachintegrierte Photovoltaik-Anlagen in Form von multifunktionalen Dachabdichtungen erstellt werden (Bild 12). Geeignet sind großflächige flachgeneigte Dächer, insbesondere von Industrie- und Gewerbebauten, die nicht für den dauernden Aufenthalt von Personen, zusätzliche Nutzung oder Begrünung vorgesehen sind.



Bild 12: Dachintegrierte Photovoltaikanlage

Geeignete Dachformen sind Tonnen-, Pult-, Sattel-, Schmetterlings- und Sheddächer (Bild 13). Sheddächer sind dann besonders gut geeignet wenn eine Dachneigung von 30° und eine Südausrichtung vorliegt.



Bild 13: Metaldach mit aufgeklebten Photovoltaik-Modulen

Multifunktionale Dachabdichtungen werden wie Dachabdichtungen aus herkömmlichen Kunststoffdachbahnen ausgeführt. Die Solar-Bahnen werden lose verlegt und mechanisch befestigt. Die Verlegung sollte vorzugsweise im Innenbereich von Dachflächen, d.h. im Bereich geringer Windsoglasten, erfolgen.

Die Photovoltaik-Module bestehen aus flexiblen Solarzellen in Serienschaltung mit Bypass-Dioden, die allseitig wetterfest und transparent polymerverkapselt sind.

Die Solarzellen können folgenden Aufbau haben:

- 1) Polymer-Verkapselung
 - 2) Abgreifgitter (+Pol)
 - 3) Silizium-Schichtsystem
 - 4) Silizium-Schichtsystem
 - 5) Silizium-Schichtsystem
 - 6) Edelstahlfolie (-Pol)
 - 7) Polymer-Verkapselung
 - 8) Kunststoffdachbahn
- (siehe Bild 14)

Die drei übereinander liegenden Silizium-Schichtsysteme nutzen jeweils die unterschiedliche Wellenlänge des Sonnenlichtes.

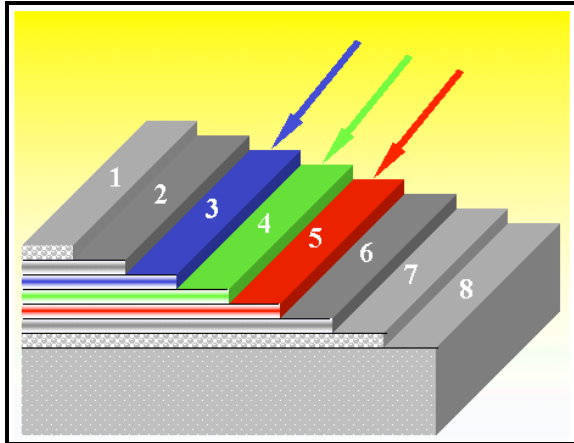


Bild 14 : Aufbau der Solarzellen für Kunststoffbahnen

Die Anschlusskabel der PV-Module werden direkt unter den Photovoltaik-Kunststoffbahnen verlegt. Die DC-Verkabelung wird verdeckt unter die Dachabdichtung witterungsgeschützt verlegt (Bild 15). Die Anschlusskabel werden gemeinsam durch die Tragschicht und die anderen Funktionsschichten zu einem Netzwechselrichter unter dem Dach geführt.



Bild 15: Die DC-Verkabelung wird verdeckt witterungsgeschützt verlegt.

6 Blitzschutzmaßnahmen

Blitzschutz für Photovoltaik-Anlagen erfordert einen Schutz gegen direkten Blitzeinschlag und Überspannungsschutzmaßnahmen zum Schutz der nachgeschalteten elektrischen Anlagenkomponenten.

Durch Blitzeinwirkung können in einer Solarzelle hohe Spannungen durch starke elektromagnetische Felder induziert werden. Die hohe Änderungsgeschwindigkeit der elektromagnetischen Felder führt zu starken Wirbelströmen. Diese Wirbelströme können einen Teil der Zu- und Ableitungen auf dem Kristall zerstören, so dass die Leistung der Solarzelle vermindert wird [4]. Hieraus ergibt sich, dass Leitungen, die hohe Blitzteilströme führen, nicht zu nahe an Solarzellen vorbeigeführt werden dürfen.

6.1 „Äußerer Blitzschutz“ für Photovoltaik-Anlagen

Für die Planung des „Äußeren Blitzschutzes“ sollte mind. Schutzklasse III nach DIN EN 62305-3 zu Grunde gelegt werden. Im Einzelfall kann bei höheren Anforderungen eine Ermittlung der erforderlichen Schutzklasse nach DIN EN 62305-2 erfolgen.

6.2 Einhaltung des Trennungsabstandes „s“

Bei der Errichtung einer Blitzschutzanlage muss darauf geachtet werden, dass der erforderliche Trennungsabstand „s“ zwischen Blitzschutz- und Photovoltaik-Anlage eingehalten wird (Bild 16). Der Trennungsabstand wird nach DIN EN 62305-3, Abschnitt 6.3 berechnet. Ein Trennungsabstand von $s > 0,5$ m ist in vielen Fällen ausreichend. Weitergehende Informationen können Abschnitt 10.1 entnommen werden.

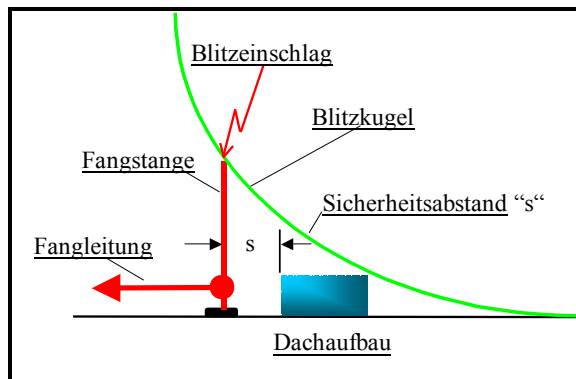


Bild 16: Sicherheitsabstand „s“

Im Einzelfall kann es vorkommen, dass der erforderliche Sicherheitsabstand „s“ nicht eingehalten werden kann. Um Funkenüberschläge zwischen Teilen der Blitzschutz- und der Photovoltaikanlage im Falle eines Blitzeinschlages zu vermeiden, muss nach DIN EN 62305-3 eine direkte leitfähige Verbindung zum Modul-Rahmen der Photovoltaikanlage hergestellt werden. Durch die Vermeidung eines gefährlichen Funkenüberschlages ergibt sich allerdings der Nachteil, dass ein Blitzteilstrom über den Potentialausgleich und auch über die Gleichstromleitungen in das Gebäude geführt wird, so dass besondere Maßnahmen erforderlich sind (siehe Abschnitt 9 und 10).

6.3 Fangeinrichtung und Schattenbildung

Maßgebend für die Planung der Fangeinrichtung ist die Dachform des Gebäudes und die Anordnung der Photovoltaik-Anlage.

