

Merkblatt für Planer und Installateure

Lichtbogenrisiken an PV-Anlagen reduzieren

1. EINLEITUNG

Bei Elektroinstallationen, und somit auch bei PV-Anlagen, steht Sicherheit an oberster Stelle. PV-Anlagen nach den allgemein anerkannten technischen Regeln geplant, installiert und betrieben, sind eine sichere Sache. Selbst unter widrigsten Witterungsbedingungen arbeiten Photovoltaikanlagen äußerst sicher und zuverlässig. Es kann jedoch Einsatzszenarien geben, die eine zusätzliche Sicherheitseinrichtung empfehlenswert machen. Beispielsweise bei Anlagen, die nicht regelmäßig überwacht werden und bei denen die Module auf einer brennbaren Dachhaut oder Dämmung installiert werden.

2. ENTSTEHUNG VON LICHTBÖGEN

Lichtbögen entstehen nur, wenn schwerwiegende Mängel an sicherheitsrelevanten Teilen des PV-Systems auftreten sollten und unerkannt bleiben. Eine Beschädigung der doppelten Isolierung an mehreren Stellen oder erhöhte Übergangswiderstände an einer beschädigten Steckverbindung können eine Ursache sein.

Prinzipiell unterscheidet man zwischen parallelen und seriellen Lichtbögen. Serielle Lichtbögen sind nicht so einfach zu identifizieren. Jedoch kann deren Entstehung bei Beachtung der nachstehenden Hinweise idealerweise verhindert oder deren Schäden zumindest minimiert werden. Im Falle der sogenannten Parallellichtbögen bietet bereits die Isolationsüberwachung durch den Wechselrichter einen wesentlichen Schutz, weil durch Behebung des ersten Isolationsfehlers in den meisten Fällen der Entstehung eines Parallellichtbogens zuvor gekommen werden kann. Das bedeutet jedoch, dass auch der Betreiber der PV-Anlage dafür sensibilisiert sein muss, Fehlermeldungen des Wechselrichters nachzugehen und den Fachbetrieb zu informieren.

3. GRUNDSÄTZE DER LEITUNGSVERLEGUNG

Maßnahmen gegen das Entstehen von Lichtbögen sowie gegen die Ausbreitung von Schäden, sind in der Planungs- und Installationsphase einfach zu realisieren. Die nachstehenden Empfehlungen basieren auf beobachtbaren Hauptquellen von Lichtbogenverursachern in PV-Anlagen. Durch die Berücksichtigung dieser Empfehlungen wird das Risiko einer Lichtbogenentstehung weitestgehend ausgeschlossen und deren Auswirkungen räumlich begrenzt.

a. Leitungskanäle verwenden

Leitungskanäle bieten einen sicheren Schutz gegen mechanische Belastungen der Leitungen. Dabei muss berücksichtigt werden, dass keine scharfen Kanten an den Enden von Kabelkanälen oder Kabelgittern sowie bei Umlenkungen und Abzweigungen vorhanden sind. Diese können zu Beschädigung der Isolation an Leitungen führen. Metallische Kabelkanäle können zusätzlich dazu beitragen, die Auswirkungen von Lichtbögen zu minimieren, da diese keine zusätzlichen Brandlasten darstellen.

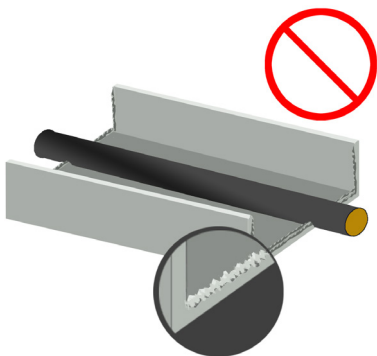


Abb.1: Leitungskanal mit Grat
Achtung - Isolationsschäden

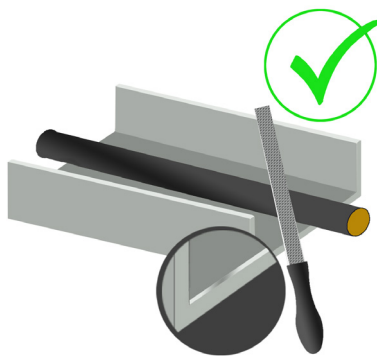


Abb.2: Zugeschnittenen Leitungskanäle entgraten, damit die Isolation der Leitung langfristig intakt bleibt

