



# Schutzvorschlag

Blitz- und Überspannungsschutz  
für Photovoltaik-Freiland-Kraftwerke



## Inhalt

Maßnahmen zum Schutz von PV-Kraftwerken gegen Blitzeinwirkungen:

- Fangeinrichtung und Ableitungen
- Erdungsanlage
- Blitzschutz-Potentialausgleich
- Einrichtungen des äußeren Blitzschutzes
- Leitungsführung
- Überspannungs-Schutzmaßnahmen
- Spezielle Schutzgeräte für PV-Systeme
- Dezentraler Stringwechselrichter
- Informationstechnische Systeme

# Schutzvorschlag

## Blitz- und Überspannungsschutz für Photovoltaik-Freiland-Kraftwerke



Mit jährlich etlichen Gigawatt neu installierter Leistung entwickeln sich Photovoltaik-Freiland-Kraftwerke in vielen Ländern zu einem relevanten Teil der modernen Energieversorgung. Großkraftwerke mit 100 MW und mehr werden mittlerweile realisiert. Sie sind direkt an die Mittel- und Hochspannungsebene angebunden. Photovoltaik als fester Bestandteil der Versorgung hat damit auch Bedingungen zum stabilen Netzbetrieb zu erfüllen. Etwaige Produktionsausfälle werden zudem durch die Ertragsüberwachung aufgezeichnet und belasten die jährliche Performance Ratio der Anlage. Folglich machen es das Investitionsvolumen und die geforderte 20-jährige Mindestlebensdauer notwendig, das Schadensrisiko durch Blitzschlag zu bewerten und Schutzmaßnahmen zu ergreifen.

### Blitzrisiko für bauliche Einrichtungen wie PV-Kraftwerke

Es besteht ein Zusammenhang zwischen Sonneneinstrahlung, Luftfeuchte und Häufigkeit von Blitzentladungen. Regionen mit hoher Sonnenintensität und hoher Luftfeuchte sehen sich einem unmittelbar höheren Blitzrisiko ausgesetzt. Die regionale Blitzhäufigkeit (Einschläge pro Quadratkilometer/Jahr) sowie die Lage und Größe des PV-Kraftwerkes sind Grundlage zur Wahrscheinlichkeitsberechnung von Blitzeinschlägen in die Anlage. PV-Anlagen sind über Jahrzehnte dem lokalen Witterungseinfluss von Gewittern ausgesetzt.

### Notwendigkeit des Blitzschutzes

Schäden in PV-Systemen entstehen sowohl durch die zerstörerische Wirkung des direkten Einschlags, als auch infolge von induktiv oder kapazitiv eingekoppelter Spannungen aus dem elektromagnetischen Blitzfeld. Weiterhin können Spannungsspitzen aus Schalthandlungen des vorgelagerten Wechselstromnetzes Schäden verursachen. Defekte können an PV-Modulen, Wechselrichtern, Laderegeln und deren Überwachungs- und Kommunikationssystemen auftreten. Der wirtschaftliche Schaden schlägt neben den Wiederbeschaffungs- und Reparaturkosten auch im Ertragsverlust zu Buche und gipfelt in den Kosten zum Abruf von Reserve-Kraftwerksleistung. Blitzimpulsbelastungen führen auch zu einer vorzeitigen Alterung von Bypass-Dioden, Leistungshalbleitern und den Ein- und Ausgangsbeschaltungen der Datensysteme, was wiederum einen erhöhten Reparaturaufwand für die Folgezeit bedeutet. Zudem werden von Netzbetreibern Anforderungen an die Verfügbarkeit der erzeugten Energie gestellt. Diese werden beispielsweise in Deutschland durch das neue Energiewirtschaftsgesetz gestützt (Grid Codes). Vermehrt werden diese Punkte auch von Seiten der

Finanzierung und Versicherung betrachtet. Dabei werden in den sogenannten Due Diligence Prüfungen zur Finanzierung auch Blitzschutzmaßnahmen herangezogen. Der Gesamtverband der deutschen Versicherungswirtschaft (GDV) fordert in seiner VdS-Richtlinie 2010 „Risikoorientierter Blitz- und Überspannungsschutz“ für Objekte mit alternativen regenerativen Energieversorgungsanlagen Blitzschutzmaßnahmen (Schutzklasse III) für Photovoltaikanlagen > 10 kW.

Das Schadensrisiko durch Blitzeinschlag ist anhand der DIN EN 62305-2 (VDE 0185-305-2) zu ermitteln und die daraus resultierenden Ergebnisse bei der Planung zu berücksichtigen. DEHN + SÖHNE bietet dafür die Software DEHNsupport an. Die hier vorgegebene Risikoanalyse stellt sicher, dass ein für alle Beteiligten nachvollziehbares Blitzschutz-Konzept erstellt wurde, das technisch und wirtschaftlich optimiert ist und bei überschaubarem Aufwand den notwendigen Schutz bieten kann.

### Maßnahmen zum Schutz von PV-Kraftwerken gegen Blitzeinwirkungen

Für einen wirksamen Schutz ist ein Blitzschutzsystem notwendig, dessen Elemente aufeinander abgestimmt sind. Beginnend mit Fangeinrichtung, Erdungsanlage, Blitzschutz-Potentialausgleich bis hin zu Überspannungsschutzgeräten für die Energie- und Datenseite.

### Fangeinrichtung und Ableitungen

Zum Schutz gegen direkte Blitzeinschläge in die elektrischen Systeme eines PV-Kraftwerkes ist es notwendig, diese im Schutzbereich von Fangeinrichtungen anzuordnen. Bei der Planung nach der VdS-Richtlinie 2010 wird die Schutzklasse III zugrunde gelegt. Entsprechend dieser Schutzklasse kann mittels Blitzkugelverfahren (**Bild 1**) aus der DIN EN 62305-3 (VDE 0185-305-3) die Anzahl der Fangstangen ermittelt werden. Sie bilden über Modultische, Betriebsräume und Verkabelung einen Schutzraum aus. In Bezug auf die induktive Einkopplung von Störungen empfiehlt es sich, an Modultischen angebrachte Generatoranschlusskästen und dezentrale Wechselrichter möglichst entfernt von Fangeinrichtungen zu montieren. Die hohen Masten auf welchen Videoüberwachungssysteme montiert werden, wirken ebenfalls als Fangeinrichtungen. Das

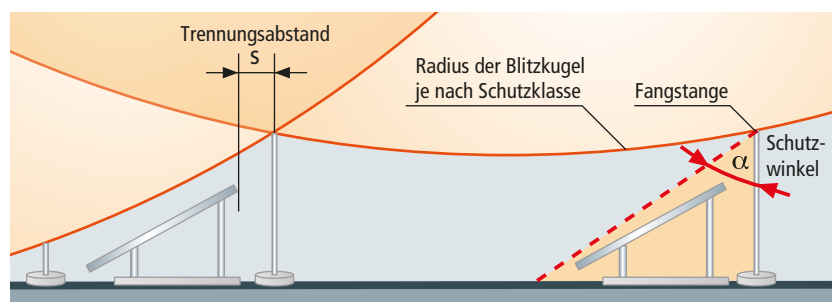


Bild 1 Ermittlung des Schutzraumes mittels Blitzkugelverfahren vs. Schutzwinkelverfahren

# Schutzvorschlag

## Blitz- und Überspannungsschutz für Photovoltaik-Freiland-Kraftwerke



Bild 2 Blitzschutz mit DEHNiso-Befestigungshalter

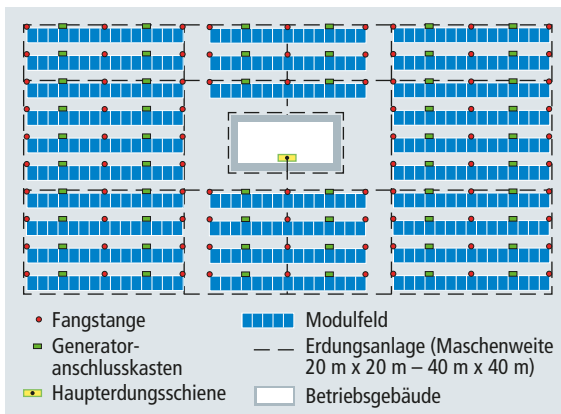


Bild 3 Erdungsanlage entsprechend DIN EN 62305-3

Kamerasystem selbst ist wiederum so zu montieren, dass es sich im Schutzraum des Masts befindet. Alle Ableitungen dieser Fangeinrichtungen sind mit den Anschlussfahnen der Erdungsanlage zu verbinden. Aufgrund der Korrosionsgefahr an der Austrittsstelle der Anschlussfahnen aus dem Erdreich oder Beton sind diese korrosionsbeständig auszuführen (nichtrostender Stahl V4A, z. B. Werkst.-Nr. 1.4571). Bei Verwendung von Anschlussfahnen aus verzinktem Stahl sind diese mit entsprechenden Maßnahmen zu schützen, z. B. Densobinde oder Schrumpfschlauch.