Die Fangeinrichtungen müssen so angeordnet werden, dass sie keinen Schatten auf die Photovoltaik-Module werfen, da sonst die Energieerzeugung abnimmt (Bild 17). Fällt ein Schatten auf einen Teil der Zelle, dann geht deren Leistung etwa im Verhältnis der beleuchteten zur beschatteten Fläche zurück. Wird eine Zelle ganz beschattet, dann geht diese in Sperrrichtung und es kommt zum Ausfall eines Moduls (z.B. 36 Zellen) und damit zur größeren Leistungsminderung.

Als Richtwert kann eine jährliche Energieertragsminderung von 1 bis 4% bei einer Fangstange von 10 mm Durchmesser angenommen werden. Bei einer Fangstange von 20 mm Durchmesser kann die Ertragsminderung zwischen 1 bis 8% liegen. Die Höhe der Ertragsminderung wird auch vom Abstand

bestimmt, in dem die Fangstangen zu den Modulen angebracht sind. Fangstangen dürfen daher nur so angeordnet werden, dass deren Schatten in der Zeit von 9 bis 16 Uhr nicht auf die Module fällt. Bei der Planung sollte für den Schatten ein Winkel von 15° beachtet werden.

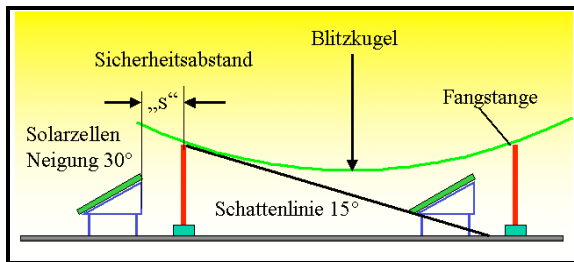


Bild 17: Planung der Fangeinrichtung unter Berücksichtigung der Schattenbildung

6.4 Anordnung der Fangeinrichtung

Maßgebend für die Planung der Fangeinrichtung ist die Dachform des Gebäudes und die Anordnung der Photovoltaik-Anlage.

Auf Gebäuden mit First werden die Photovoltaik-Anlagen nach Möglichkeit auf der nach Süden geneigten Dachfläche montiert, etwa 5 bis 20 cm über der Dachfläche. Eine Vergrößerung der Gebäudegrundfläche und der Gebäudehöhe ist hierdurch nicht gegeben, so dass sich durch die Anordnung der Photovoltaik-Anlage keine Erhöhung der Einschlaghäufigkeit ergibt. Bei Anordnung von Photovoltaik-Anlagen auf Flachdächern, stellen diese häufig den höchsten Punkt des Gebäudes dar und sind damit die bevorzugten Einschlagpunkte.

Der Schutz einer Photovoltaik-Anlage wird durch die Anordnung von Fangstangen oder Fangspitzen realisiert, die so anzuordnen sind, dass alle Teile einer Photovoltaik-Anlage im Schutzbereich liegen.

Die zuvor gemachten Aussagen gelten vor allem beim Schutz von Photovoltaik-Anlagen, die auf Gebäuden mit Flachdach aufgebaut werden. Für die Anordnung der Fangeinrichtung ist als wirkungsvollste Planungsmethode die Blitzkugelmethode anzuwenden (Bild 18).

Mit Hilfe der Blitzkugelmethode können Anordnung und Höhe von Fangstangen und Fangspitzen genau bestimmt werden. Ein Beispiel für den Schutz einer Photovoltaik-Anlage auf einem Flachdach zeigt Bild 19.

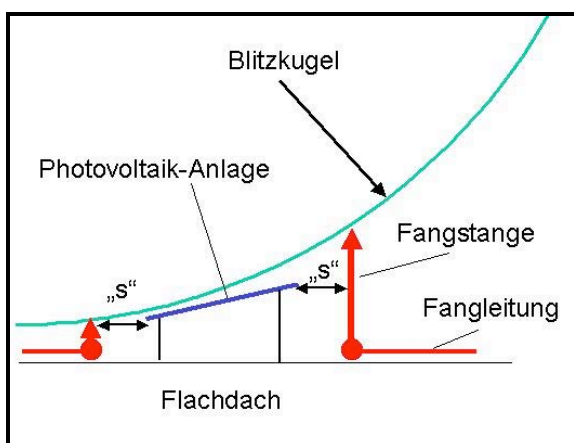


Bild 18: Schutz einer Photovoltaik-Anlage auf einem Flachdach

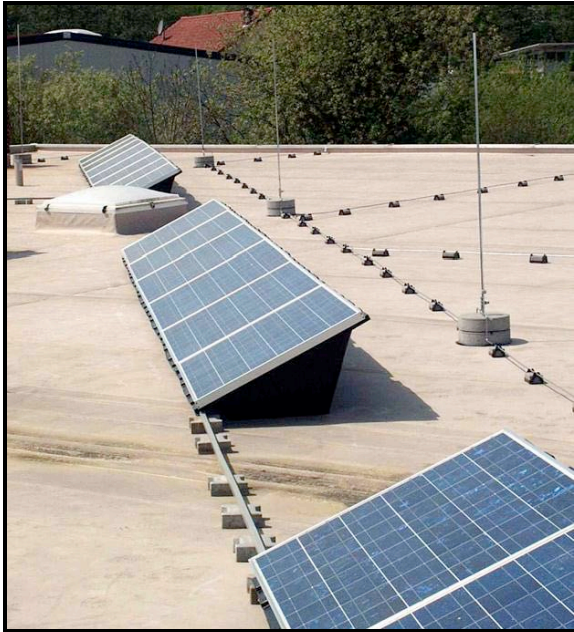


Bild 19: Schutz einer Photovoltaik-Anlage auf einem Flachdach

Erfolgt die Anordnung einer Photovoltaik-Anlage auf einem Gebäude mit First (z.B. bei Einfamilienhäusern), dann erfolgt der Schutz gegen einen direkten Blitzeinschlag durch Fangspitzen oder Fangstangen, die am oder in der Nähe des Dachfirstes anzubringen sind oder an Kaminen befestigt werden (Bild 20).

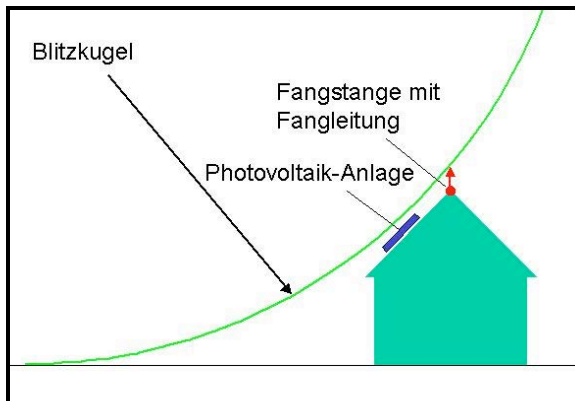


Bild 20: Schutz einer Photovoltaik-Anlage auf einem Gebäude mit First

Fangleitungen auf dem First oder der Dachfläche stören meist nicht, da die Photovoltaik-Module auf einer Tragkonstruktion einen Abstand von mindestens 5 cm von dahinter liegenden Flächen haben müssen. Das nachfolgende Bild 21 zeigt beispielhaft den Schutz einer Photovoltaik-Anlage auf einem Gebäude mit First unter Einhaltung des erforderlichen Sicherheitsabstandes „s“.

