

Löscheinsatz – Einschätzung des Risikos durch PV

F. Reil, Köln

TÜV Rheinland betreibt seit knapp einem Jahr in Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer ISE, der Berufsfeuerwehr München, der Deutschen Gesellschaft für Sonnenenergie und weiteren Industrie- und Institutspartnern ein vom Bundesumweltministerium gefördertes Forschungsprojekt zum Brandschutz an Photovoltaik-Anlagen. In ihm sind im Zuge der häufig diskutierten Probleme beim Löschen von Gebäuden mit Photovoltaik-Anlage umfangreiche Untersuchungen durchgeführt worden, um die Leitfähigkeit von Strahlmitteln und Ableitströme von Strahlrohren sowie der Einsatzkleidung zu bestimmen.

1 Die allgemeine und die konkrete Gefahr

Im Zuge des aktuellen Forschungsprojektes „Bewertung des Brandrisikos in Photovoltaik-Anlagen und Erstellung von Sicherheitskonzepten zur Risikominimierung“ werden zum einen brandschutzrelevante Aspekte an PV-Anlagen mit Bezug zu Hot-Spots und Lichtbögen untersucht. Zum anderen befasst sich das Projektkonsortium, durch intensive Unterstützung der Berufsfeuerwehr München, mit der besonderen Einsatzsituation von Rettungskräften bei Einsätzen mit Bränden und dadurch potentiell beschädigten PV-Anlagen. Zur unterstützenden Einschätzung sind unterschiedliche Versuchsreihen entlang praxisnaher Einsatzsituationen durchgeführt worden. Die allgemeine Gefahr, die bei der Brandbekämpfung an elektrischen Anlagen besteht, resultiert aus dem Risiko von Spannungsüberschlägen über die Einsatzkleidung, elektrisch leitende Teile oder aber das Löschwasser gegenüber der Einsatzkraft/dem Menschen. Um für Einsatzkräfte die Gefahr des elektrischen Schlages sicher auszuschließen, regelt die DIN VDE 0132 – Brandbekämpfung und Hilfeleistung im Bereich elektrischer Anlagen – die einzuhaltenden Abstände zu elektrisch leitenden Teilen (Tafel 1).

Autor

Dipl.-Ing. Florian Reil arbeitet im Bereich Forschung und Entwicklung bei TÜV Rheinland, Köln. Besonderer Dank gilt Herrn Ferdi Gülcenc, der die Schwerpunkte dieser Aufgabenstellung in seiner Bachelorarbeit mit höchster Sensibilität behandelte, sowie Brandamtsrat Horst Thiem von der Berufsfeuerwehr München mit Jürgen Arens und Frank Peters der Berufsfeuerwehr aus Köln für die sachliche Beratung und Unterstützung an den Versuchsserien. Teile aus den hier vorgestellten Versuchen sind aus dem Sachbericht ME5.4.2 (Autoren Ferdi Gülcenc, Florian Reil, Horst Thiem) des Forschungsprojektes und aus der Bachelorarbeit von Ferdi Gülcenc entnommen. FKZ 0325259 A; www.pv-brandsicherheit.de

Wechselspannungsanlagen bieten durch den Hausbereich, die Industrie und Trafostationen ein wesentlich höheres Vorkommen als Gleichspannungsanlagen, wie es eben bei der Photovoltaik der Fall ist. In der Regel sind PV-Module für maximale Systemspannungen von DC 1000 V ausgelegt, übliche Strangspannungen erreichen jedoch in der Praxis eher selten die maximale Systemspannung. Theoretisch aber sind Strangspannungen von DC 1000 V möglich, sodass diese Spannung als Ausgangswert für alle Untersuchungen genutzt wurde. Die Gefährdung des menschlichen Körpers hängt nicht von der Spannung ab, sondern von der Stromstärke, der Einwirkdauer und dem Stromweg. Die Wirkung des Stroms ist auch abhängig von der Stromart, also Gleichstrom oder Wechselstrom, von der Frequenz

des Wechselstroms, von der Berührungsfläche und dem elektrischen Widerstand des Körpers. Hierzu klärt beispielsweise die DIN IEC/TS 60479-1 – Wirkung von Gleichströmen auf Personen – auf. Die dargestellten Kurven in Bild 1 gelten für den Stromweg von der linken Hand zu beiden Füßen. Voraussetzung ist ein normaler Gesundheitszustand der Person, unabhängig von Alter und Gewicht.

