

# **Blitz- und Überspannungsschutz von PV-Kraftwerken – Detaillierte Vorgaben in neuem Beiblatt 5, EN 62305-3**

Dipl.-Ing. Josef Birkl  
DEHN + SÖHNE GmbH & Co.KG.  
Hans-Dehn-Str. 1, Germany 92318 Neumarkt  
Tel.: +49 9181 906 1812, Fax: +49 9181 906 561812  
E-Mail: Josef.Birkl@technik.dehn.de  
Internet: www.dehn.de

## **Einleitung**

Bei den Blitz- und Überspannungsschutzmaßnahmen für PV-Anlagen sind einige Besonderheiten zu beachten. Aus diesem Grunde wurden bereits 2009 die zusätzlichen Informationen für den Blitzschutz von Gebäuden mit PV-Stromversorgungssystemen in DIN 62305-3 Beiblatt 5 „Blitz- und Überspannungsschutz für PV-Stromversorgungssysteme“ zusammengefasst. Zwischenzeitlich wurde eine aktualisierte Ausgabe des Beiblatts 5 der EN 62305-3 erarbeitet, die im Februar 2014 veröffentlicht worden ist. Neu formuliert wurde der Anhang D zum Blitz- und Überspannungsschutz von PV-Freiflächenanlagen. Im aktuellen Beiblatt 5 wird nun nicht mehr ausschließlich das Erdungssystem von PV-Freiflächenanlagen behandelt, sondern es sind nun auch Aussagen zur Blitzstromverteilung und -belastung der Verkabelung in Freiflächenanlagen enthalten.

## **Erdungssystem bei PV-Freiflächenanlagen**

### **▪ Allgemein**

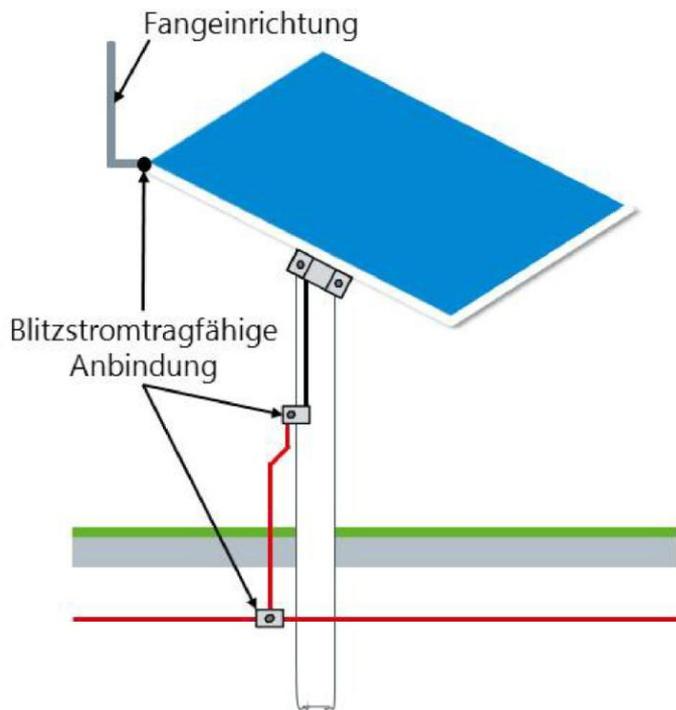
Eine Erdungsanlage mit geringer Impedanz verringert die Potentialdifferenz zwischen den baulichen Anlagen und damit die Störeinkopplung in die elektrischen Verbindungen. Dieses grundsätzliche Schutzziel ist auch bei der Überarbeitung des Beiblattes 5 beibehalten worden. Es wird deshalb weiterhin ein niedriger Erdungswiderstand von kleiner 10 Ohm empfohlen. Es sollen die einzelnen Erdungsanlagen von Betriebsgebäude und PV-Modulfeld miteinander verbunden werden, um durch ein vermaschtes Erdungssystem möglichst eine ideale „Äquipotentialfläche“ zu erhalten. Beibehalten wurde deshalb auch die Empfehlung einer Maschengröße von 20 m x 20 m bis 40 m x 40m. Präzisiert wurden jedoch die Empfehlungen wie diese vermaschtes Erdungssystem bei PV-Flächenanlagen realisiert werden kann. Es war auch in der Ausgabe von 2009 bereits beschrieben, dass Schraubfundamente als Erder verwendet werden können, wenn die Wanddicke der Rohre den Vorgaben der Tabelle 7 in EN 62305-3 bzw. Tabelle 3 in EN 62561-2 entspricht.

Tabelle 1 zeigt beispielhaft für feuerverzinkten Stahl die Vorgaben an Form und Querschnitt von Erdern.

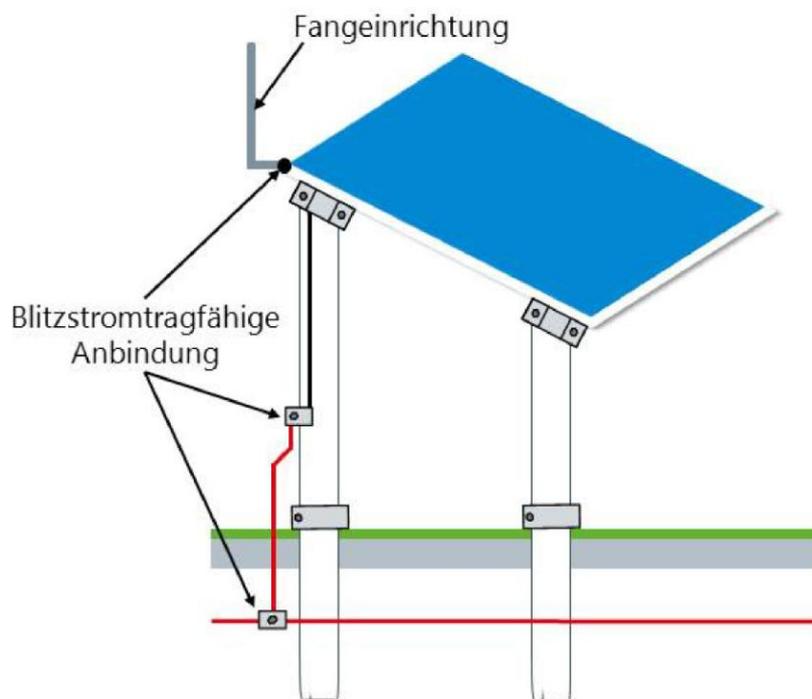
<b>Material</b>	<b>Form</b>	<b>Querschnitt des Erder mm<sup>2</sup></b>	<b>Empfohlene Maße</b>
	Rund Massiv	≥ 150	14 mm Durchmesser
Feuerverzinkter Stahl	Rohr	≥ 140	25 mm Durchmesser mit 2 mm Wandstärke
	Verschieden Profile	≥ 290	3 mm Mindestdicke