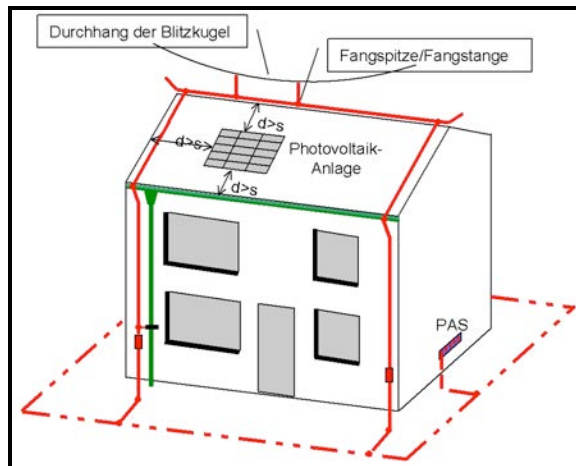


Bild 21: Blitzschutz für eine Photovoltaik-Anlage unter Beachtung des Sicherheitsabstandes „s“

Aus Bild 21 ist ersichtlich, dass die Blitzkugel zwischen den beiden Fangeinrichtungen einen Durchhang aufweist, der bei der Anwendung des Blitzkugelverfahrens beachtet werden muss. Die Größe des Durchhanges wird vom Radius der Blitzkugel und dem Abstand der Fangeinrichtungen zueinander bestimmt.



Bild 22: Einhaltung des Trennungsabstandes zwischen Fangeinrichtungen und metallenen Dachaufbauten

6.5 Anzahl der Ableitungen

Die Fangeinrichtung sollte wenigstens über vier Ableitungen mit der Erdungsanlage verbunden werden. Hierdurch kann der erforderliche Sicherheitsabstand zwischen Fangeinrichtung und Photovoltaik-Anlage leichter eingehalten werden (Bild 23). Zusätzlich sind die Teilblitzströme auf den Ableitungen niedriger, so dass die Überspannungen, die in Leitungen der Photovoltaik-Anlage eingekoppelt werden können, geringer ausfallen.

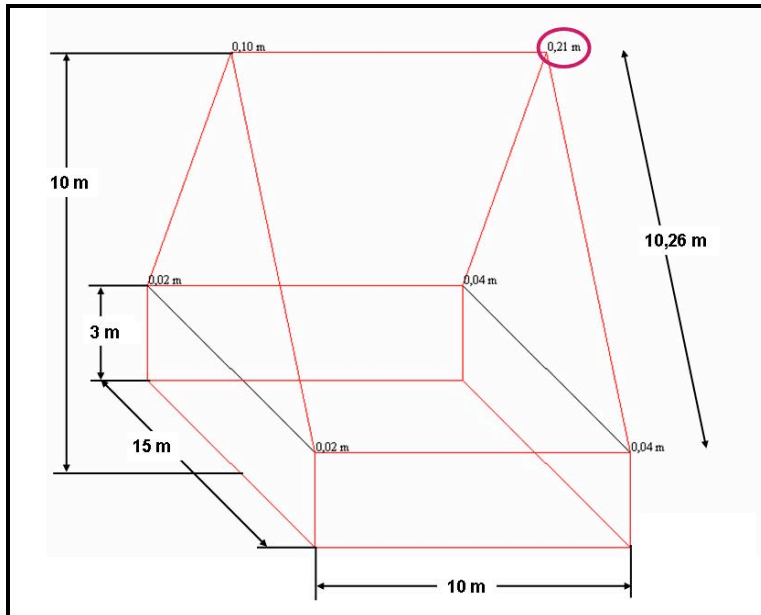


Bild 23: Beispiel für die Berechnung des Trennungsabstandes „s“ für ein Wohnhaus mit vermaschtem Fangleitungsnetz, ausgelegt für Schutzklasse III, $s = 0,21$ m (Luft)

In Höhe des Erdreiches müssen die Ableitungen miteinander verbunden werden (Bild 24 und Bild 25). Mit dieser Maßnahme kann eine möglichst gleichmäßige Aufteilung des Blitzstromes auf die Ableitungen erreicht werden. Die möglichst gleichmäßige Stromaufteilung ist die Voraussetzung für einen einheitlichen Sicherheitsabstand und verringert die Gefahr von gefährlichen Funkenüberschlägen.

6.6 Ausführung der Erdungsanlage

Wird die Erdungsanlage in Form eines Ringerders (Erderanordnung Typ B nach DIN EN 62305-3) erstellt, dann ergibt sich eine Verbindungsleitung, so dass keine weiteren Maßnahmen erforderlich sind.

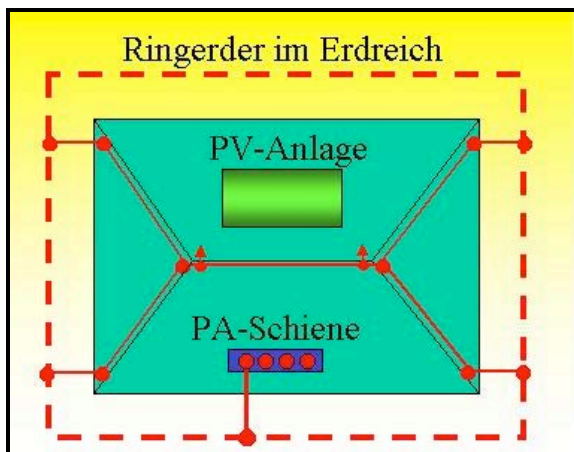


Bild 24: Ringerder als Erderanordnung Typ B nach DIN EN 62305-3

Werden dagegen Tiefenerder als Erder (Erderanordnung Typ A nach DIN EN 62305-3) verwendet, dann müssen diese Tiefenerder in Höhe des Erdreiches miteinander verbunden werden. Die Erdungsanlage muss mit dem Gebäude-Potentialausgleich verbunden werden.

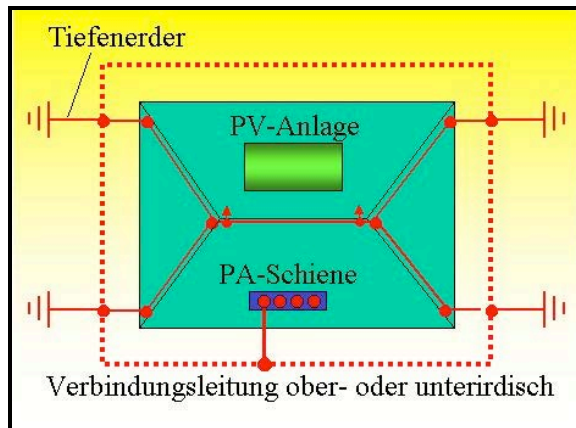


Bild 25: Erderanordnung Typ A nach DIN EN 62305-3, mit Verbindungsleitung

6.7 Blitzschutz für dachintegrierte PV-Anlagen

Der Schutz dachintegrierter Photovoltaikmodule erfolgt durch Fangspitzen oder Fangstangen (Bild 26 und Bild 27). Die Positionierung und Höhe dieser Fangeinrichtungen muss mit dem Blitzkugelverfahren bestimmt werden. Die Fangeinrichtungen müssen so angeordnet werden, dass keine Abschattung der Solarmodule eintritt. Bei der Planung sollte für den Schatten ein Winkel von 15° beachtet werden.