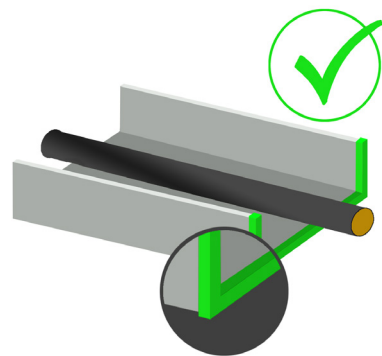


Abb.3: Kantenschutz verwenden oder zusätzlich geschützte Verlegung in Kunststoffrohren im Bereich der Kanten und Umlenkungen

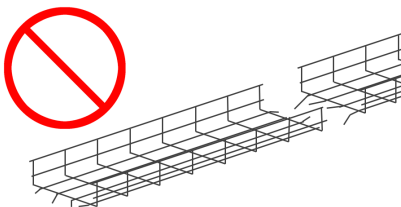


Abb.4: Kabelgitter mit freien Stabenden und scharfen Kanten
Achtung - Isolationsschäden

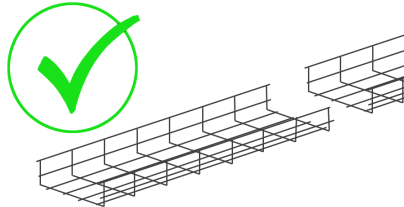


Abb.5: Stabenden entfernen und entgraten oder Kantenschutz verwenden

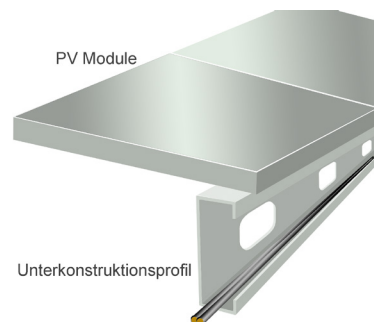


Abb.6: Eine in die Aufständering integrierte Kabelführung wird empfohlen



Bei der Verlegung ist darauf zu achten, dass dauerhaftes Eintauchen der Leitungen in Wasser vermieden werden muss. Andernfalls kann die Isolation Schaden nehmen. In Leitungsführungen ist der Ablauf zu gewährleisten.

Flexible Leitungen müssen bei fester Verlegung mechanisch und vor Umwelteinflüssen geschützt verlegt werden (VDE 0298-565-1 bzw. DIN EN 50565-1). Diese Anforderungen gelten nach Vorgabe der DIN EN 50618 auch bei PV-Leitungen.

b. Biegeradien beachten

Von den Herstellern vorgegebene Biegeradien müssen eingehalten werden. Andernfalls kann die Isolation zu stark belastet werden oder es kommt, insbesondere bei niedrigen Temperaturen, zum Bruch der Isolierung. Nachstehende Tabelle gibt einen Überblick über zulässige Biegeradien nach VDE 0100-520 bzw. VDE 0298-565.

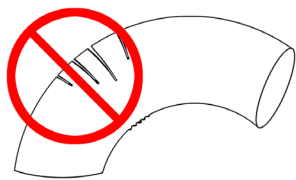


Abb.7: Bruch der Isolation vermeiden

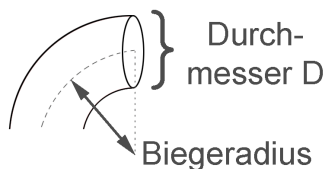


Abb.8: Biegeradius und Leitungsdurchmesser beachten

Außendurchmesser der Leitung	zulässige Biegeradien bei ...	
	starrten Leitungen	flexiblen Leitungen
D in mm		
< 8	4 x D	3 x D
8 < D < 12	5 x D	3 x D
D > 12	6 x D	4 x D

Tabelle 1*: Zulässige Biegeradien entsprechend VDE 0100-520

Bei der Montage der Leitungen an Anschlussdosen, Generatorkanschlusskasten (GAK), Steckern und Verteilern, ist ebenfalls auf ausreichende Biegeradien zu achten. Insbesondere bei quer montierten Modulen, sind ausreichende Leitungslängen im Vorfeld zu berücksichtigen. Die zulässigen Biegeradien müssen eingehalten werden können.