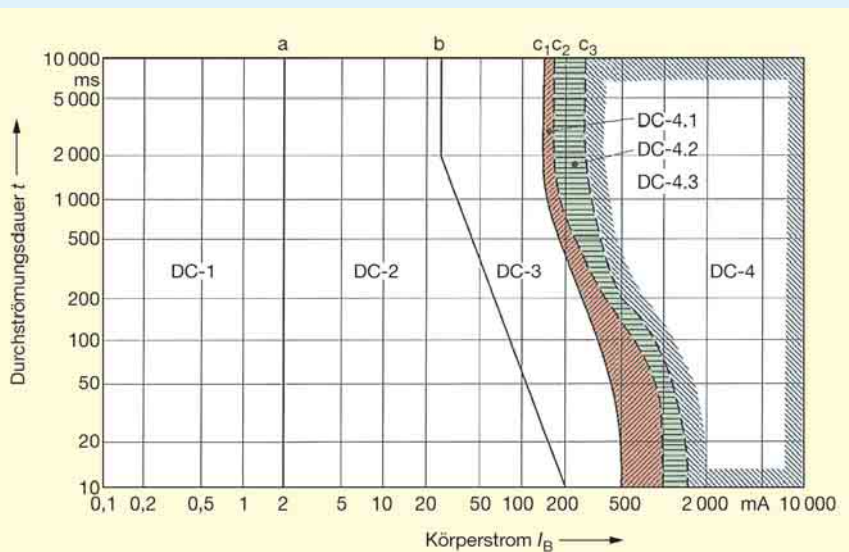
2 Versuchserie

Ausgehend von den Grenzbereichen in Bild 1 sind die in diesem Beitrag vorgestellten Versuchsergebnisse immer in Bezug zu DC1–DC4 gesetzt. 2 mA sind hier als Wahrnehmungsschwelle für den Gleichstrom angesetzt. Auf Basis der IEC 60479-1 werden 95 % der Bevölkerung mit einem Körperwiderstand von 1 kΩ deklariert, 5 % der Menschen mit 575 Ω. Für die Versuchsserien wurde in der Regel als Ersatz der Körperimpedanz ein Wert von 550 Ω gewählt. Des Weiteren wurde im Versuch davon ausgegangen, dass die Einsatzkraft z. B. bei dem Einsatz an Strahlrohren gegen Erde vollkommen unisoliert ist. Die Größe des Widerstandes stellt also einen „worst case“ dar.

2.1 Bestimmung der elektrischen Leitfähigkeit der Einsatzkleidung

Um darzustellen, wie sich die elektrische Leitfähigkeit einer realistischen Einsatzkleidung von Feuerwehr oder Hilfskräften unter Auf-

1 Konventionelle Zeit/Stromstärke-Bereiche mit Wirkung von Gleichströmen auf Personen bei Längsdurchströmung mit aufsteigendem Strom
Quelle: DIN IEC/TS 60479-1



Tafel 1 Mindestabstände beim Einsatz eines Mehrzweckstrahlrohrs

Strahlrohr DIN 14365-CM	≤ AC 1 kV oder ≤ DC 1,5 kV	> AC 1 kV oder > DC 1,5 kV
	Sprühstrahl	1 m
Vollstrahl	5 m	10 m

P | Cabling

re-embedded
Cat.6A

C6_A modul C6_A modul K

Das Anschlusssystem für
vielfältige Applikationen -
natürlich mit Cat.6_A

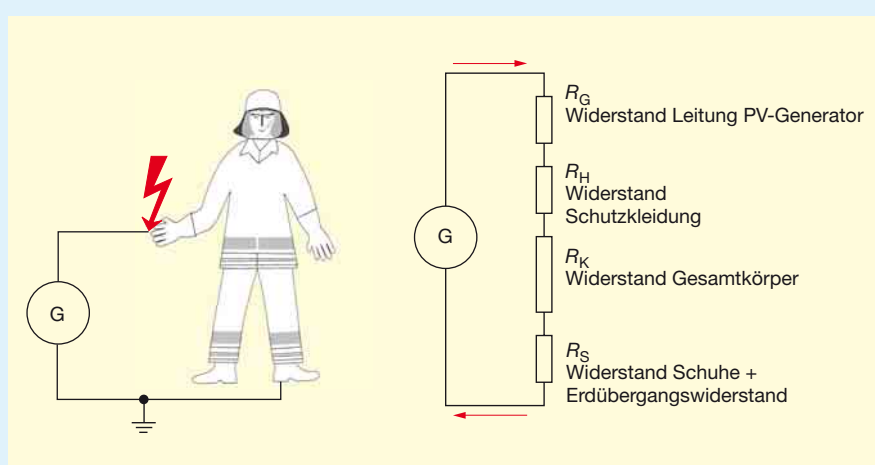


- ▶ Cat.6_A bis 500 MHz
Komponentenprüfung nach
ISO/IEC 11801 Ed.2.2:2011-06
- ▶ Kabelzuführung:
90°, 180° und 270°
für AWG 26/7-22/7
und AWG 24/1-22/1
- ▶ Einbauformen:
Modul und Keystone
- ▶ Vielfältiger Einsatz z.B.:
Tragschiene, Unterflur, Auf/
Unterputz, Brüstungskanal