Zur mechanischen Befestigung können die Fangeinrichtungen oftmals mit den Modultischen verbunden werden. Beispiels-

weise kommen hier die DEHNiso-Distanzhalter (**Bild 2**) zum Einsatz. Im Sockelbereich können die Fangeinrichtungen mit der Erdungsanlage über Rammfundamente verbunden werden. Dies erleichtert die spätere Grundstückspflege.

### Erdungsanlage

Die Erdungsanlage (**Bild 3**) ist die Basis für die wirkungsvolle Umsetzung von Blitz- und Überspannungsschutzmaßnahmen in PV-Kraftwerken. Entsprechend Anhang D aus Beiblatt 5 der DIN EN 62305-3 (VDE 0185-305-3) ist ein Erdungswiderstand  $R_A$  von kleiner  $10 \Omega$  für die Erdungsanlage empfohlen. 10 mm Edelstahldraht in Form einer Masche (20 m x 20 m bis 40 m x 40 m) ausgeführt und unter Frosttiefe verlegt, ist entsprechend langzeitbeständig und hat sich in der Praxis bewährt. Die metallenen Modultische können als Teil der Masche genutzt werden, wenn diese einen Mindestleitwert entsprechend der DIN EN 62305-3 (VDE 0185-305-3) aufweisen. Im Beiblatt 5 dieser Norm wird empfohlen, beim Einsatz von metallenen Tragtischen diese untereinander zu verbinden. Die Masche wird häufig entsprechend der bestehenden Kabelgräben verlegt. Es ist dabei jedoch eine geschlossene Masche anzustreben. Speziell für die Erdungsanlagen der Betriebsgebäude sind die dafür gültigen Normen DIN EN 61936-1 und DIN EN 50522 (VDE 0101-1 und 2) zu berücksichtigen. Die Erdungsanlagen der PV-Generatoren und der Betriebsgebäude sind miteinander mittels Flachband 30 mm x 3,5 mm oder Runddraht  $\varnothing$  10 mm (Werkstoffe NIRO (V4A), z. B. Werkstoff-Nr. 1.4571, oder Kupfer oder Stahl verzinkt) zu verbinden. Der Zusammenschluss der einzelnen Erdungsanlagen verkleinert den Gesamterdungswiderstand. Durch die Vermaschung der Erdungsanlagen entsteht eine Äquipotentialfläche, die die Spannungsbeanspruchung der elektrischen Verbindungsleitungen bei Blitzbeeinflussung zwischen PV-Modulfeld und Betriebsgebäude deutlich reduziert. Um den Erdungswiderstand während der vielen Betriebsjahre dauerhaft stabil zu halten, sind Einflüsse von Korrosion, Bodenfeuchte und Frost zu beachten. Für die wirksame Erderlänge sind nur die Bereiche unterhalb der Frosttiefe heranzuziehen. Die Maschen sind mit entsprechenden blitzstromgeprüften Verbindungsbauteilen untereinander zu verbinden. Die metallenen Traggestelle, auf denen die PV-Module befestigt sind, sind untereinander und mit der Erdungsanlage zu verbinden. Gestellkonstruktionen in Ramm- oder Schraubfundamenttechnik können als Erder verwendet werden (**Bild 4**), sofern deren Material und deren Wandstärke die Angaben aus der Tabelle 7 der DIN EN 62305-3 (VDE 0185-305-3) erfüllen. Die geforderte Mindestlänge von 2,5 m im Bereich unterhalb der Frosttiefe kann bei blitzstromfest verbundenen Einzelelementen addiert werden. Diese Fundamente sind untereinander blitzstromtragfähig zu verbinden, beispielsweise mit 8 mm Edelstahldraht (z. B. Werkstoff-Nr. 1.4571) und der UNI-Falzklammer (**Bild 5**).

# Schutzvorschlag

## Blitz- und Überspannungsschutz für Photovoltaik-Freiland-Kraftwerke

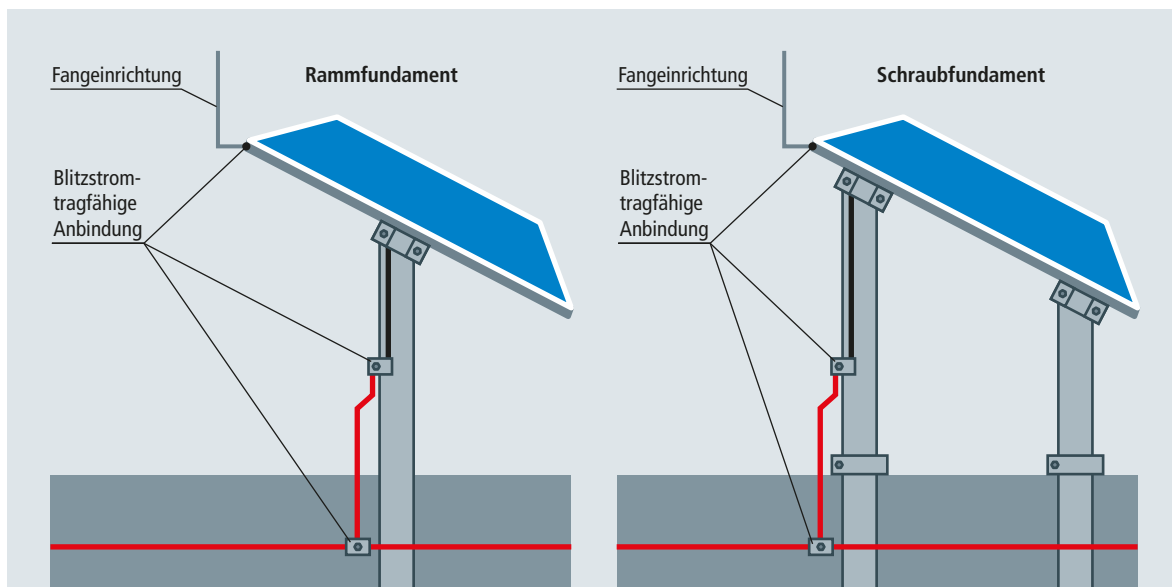


Bild 4 Ramm- und Schraubfundament mit blitzstromtragfähiger Verbindung von Fangrichtung und Erdungsanlage

### Blitzschutz-Potentialausgleich

Der Blitzschutz-Potentialausgleich ist die direkte blitzstromtragfähige Verbindung aller metallenen Systeme. Befinden sich die Module, die gesamte Verkabelung sowie das Betriebsgebäude nebst Wetterstation im Schutzbereich des äußeren Blitzschutzes, so sind keine direkten Blitzströme auf den Leitungen zu erwarten. Erfolgt der Netzanschluss zum Verteilnetzbetreiber (VNB) auf der Niederspannungsebene, dann wird diese „Übergabe“ über Blitzstrom-Ableiter SPD Typ 1 (z. B. DEHNventil) mit der Haupterdungsschiene (HES) verbunden, da hier ein Teil des Blitzstromes fließt. Gleiches gilt auch für die ankommenden Telekommunikationskabel. Hier sind z. B. ein Typ 1-Ableiter wie BLITZDUCTOR oder DEHNbox (Bild 6) einzusetzen.

