

- Montage- und Bedienungsanleitungen (Wechselrichter, Montagekonstruktion, Überspannungs-Schutzgeräte, ...)
- Angaben zum Blitz- und Überspannungsschutz (Blitzschutzklasse, Trennungsabstände, Blitzschutzkonzept, innerer Blitzschutz, ...)
- Angaben zum Brandschutz des Gebäudes (Brandabschnitte, Aufschaltung auf Meldeanlagen, z. B. Brandmeldeanlage, Leitungsverlegung innerhalb des Gebäudes, etwa in notwendigen Fluren)
- Brandschutzkonzept und Auflagen, sofern erforderlich und vorhanden
- Angaben über die Vereinbarung der VDE-AR-E 2100-712 oder Teilen davon (z. B. Angaben zu Abschaltvorrichtungen des PV-Generators)
- Obliegenheiten aus dem Versicherungsvertrag (Anwendung von bestimmten VdS-Richtlinien, z. B. VdS 3145, Prüfung nach VdS SK 3602, ...)
- Protokolle zur Netzanmeldung bzw. der Zustimmung des Netzbetreibers nach VDE-AR-N 4100 und VDE-AR-N 4105 (Hinweis: Bei Anlagen > 135 kWp ist ein Betriebserlaubnisverfahren und eine Anlagenzertifizierung erforderlich.)
- Inbetriebnahmeprotokolle nach VDE-AR-N 4100 und VDE AR-N 4105 durch den Netzbetreiber
- Nachweise der Erzeugungseinheiten (PV-Wechselrichter) nach DIN VDE V 0124-100
- Nachweise über den Netz- und Anlagenschutz (NA-Schutz) gemäß VDE AR-N 4105 Anhänge E.6, E.7 und Nachweis über die Erprobung

2.6 Besichtigen der Gleichspannungsseite

Das Besichtigen der Gleichstromseite umfasst die Auswahl und Anordnung der PV-Module über die Kabel- und Leitungsanlage der DC-Seite bis hin zu den Anschlussstellen des Wechselrichters. Im Vergleich zu elektrischen Anlagen für allgemeine Zwecke sind im Rahmen der Besichtigung folgende Besonderheiten zu beachten:

- Auswahl der PV-Module nach Anwendungsklassen
- Auswahl entsprechend den Betriebsbedingungen
- Eignung und Einbau der Sperrdioden
- Auswahl der Betriebsmittel hinsichtlich der äußeren Einwirkungen
- Schutzart der Betriebsmittel
- mögliche Verschmutzungen an den PV-Modulen
- Eignung und Ausführung der Montagekonstruktion
- Brandlast und Brandfortleitung

2.6.1 Auswahl der PV-Module nach Anwendungsklassen

PV-Module sind für sich genommen eigenständige Erzeugungseinheiten, die über Steckvorrichtungen zu einem PV-Strang seriell oder parallel zu einem PV-Array geschaltet werden können. Im Gegensatz zu fest angeschlossenen elektrischen Betriebsmitteln werden PV-Module über Steckverbinder (MC4-Stecker) verbunden. Werkzeug ist hierfür nicht erforderlich, so dass diese in der Praxis auch durch Dachdecker oder andere nicht elektrotechnischen Berufe bei der Montage zusammengesteckt werden.

Werden mehrere PV-Module zu einem PV-Strang in Reihe geschaltet, übersteigt die Strangspannung schnell die Grenze von 120 V, so dass die Schutzmaßnahme „Schutz durch Kleinspannung mittels SELV oder PELV“ nicht mehr anwendbar ist. Die Zulässigkeit bzgl. der Bemessungsspannungen einzelner, in Reihe geschalteter PV-Module ist hinsichtlich der Betriebsmittelauswahl und Aufbau des PV-Strangs auf der Anwendungsklasse nach DIN VDE 0123-30-1 zu entnehmen (**Tabelle 2.1**).

Anwendungsklasse A ist dabei die gängigste. PV-Module dieser Anwendungsklasse sind für den Gebrauch in Systemen mit einer

	Anwendungsklasse		
	A	B	C
zulässige Spannung des Systems	$\geq 120\text{ V (DC)}$	k. A.	$\geq 120\text{ V (DC)}$
Schutzklasse	SK 2	SK 0	SK 3
weitere Aspekte	k. A.	Einschränkung des Zugangs erforderlich	

Tabelle 2.1 Anwendungsklassen nach DIN VDE 0123-30-1 Abs. 3

Gleichspannung $> 120\text{ V}$ geeignet. Diese entsprechen Schutzklasse 2 und sind so für die Anwendung der Schutzmaßnahme „Schutz durch doppelte oder verstärkte Isolierung“ geeignet.

Anwendungsklasse C lässt ausschließlich begrenzte Spannungen bis 120 V (DC) zu. Innerhalb dieser Anwendungsklasse wird davon ausgegangen, dass der PV-Strang die Anforderungen der Schutzklasse 3 erfüllt. Solche PV-Module kommen aufgrund der beschränkten Spannungen fast ausschließlich bei Laienanwendungen zum Einsatz, z.B. bei Komplettbausätzen mit einfachem Insel-Wechselrichter und Batterien zur autarken Versorgung von Gartenhäusern oder Caravans.