**Tabelle 1** – Mindestquerschnitte von Erdern nach EN 62305-3 und EN 62561-2

In der Ausgabe von 2009 war auch bereits festgelegt, dass bei der Verwendung von Schraubfundamenten als Einzelfundament die Mindesterdlerlänge  $l_1$  nach DIN EN 62305-3 eingehalten werden sollte. Neu wurde nun der Hinweis aufgenommen, dass bei Modulgestellen mit Schraub- oder Rammfundamenten, die miteinander dauerhaft und blitzstromtragfähig verbunden sind, die im Erdreich wirksamen Einzellängen von < 2,5 m addiert werden können um die Vorgaben an die Mindesterdlerlänge  $l_1$  nach EN 62305-1 zu erfüllen. Die Bilder 1 und 2 zeigen die Anbindung einer Fangeinrichtung an die Modulgestelle und die prinzipielle Verbindung von ein- bzw. zweireihigen Modultischen mit der Erdungsanlage. Die Blitzstromtragfähigkeit dieser Verbindungen ist dabei durch eine Prüfung entsprechend DIN EN 62561-1 nachzuweisen. Neu eingefügt wurde auch der Hinweis, dass metallene Modultische mit Schraub- oder Rammfundamenten, die den oben beschriebenen Vorgaben entsprechen, als Teil der vermaschten Erdungsanlage genutzt werden können.



**Bild 1:** Ausführung der Erdungsanlage bei einreihigen Modultischen



**Bild 2:** Ausführung der Erdungsanlage bei zweireihigen Modultischen

### ▪ **Blitzstromtragfähigkeit**

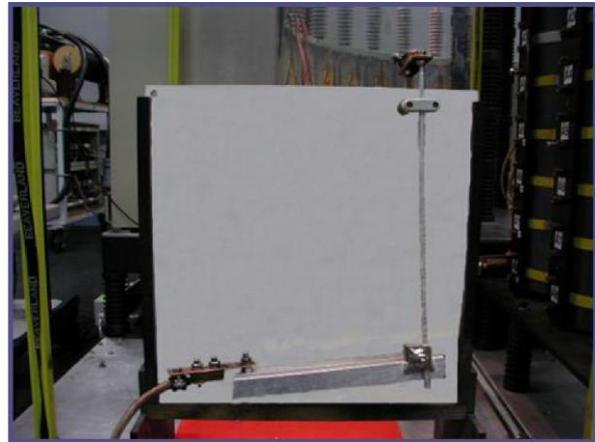
Im Beiblatt 5 wird eine blitzstromtragfähige Verbindung der Modulgestelle mit der Fangeinrichtung und dem Erdungssystem gefordert. Bild 3 zeigt einen solchen blitzstromtragfähigen Anschluss.



**Bild 3:** Blitzstromfeste Anbindung eines Modulgestells

Der Nachweis der Blitzstromtragfähigkeit von Fangstange und Modulgestell erfolgt durch eine Prüfung entsprechend DIN EN 62561-1. Für alle metallenen Blitzschutzbauteile, die der freien Witterung ausgesetzt sind, ist vor der elektrischen Blitzstromprüfung eine künstliche Alterung bzw. Konditionierung gefordert. Diese künstliche Alterung erfolgt entsprechend DIN EN 62561-1 in zwei Schritten. Um die Beanspruchung in salzhaltiger Atmosphäre zu simulieren, erfolgt zuerst eine Salznebelprüfung. Anschließend werden die Prüflinge in 7 Zyklen unter feuchter schwefeliger Atmosphäre behandelt.

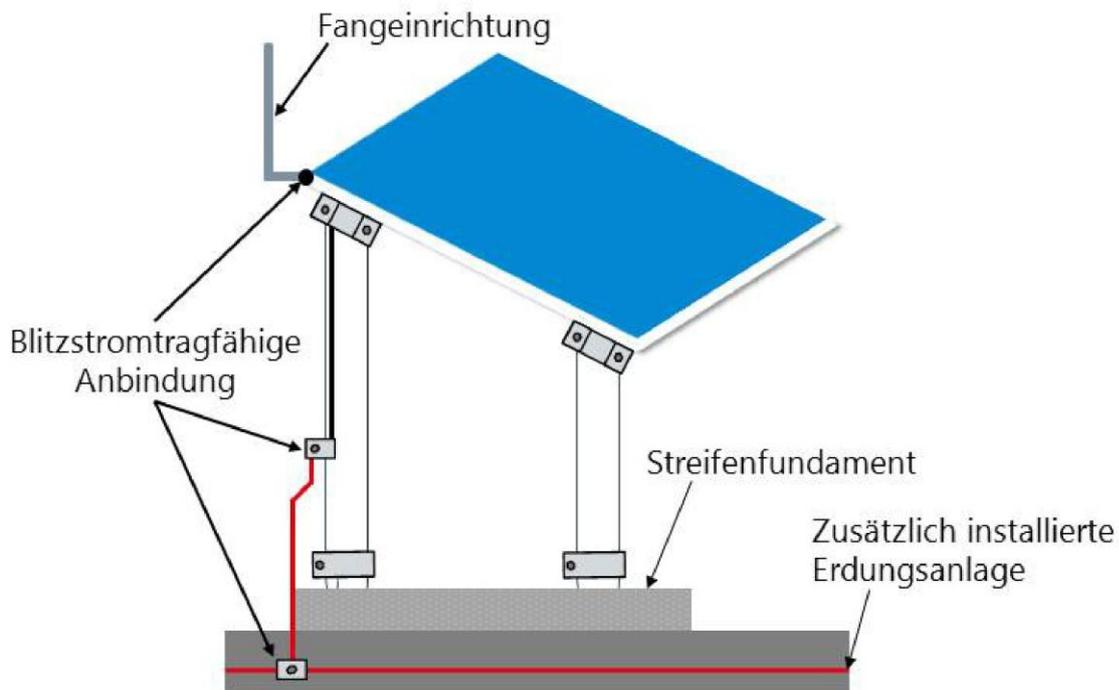
Anschließend werden je drei Prüfpulse mit 50kA 10/350µs (normale Belastung) bzw. 100kA 10/350µs (hohe Belastung) auf jeden Prüfling aufgebracht. Die Bilder 4 zeigen die Prüfaufbauten zum Nachweis von blitzstromfesten Verbindungen.