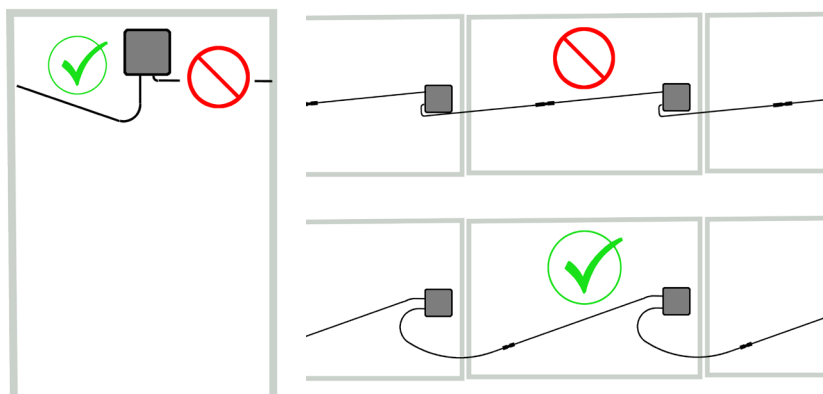


Abb.9: Modulanschlussdose

Abb.10: bei quer montierten Modulen auf geeignete Leitungslängen achten um Biegeradien einhalten zu können und keine zusätzlichen Zugbelastungen an der Modulanschlussdose zu erhalten.

Auch bei Umlenkungen von Leitungsbündeln sollten unterschiedlich notwendige Leitungslängen bereits im Vorfeld berücksichtigt werden.

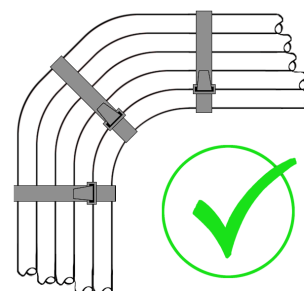


Abb.11: Umlenkung

Können Biegeradien durch zu kurz gelieferte Anschlusskabel nicht eingehalten werden, gilt dies als gravierender Mangel mit entsprechenden Haftungsfragen.

c. Leitungen befestigen

Die Befestigung von Leitungen dient in erster Linie zur Aufnahme der Lasten. Dadurch werden Leitungen und integrierte Zugentlastungen (z.B. von Steckverbindern) vor mechanischen Überbeanspruchungen geschützt. Zusätzlich soll die Befestigung das Scheuern der Leitungen bzw. den Abrieb der Isolierung verhindern. Auch darf die Isolierung der Leitungen nicht durch Befestigungsvorrichtungen beschädigt werden. Diese Anforderungen können in der Regel nur geeignete Vorrichtungen/Halterungen erfüllen. Kabelbinder eignen sich daher nur zum Fixieren von Leitungen, nicht für die Lastabführung. Es dürfen nur Kabelbinder eingesetzt werden, die für die Verwendung im Freien (insbesondere UV-Beständigkeit) freigegeben sind.

Die Befestigungsabstände sind nach Herstellerangaben oder Vereinbarungen mit den Herstellern einzuhalten. Liegen diese nicht vor, sind PV-Leitungen nach VDE 0100-520 zu befestigen.

Außendurchmesser der Leitung	Befestigungsabstand in mm	
	waagrecht	senkrecht
D in mm		
< 9	250	400
9 < D < 15	300	400
15 < D < 20	350	450
20 < D < 40	400	500

Bei einer freien Verlegung der Leitungen werden nach VDE 0100-520 nebenstehende Abstände zu Befestigung empfohlen.

Tabelle 2*: Maximalabstände entsprechend VDE 0100-520, sofern von den Herstellern keine anderen/größeren Abstände angegeben werden

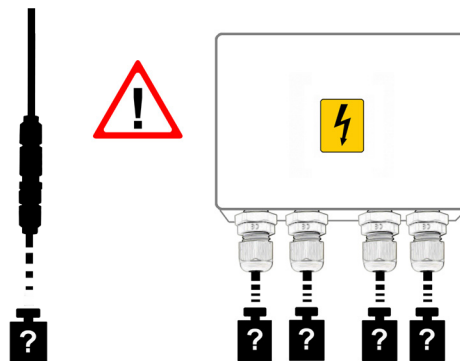
Prinzipiell gilt: Leitungen müssen ausreichend zugentlastet werden und sie dürfen nie unter mechanischer Spannung verlegt werden. Berührungen mit scharfen Kanten oder Scheuern auf rauem Grund, sind zu verhindern. Leitungen sind in Abständen zu befestigen, die den Herstellerangaben oder der VDE 0100-520, VDE 0276-603, VDE 0298-565-1 festgehalten sind.