In Bereichen mit Fang- und Verbindungsleitung zwischen den Solarbahnen muss der Abstand ca. 1m betragen, um Näherungen zwischen Solarmodulen und Fangleitungen zu vermeiden. In schwierigen Fällen kann durch den Einsatz von Verbindungsleitungen mit PE-Mantel der erforderliche Sicherheitsabstand reduziert werden.

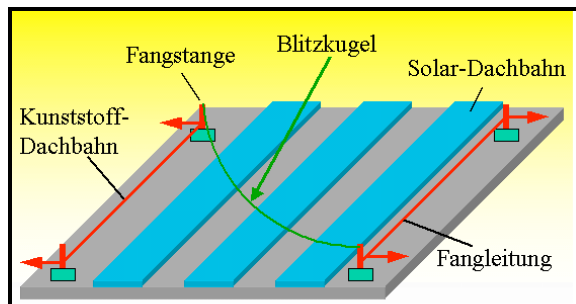


Bild 26: Blitzschutz von dachintegrierten PV-Anlagen



Bild 27: Blitzschutz von dachintegrierten PV-Anlagen

7 Überspannungsschutzmaßnahmen für Photovoltaik-Anlagen

7.1 Allgemeines

Der Überspannungsschutz für Photovoltaik-Anlagen hat sich aufgrund von Erfahrungen und technischen Innovationen in den letzten Jahren deutlich geändert.

Vor ca. zehn Jahren erfolgte der Schutz der Gleichstromseite des Wechselrichters durch den Einbau von Typ 2 Überspannungsableitern auf Varistorbasis mit thermischer Abtrennvorrichtung (Bild 28). Der Vorteil dieser Schaltung lag im einfachen Aufbau und dem kostengünstigen Einsatz von "Standardschutzgeräten". Diese Installation hatte allerdings folgende Nachteile:

- Überlast bei direkten Blitzströmen
- Überlast bei Erdfehlern im PV-Kreis
- Die Dimensionierung des Back-up-Schutzes gestaltete sich schwierig, eine Brandgefährdung kann nicht ausgeschlossen werden (Bild 29)

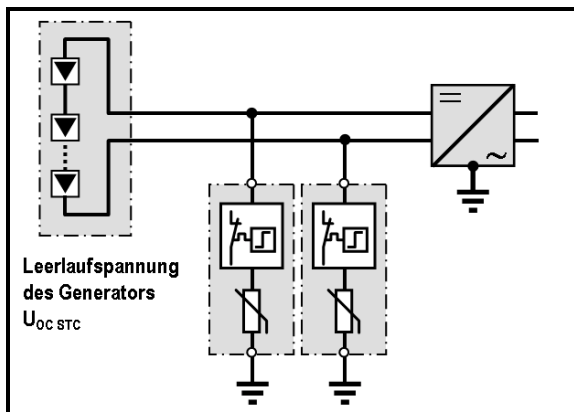


Bild 28: Typ 2 Überspannungsableiter mit thermischer Abtrennvorrichtung

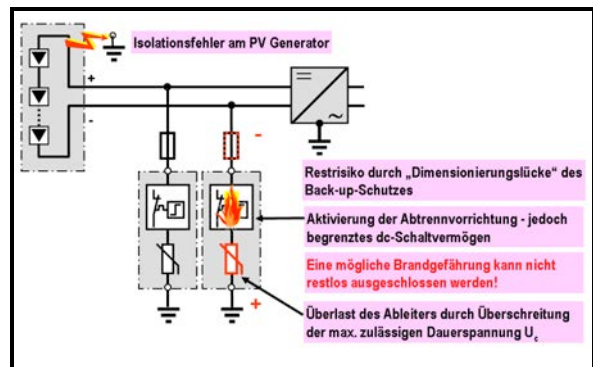


Bild 29: Typ 2 Überspannungsableiter mit thermischer Abtrennvorrichtung, Überlast der Ableiter bei Erdfehlern im PV-Kreis

Als Weiterentwicklung entstand als Schaltungsvariante die Installation von Typ 2 Überspannungsableitern in Y-Schaltung mit Summenfunkenstrecke (Bild 30). Der Vorteil dieser Schaltungsvariante ergibt sich aus einer besseren Anpassung an das Erdungskonzept der Kundenanlage und durch eine leckstromfreie Installation der auf Varistorbasis bestehenden Überspannungsableitern. Die Schaltungsvariante hatte jedoch noch immer die zuvor beschriebenen Nachteile (Bild 29 und Bild 31).

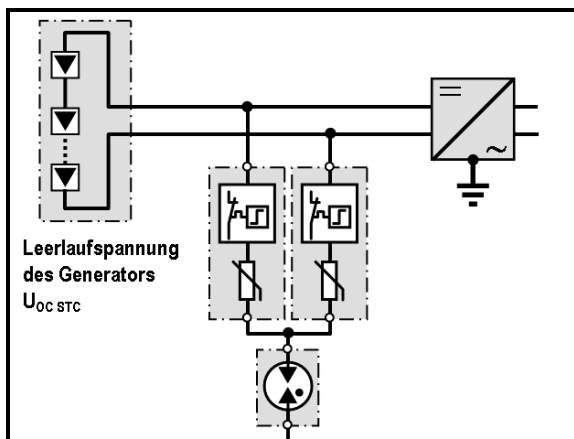


Bild 30: Typ 2 Überspannungsableiter mit thermischer Abtrennvorrichtung

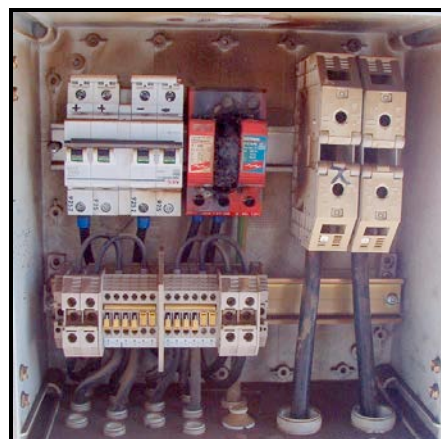


Bild 31: Typ 2 Überspannungsableiter in Y-Schaltung mit Summenfunkenstrecke

Die Y-Schaltungsvariante wurde durch Typ 2 Überspannungsableitern mit 3 Varistoren verbessert (Bild 32 und Bild 33). Vorteile: Eine Überlastung der Schutzpfade bei Erdfehlern im PV-Kreis ist durch die fehlerresistente Y-Schutzbeschaltung nicht mehr möglich und die Schutzgeräte können bis zu einer Spannung von $1000\text{ V } U_{OC}$ angewendet werden. Folgende Nachteile sind jedoch noch vorhanden:

- Eine Überlastung bei direkten Blitzteilströmen ist möglich, um dies zu vermeiden muss die Höhe der möglichen Teilblitzströme ermittelt werden.
- Eine Brandgefährdung kann bei einer Überlastung nicht ausgeschlossen werden.
- Nachteilig kann sich der relativ hohe Schutzpegel auswirken.