**Bild 4:** Konditionierungsprüfung und Blitzstromprüfung zur blitzstromfesten Anbindung eines Modulgestells

#### ▪ Streifenfundamente

Erweitert wurden auch die Aussagen zur Verwendung von Streifenfundamenten als Teil der Erdungsanlage. Streifenfundamente bei PV-Anlagen entsprechen in der Regel nicht den baulichen Eigenschaften von Streifenfundamenten, wie sie bei Gebäuden verwendet werden. So werden beispielsweise Bahnschwellen oder ähnliche Fertigteile als Streifenfundamente eingesetzt. Solche PV-Streifenfundamente werden üblicherweise oberirdisch verlegt. Im aktualisierten Beiblatt 5 wurde ausgeführt, dass solche Streifenfundamente im Vergleich zu Ramm- oder Schraubfundamenten eine deutlich reduzierte Erderwirkung aufweisen. Deshalb wird eine zusätzliche Erdungsanlage empfohlen. Die metallenen Modulgestelle sind, wie in Bild 5 gezeigt, blitzstromtragfähig an die Erdungsanlage anzubinden.



**Bild 5:** Ausführung der Erdungsanlage bei Streifenfundamenten

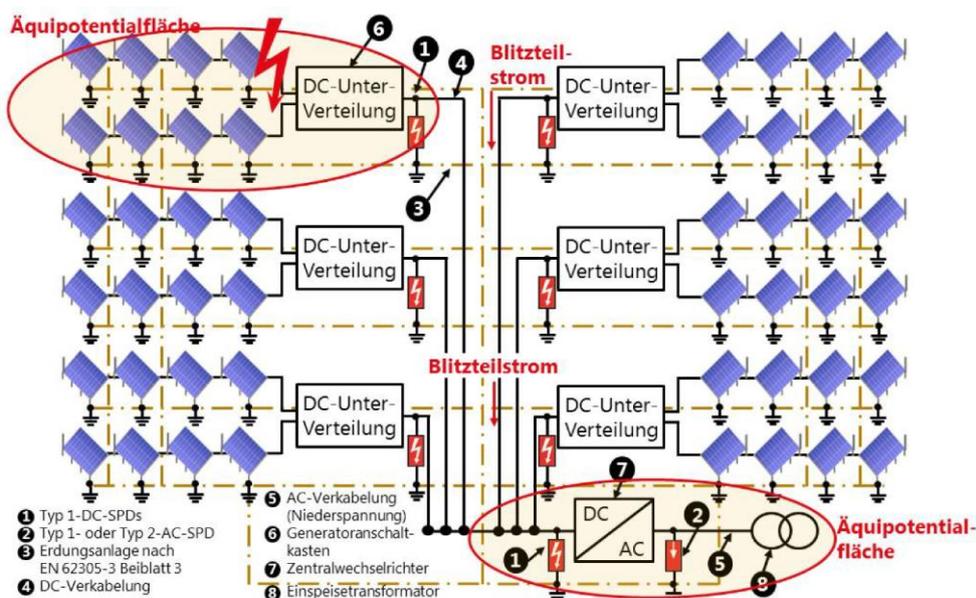
## Blitzstromverteilung und Belastung der SPDs bei PV-Freiflächenanlagen

Ergänzt wird in der Ausgabe von 2014 des Beiblatts 5 ein Abschnitt D.3 zur Blitzstromverteilung und Belastung der SPDs bei PV-Freiflächenanlagen. Die Aussagen in Beiblatt 5 basieren auf Computersimulationen zur Blitzstromverteilung einer Freiflächenanlage, wie sie in EN 62305-4 Beiblatt 1 beschrieben sind. Beiblatt 5 beschreibt die Parameter, die die Blitzstromverteilung in PV-Freiflächenanlagen beeinflussen:

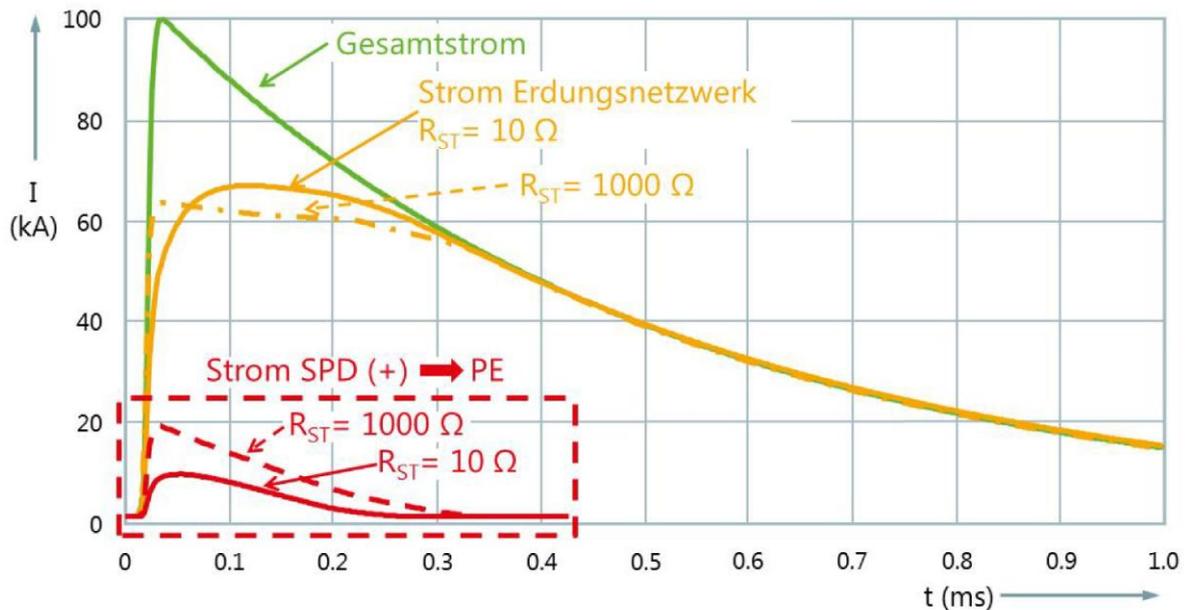
- Blitzschutzklasse: Bei PV-Freiflächenanlage wird üblicherweise LPL III zugrunde gelegt.
- Spezifischer Erdungswiderstand: Als höchster Wert wurde 1000 Ohmmeter verwendet.
- Ausführung der DC-Verkabelung: Beiblatt 5 betrachtet nur Zentralwechselrichteranlagen.
- Vermaschung und Maschenweite des Erdungssystems: In Beiblatt 5 wurde eine Maschenweite von 20 m x 20 m angesetzt. Bei größeren Maschenweiten sind höhere Blitzteilströme über die SPDs zu erwarten.