### Solargenerator und Einrichtungen des äußeren Blitzschutzes

Die Fangrichtungen des äußeren Blitzschutzsystems sind notwendig. Ein unkontrollierter Einschlag in das PV-System würde das Fließen von Blitzströmen in der elektrischen Anlage zur Folge haben und zu schweren Schäden innerhalb des Systems führen. Bei der Errichtung des äußeren Blitzschutzes ist darauf zu achten, dass relevante Schattenbildung auf die Solarzellen, z. B. durch Fangstangen, vermieden wird. Diffuser Schatten, wie er sich durch weit entfernte Stangen oder Leitungen bildet, ist dabei anlagen- und ertragstechnisch unbedeutend. Kernschatten hingegen bewirkt eine unnötige Belastung der Zellen als auch der zugehörigen Bypass-Dioden. Der notwendige Abstand ist ebenfalls berechenbar. Er steht im festen

Verhältnis zum Durchmesser der Fangstange. Der Kernschatten beispielsweise einer Fangstange mit 10 mm Durchmesser hat sich nach 1,08 m in einen diffusen Schatten zerstreut. Das Beiblatt 5 von DIN EN 62305-3 im Anhang A, widmet sich der Berechnung des Kernschattens.

### Leitungsführung innerhalb von PV-Installationen

Bei der gesamten Leitungsverlegung ist darauf zu achten, dass eine flächige Ausbildung von Leiterschleifen vermieden wird. Dies gilt innerhalb der einpoligen seriellen Verschaltungen der DC-Stromkreise (String), als auch bei mehreren Strings untereinander. Ebenso ist zu vermeiden, dass Daten- oder Sensorleitungen quer über mehrere Strings hinwegführen und zusammen mit den Stringleitungen großflächige Leiterschleifen ausbilden. Die Leitungen für Energie (DC und AC), Daten und Potentialausgleich sind möglichst gemeinsam zu führen.

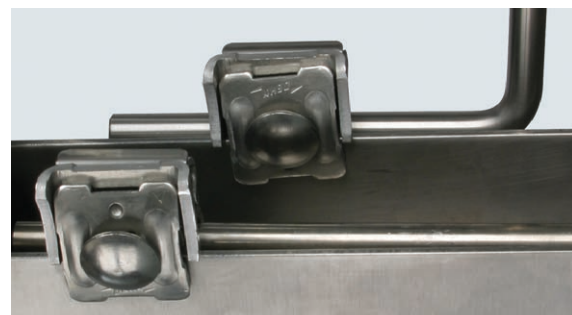
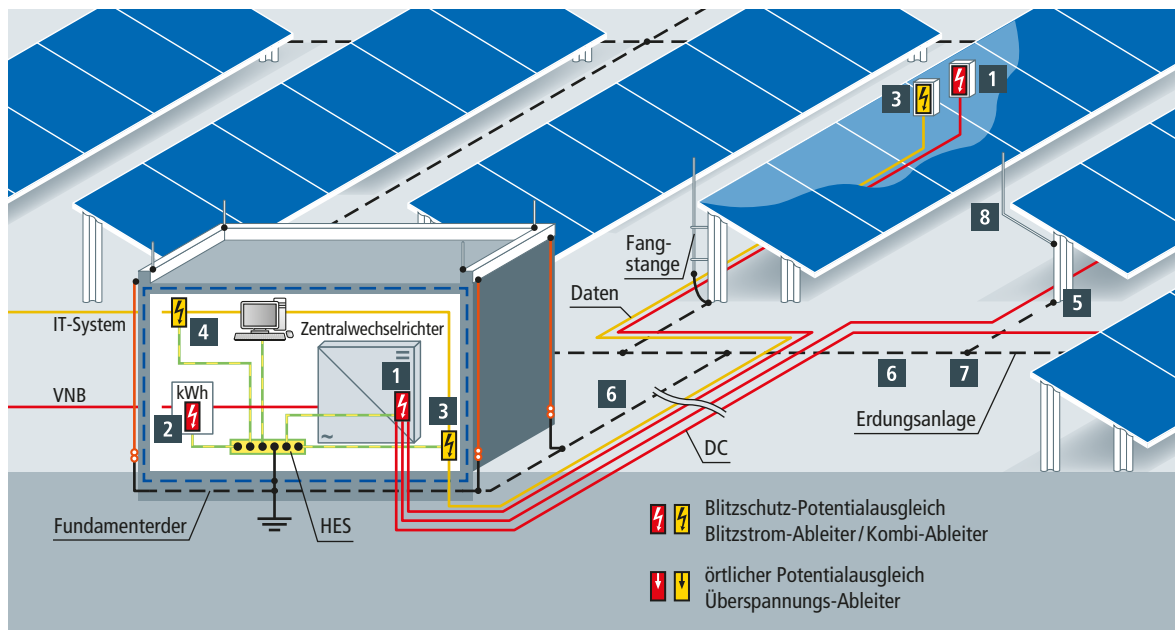


Bild 5 UNI-Falzklemme

# Schutzvorschlag

Blitz- und Überspannungsschutz  
für Photovoltaik-Freiland-Kraftwerke



Nr. im Bild	Schutzgerät	* FM = Potentialfreier Fernmeldekontakt	Art.-Nr.
<b>DC-Eingang Wechselrichter</b>			
1	Zentralwechselrichter + GAK	DEHNcombo DCB YPV SCI 1500 FM	900 067
<b>AC-Seite Netzanschluss</b>			
2	TN-C-System	DEHNventil DV M TNC 255 FM*	951 305
	TN-S-System	DEHNventil DV M TNS 255 FM*	951 405
	TT-System	DEHNventil DV M TT 255 FM*	951 315
<b>Datenschnittstelle</b>			
3	eine Doppelader mit Betriebsspannung bis 180 V	BLITZDUCTOR BXTU ML2 BD 0-180 + Basisteil BXT BAS	920 249 + 920 300
<b>Fernwartung</b>			
4	ISDN bzw. DSL	DEHNbox DBX U4 KT BD S 0-180	922 400
<b>Erdungsanlage</b>			
5	Potentialausgleich	UNI-Falzklemme	365 250
6	Erdungsleiter	Runddraht Ø 10 mm St/tZn	800 310
		Runddraht Ø 10 mm NIRO (V4A)	860 010
		Bandstahl 30 x 3,5 mm St/tZn	852 335
		Bandstahl 30 x 3,5 mm NIRO (V4A)	860 325
7	Verbindungselement	MV-Klemme NIRO (V4A)	390 079
		alt. SV-Klemme St/tZn	308 220
8	Fangeinrichtung	Fangspitze gewinkelt (inkl. zwei Falzklemmen)	101 110

Bild 6 Blitzschutzkonzept für ein PV-Kraftwerk mit Zentralwechselrichter

# Schutzvorschlag

## Blitz- und Überspannungsschutz für Photovoltaik-Freiland-Kraftwerke

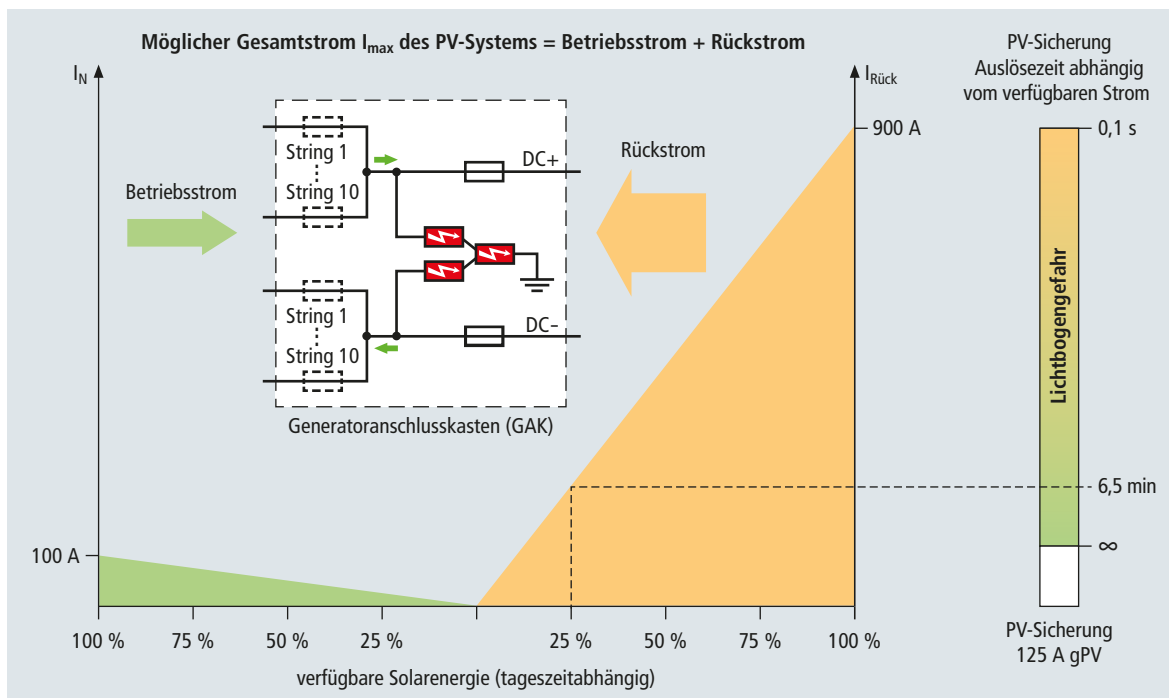


Bild 7 PV-System mit  $I_{max}$  von 1000 A: tageszeitabhängiger prospektiver Kurzschlussstrom am PV-Ableiter