Hinweis: Sowohl die VDE 0100-520 (bzw. VDE 0298-565-1) als auch die VDE 0276-603 gelten nicht explizit für PV-Leitungen. Daher können, bei der Verwendung von einadrigen Starkstrom-Energieverteilungskabeln (NYY oder NYCWY), die Befestigungsabstände entsprechend VDE 0276-603 waagrecht 800 mm bzw. senkrecht 1.500mm betragen.

d. Zugentlastungen gewährleisten

Zugentlastungen schützen Leitungsanschlüsse vor mechanischer Überbelastung. In den einzelnen Betriebsmitteln (Stecker, GAK, Modulanschlussdose etc.) sind diese bereits häufig integriert. Allerdings können diese nur begrenzt Kräfte aufnehmen. Zum Beispiel bei PV-Steckern für Kabeldurchmesser von 4-9 mm kann die integrierte Zugentlastung per Norm mindestens 80 N aufnehmen (IEC/EN 62852). Darüber hinaus auftretende Lasten müssen durch die Verlegeart aufgenommen werden.

Abb.12: DC-Steckverbinder und GAK mit PG-Verschraubungen - integrierte Zugentlastungen nehmen Kräfte nur begrenzt auf.



e. Geeignete Ausführung und Positionierung der Steckverbindungen

Bei der Anordnung der Steckverbinder, ist auf die korrekte Ausführung zu achten (siehe auch Kap. 4 - Empfehlungen für geeignete Bauteile). Die Stecker müssen entsprechend den Herstellervorgaben gesteckt und dürfen nicht unter mechanischer Spannung montiert werden (Zugentlastung beachten; siehe Abb. 12).



PV-Stecker sind in der Regel gegen Eindringen von Wasser geschützt. Dauerhafte Überflutung muss vermieden werden. Anhaltende Wassereinwirkung kann die Funktion der Steckverbinder beeinträchtigen.



Dauerhafte direkte Sonneneinstrahlung ist zu vermeiden.

Bereits bei der Planung sollte, dort wo es möglich ist, auf die Zugänglichkeit der Steckverbinder geachtet werden: mögliche Verschmutzungen und Moosbildung an den Steckverbindern müssen im Vorfeld vermieden bzw. regelmäßig entfernt werden. Die Stecker sind nach den Vorgaben der Hersteller zu installieren.

Abb. 13: DC-Steckverbindung

f. Ausbreitungsmöglichkeiten einschränken

Lichtbögen können brennbare Dachbahnen und darunterliegende Dämmung bei direktem Kontakt in Brand setzen. Im Planungsstadium ist daher zu prüfen, ob nichtbrennbare Dachbahnen und Dämmungen eingesetzt werden können. Wenn dies nicht möglich ist, muss der Einfluss eines möglichen Lichtbogens, z.B. durch dauerhaft ausreichenden Abstand zwischen Leitung und Dachhaut (Kabelkanäle oder ausreichend dicke mineralische Unterlage wie z.B. Kiesschüttung), verhindert werden.

Bei der Auswahl der Installationsmaterialien ist zu berücksichtigen, dass Kunststoffe gegenüber metallischen Werkstoffen ein höheres Potential zur Entzündung und Brandweiterleitung besitzen.

g. Dacheinführung schützen

Kabeleinführungen in das Gebäude sind fachgerecht auszuführen. Kabel dürfen nicht über scharfe Kanten geführt werden und die Dachdichtigkeit muss erhalten bleiben. Einzuhalten sind dabei die Flachdachrichtlinie des Dachdeckerhandwerks (DDH) und die DIN 18531-1. Bezüglich der Schwerkraftentlastung sind die Vorgaben des Kabelherstellers maßgeblich. Maximalabstände der senkrechten Leitungsbefestigungen werden in der VDE 0100-520 empfohlen (siehe auch Tabelle 2); ggf. können Abstände von 1,50 m nach VDE 0276-603 angesetzt werden. Kabelbinder sind zur Schwerkraftentlastung nicht zulässig.

Prinzipiell gilt, dass die Fläche aller Leiterschleifen so gering wie möglich gehalten werden müssen, um induzierte Spannungen durch Blitzeinschlag zu verringern. Direkt vor der Dacheinführung jedoch wird empfohlen, DC-Plus- und DC-Minus-Leiter in einem Abstand von 5 bis 10 Zentimetern getrennt in das Gebäude zu führen.