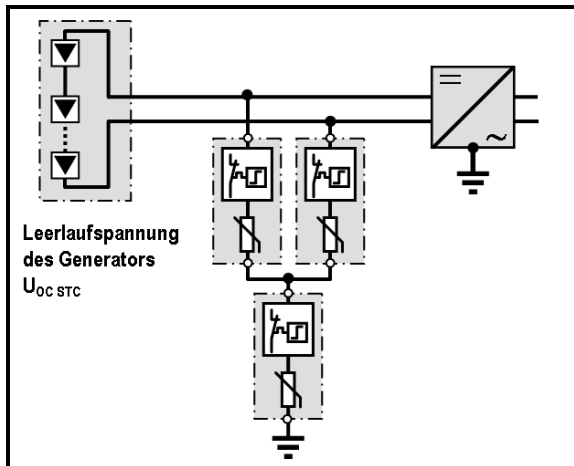


Bild 32: Überspannungsschutz mit 3 Varistoren in Y-Schaltung



Bild 33: Beispiel für den Überspannungsschutz mit 3 Varistoren in Y-Schaltung

Als weiterer Schritt wurden Typ 2 Überspannungsableiter mit kombinierter Abtrenn- und Kurzschließvorrichtung entwickelt (Bild 34 und Bild 35). Die Vorteile sind: tiefer Anlagenschutzpegel, eine Brandgefährdung bei Überlast der Überspannungsableiter wird durch eine kombinierte Abtrenn- und Kurzschließvorrichtung vermieden und die Überspannungsableiter sind bis $1000\text{ V } U_{OC}$ anwendbar. In vielen Fällen muss die Photovoltaikanlage jedoch aufgrund zu geringer Abstände mit dem Blitzschutzsystem direkt verbunden werden. Die DC-Leitungen sind dann blitzstrombehaftet. Dies hat aber zur Folge, dass erhebliche Teilblitzströme in das Innere der baulichen Anlage verschleppt werden können und auch diese Überspannungsableiter durch direkte Teilblitzströme überlastet werden.

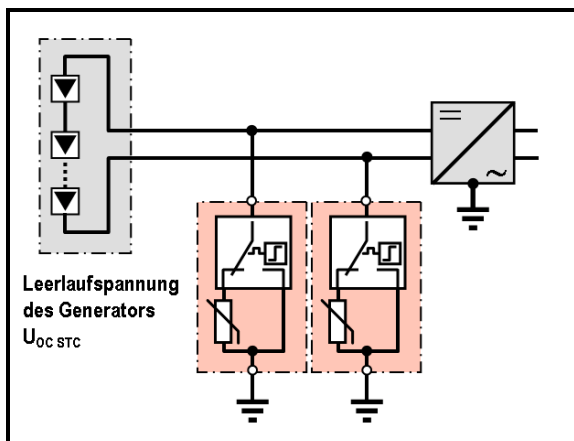


Bild 34: Überspannungsschutz mit Varistoren und kombinierter Abtrenn- und Kurzschließvorrichtung

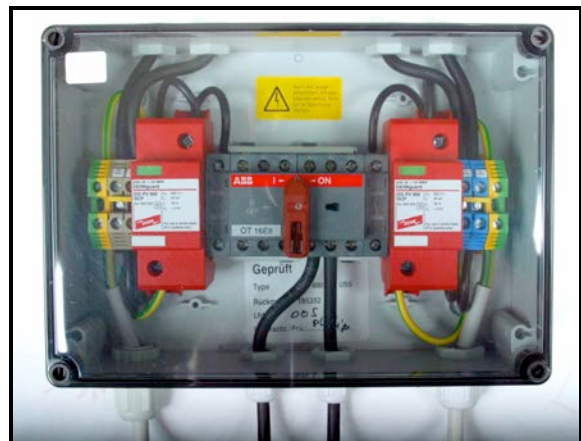


Bild 35: Beispiel für den Überspannungsschutz mit kombinierter Abtrenn- und Kurzschließvorrichtung

Kann eine Überlastung nicht ausgeschlossen werden, dann sind die DC-Leitungen am Gebäudeeintritt durch Überspannungsschutzgeräten Typ 1 zu beschalten (Bild 36 und Bild 37). Diese Blitzstromableiter, die auch bei Gleichstromleitungen eingesetzt werden können, stehen seit dem Frühjahr 2007 zur Verfügung (Bild 38).

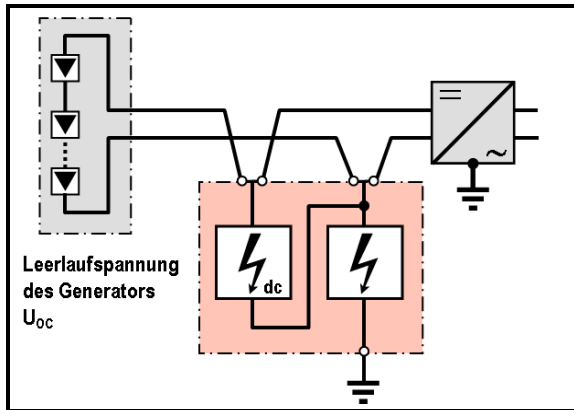


Bild 36: Blitzstromableiter mit Gleichstrom-Schaltvermögen



Bild 37: Beispiel für den Überspannungsschutz mit Blitzstromableitern mit Gleichstrom-Schaltvermögen



Bild 38: Beispiel für den Überspannungsschutz mit Blitzstromableitern mit Gleichstrom-Schaltvermögen

7.2 Überspannungsschutzmaßnahmen für Photovoltaik-Anlagen im TN-Netz – Sicherheitsabstand „s“ eingehalten -

Überspannungsschutzmaßnahmen sind am Generatoranschlusskasten, an der DC-Frei-Schaltstelle, an der 230 V Seite des Wechselrichters, in der Niederspannungs-Hauptverteilung und am Hausanschlusskasten vorzusehen.

Am Hausanschlusskasten (HAK) müssen Blitzstromableiter der Anforderungsklasse B und in der Niederspannungs-Hauptverteilung (NSHV) Überspannungsableiter der Anforderungsklasse C eingesetzt werden.

Bei der Installation der Überspannungs- und Blitzstromableiter muss die Netzform der NS-Verbraucheranlage beachtet werden.

Die erforderlichen Überspannungsschutzmaßnahmen im TN-Netz zeigt Bild 39. Im dargestellten Fall wird der Sicherheitsabstand „s“ zwischen Blitzschutz-Fangeinrichtung und Photovoltaik-Anlage eingehalten.

Der Überspannungsschutz für den Generatoranschlusskasten und den DC-Eingang des Wechselrichters muss sich nach der max. Leerlaufspannung des Photovoltaik-Generators richten.

Tabelle 1: Auswahl von Überspannungsableitern

Bemessungsspannung für der Überspannungsableiter Anforderungsklasse C	Leerlaufspannung des Photovoltaik-Generators U_c (DC)
75	100 V ₋
150	200 V ₋
275	350 V ₋
320	420 V ₋
440	585 V ₋
600	600 V ₋

Für die 230 V Seite des Wechselrichters sind Überspannungsableiter mit einer Bemessungsspannung von 275 V einzusetzen.