### Überspannungs-Schutzmaßnahmen für PV-Kraftwerke

Für den Schutz der elektrischen Systeme innerhalb von PV-Kraftwerken sind Überspannungsschutzgeräte (SPD – Surge Protective Device) (Bild 6) zu verwenden. Bei einem Einschlag in den äußeren Blitzschutz einer Freiflächenanlage werden zum einen hohe Spannungsimpulse in sämtliche elektrischen Leiter induziert, zum anderen kommt es zu Blitzteilströmen innerhalb der Park-Verkabelung (DC-, AC- und Datenverkabelung), deren Höhe u. a. von der Ausführung des Erdungssystems, dem spezifischen Erdungswiderstand vor Ort und der Ausführung der Verkabelung beeinflusst wird. Anlagenkonzepte mit Zentralwechselrichter-Technologie (Bild 6) bringen im Feld ausgedehnte Gleichstrom-Verkabelungen mit sich. Anhang D des Beiblatts 5 der DIN EN 62305-3 (VDE 0185-305-3) benennt für spannungsbegrenzende Typ 1 DC-SPDs ein Mindestableitvermögen von  $I_{total}$  von 10 kA (10/350  $\mu$ s).

Es sind SPDs zu verwenden, die eine ausreichende Kurzschlussfestigkeit  $I_{SCPV}$  aufweisen, welche mit der Herstellerprüfnorm EN 50539-11 ermittelt wird und vom Hersteller auszuweisen ist. Dies gilt auch in Bezug auf eventuelle Rückströme.

In PV-Systemen mit Zentralwechselrichtern dienen Sicherungen dem Schutz vor Rückstrom. Der maximal verfügbare Strom hängt von der aktuellen Einstrahlung ab. In bestimmten

Betriebszuständen sprechen Rückstromsicherungen erst nach einigen Minuten an (Bild 7). Überspannungsschutzgeräte in Generatoranschlusskästen müssen deshalb für den möglichen Gesamtstrom – bestehend aus Betriebsstrom und Rückstrom – ausgelegt sein und bei Überlast selbstständig abtrennen, ohne dabei Lichtbögen auszubilden ( $I_{SCPV} > I_{max}$  des PV-Systems).

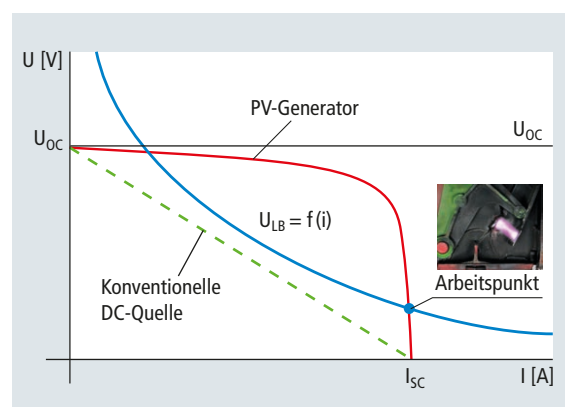


Bild 8 Quellenkennlinie einer konventionellen DC-Quelle vs. der eines PV-Generators; beim Schalten von PV-Quellen wird der Bereich der Lichtbogenbrennungsspannung durchlaufen

# Schutzvorschlag

## Blitz- und Überspannungsschutz für Photovoltaik-Freiland-Kraftwerke



Blitzschutzklasse und maximaler Blitzstrom (10/350 $\mu$ s)		Werte für spannungsbegrenzende oder kombinierte (Reihenschaltung) SPD Typ 1				Werte für spannungsschaltende oder kombinierte (Parallelschaltung) SPD Typ 1	
		$I_{10/350}$		$I_{8/20}$		$I_{10/350}$	
		Pro Schutz-pfad [kA]	$I_{total}$ [kA]	Pro Schutz-pfad [kA]	$I_{total}$ [kA]	Pro Schutz-pfad [kA]	$I_{total}$ [kA]
III und IV	100 kA	5	10	15	30	10	20

Tabelle 1 Mindestableitvermögen von spannungsbegrenzenden oder kombinierten SPD Typ 1 und spannungsschaltenden SPD Typ 1 für eine PV-Freiflächenanlage bei LPL III; entsprechend Beiblatt 5 der DIN EN 62305-3 (Tabelle D.1)

### Spezielle Schutzgeräte für die Gleichspannungsseite von Photovoltaik-Systemen

Die typischen U/I Kennlinien photovoltaischer Stromquellen unterscheiden sich deutlich von konventionellen Gleichstromquellen. Sie haben eine nichtlineare Charakteristik (**Bild 8**) und unterscheiden sich besonders im Verhalten von Gleichstromlichtbögen erheblich. Diese Eigenschaft wirkt sich nicht nur auf die Bauform und Größe von PV-DC-Schaltern und PV-Sicherungen aus, sie erfordert auch für die eingesetzten Überspannungsschutzgeräte (SPD) eine darauf abgestimmte Konstruktion. Diese muss in der Lage sein, die PV-DC-Folgeströme zu beherrschen. Der sichere Betrieb, auch für den Überlastfall von Überspannungsschutzgeräten auf der Gleichstromseite, wird in DIN EN 62305-3 Beiblatt 5 sowie in der CLC/TS 50539-12 (VDE V 0675-39-12) gefordert.

Das Beiblatt 5 der DIN EN 62305-3 enthält eine exaktere Abschätzung der Blitzstromverteilung durch Computersimulationen, als dies in DIN EN 62305-4 Beiblatt 1 beschrieben ist. Zur Berechnung der Blitzstromaufteilung müssen die Ableitungen des Blitzschutzsystems, die mögliche Erdungsverbinding des Modulfelds und die Gleichstromleitungen berücksichtigt werden. Es wird gezeigt, dass die Höhe und Amplitude der Blitzteilströme, die über die SPDs in die DC-Leitungen geführt werden, nicht nur von der Anzahl der Ableitungen abhängt, sondern auch durch die Impedanz der SPDs beeinflusst wird. Diese SPD-Impedanz ist wiederum abhängig von der Bemessungsspannung der SPDs, der SPD-Topologie und des SPD-Typs (spannungsschaltend oder spannungsbegrenzend). Charakteristisch für die Blitzteilströme durch SPDs auf der DC-Seite der PV-Anlage ist eine Verkürzung der Impulsform. Bei der Auswahl geeigneter SPDs müssen sowohl der maximal auftretende Stoßstrom als auch die Impulsladung berücksichtigt werden. Beispielhaft werden in Beiblatt 1 der DIN EN 62305-4 diese Zusammenhänge erläutert.

Um für den Anwender die Ableiterauswahl zu vereinfachen, kann die notwendige Blitzstoßstromtragfähigkeit  $I_{imp}$  der Typ 1 SPDs in Abhängigkeit des SPD-Typs (spannungsbegrenzende Varistorableiter oder spannungsschaltende Funkenstrecken-

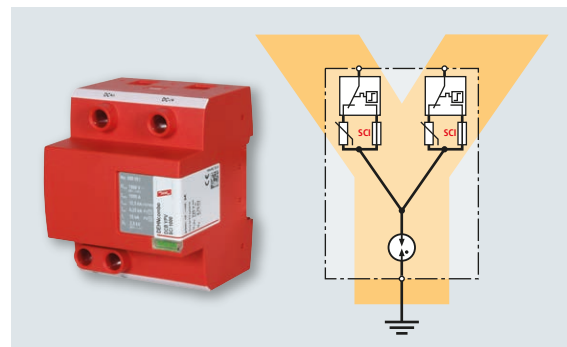


Bild 9 DEHN Combo YPV SCI – Kombierter Überspannungsableiter Typ 1 + Typ 2 mit fehlerresistenter Y-Schaltung und dreistufiger DC-Schalteinrichtung

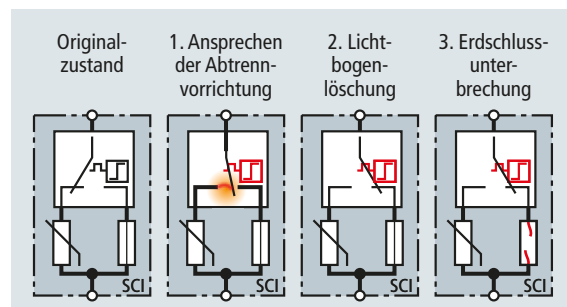


Bild 10 Schaltphasen der dreistufigen Gleichstrom-Schalteinrichtung im DEHN Combo YPV SCI ... (FM)

ableiter) nach **Tabelle 1** ausgewählt werden. Es werden die maximal auftretenden Stoßströme berücksichtigt sowie die Blitzteilströme der Wellenform 10/350  $\mu$ s, damit die SPDs die Impulsladung der Blitzströme ableiten können.