## ▪ Zentralwechselrichter

In EN 62305-4 Beiblatt 1 wird die Stromaufteilung einer PV-Anlage mit Zentralwechselrichter am Beispiel einer in Bild 6 dargestellten Anlage analysiert. Dabei werden die für die Blitzstromverteilung maßgeblichen Faktoren wie Erdungswiderstand und Einschlagsort variiert. Bild 7 zeigt die Blitzstromverteilung bei einem direkten Einschlag in das äußere Blitzschutzsystem in der Nähe des dargestellten SPDs (Abstand ~ 10 m). Das in EN 62305-4 Beiblatt 1 beschriebene und in Bild 6 dargestellte Beispiel zeigt, dass sowohl bei relativ niedrigem als auch bei einem hohen spezifischen Erdungswiderstand ein Großteil des Blitzstroms direkt in die Erdungsanlage abfließt. Es fließen jedoch auch Blitzteilströme in der DC-Verkabelung, da die theoretische Annahme, dass die gesamte Fläche der PV-Anlage als „Äquipotentialfläche“ ausgeführt wird, in der Praxis bei großflächigen Anlagen nicht realisiert werden kann. Die energietechnische Verkabelung wirkt dabei quasi als Potentialausgleichsleiter zwischen der „lokalen“ Erde des Modulfelds in dem der direkte Blitzeinschlag erfolgte und der „fernen“ Äquipotentialfläche des Zentralwechselrichters. Die Blitzteilströme fließen also bei einer PV-Freiflächenanlage mit Zentralwechselrichter auf den DC-Leitungen zwischen den Generatoranschaltschaltkästen und dem DC-Eingang des Zentralwechselrichters. Dementsprechend werden in den Generatoranschaltschaltkästen und dem DC-Eingang des Zentralwechselrichters Typ 1 PV-SPDs empfohlen. Charakteristisch für die Blitzteilströme, die über die SPDs in der Verkabelung der PV-Anlage fließen, ist die Verkürzung der Stromflussdauer. Um diese Belastung mit den normativ festgelegten Kenngrößen von SPDs vergleichen zu können, ist eine Umrechnung in einen genormten 10/350 Blitzstromimpuls über die äquivalente Impulsladung notwendig.



**Bild 6:** PV-Freiflächenanlagen mit Zentralwechselrichter

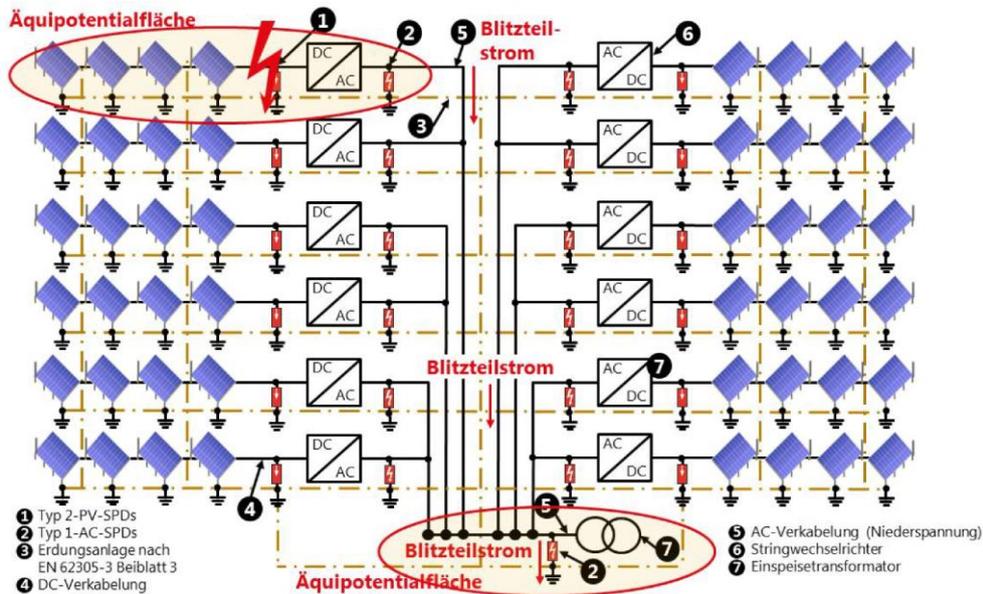


**Bild 7:** Blitzstromverteilung bei einer PV-Freiflächenanlage mit Zentralwechselrichter.

### ▪ Stringwechselrichter

PV-Freiflächenanlagen, werden jedoch auch häufig mit Stringwechselrichtern ausgeführt. Im Beiblatt 5 ist nur der Hinweis enthalten, dass auch die Ausführung der energietechnischen Verkabelung, also die Ausführung mit Stringwechselrichter oder Zentralwechselrichter, die Blitzstromverteilung beeinflusst. Detailliert wird die Blitzstromverteilung bei Stringwechselrichtern in Beiblatt 5 nicht beschrieben. Ergänzend zum Beiblatt 5 wird deshalb in diesem Beitrag bei einer PV-Freiflächenanlage mit Stringwechselrichtern, wie in Bild 8 dargestellt, die Blitzstromverteilung in einer solchen Verkabelung erläutert. Auch bei Stringwechselrichtern wirkt die energietechnische Verkabelung wieder als Potentialausgleichsleiter zwischen dem „lokalen“ Erdpotential des Modulfelds in dem der direkte Blitzeinschlag erfolgte und der „fernen“ Äquipotentialfläche des Einspeisetransformators. Bild 9 zeigt beispielhaft die entsprechenden Stromverläufe. Der Unterschied zur Anlage mit Zentralwechselrichter liegt nur darin, dass bei Anlagen mit Stringwechselrichtern die Blitzteilströme auf den AC-Leitungen fließen. Dementsprechend sind die Typ 1 SPDs auf der AC-Seite der Stringwechselrichter und der Niederspannungsseite des Einspeisetransformators zu installieren. Die Blitzstromverläufe weisen wieder eine verkürzte Wellenform auf und entsprechen damit in wesentlichen den Parametern bei Zentralwechselrichtern. Auf der DC-Seite der Stringwechselrichter sind Typ 2 SPDs ausreichend.