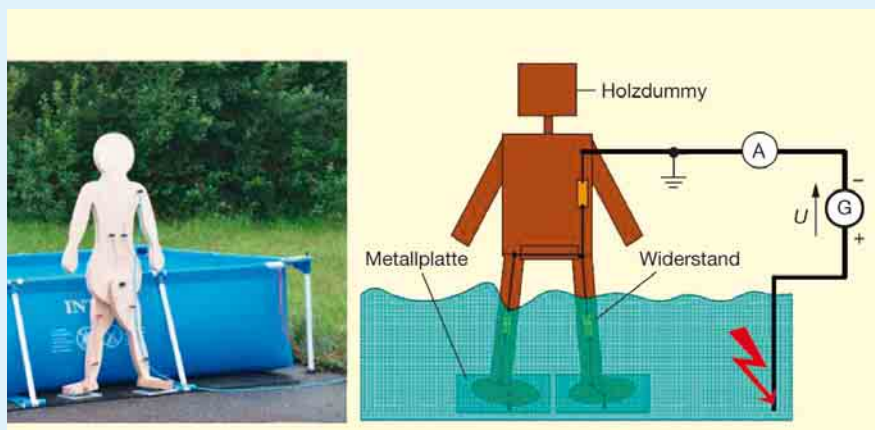


www.metz-connect.com

Members of METZ CONNECT



2 Dummy mit gebrauchter Einsatzkleidung zur Aufnahme der Messreihen



3 Strompfad über verschiedene Kontaktstellen über die Feuerwehreinsatzkleidung sowie einen Lastwiderstand als Körperimpedanz

Um eine möglichst leitfähige Verbindung unter den Handschuhen und in den Stiefeln zu gewährleisten, ist der Dummy mit einer leitfähigen Haut aus Aluminiumfolie überzogen.

Für die Stromwege Hand-Hand bzw. Hand-Fuß wählte das Projektteam einen Lastwiderstand von 555 Ω, für den Strompfad Hand-beide Füße 430 Ω. Für alle Prüfreihe lagen als Betriebsspannung DC 1000 V an.

prägung der DC 1000 V verhält, hat das Projektteam sowohl trockene als auch nasse gebrauchte Einsatzkleidung an einem Dummy (Bild 2) untersucht und Messreihen aufgenommen. Ausgehend vom DC-Generator wurde ein Strompfad über verschiedene Kontaktstellen (Hand links, Hand rechts und Kontaktplatte aus Metall unter den Füßen bzw. Schuhen) über die Feuerwehreinsatzkleidung sowie einem Lastwiderstand als Körperimpedanz entsprechend nach Bild 3 realisiert. Im Ergebnis konnten beim Einsatz der Handschuhe und Stiefel im trockenen Zustand sehr gute Schutzeigenschaften der Kleidung nachgewiesen werden.

Bei Anwendung der nassen Kleidung kam es unter Einsatz der Handschuhe und Stiefel beim Strompfad Hand zu Fuß zu einem geringen Stromfluss von 3,66 mA.

Ein überkritischer Strom von 1,5 A, der in der Realität tödlich wäre, ist beim Strompfad Hand zu Hand bei jeweils nassen Handschuhen gemessen worden.

Die Einsatzstiefel beeinflussen damit in besonderem Maße die Wirkung der Schutzkleidung.

2.2 Stromleitung im Wasser – Nachbildung überfluteter Bereiche

Um ferner die Situation eines überfluteten Kellerbereiches nachzustellen ist ein 3 m x 2 m großes Becken mit Leitungswasser (Leitfähigkeit hier 630 μS/cm, bei 20 °C) gefüllt worden. Der schematische Versuchsaufbau nach Bild 3 zeigt, dass eine Elektrode im Becken über das Wasser zu einem Holzdummy mit gleich charakteristischen Widerständen, z. B. Beine je 220 Ω, Arm 200 Ω, eine Stromleitung zum außerhalb des Beckens liegenden Minuspols gewährleisten soll. Dieser Versuchsaufbau soll den Fall simulieren, dass eine Einsatzkraft in einem Abstand zu einer unisolierten spannungsführenden Leitung, kniehoch im Wasser (60 cm) steht und zugleich ein außerhalb des Wassers geerdetes Teil

berührt. Auch hier wird von einem „worst case“ ausgegangen, da ein potentieller Ableitstrom über eine Erdung im Wasser nicht berücksichtigt und das Wasserbecken im Versuch außerdem über eine Gummimatte isoliert wurde.