Der DEHN Combo YPV SCI ... (FM) enthält neben der bewährten fehlerresistenten Y-Schutzbeschaltung eine dreistufige DC-Schalteinrichtung (**Bild 9**). Diese besteht aus einer kombinierten Abtrenn- und Kurzschließvorrichtung mit Thermo-

# Schutzvorschlag

## Blitz- und Überspannungsschutz für Photovoltaik-Freiland-Kraftwerke

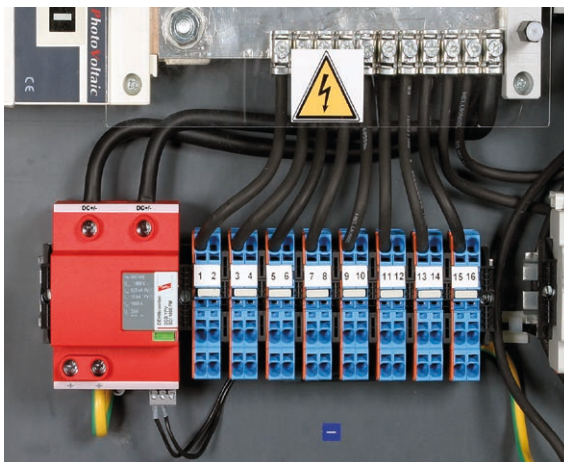


Bild 11 Überspannungsschutz in Monitoring-GAK

Dynamik-Control. Die im Bypasspfad integrierte Sicherung unterbricht im Fehlerfall den weiteren Stromfluss und versetzt die gesamte Einheit in einen sicheren Zustand (**Bild 10**). PV-Generatoren mit Systemleistungen bis 1000 A können dadurch vorsicherungsfrei mit DEHNcombo YPV SCI ... (FM) am Wechselrichter wie auch im Generatoranschlusskasten (GAK) geschützt werden (**Bild 11**). DEHNcombo YPV SCI ist erhältlich für 600 V, 1000 V und 1500 V. Kommt String-Monitoring zum

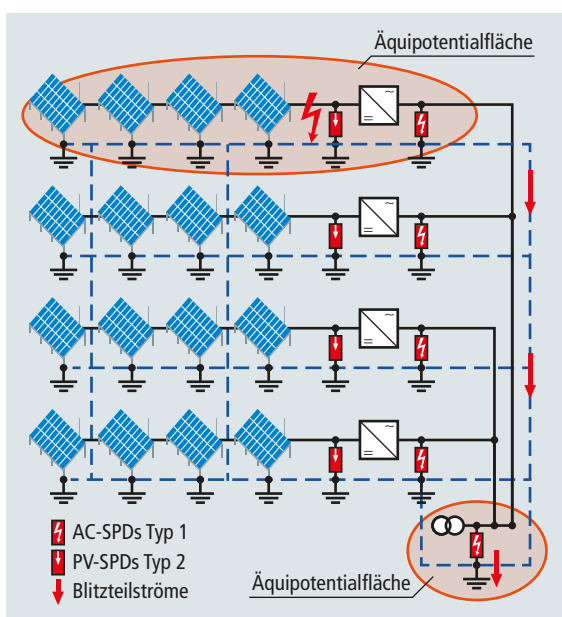


Bild 12 Blitzstromverteilung bei PV-Freiflächenanlage mit Stringwechselrichter

Einsatz, so lassen sich die potentialfreien Fernmeldekontakte zur Zustandsüberwachung der SPDs in diese Überwachungssysteme einbinden.

Die Summe der im DEHNcombo YPV SCI eingesetzten Technologien vermeidet eine Schutzgeräteschädigung durch Isolationsfehler im PV-Stromkreis, minimiert die Gefahr einer Brandentwicklung eines überlasteten Ableiters und versetzt diesen Ableiter in einen sicheren elektrischen Zustand, ohne das Betriebsverhalten der PV-Anlage zu beeinträchtigen. Diese Sicherheitsschaltung ermöglicht es, die spannungsbegrenzende Eigenschaft von Varistoren über deren gesamten Bereich, nun auch in PV-DC-Stromkreisen zu nutzen. Der Ableiter ist entsprechend auch bei der Vielzahl kleinerer Spannungsspitzen aktiv. Die SCI-Technologie trägt somit dazu bei, die Lebenserwartung von Bypass-Dioden und den DC-Eingängen der Wechselrichter zu steigern.

### PV-Kraftwerke mit dezentralen Stringwechselrichtern

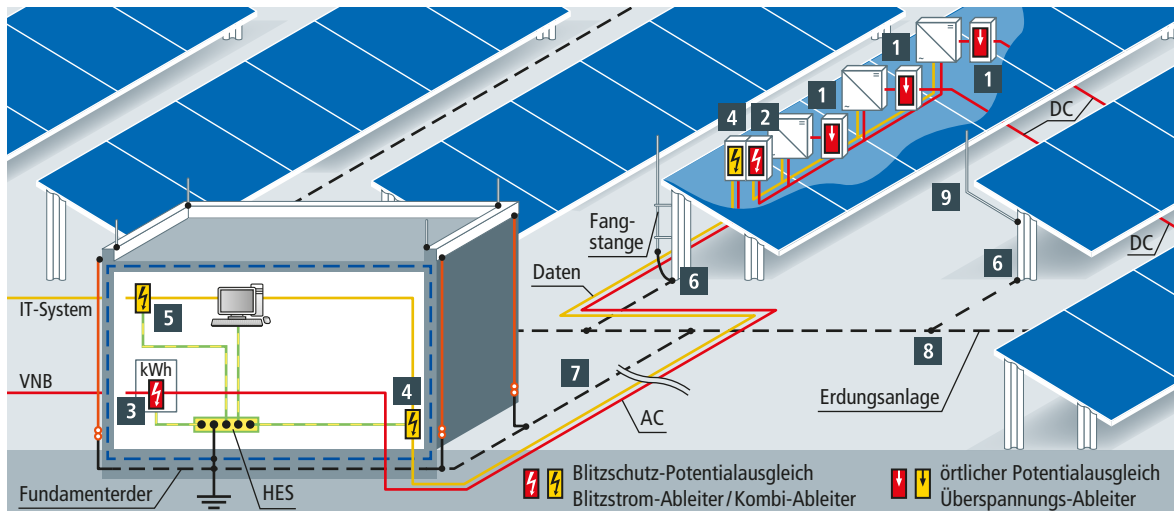
Sind PV-Kraftwerke mit dezentralen String-Wechselrichtern konzipiert, verlagert sich ein großer Anteil der Leistungsverkabelung von der DC- auf die AC-Seite. Die Wechselrichter werden im Feld unter den Modultischen der jeweiligen Solargeneratoren montiert. Durch die Nähe zu den Modulen übernimmt der Wechselrichter auch typische Funktionen von GAKs.