Die Stringwechselrichter und das damit verbundene Modulfeld bilden bei entsprechend nach Beiblatt 5 ausgeführtem Erdungssystem eine lokale Äquipotentialfläche, so dass auf der DC-Verkabelung keine Blitzströme zu erwarten sind, sondern die Ableiter im Wesentlichen induzierte Störimpulse begrenzen.



**Bild 8:** PV-Freiflächenanlage mit Stringwechselrichter



**Bild 9:** Blitzstromverteilung bei einer PV-Freiflächenanlage mit Stringwechselrichter

Um den Planer und Errichter die Auswahl der geeigneten SPDs zu vereinfachen, wurde in der EN 62305-3 Beiblatt 5 Ed. 2 abhängig von der SPD-Technologie, das Mindestableitvermögen von Typ 1 SPDs, entsprechend Tabelle 2 festgelegt. Es ist dabei festzuhalten, dass im überarbeiteten Beiblatt 5 damit die Ableiterwerte der Typ 1 PV-SPDs auf der DC-Seite von Zentralwechselrichtern beschrieben werden. Wie gezeigt, können bei Anlagen mit Stringwechselrichtern die gleichen Mindestableitwerte für die Typ 1 AC-SPDs herangezogen werden.

Entsprechend dieser Betrachtung und in Übereinstimmung mit dem überarbeiteten Beiblatt wäre bei LPL III für den Schutz der DC-Seite einer PV-Freiflächenanlage mit Zentralwechselrichter und einem Erdungssystem nach Beiblatt 5 bei Berücksichtigung eines direkten Blitzeinschlages in die Anlage ein spannungsbegrenzender SPD Typ 1 mit  $I_{imp} = 5 \text{ kA } 10/350$  pro Schutzpfad und zusätzlich geprüft nach Prüfklasse II mit  $I_n = 15 \text{ kA } 8/20$  pro Schutzpfad ausreichend.

Blitzschutzklasse LPL und maximaler Blitzstrom (10/350)		Werte für spannungsbegrenzende oder kombinierte (Reihenschaltung) SPD Typ 1				Spannungsschaltende oder Parallelschaltung SPD Typ 1	
		$I_{10/350} \text{ [kA]}$		$I_{8/20} \text{ [kA]}$		$I_{10/350} \text{ [kA]}$	
		Pro Schutzpfad	$I_{total}$	Pro Schutzpfad	$I_{total}$	Pro Schutzpfad	$I_{total}$
III oder IV	100 kA	5	10	15	30	10	20

**Tabelle 2:** Mindestableitvermögen von Typ 1 SPDs bei PV-Freiflächenanlagen

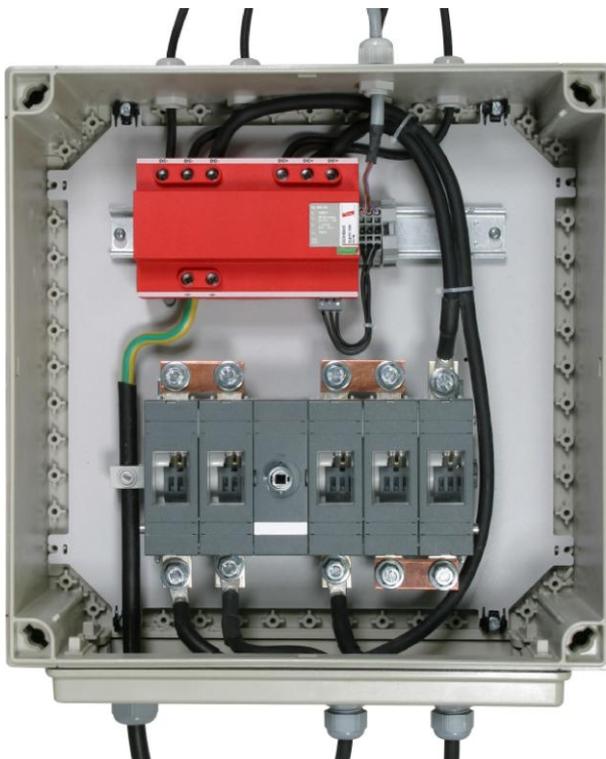
Für diese Anwendung bestehen zwei Auswahlmöglichkeiten, entweder die Verwendung von

- einem spannungsbegrenzenden oder kombinierten (Reihenschaltung) SPD Typ 1 mit  $I_{imp} \geq I_{10/350}$  und mit  $I_n \geq I_{8/20}$ , oder
- einem spannungsschaltendem oder kombinierten (Parallelschaltung) SPD Typ 1 mit  $I_{imp} \geq I_{10/350}$

Die Bilder 10 und 11 zeigen Ausführungen von spannungsbegrenzenden und -schaltenden Typ 1 SPDs, die die im Beiblatt 5 von 2014 beschriebenen Anforderungen an das Ableitvermögen von PV-SPDs erfüllen.