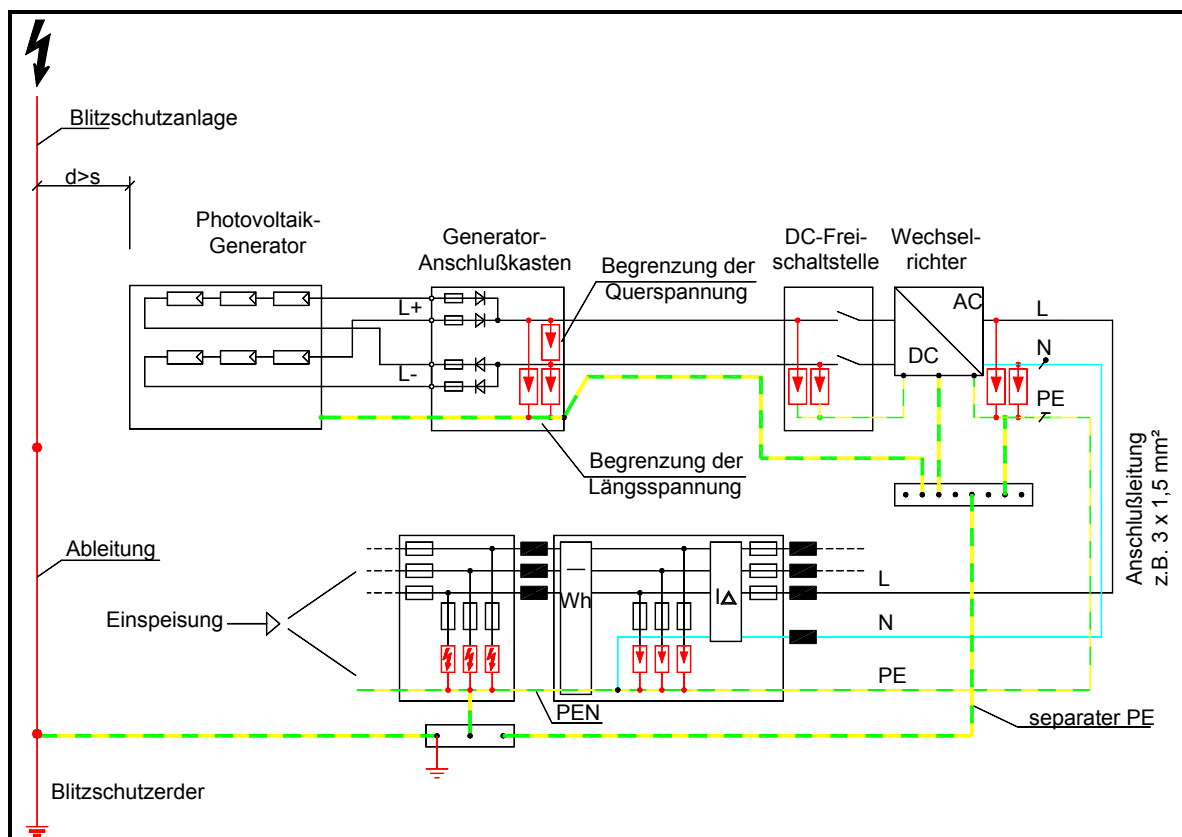


Bild 39: Überspannungsschutzmaßnahmen im TN-Netz für Photovoltaik-Anlagen

7.3 Überspannungsschutzmaßnahmen für Photovoltaik-Anlagen im TN-Netz – Sicherheitsabstand „s“ nicht eingehalten -

Kann der nach DIN EN 62305-3 geforderte Sicherheitsabstand „s“ nicht eingehalten werden, dann sollte eine direkte leitfähige Verbindung zwischen Blitzschutzanlage und dem Modul-Rahmen der Photovoltaikanlage hergestellt werden. Durch diese Verbindung wird ein Blitzteilstrom über den Potentialausgleich und auch über die Gleichstromleitungen in das Gebäude geführt.

Dieser Blitzteilstrom erzeugt um die Leiter ein Magnetfeld und induziert Spannungen in Leitungsschleifen. Wegen des bei Einschlägen in die Blitzschutzanlage höheren Stromes müssen die Gleichstrom-Verbindungsleitungen zur DC-Freischaltstelle und zum Wechselrichter bzw. Laderegler besser geschützt werden (Bild 37 und Bild 38).

Durch die Überspannungsableiter in dem Generator-Anschlusskasten und in der DC-Freischnittstelle bzw. Wechselrichter fließt über die Gleichstromleitungen ein großer Strom, der zu hohen Beanspruchungen und Spannungen an den Überspannungsableitern und damit auch zu hohen Beanspruchungen der Geräte führt. Zusätzlich müssen daher die Gleichstromleitungen entlastet werden. Hier bieten sich zwei Möglichkeiten an. Die einfachste Maßnahme ist die Verlegung einer zusätzlichen Potentialausgleichsleitung (mind. 16mm²) parallel zu den Gleichstromleitungen.

Eine weitere Lösung ist die Verwendung geschirmter Gleichstromleitungen. Voraussetzung für die Wirksamkeit ist ein stromtragfähiger Schirmquerschnitt, der eine geringe Kopplungsimpedanz aufweisen muss. Selbstverständlich muss der Schirm an beiden Leitungsenden geerdet werden. Zusätzlich ist darauf zu achten, dass die Gleichstromleitungen verdreht sind (2 Schläge / m), um hohe induzierte Spannungen in die Gleichstromleitungen zu verhindern. Das nachfolgende Bild 40 zeigt die beschriebenen Maßnahmen im TN-Netz.

Mit diesen Maßnahmen wird ein wirkungsvoller Schutz der Photovoltaikanlage erreicht. Zusätzlich müssen jedoch auch die anderen elektrischen Leitungen und Geräte eines Gebäudes beachtet werden, für die ebenfalls Überspannungsschutzmaßnahmen oder eine Änderung der Leitungsinstallation vorgesehen werden muss.

Um diesen Aufwand nach Möglichkeit zu vermeiden muss der Trennungsabstand genau berechnet werden. Darüber hinaus müssen Zusatzmaßnahmen geprüft werden, die den Trennungsabstand verringern. Diese Maßnahmen können aus einer kleineren Maschenweite der Fangleitung und aus einer Erhöhung der Anzahl der Ableitungen bestehen.