Im Beiblatt 5 wird erläutert, dass abhängig von der energietechnischen Verkabelung (String- oder als Zentralwechselrichter) die Blitzstromverteilung beeinflusst wird. Ergänzend zum Beiblatt 5 zeigt **Bild 12** die beispielhafte Darstellung der Blitzstromverteilung bei Stringwechselrichtern. Auch bei Stringwechselrichtern wirkt die energietechnische Verkabelung als Potentialausgleichsleiter zwischen dem „lokalen“ Erdpotential des Modulfelds, in dem der Blitzeinschlag erfolgte, und der „fernen“ Äquipotentialfläche des Einspeisetransformators. Der Unterschied zur Anlage mit Zentralwechselrichter liegt nur darin, dass bei Anlagen mit Stringwechselrichtern die Blitzteilströme auf den AC-Leitungen fließen. Dementsprechend sind SPD Typ 1 auf der AC-Seite der Stringwechselrichter und der Niederspannungsseite des Einspeisetransformators zu installieren. Das Mindestableitvermögen von Typ 1 SPDs ist, abhängig von der SPD-Technologie, in **Tabelle 1** aufgeführt. Auf der DC-Seite der Stringwechselrichter sind SPD Typ 2 wie z. B. DEHNcube YPV SCI ausreichend. Die Stringwechselrichter und das damit verbundene Modulfeld bilden bei entsprechendem nach Beiblatt 5 ausgeführtem Erdungssystem eine lokale Äquipotentialfläche, sodass auf der DC-Verkabelung keine Blitzströme zu erwarten sind, sondern die Ableiter im Wesentlichen induzierte Störimpulse begrenzen. Sie übernehmen damit auch den Überspannungsschutz der Module in räumlicher Nähe. In sogenannten AC-Sammelverteilern werden mehrere Wechselstrom-Ausgänge dieser Outdoor-Wechselrichter zusammengefasst und zwischengesichert. Werden



# Schutzvorschlag

Blitz- und Überspannungsschutz  
für Photovoltaik-Freiland-Kraftwerke



Nr. im Bild	Schutz für	Schutzgerät	* FM = Potentialfreier Fernmeldekontakt	Art.-Nr.
<b>DC-Eingang Wechselrichter</b>				
1	für 1 MPPT	DEHNcube DCU YPV SCI 1M		900 910
	für 2 MPPT	DEHNcube DCU YPV SCI 2M		900 920
	je MPPT	DEHNguard DG M YPV SCI 1000 FM		952 515
<b>AC-Seite Wechselrichter</b>				
2	TN-S-System	DEHNshield DSH TNS 255		941 400
<b>AC-Seite Netzanschluss</b>				
3	TN-C-System	DEHNventil DV M TNC 255 FM*		951 305
	TN-S-System	DEHNventil DV M TNS 255 FM*		951 405
	TT-System	DEHNventil DV M TT 255 FM*		951 315
<b>Datenschnittstelle</b>				
4	eine Doppelader mit Betriebsspannung bis 180 V	BLITZDUCTOR BXTU ML2 BD 0-180 + Basisteil BXT BAS		920 249 + 920 300
<b>Fernwartung</b>				
5	ISDN bzw. DSL	DEHNbox DBX U4 KT BD S 0-180		922 400
<b>Erdungsanlage / äußerer Blitzschutz</b>				
6	Potentialausgleich	UNI-Falzklemme		365 250
7	Erdungsleiter	Runddraht Ø 10 mm	St/tZn	800 310
		Runddraht Ø 10 mm	NIRO (V4A)	860 010
		Bandstahl 30 x 3,5 mm	St/tZn	852 335
		Bandstahl 30 x 3,5 mm	NIRO (V4A)	860 325
8	Verbindungselement	MV-Klemme	NIRO (V4A)	390 079
		alt. SV-Klemme	St/tZn	308 220
9	Fangeinrichtung	Fangspitze gewinkelt (inkl. zwei Falzklemmen)		101 110

Bild 13 Blitzschutzkonzept für ein PV-Kraftwerk mit Stringwechselrichtern

# Schutzvorschlag

## Blitz- und Überspannungsschutz für Photovoltaik-Freiland-Kraftwerke

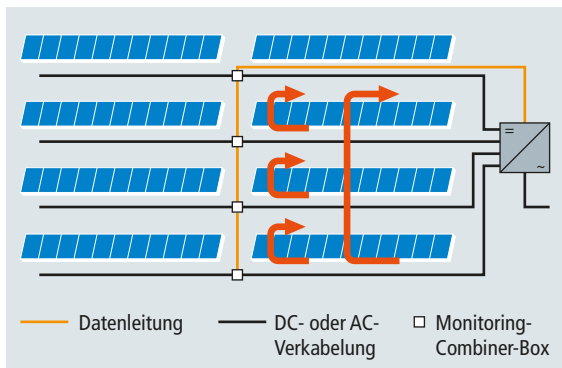


Bild 14 Prinzipdarstellung Induktionsschleifen bei PV-Kraftwerk

dort Überspannungsschutzgeräte vom Typ 1, beispielsweise DEHNshield ... 255, eingesetzt, schützen diese alle Wechselrichteransgänge in einer Entfernung bis zu 10 m (leitungsgebunden). Die weitere AC-Feldverkabelung wird im Betriebsgebäude zusammengeführt. Der leistungsfähige Typ 1 + Typ 2 Kombi-Ableiter DEHNventil schützt an diesem Knotenpunkt die geforderten elektrischen Ausrüstungen für den Netzübergabepunkt. Weitere Betriebseinrichtungen wie NA-Schutz, Alarmzentrale oder Web-Server, die weniger als 10 m (leitungsgebunden) von diesem SPD entfernt sind, werden bezüglich ihrer Netzversorgung ebenfalls geschützt (Bild 13).

### Überspannungs-Schutzmaßnahmen für informationstechnische Systeme

In Betriebsgebäuden werden die Dateninformationen aus dem Feld, der Fernwartung des Anlagenbetreibers sowie der Leistungsmessung und Steuerung durch den Netzbetreiber zusammengeführt. Damit das Servicepersonal per Ferndiagnose Störungsursachen ermitteln und gezielt vor Ort beheben kann, ist ein verlässlicher Datentransfer jeder Zeit sicherzustellen. String- und Wechselrichterüberwachung, Wetterdatenerfassung, Diebstahlschutz als auch die externe Kommunikation basieren auf unterschiedlichsten physikalischen Schnittstellen. Wind- und Strahlungssensoren mit analoger Signalübertragung können mit der DEHNbox DBX geschützt werden. Durch die actiVsense-Technologie ist DEHNbox DBX für Signalspannung bis 180 V einsetzbar und passt den Schutzpegel automatisch an. Wird bei der Kommunikation zwischen den Wechselrichtern eine RS 485 Schnittstelle verwendet, ist der BLITZDUCTOR XT ideal. Für Kamerasysteme mit koaxialer Bildübertragung, wie sie für Diebstahl-Schutz-

anlagen Verwendung finden, kommt DEHNgate BNC VC zum Einsatz. Stehen Substationen großer PV-Kraftwerke über Ethernet untereinander in Verbindung, eignet sich als Schutzgerät DEHNpatch M CAT6, das auch für PoE (Power over Ethernet) Anwendungen eingesetzt werden kann. Egal ob ISDN oder ADSL – die Geräte zur Verbindung mit der Außenwelt werden auch über die Datenleitung mit den erforderlichen Schutzgeräten geschützt.

Anlagenüberwachung auf Stringebene: Bei Kraftwerken mit Zentralwechselrichtern sind im Feld GAKs mit zusätzlicher Messensorik installiert. Wird die Anlage mit Stringwechselrichtern realisiert (Bild 13), übernimmt deren integrierte Stringüberwachung diese Aufgabe. In beiden Fällen werden die Messwerte aus dem Feld über Datenschnittstellen übertragen. Die Datenleitungen werden, vom Betriebsraum aus, zusammen mit den Energiekabeln (AC oder DC) verlegt. Aufgrund der begrenzten Leitungslängen von Feldbusystemen werden die Datenkabel dann auch einzeln quer zu den Modultischen geführt. Bei einem direkten Einschlag übertragen diese „Querverbindungen“ dann auch Blitzteilströme. Diese können die Eingangsbeschaltungen beschädigen sowie Überschläge zur Leistungsverkabelung zur Folge haben. Im Zusammenspiel von Leistungskabeln, metallenen Modultischreihen und Datenleitungen werden darüber hinaus auch großflächige Induktionsschleifen ausgebildet (Bild 14). Dies ist ein ideales Umfeld für transiente Überspannungen infolge von Blitzentladungen, die in diese Leitungen eingekoppelt werden können. Derartige Spannungsspitzen sind in der Lage, die Isolations-/Impulsfestigkeit dieser Systeme zu überschreiten. Überspannungsschäden sind die Folge. In diesen Monitoring-GAKs, beziehungsweise in den dezentralen Stringwechselrichtern, sind deshalb auch SPDs für die Datenübertragung einzusetzen. Kabelschirme müssen normgerecht an allen Anschlusspunkten angeschlossen werden (DIN EN 50174-2 (VDE 0800-174-2) Abs. 5.3.6.3). Um Funktionsstörungen wie Rippel und vagabundierende Ströme zu unterbinden, kann dies auch über eine indirekte Schirmerdung erfolgen. Beispielsweise kann hier der BLITZDUCTOR XT zusammen mit der EMV Federklemme SAK BXT LR, zur indirekten Schirmerdung, eingesetzt werden.