**Bild 10:** Spannungsbegrenzender Typ 1 PV-SPD mit Ableitvermögen entsprechend DIN EN 62305-3 Beiblatt 5



**Bild 11:** Spannungsschaltender Typ 1 PV-SPD mit Ableitvermögen entsprechend DIN EN 62305-3 Beiblatt 5

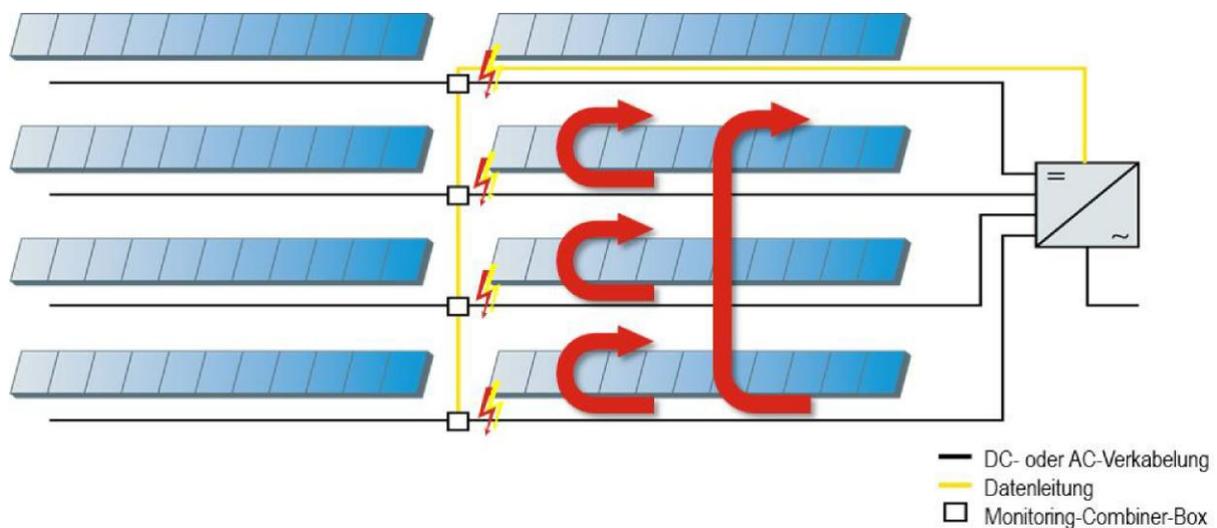
## ▪ Schutz der Kommunikations-Leitungen

Im Beiblatt 5 wird die grundsätzliche Empfehlung ausgesprochen, falls Signal- und Kommunikationskreise im PV-System vorhanden sind, dann solle diese ebenfalls durch SPDs geschützt werden.

Es gibt zwei grundlegende Mechanismen, wie sich Überspannungen bei Datenverkabelungen einkoppeln können:

### a) Induktive Einkopplung von Überspannungen bei nahem Blitzeinschlag

Bei getrennter Verlegung von DC-Leitungen bzw. AC-Leitungen und Datenleitungen können, wie in Bild 12 dargestellt, großflächige Induktionsschleifen aufgespannt werden.

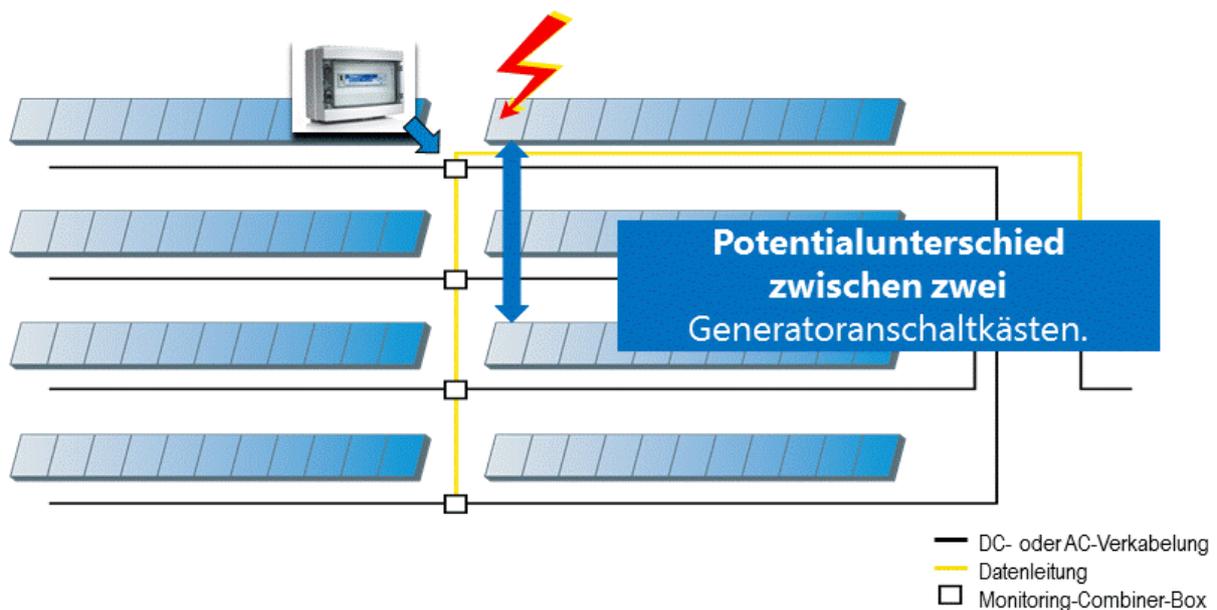


**Bild 12:** Induktive Einkopplung von Überspannungen in Leiterschleifen von Daten- und Energieleitung

Die in Kapitel 6 des Beiblatt 5 beschriebenen allgemeinen Vorgaben zur Kabel- und Leitungsverlegung und Schirmung reduzieren die Auswirkungen des magnetischen Feldes bei direkten und nahen Blitzeinschlägen auch bei PV-Freiflächenanlagen. Es ist jedoch zu beachten, dass solche großflächigen Anlagen auch mit entsprechend großen Leitungslängen einhergehen. Damit können auch bereits bei indirekten Blitzereignissen Spannungsspitzen an den Geräteeingängen auftreten, die die Isolationsfestigkeit überschreiten.

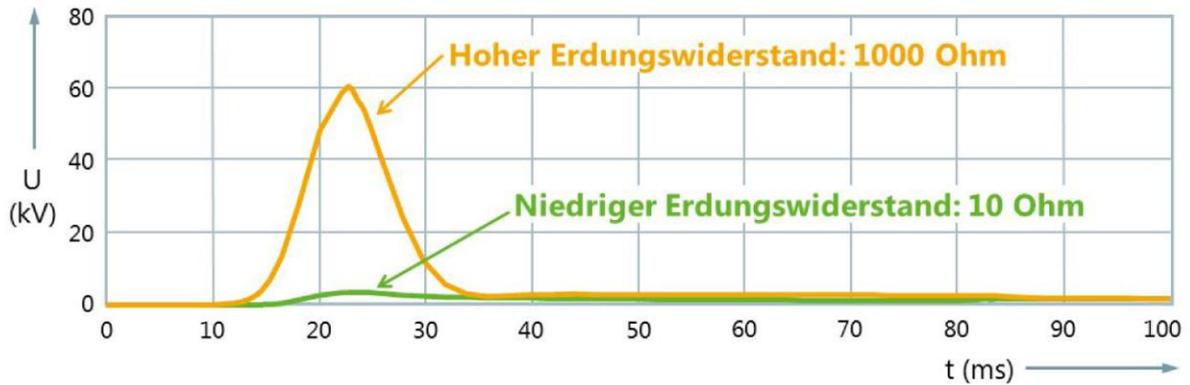
## a) Galvanische Einkopplung von Überspannungen bei direktem Blitzeinschlag