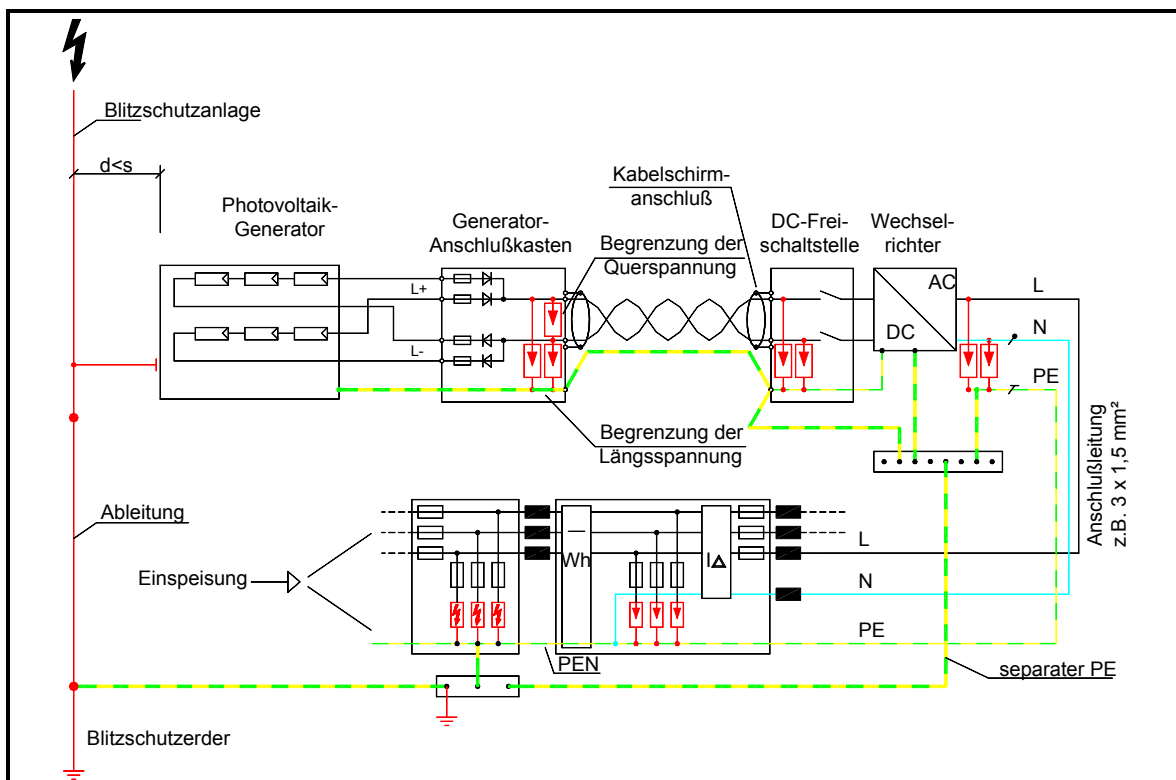


Bild 40: Überspannungsschutzmaßnahmen im TN-Netz für Photovoltaik-Anlagen, $d < "s"$

7.4 Überspannungsschutzmaßnahmen für Photovoltaik-Anlagen im TT-Netz – Sicherheitsabstand „s“ eingehalten -

Überspannungsschutzmaßnahmen sind am Generatoranschlusskasten, an der DC-Frei-Schaltstelle, an der 230 V Seite des Wechselrichters, in der Niederspannungs-Hauptverteilung und am Hausanschlusskasten vorzusehen. Bei der Installation der Überspannungs- und Blitzstromableiter muss die Netzform der NS-Verbraucheranlage beachtet werden.

Am Hausanschlusskasten (HAK) müssen Blitzstromableiter der Anforderungsklasse B und in der Niederspannungs-Hauptverteilung (NSHV) Überspannungsableiter der Anforderungsklasse C eingesetzt werden.

Im TT-Netz (Bild 41) ist eine zusätzliche Funkenstrecke der Anforderungsklasse B zwischen N und PE einzubauen (DIN V VDE V 0100-534:199-04), die für den vollen Blitzstrom der jeweiligen Blitzschutzklasse ausgelegt sein muss. In der Regel sind die Funkenstrecken für diesen Zweck mit einem Wert $> 100 \text{ kA}$ ausgelegt, decken also die Blitzschutzklassen I – IV ab. Mit dieser Schaltung wird ein unzulässiger Schluss verhindert, der durch eine durchlegierte Überspannungsschutzeinrichtung verursacht werden kann. Zwischen Neutraleiter und Schutzleiter könnte sonst ein Leckstrom vor der Fehlerstrom-Schutzeinrichtung (RCD) eine unzulässige und damit gefährliche Berührungsspannung erzeugen.

Der Überspannungsschutz für den Generator-Anschlusskasten und den DC-Eingang des Wechselrichters muss sich nach der max. Leerlaufspannung des Photovoltaik-Generators richten.

Tabelle 2: Auswahl von Überspannungsableitern

Bemessungsspannung für der Überspannungsableiter Anforderungsklasse C	Leerlaufspannung des Photovoltaik-Generators U_c (DC)
75	100 V ₋
150	200 V ₋
275	350 V ₋
320	420 V ₋
440	585 V ₋
600	600 V ₋

Für die 230 V Seite des Wechselrichters sind Überspannungsableiter mit einer Bemessungsspannung von 275 V einzusetzen.

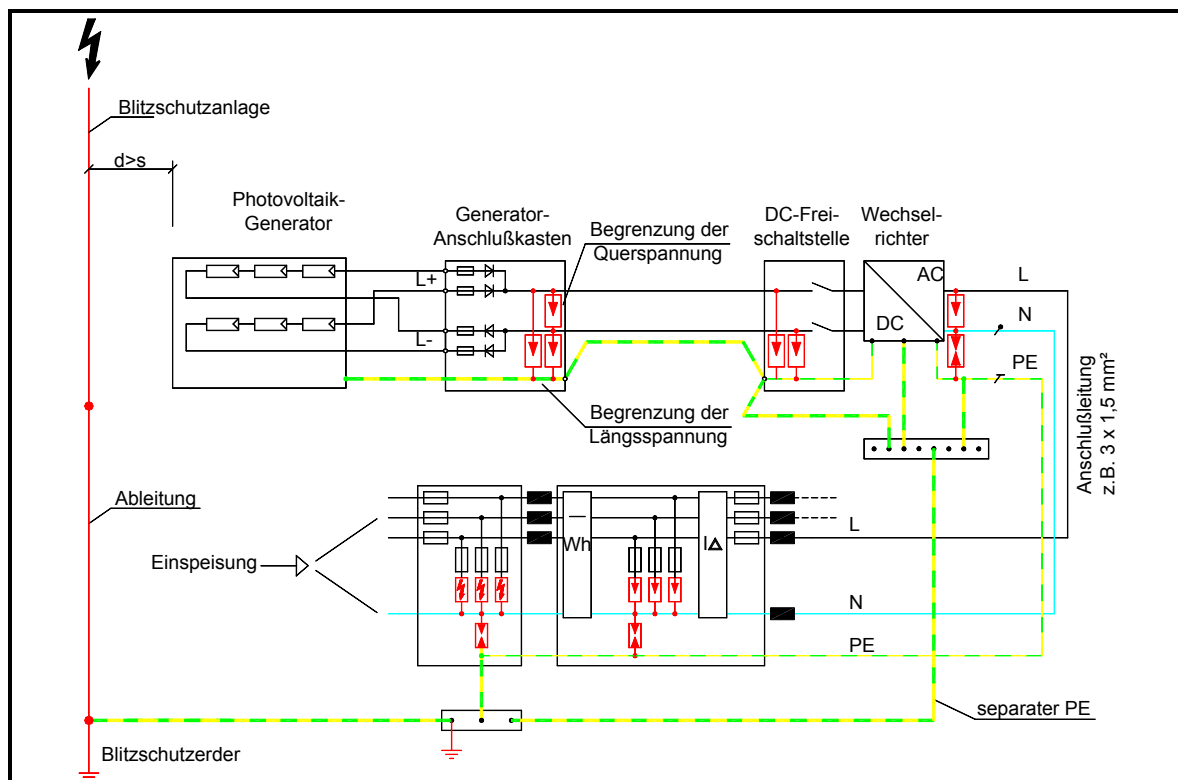


Bild 41: Überspannungsschutzmaßnahmen im TT-Netz für Photovoltaik-Anlagen

7.5 Überspannungsschutzmaßnahmen für Photovoltaik-Anlagen im TT-Netz – Sicherheitsabstand „s“ nicht eingehalten -