Ein durchgängiger Blitz- und Überspannungsschutz aller Systeme ist in der Lage, die Performance Ratio dieser Kraftwerke deutlich anzuheben. Der Service- und Wartungsaufwand reduziert sich ebenso wie die Reparatur- und Ersatzteilkosten. Die gesamte Wertigkeit des PV-Kraftwerks wird dementsprechend angehoben.

# Schutzvorschlag

Blitz- und Überspannungsschutz  
für Photovoltaik-Freiland-Kraftwerke



## Produkte und technische Daten

DC-Seite		
<b>DEHNcombo</b>		
	Typ	DCB YPV SCI 1500 FM
	Art.-Nr.	900 067
	SPD nach EN 50539-11	Typ 1 + Typ 2
	Max. PV-Spannung [DC+ → DC-] / [DC+/DC → PE] ( $U_{CPV}$ )	$\leq 1500 \text{ V} / \leq 1100 \text{ V}$
	Kurzschlussfestigkeit ( $I_{SCPV}$ )	1000 A
	Nennableitstoßstrom (8/20 $\mu\text{s}$ ) ( $I_n$ )	15 kA
	Gesamtableitstoßstrom (10/350 $\mu\text{s}$ ) [DC+/ DC- → PE] ( $I_{total}$ ) / [DC+ → PE/DC- → PE] ( $I_{imp}$ )	12,5 kA / 6,25 kA
	Schutzpegel [(DC+/DC-) → PE] / [DC+ → DC-] ( $U_p$ )	3,75 kV / 7,25 kV
<b>DEHNcube</b>		
	Typ	DCU YPV SCI 1000 1M
	Art.-Nr.	900 910
	SPD nach EN 50539-11	Typ 2
	Max. PV-Spannung ( $U_{CPV}$ )	$\leq 1000 \text{ V}$
	Kurzschlussfestigkeit ( $I_{SCPV}$ )	1000 A
	Gesamtableitstoßstrom (8/20 $\mu\text{s}$ ) [(DC+/DC-) → PE] ( $I_{total}$ )	40 kA
	Nennableitstoßstrom (8/20 $\mu\text{s}$ ) ( $I_n$ )	12,5 kA
	Maximaler Ableitstoßstrom (8/20 $\mu\text{s}$ ) [(DC+/DC-) → PE] ( $I_{max}$ )	25 kA
Schutzpegel ( $U_p$ )	$\leq 4 \text{ kV}$	
Schutzart	IP 65	
	Typ	DCU YPV SCI 1000 2M
	Art.-Nr.	900 920
	SPD nach EN 50539-11	Typ 2
	Max. PV-Spannung ( $U_{CPV}$ )	$\leq 1000 \text{ V}$
	Kurzschlussfestigkeit ( $I_{SCPV}$ )	1000 A
	Gesamtableitstoßstrom (8/20 $\mu\text{s}$ ) [(DC+/DC-) → PE] ( $I_{total}$ )	40 kA
	Nennableitstoßstrom (8/20 $\mu\text{s}$ ) ( $I_n$ )	12,5 kA
	Maximaler Ableitstoßstrom (8/20 $\mu\text{s}$ ) [(DC+/DC-) → PE] ( $I_{max}$ )	25 kA
Schutzpegel ( $U_p$ )	$\leq 4 \text{ kV}$	
Schutzart	IP 65	

# Schutzvorschlag

Blitz- und Überspannungsschutz  
für Photovoltaik-Freiland-Kraftwerke



## Anschlussleitungen für DEHNcube

	Typ	AL DCU X PV L600	AL DCU X PV L1000
	Art.-Nr.	900 946	900 947
	Zum Anschluss von	2 Strings	
	Leitungsquerschnitt	6 mm <sup>2</sup>	
	Schutzart	IP 65	
	Länge (1) [→ Wechselrichter]	600 mm	1000 mm
	Länge (2) [→ DEHNcube]	300 mm	
	Länge (3) [→ +/- String]	100 mm	
	Typ	AL DCU Y PV L600	AL DCU X PV L1000
	Art.-Nr.	900 948	900 949
	Zum Anschluss von	1 String	
	Leitungsquerschnitt	6 mm <sup>2</sup>	
	Schutzart	IP 65	
	Länge (1) [→ Wechselrichter]	600 mm	1000 mm
	Länge (2) [→ DEHNcube]	300 mm	
	Länge (3) [→ +/- String]	100 mm	

## DEHNguard

	Typ	DG M YPV SCI 1000 FM
	Art.-Nr.	952 515
	SPD nach EN 50539-11	Typ 2
	Maximale PV-Spannung ( $U_{CPV}$ )	$\leq 1000$ V
	Kurzschlussfestigkeit ( $I_{SCPV}$ )	1000 A
	Nennableitstoßstrom (8/20 $\mu$ s) [(DC+/DC-) → PE] ( $I_n$ )	12,5 kA
	Schutzpegel ( $U_p$ )	$\leq 4$ kV

## AC-Seite Wechselrichter

### DEHNshield

	Typ	DSH TNS 255
	Art.-Nr.	941 400
	SPD nach EN 61643-11 / IEC 61643-11	Typ 1 / Class I
	Höchste Dauerspannung AC ( $U_C$ )	255 V
	Blitzstoßstrom (10/350 $\mu$ s) [L1+L2+L3+N-PE] ( $I_{total}$ )	50 kA
	Blitzstoßstrom (10/350 $\mu$ s) [L, N-PE] ( $I_{imp}$ )	12,5 kA
	Schutzpegel [L-PE] / [N-PE] ( $U_p$ )	$\leq 1,5 / \leq 1,5$ kV

# Schutzvorschlag

## Blitz- und Überspannungsschutz für Photovoltaik-Freiland-Kraftwerke



### AC-Seite Netzanschluss

#### DEHNventil



Typ	DV M TNC 255 FM
Art.-Nr.	951 305
SPD nach EN 61643-11 / IEC 61643-11	Typ 1 / Class I
Höchste Dauerspannung AC ( $U_C$ )	255 V
Blitzstoßstrom (10/350 $\mu$ s) [L1+L2+L3-PEN] ( $I_{total}$ ) / [L-PEN] ( $I_{imp}$ )	75 kA / 25 kA
Schutzpegel ( $U_p$ )	$\leq 1,5$ kV



Typ	DV M TT 255 FM
Art.-Nr.	951 315
SPD nach EN 61643-11 / IEC 61643-11	Typ 1 / Class I
Höchste Dauerspannung AC ( $U_C$ )	255 V
Blitzstoßstrom (10/350 $\mu$ s) [L1+L2+L3+N-PE] ( $I_{total}$ )	100 kA
Blitzstoßstrom (10/350 $\mu$ s) [L-N] / [N-PE] ( $I_{imp}$ )	25 / 100 kA
Schutzpegel [L-N] / [N-PE] ( $U_p$ )	$\leq 1,5$ kV / $\leq 1,5$ kV



Typ	DV M TNS 255 FM
Art.-Nr.	951 405
SPD nach EN 61643-11 / IEC 61643-11	Typ 1 / Class I
Höchste Dauerspannung AC ( $U_C$ )	255 V
Blitzstoßstrom (10/350 $\mu$ s) [L1+L2+L3+N-PE] ( $I_{total}$ ) / [L, N-PE] ( $I_{imp}$ )	100 kA / 25 kA
Schutzpegel [L-PE] / [N-PE] ( $U_p$ )	$\leq 1,5$ kV / $\leq 1,5$ kV