Die Messungen ergaben, dass der Körperstrom bei Spannungen von bis zu DC 900 V und drei unterschiedlichen Abständen (0,5 m, 1 m und 2 m) bis zu 1,8 A beträgt und somit gefährliche Ströme fließen können. Der Versuch zeigt weiter, dass Wasser über die Ionenwanderung bei PV-relevanten Spannungen auch ohne die Leitfähigkeit erhöhende Zusätze einen hohen Stromfluss ermöglicht.

Von defekten oder beschädigten DC-Leitungen in überfluteten Bereichen geht potentiell Gefahr aus, was u. a. durch die Schrittspannung oder die Berührung des Gegenpols beeinflusst wird. Die BGI/GUV-I 8677 (Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung) gibt als Handlungsanweisung für Einsatzkräfte an, überflutete Kellerbereiche, bei denen die Hausinstallation noch unter Spannung steht, nicht zu betreten.

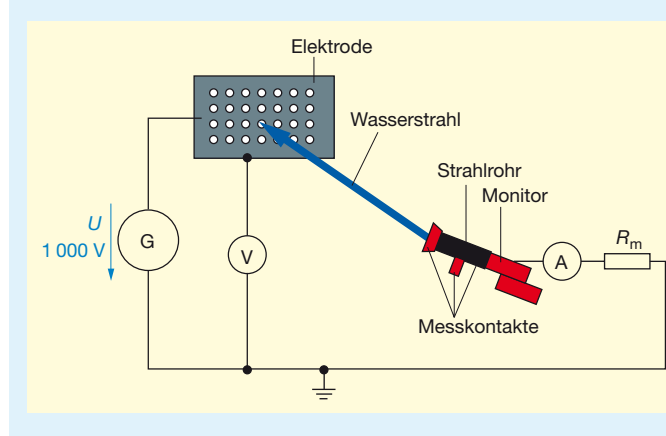
2.3 Einschätzung von Strahlrohren und Sicherheitsabständen

Um die charakteristischen Eigenschaften von Strahlrohren einzuschätzen, wurden zwei verschiedene Strahlrohrarten, welche in Deutschland eingesetzt werden, in simulierten Lösch-einsätzen untersucht: ein C-Mehrzweckstrahlrohr nach DIN EN 15182-3 (vorher DIN 14365) und ein C-Hohlstrahlrohr nach DIN EN 15182-2. Beide Rohre haben unterschiedliche Wasserwurfeigenschaften, ferner unterscheiden sich diese in Form- und Materialeigenschaften. Beide Rohre sind in der Lage einen sogenannten Sprüh- und Vollstrahl zu übertragen – dabei werden bei je 5 bar Fließdruck Wasserdurchflussmengen von 120 l/min beim C-Mehrzweckstrahlrohr, beim C-Hohlstrahlrohr 55 bis 215 l/min in Abhängigkeit der Wurf- und Sprühwinkeleigenschaften erreicht. Bei der sogenannten Flash-Over-Stellung des Hohlstrahlrohrs wird ein Sprühwinkel von 120° erzeugt. Diese Wasserwurfeigenschaften sollen bei Gefahr einer Rauchgasdurchzündung genutzt werden.

Trotz der definierten Sicherheitsabständen nach DIN VDE 0132 (Tafel 1) ist es wichtig zu wissen, welche Ableitströme tatsächlich über das Wurfwasser und die Strahlrohre unter Anwendung von regulärem Brauchwasser beim Löschen von unisolierten Anlagenteilen fließen.