Die Weiterführung eines möglichen Parallel-Lichtbogens durch die Dacheinführung lässt sich durch räumlich getrennte Verlegung von DC-Plus- und DC-Minus-Leiter direkt vor der Dacheinführung verhindern. Eine Brandschottung bei der Kabeleinführung ins Gebäude wird generell empfohlen. Eine Brandweiterleitung über den so genannten Zündschnureffekt wird so verhindert.

h. Schalt- und Verteilerschränke sicher aufbauen

Generatoranschlusskästen (GAK) müssen den Anforderungen der IEC 61439-2 (und der dazugehörigen Anhänge) entsprechen.

Auf fachgerechte Verbindung von Leitungen sowie Trennung der Plus- und Minus-Seite in den Generatoranschlusskästen und anderen Anschlusskästen, ist zu achten. Erhöhte Übergangswiderstände durch unsachgerechte Verbindung können zu Überhitzungen der Klemmstelle bis hin zur Brandgefahr durch serielle Lichtbögen führen. Zugfederklemmen ermöglichen eine dauerhaft sichere Verbindung im Vergleich zu Schraubklemmen. Da diese häufig ohne Aderendhülse verwendet werden, muss darauf geachtet werden, dass beim Einführen von Litzen in die Zugfederklemme keine Einzeladern abspießen (Herstellerrangaben beachten).

Auch bei Schaltern sind die Vorgaben der Hersteller zu beachten. Einige Hersteller empfehlen, ihre DC-Schalter jährlich zu betätigen. Dadurch werden eventuell auftretende Oxidbeläge abgerieben und der Übergangswiderstand verringert sich deutlich.

4. EMPFEHLUNGEN FÜR GEEIGNETE BAUTEILE

a. Leitungen

Stand der Technik ist die Verwendung von einadrigen PV-Leitungen mit der Kennzeichnung PV1-F (VDE-AR 2283-4, gültig bis 27.10.2017) bzw. danach H1Z2Z2-K (EN 50618). Diese besitzen eine Isolation, die die Anwendung in Schutzklasse-II-Geräten und -systemen erlaubt. Zudem weisen sie eine hohe Beständigkeit gegenüber Umwelteinflüssen wie UV-Strahlung sowie eine hohe mechanische Belastbarkeit auf. Sollten als Strang- oder DC-Hauptleitungen andere Leitungen verwendet werden, müssen diese erd- und kurzschlussicher ausgeführt werden. Diese sind vor Witterung und UV-Strahlung geschützt zu verlegen, z.B. in geschlossenen Kabelkanälen.

b. Steckverbindungen

Nur Steckverbinder nach DIN EN 62852 verwenden. Die Gegenstücke (male/female) müssen vom gleichen Typ und Hersteller sein.

c. Kabelkanäle und Installationsrohre (Kabelführungssysteme)

Kabelkanäle und Installationsrohre müssen vom Hersteller für die Außenanwendung freigegeben sein. Für Kabelkanäle sollte der Hersteller einen entsprechenden Kantenschutz anbieten. Bevorzugt sind metallene Kabelkanäle und Installationsrohre zu verwenden. Diese sind korrosionsbeständig auszuführen. Wenn Kanäle aus Kunststoff verwendet werden, müssen diese Witterungs- und insbesondere UV- und Ozonbeständig sein.

d. Durchführungen

Für die Kabeleinführung sind Leitungs-Dachdurchführungen (z.B. nach DIN 18195 Teil 9) zu verwenden.

e. Befestigungen

Kabelverbinder sind als Leitungsbefestigung nicht geeignet. Sie dürfen nur zur Fixierung von Leitungen verwendet werden. Für die Befestigung sollten geeignete Kabelschellen, Klipps etc. verwendet werden.

f. Lichtbogendetektoren

Können brennbare Dachuntergründe nicht durch andere Maßnahmen geschützt werden, kann der Einsatz von Lichtbogendetektionssystemen sinnvoll sein. Lichtbogendetektionssysteme für PV-Anlagen können Serienlichtbögen durch Abschaltung einzelner Stränge oder Module unterbrechen. Da Fehldetektionen durch Störeinkopplungen jedoch nicht ausgeschlossen werden können, ist bei diesen Systemen ein besonderes Augenmerk auf deren Betrieb zu richten. Für den US-amerikanischen Markt existiert bereits ein Standard (UL 1699B) für Lichtbogendetektoren. Ein deutscher oder internationaler Standard ist momentan nicht verfügbar, befindet sich allerdings in Arbeit (IEC 63027).

g. Allgemeiner Hinweis

Bei landwirtschaftlichen Anlagen ist ggf. zusätzlich auf Ammoniakbeständigkeit zu achten.