Aufgrund der großflächigen Ausdehnung von PV-Freiflächenanlagen sind auch direkte Blitzeinschläge ein mögliches Schadensszenario. Wie bereits ausgeführt, ist die theoretische Annahme, dass die gesamte Fläche der PV-Anlage als „Äquipotentialfläche“ ausgeführt wird, in der Praxis bei großflächigen Anlagen auch bei einem Erdungssystem entsprechend Beiblatt 5 nur bedingt umsetzbar. Es können also auch bei Datenleitungen entsprechende Potentialunterschiede auftreten. Entsprechend Bild 13 wurde durch Computersimulationen der mögliche Potentialunterschied zwischen zwei Generatoranschaltschaltkästen abgeschätzt.



**Bild 13:** Galvanische Einkopplung von Überspannungen bei direktem Blitzeinschlag

Dieser Potentialunterschied ist, wie schon bei der Betrachtung für die energietechnischen Leitungen ausgeführt, unter anderem vom spezifischen Erdungswiderstand abhängig. Bild 14 zeigt die möglichen Potentialunterschiede zwischen zwei Generatoranschaltschaltkästen für eine in Bild 6 beispielhaft dargestellte PV-Freiflächenanlage. Die hier auftretenden Potentialdifferenzen treten dann auch an den Geräteeingängen auf, wenn zwischen den einzelnen Generatoranschaltschaltkästen über die informationstechnische Verkabelung Querverbindungen bestehen. Besonders bei Anlagen auf Böden mit hohem Erdausbreitungswiderstand (trockener Sand, Fels) sind Potentialunterschiede zu erwarten, die die Spannungsfestigkeit der Endgeräte überschreiten.

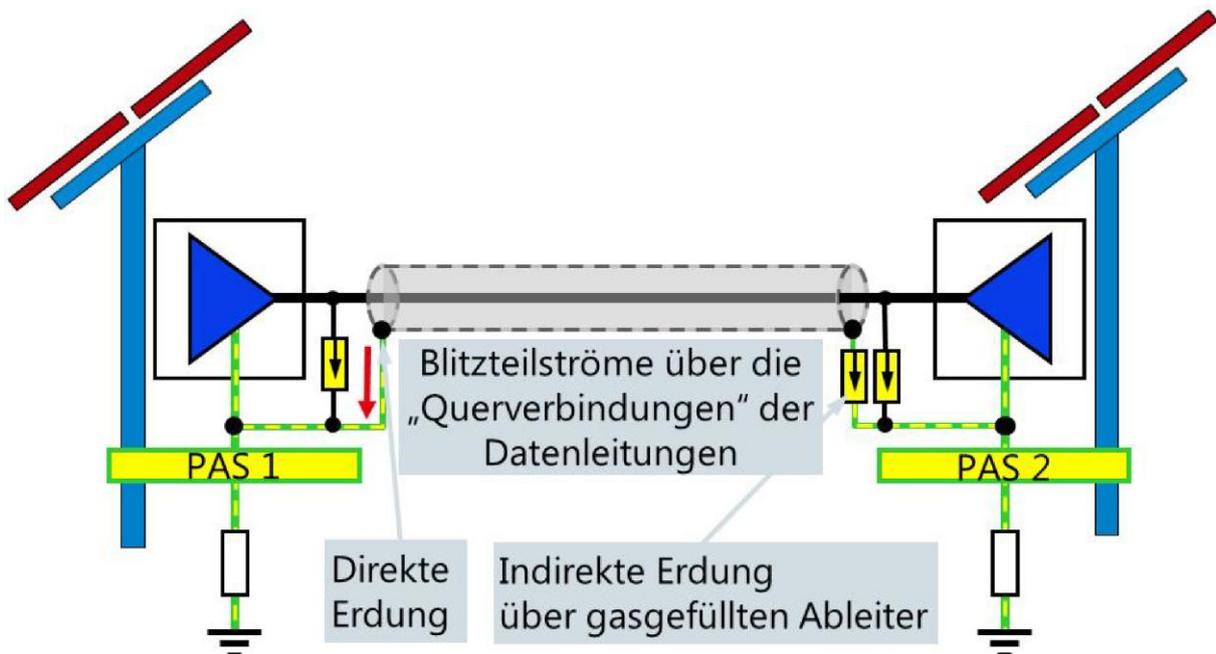


**Bild 14:** Abschätzung der auftretenden Potentialunterschiede durch Computersimulation

Dieser Potentialunterschied kann auftreten zwischen

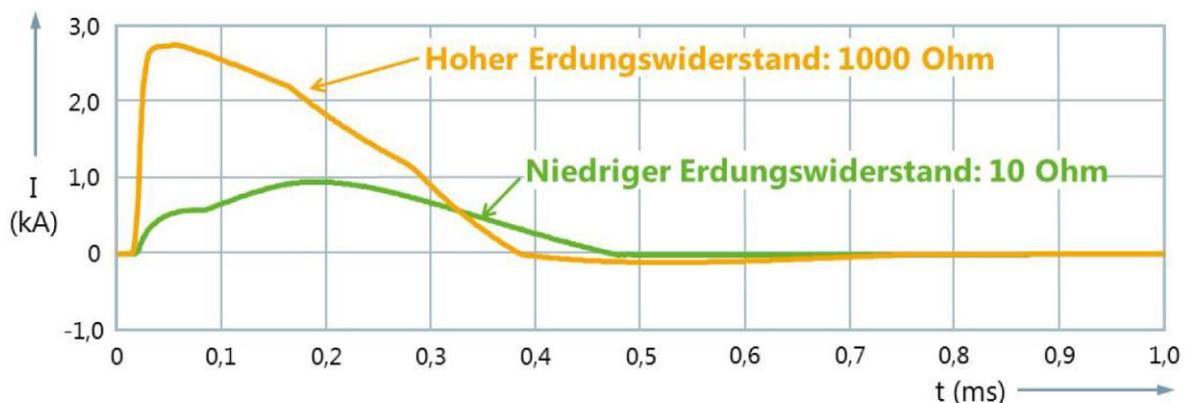
- Innenleiter und Schirm der Datenleitung und
- Datenleitungen und Energieleitungen.