### Datenschnittstelle

#### BLITZDUCTOR XTU



Typ	BXTU ML2 BD S 0-180
Art.-Nr.	920 249
Ableiterklasse / Ableiterüberwachung	<b>TYPE 1</b> / LifeCheck
Betriebsspannung ( $U_N$ )	0-180 V
Höchste Dauerspannung DC / AC ( $U_C$ )	180 V / 127 V
D1 Blitzstoßstrom (10/350 $\mu$ s) gesamt / pro Ader ( $I_{imp}$ )	9 kA / 2,5 kA
C2 Nennableitstoßstrom (8/20 $\mu$ s) gesamt / pro Ader ( $I_n$ )	20 kA / 10 kA
Schutzpegel Ad-Ad bei $I_{imp}$ D1 ( $U_p$ )	$\leq U_N + 53$ V
Schutzpegel Ad-PG bei C2/C3/D1	$\leq 550$ V
Prüfnormen	IEC 61643-21 / EN 61643-21, UL 497B

# Schutzvorschlag


Blitz- und Überspannungsschutz  
für Photovoltaik-Freiland-Kraftwerke



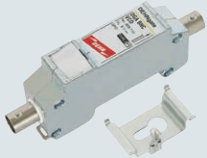
## BLITZDUCTOR XT

	Typ	BXT BAS
	Art.-Nr.	920 300
	Montage	auf 35 mm Hutschiene nach EN 60715
	Anschlussquerschnitt eindrätig / feindrätig	0,08–4 mm <sup>2</sup> / 0,08–2,5 mm <sup>2</sup>
	Erdung	über 35 mm Hutschiene nach EN 60715
	Typ	AK BXT LR
	Art.-Nr.	920 395
	Einsteckbar in	Klemmanschluss BXT BAS / BSP BAS 4

## DEHNpatch

	Typ	DPA M CAT6 RJ45S 48
	Art.-Nr.	929 110
	Ableiterklasse	<b>TYPE 2 P1</b>
	Nennspannung ( $U_N$ )	48 V
	Höchste Dauerspannung DC / AC ( $U_C$ )	48 V / 34 V
	Höchste Dauerspannung DC Pa-Pa (PoE) ( $U_C$ )	57 V
	Nennstrom ( $I_N$ )	1 A
	C2 Nennableitstoßstrom (8/20 $\mu$ s) Ad-Ad / Ad-PG / Ad-PG gesamt ( $I_n$ )	150 A / 2,5 kA / 10 kA
	C2 Nennableitstoßstrom (8/20 $\mu$ s) Pa-Pa (PoE) ( $I_n$ )	150 A
	Schutzpegel Ad-Ad / Ad-PG bei $I_n$ C2 ( $U_p$ )	$\leq 190$ V / $\leq 600$ V
	Schutzpegel Pa-Pa bei $I_n$ C2 (PoE) ( $U_p$ )	$\leq 600$ V
	Schutzpegel Ad-Ad / Ad-PG bei 1 kV/ $\mu$ s C3 ( $U_p$ )	$\leq 145$ V / $\leq 500$ V
	Schutzpegel Pa-Pa bei 1 kV/ $\mu$ s C3 (PoE) ( $U_p$ )	$\leq 600$ V

## DEHNgate

	Typ	DGA BNC VCD
	Art.-Nr.	909 710
	Ableiterklasse	<b>TYPE 2 P1</b>
	Nennspannung ( $U_N$ )	5 V
	Höchste Dauerspannung DC ( $U_C$ )	6,4 V
	Nennstrom ( $I_N$ )	0,1 A
	D1 Blitzstoßstrom (10/350 $\mu$ s) ( $I_{imp}$ )	1 kA
	C2 Nennableitstoßstrom (8/20 $\mu$ s) Schirm-PG / Ad-Schirm ( $I_n$ )	10 kA / 5 kA
	Schutzpegel Ad-Schirm bei $I_n$ C2 ( $U_p$ )	$\leq 35$ V
	Schutzpegel Pa-Pa bei $I_n$ C2 (PoE) ( $U_p$ )	$\leq 600$ V
	Schutzpegel Ad-Schirm bei 1 kV/ $\mu$ s C3 ( $U_p$ )	$\leq 13$ V
	Schutzpegel Pa-Pa bei 1 kV/ $\mu$ s C3 (PoE) ( $U_p$ )	$\leq 600$ V

# Schutzvorschlag

Blitz- und Überspannungsschutz  
für Photovoltaik-Freiland-Kraftwerke



## Datenschnittstelle

### DEHNbox



Typ	DBX U4 KT BD S 0-180
Art.-Nr.	922 400
Ableiterklasse	TYPE 1P1
Nennspannung ( $U_N$ )	0-180 V
D1 Blitzstoßstrom (10/350 $\mu$ s) ges./Ad ( $I_{imp}$ )	10 kA/2,5 kA
C2 Nennableitstoßstrom (8/20 $\mu$ s) ges./Ad ( $I_n$ )	20 kA/10 kA
Schutzpegel Ad-Ad bei $I_{imp}$ D1 ( $U_p$ )	$\leq U_N + 50$ V
Schutzpegel Ad-PG bei D1/C2/C3	$\leq 550$ V

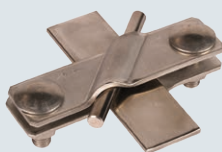
## Erdungsanlage / äußerer Blitzschutz

### UNI-Falzklemme



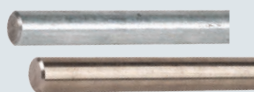
Art.-Nr.	365 250
Klemmbereich Falz	0,7–8 mm
Klemmbereich Rd	8–10 mm
Anschluss (ein-/mehrdrätig)	4–50 mm <sup>2</sup>
Werkstoff Klemmbügel	Al
Werkstoff Doppelüberleger / Schraube / Mutter	NIRO

### SV-Klemme

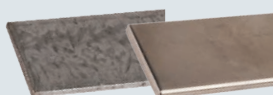


Art.-Nr.	308 220
Klemmbereich Rd / Rd	7–10/7–10 mm
Klemmbereich Rd / Fl	7–10/30 mm
Klemmbereich Fl / Fl	30/30 mm
Werkstoff Klemme / Schraube / Mutter	St/tZn

## Runddraht / Bandstahl



Art.-Nr.	800 310	860 010
Leiter Ø / Querschnitt	10 mm / 78 mm <sup>2</sup>	
Werkstoff	St/tZn	NIRO (V4A)



Art.-Nr.	852 335	860 325
Breite / Dicke / Querschnitt	30 mm / 3,5 mm / 105 mm <sup>2</sup>	
Werkstoff	St/tZn	NIRO (V4A)

## Fangspitze gewinkelt (inkl. zwei Falzklemmen)



Art.-Nr.	101 110
Länge gesamt	1000 mm
Werkstoff	Al
Durchmesser	10 mm

**Überspannungsschutz  
Blitzschutz/Erdung  
Arbeitsschutz  
DEHN schützt.®**

DEHN + SÖHNE  
GmbH + Co.KG.

Hans-Dehn-Str. 1  
Postfach 1640  
92306 Neumarkt  
Germany

Tel. +49 9181 906-0  
Fax +49 9181 906-1100  
info@dehn.de  
www.dehn.de



[www.dehn.de/vertrieb-de](http://www.dehn.de/vertrieb-de)

Diejenigen Bezeichnungen von im Schutzbroschüre genannten Erzeugnissen, die zugleich eingetragene Marken sind, wurden nicht besonders kenntlich gemacht. Es kann also aus dem Fehlen der Markierung <sup>TM</sup> oder <sup>®</sup> nicht geschlossen werden, dass die Bezeichnung ein freier Warenname ist. Ebenso wenig ist zu entnehmen, ob Patente, Gebrauchsmuster oder sonstige intellektuelle und gewerbliche Schutzrechte vorliegen. Änderungen in Form und Technik, bei Maßen, Gewichten und Werkstoffen behalten wir uns im Sinne des Fortschrittes der Technik vor. Die Abbildungen sind unverbindlich. Druckfehler, Änderungen und Irrtümer vorbehalten. Nachdruck, auch auszugsweise, nur mit unserer Genehmigung.

actiVsense, BLITZDUCTOR, BLITZPLANER, DEHN, DEHN Logo, DEHN schützt, DEHNbloc, DEHNfix, DEHNgrip, DEHNguard, DEHNport, DEHNQUICK, DEHNrapid, DEHNshield, DEHNsnap, DEHNventil, HVI, LifeCheck, Red/Line sind in Deutschland oder in anderen Ländern eingetragene Marken („registered trade marks“).