5. ORGANISATORISCHE EMPFEHLUNGEN

Zur dauerhaften Sicherstellung von Ertrag und Betriebssicherheit der PV-Anlage, sollte diese in regelmäßigen Abständen einer Kontrolle und Wartung unterzogen werden. Nachstehende Übersicht gibt entsprechende Empfehlungen von Wartungsinhalten und -intervallen.

Wann	Wo	Was	Wer	Anmerkung
Täglich	Wechselrichter	Kontrolle der Betriebsanzeige, um Ertragsverluste bei Fehlerabschaltungen zu vermeiden	Betreiber	Alternativ: Betriebsüberwachung mit aktiver Fehlermeldung an den Betreiber
	Betriebsdatenüberwachung (System)	Kontrolle des Betriebszustandes per Fernüberwachung (Für den Brandschutz ist insbesondere auf Isolationsfehler zu achten.)	Betreiber/ Fachkraft	
		Fehlermeldungen analysieren und geeignete Maßnahmen ergreifen	Fachkraft	
Monatlich	Zähler	Ertragskontrolle: regelmäßig die Zählerstände protokollieren und analysieren! (entfällt bei automatischer Betriebsdatenerfassung und -auswertung).	Betreiber/ Fachkraft	
	Generatorfläche	Sichtprüfung, ob gravierende, offensichtliche Mängel vorhanden sind, wie z.B. herunterhängende Module, Modulklammern, Montagegestellteile oder Solarleitungen	Betreiber	Nur über zugelassene Verkehrswege nach BG Bau!
regelmäßig, spätestens nach vier Jahren	Gesamtanlage	Wiederholung der Messungen und Prüfungen entsprechend der Inbetriebnahme nach VDE 0100-600 bzw. VDE 0126-23	Fachkraft	
situativ – nach automatischer WR-Abschaltung	Gesamtanlage	Fehlersuche	Fachkraft	

Tabelle 3: Wartungsinhalte und -intervalle

* Hinweis zu den Tabellen 1 und 2: „Auszug aus DIN VDE 0100-520 (VDE 0100-520), für die angemeldete limitierte Auflage wiedergegeben mit Genehmigung 212.016 des DIN Deutsches Institut für Normung e.V. und des VDE Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e.V. Für weitere Wiedergaben oder Auflagen ist eine gesonderte Genehmigung erforderlich. Maßgebend für das Anwenden der Normen sind deren Fassungen mit dem neuesten Ausgabedatum, die bei der VDE VERLAG GMBH, Bismarckstr. 33, 10625 Berlin, www.vde-verlag.de, und der Beuth Verlag GmbH, 10772 Berlin erhältlich sind.“

HAFTUNGSAUSSCHLUSS

Erstellt wurde das Merkblatt durch ein Expertengremium des BSW-Solar auf Basis vorangegangener Untersuchungen von Brandschäden an PV Anlagen aus dem Projekt www.pv-brandsicherheit.de des TÜV Rheinland, Fraunhofer ISE und DGS Berlin Brandenburg e.V. im September 2015. Die Empfehlungen wurden mit größter Sorgfalt erstellt. Eine Haftung für die inhaltliche Richtigkeit und Eignung der Hinweise im Einzelfall besteht gleichwohl nicht. Eine eigene sorgfältige Prüfung der im Falle eines konkreten Einsatzes zu beachtenden Umstände und Regelungen bleibt daher unverzichtbar.

Die Vervielfältigung des Merkblattes für nichtkommerzielle Zwecke ist gestattet. Die Verfasser und Herausgeber übernehmen keine Haftung für Fehler in Zusammenhang mit der Vervielfältigung oder bei der Reproduktion.

Erstellt von:

Bundesverband Solarwirtschaft e.V. - BSW-Solar

Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie e.V. - DGS

Fraunhofer-Institut für Solare Energie Systeme ISE

Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V. - GDV

TÜV Rheinland - www.tuv.com

Zentralverband der Deutschen Elektro- und Informationstechnischen Handwerke - ZVEH

1. Auflage, Juli 2017

Herausgeber: Bundesverband Solarwirtschaft e.V.