Zur Vermeidung dieser Potentialunterschiede ist deshalb eine SPD-Beschaltung der Innenleiter bzw. zwischen Datenleitungen und Energieleitungen notwendig. Durch eine einseitige, indirekte Schirmerdung, wie in Bild 15 dargestellt, können dabei niederfrequente Ausgleichsströme über den Schirm vermieden werden.



**Bild 15:** Beidseitiger Schirmanschluss – direkte und indirekte Schirmerdung

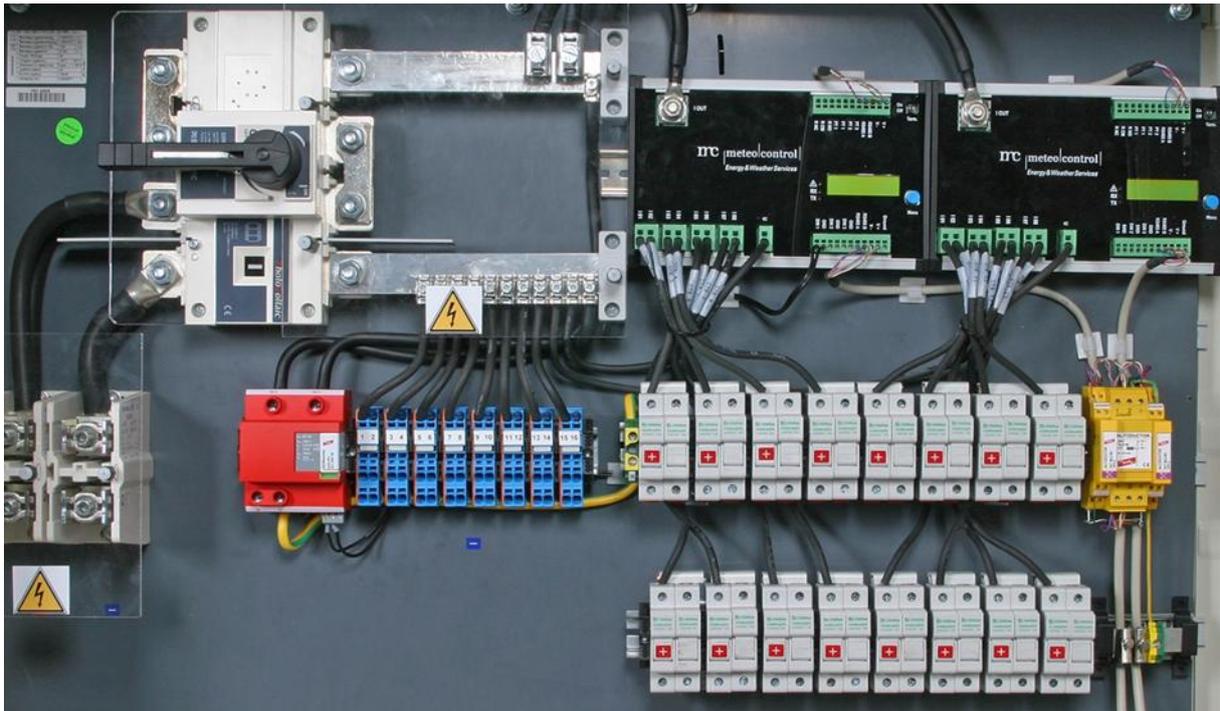
Um das notwendige Blitzableitvermögen für die Daten-SPDs abzuschätzen, wurden bei den Computersimulationen auch die möglichen Blitzteilströme abgeschätzt, die über die SPDs in den „Querverbindungen“ der Datenleitungen fließen können. Bild 16 zeigt, dass abhängig u.a. vom Erdausbreitungswiderstand (trockener Sand, Fels) unterschiedlich hohe Blitzteilströme zu erwarten sind. Charakteristisch ist, wie bei den Energieleitungen, wiederum eine Verkürzung der Wellenform der Blitzteilströme in den Daten-SPDs im Vergleich zur primären Blitzquelle mit einer angenommenen Wellenform 10/350 $\mu$ s. Notwendig für den Schutz der Datenleitungen bei einem direkten Blitzeinschlag wäre ein SPD für Datennetzwerke nach DIN EN 61643-21 mit einem Impuls D1 geprüften Blitzstrom. Die notwendige Umrechnung in einen äquivalenten 10/350 Impuls kann, wie ebenfalls bei den energietechnischen Leitungen erläutert, über die äquivalente Impulsladung erfolgen.



**Bild 16:** Abschätzung der Blitzteilströme über Datenleitung durch Computersimulation

Bild 17 zeigt die blitzstromtragfähige Schutzbeschaltung der DC-Leitung und der Kommunikationsleitungen in einem Monitoring-Generatoranschlussschrank. Es ist dabei zu beachten, dass entsprechend Beiblatt 5 nur SPDs eingesetzt werden dürfen, die den aktuellen SPD-Produktnormen entsprechen:

- Für Überspannung-Schutzeinrichtungen (SPDs), die auf der Wechselstromseite des PV-Stromversorgungssystems installiert sind, gilt DIN EN 61643-11 (VDE 0675-6-11).
- Für Überspannung-Schutzeinrichtungen (SPDs), die in den Signal- und Kommunikationskreisen installiert sind, gilt DIN EN 61643-21 (VDE 0845-3-1):2002-03.
- Für Überspannung-Schutzeinrichtungen (SPDs), die auf der Gleichstromseite des PV-Stromversorgungssystems installiert sind, gilt EN 50539-11.



**Bild 17:** Überspannungsschutz für Energie- und Datenleitung in Monitoring-GAK

## Zusammenfassung

Das im Februar 2014 veröffentlichte aktuelle Beiblatt 5 zur Blitzschutznorm EN 62305 Teil 3 beschreibt nun auch detaillierter die Blitz- und Überspannungsschutzmaßnahmen für PV-Freiflächenanlagen. Bei einer entsprechenden Ausführung, können auch metallene Modulgestelle als Teil des Erdungssystems verwendet werden. Neu aufgenommen, wurden konkrete Aussagen zum Blitzschutz der energietechnischen Leitungen durch entsprechend blitzstromtragfähige Typ 1 SPDs.