Mit einem Versuchsaufbau, wie er in (Bild 4) schematisch dargestellt ist, soll der Löschrhahl des Wassers eine leitfähige Brücke zwischen der Elektrode und den an den Strahlrohren angebrachten Messkontakten herstellen. Die „worst case“-Betrachtung definiert sich hier über fehlende Handschuhe und Stiefel, welche im Einsatz mit Sicherheit nicht fehlen würden. Für den Versuch wurden:

- an die Elektrode eine Spannung von DC 1000 V angelegt,



4 Charakteristische Eigenschaften von Strahlrohren

Trotz der definierten Sicherheitsabstände nach DIN VDE 0132 ist es wichtig zu wissen, welche Ableitströme tatsächlich beim Löschen von unisolierten Anlagenteilen über das Wurfwasser und die Strahlrohre fließen

- die Strahlrohrabstände und -schaltstellungen für jeweils Voll- bzw. Sprühstrahl variiert und
- entgegen der Norm für die 1 m-Abstände auch jeweils ein Vollstrahl angewendet. In der Praxis ist ein Vollstrahl bei einem Abstand von 1 m jedoch zu vermeiden.

lität aufgrund potentiell rückfließenden Wassers zu berücksichtigen.

In einer weiteren Testserie sollen die Versuche erneut auch bei 1,5 kV durchgeführt werden, da diese mittelfristig infolge der Anbindung von PV-Anlagen an das Mittelspannungsnetz an Relevanz gewinnen können.

2.3.1 Mehrzweckstrahlrohr

Beim Mehrzweckstrahlrohr sind bei einem Abstand unter einem 1 m beim Vollstrahl Ströme von 8–12 mA und in Sprühstrahlstellung 7–9 mA gemessen worden. Beide Ströme liegen in spürbaren Bereichen, die Muskelkontraktionen verursachen könnten. Bei erweiterter Distanz von 5 m zur Metallelektrode flossen Ströme zwischen 13–17 mA beim Vollstrahl und beim Sprühstrahl 20–24 mA. Der gemessene Strom war damit entgegen der Erwartung größer als beim Abstand von 1 m zwischen Elektrode und Strahlrohr. Eine Begründung hierzu könnten gegebenenfalls hochauflösende Zeitlupen-Aufnahmen der Tropfen im Wasserstrahl zeigen.

2.3.2 Hohlstrahlrohr

Unter einem Abstand von 1 m sind bei Anwendung des Hohlstrahlrohres 15–18 mA am Vollstrahl und unter einem Sprühstrahlwinkel von 45° 17–21 mA gemessen worden. Unter der sogenannten Flash-Over-Schaltstellung konnten Ströme von 34–38 mA nachgewiesen werden, in denen laut Literatur starke Muskelkontraktionen zu erwarten wären. Unter einem Abstand von 5 m zeigten sich nur geringe Änderungen. Beim Vollstrahl verringerte sich der Strom sogar um 2 mA. Für die Schaltstellungen der Sprühstrahlen konnten bei einem Abstand von 5 m keine Ströme gemessen werden, da das Wasser die Elektrode nicht erreichte. Trotzdem ist dieser Fall für die Rea-

3 Zusammenfassung

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass trockene Feuerwehr-Schutzkleidung ein guter Isolator ist, jedoch nasse Feuerwehr-Schutzkleidung keinen Schutz bietet. Der ungünstigste Fall ist hier eine Durchströmung von Hand zu Hand mit nassen Handschuhen.

Die Untersuchungen haben zudem gezeigt, dass für Einsatzkräfte der Feuerwehr beim Löschen im Bereich von Photovoltaik-Anlagen mit Spannungen bis DC 1000 V dann keine Gefahr durch Ableitströme über das Löschwasser besteht, wenn geprüfte Strahlrohre eingesetzt, die Sicherheitsabstände gemäß DIN VDE 0132 eingehalten und gleichzeitig Schutzstiefel getragen werden.

Die Wasserwurfeigenschaften der Strahlrohre beeinflussen maßgeblich den elektrischen Widerstand, sodass sich aus den unterschiedlichen Sprühbildern potentiell unterschiedliche Leiteigenschaften ableiten lassen. Einzelnachweise an Strahlrohren in hier vorgestellter Weise sind daher sicher sinnvoll, wobei jedoch die DIN EN 15182 – Strahlrohre für die Brandbekämpfung – keine entsprechende elektrische Prüfung der Strahlrohre vorsieht.

Die Versuche mit dem Wasserbecken haben gezeigt, dass Wasser ohne die Leitfähigkeit steigernde Zusätze hohe Ströme zulässt. Diese Ströme bei einem Strahlrohr aber durch den Abstand der einzelnen Wassertropfen nicht auftreten, sofern das Wasser die Möglichkeit hat, innerhalb der Sicherheitsabstände zu zerstäuben.

Von defekten oder beschädigten DC-Leitungen in überfluteten Bereichen geht potentiell Gefahr aus, weshalb überflutete Bereiche nach BGI/GUV-I 8677 nicht betreten werden dürfen.

**Online-Normendienst
für ep^{PLUS}-Abonnenten**
**Bestellen Sie auf
Seite 511**