Kann der nach DIN EN 62305-3 geforderte Trennungsabstand „s“ nicht eingehalten werden, dann sollte eine direkte leitfähige Verbindung zwischen Blitzschutzanlage und dem Modul-Rahmen der Photovoltaik-Anlage hergestellt werden. Durch diese Verbindung wird ein Blitzteilstrom über den Potentialausgleich und auch über die Gleichstromleitungen in das Gebäude geführt wird.

Dieser Strom erzeugt um die Leiter ein Magnetfeld und induziert Spannungen in Leitungsschleifen. Wegen des bei Einschlägen in die Blitzschutzanlage höheren Stromes müssen die Gleichstrom-Verbindungsleitungen zur DC-Freischnittstelle und zum Wechselrichter bzw. Laderegler besser geschützt werden (Bild 37 und Bild 38).

Durch die Überspannungsableiter in dem Generator-Anschlußkasten und in der DC-Freischnittstelle bzw. Wechselrichter fließt über die Gleichstromleitungen ein großer Strom, der zu hohen Beanspruchungen und Spannungen an den Überspannungsableitern und damit auch zu hohen Beanspruchungen der Geräte führt. Zusätzlich müssen daher die Gleichstromleitungen entlastet werden. Hier bieten sich zwei Möglichkeiten an. Die einfachste Maßnahme ist die Verlegung einer zusätzlichen Potentialausgleichsleitung (mind. 16mm²) parallel zu den Gleichstromleitungen.

Eine weitere Lösung ist die Verwendung geschirmter Gleichstromleitungen. Voraussetzung für die Wirksamkeit ist ein stromtragfähiger Schirmquerschnitt, der eine geringe Kopplungsimpedanz aufweisen muss. Selbstverständlich muss der Schirm an beiden Leitungsenden geerdet werden. Zusätzlich ist darauf zu achten, dass die Gleichstromleitungen verdrillt sind (2 Schläge / m), um so hohe induzierte Spannungen in die Gleichstromleitungen zu verhindern. Das nachfolgende Bild 42 zeigt die beschriebenen Maßnahmen im TT-Netz.

Mit diesen Maßnahmen wird ein wirkungsvoller Schutz der Photovoltaik-Anlage erreicht. Zusätzlich müssen jedoch auch die anderen elektrischen Leitungen und Geräte eines Gebäudes beachtet werden, für die ebenfalls Überspannungsschutzmaßnahmen oder eine Änderung der Leitungsinstallation vorgesehen werden muss.

Um diesen Aufwand nach Möglichkeit zu vermeiden, muss der Trennungsabstand genau berechnet werden. Darüber hinaus müssen Zusatzmaßnahmen geprüft werden, die den Trennungsabstand verringern. Diese Maßnahmen können aus einer kleineren Maschenweite der Fangleitung und aus einer Erhöhung der Anzahl der Ableitungen bestehen.

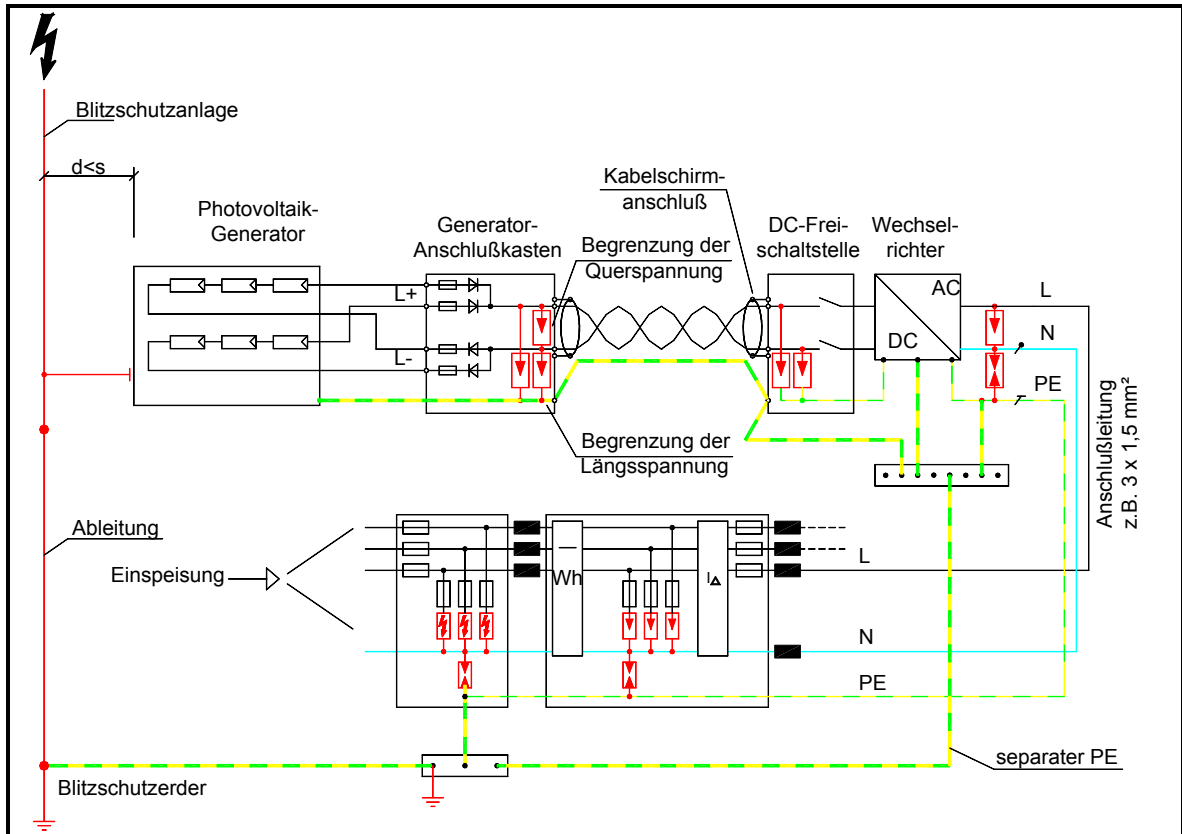


Bild 42: Überspannungsschutzmaßnahmen im TT-Netz für Photovoltaik-Anlagen, $d < s$