Anwendungsklasse B wird eigentlich nicht angewendet. Diese PV-Module sind ausschließlich auf abgeschlossene Bereiche beschränkt. Sie verfügen über eine Basisisolierung und über keine Beschränkung der zulässigen Systemspannung, womit die nach DIN VDE 0100-712 vorgegebenen Schutzmaßnahmen des PV-Generators nicht erfüllt sind. Zudem ist anzumerken, dass die Schutzklasse 0 in Deutschland nicht zur Anwendung kommt.

2.6.2 Auswahl entsprechend den Betriebsbedingungen

Im Rahmen der Prüfung ist festzustellen, ob bzw. dass die elektrischen Betriebsmittel (Leitungen, Stecker, Strangdioden, Anschlussklemmen) für die zu erwartenden Spannungen und Ströme geeignet sind. Im Vergleich zu Versorgungsstromkreisen in allgemeinen elektrischen Anlagen ist bei PV-Strängen von einem Dauerlastverhalten auszugehen. Das bedeutet, dass für die Auslegung der Kabel- und Leitungsanlage auf der DC- und AC-Seite davon auszugehen ist, dass diese grundsätzlich zu 100% belastet werden, wodurch ein Gleichzeitigkeitsfaktor von $g = 1$ für die Strombelastbarkeit der Kabel- und Leitungen anzusetzen ist.

Für die Auslegung der Gleichstromseite sind die maximalen Kurzschlussströme $I_{\text{SC max}}$ und die maximalen Leerlaufspannungen $U_{\text{OC max}}$ gemäß der Berechnungsmethoden nach DIN VDE 0100-712 Anhang B, wie in Abschnitt 2.3.2 *Schutzmaßnahmen gegen elektrischen Schlag am PV-Generator* beschrieben, anzusetzen.

Eignung und Einbau der Sperrdioden

Sperrdioden sind ab zwei parallel geschalteten PV-Strängen erforderlich. Sie werden in Reihe mit den PV-Strängen angeschlossen. Sie vermeiden bei parallel geschalteten PV-Strängen Rückströme in elektrisch verkürzte PV-Stränge. Dies ist zum Beispiel der Fall bei Spannungsunterschieden zwischen den PV-Strängen in Folge von Temperaturunterschieden und (Teil-)Verschattungen. Zudem verhindern Sperrdioden bei Isolationsfehlern in einem Strang, dass die Isolationsfehlerstelle von den anderen parallel liegenden PV-Strängen gespeist wird. Bei Verschattungen dreht sich beim betroffene PV-Strang das Vorzeichen der Spannung um, so dass dieser als Verbraucher arbeitet. Sperrdioden müssen demnach in Sperrrichtung für die 2-fache maximale Leerlaufspannung eines PV-Strangs und des Kurzschlussstroms in Durchlassrichtung für das 1,1-fache des maximalen Kurzschlussstroms $I_{SC \max}$ ausgelegt sein.

Sind Sperrdioden in den PV-Strängen erforderlich, ist durch Berücksichtigen festzustellen, dass diese

- vorhanden,
 - entsprechend ihrer Sperrrichtung eingebaut sowie
 - für die elektrischen Beanspruchungen passend ausgewählt sind.
- Der korrekte Einbau sowie die Identifizierung von defekten Strangdioden kann zudem durch Messung der Durchgängigkeit oder einer U/I -Kennlinienmessung überprüft werden.

2.6.3 Auswahl der Betriebsmittel hinsichtlich der äußeren Einwirkungen

Betriebsmittel elektrischer Anlagen sind gemäß DIN VDE 0100-100 Abs. 132.5 entsprechend ihren zu erwartenden Umgebungsbedingungen auszuwählen und ihrer bestimmungsgemäßen Verwendung entsprechend zu installieren. So kann z.B. der Hersteller die Verwendung für Innen- oder Außenaufstellung einschränken, während die angegebene IP-Schutzart ausreichend wäre.

Auf der Gleichspannungsseite sind die elektrischen Betriebsmittel des PV-Generators permanent erhöhten Umgebungseinflüssen durch Wind, Sonneneinstrahlung und Regen ausgesetzt. Hierzu

müssen PV-Module, Steckverbindungen, Anschlusskästen, Kabel und Leitungen sowie die Montagekonstruktion für diese äußeren Einflüsse geeignet sein.

Schutzart von Betriebsmitteln

Gehäuse müssen im Freien nach DIN VDE 0100-712 Abs. 712-512-102 mindestens der Schutzart IP 44 sowie mindestens der Schutzart IK07 gegen äußere mechanische Beanspruchungen entsprechen. Ein weiterer zu prüfender Aspekt betrifft die Abstände der Wechselrichter zueinander und zu anderen Hindernissen, die möglicherweise die Zirkulation der Luft zur Kühlung beeinträchtigen können. Wechselrichter auf Dächern sind durch eine Überdachung und/oder durch geeignete Auswahl des Montageorts vor direkter Sonneneinstrahlung zu schützen (**Bild 2.5**). Vor direkter Sonneneinstrahlung schützt z.B. die Ausrichtung der Frontseiten nach Norden.



Bild 2.5 PV-Wechselrichter an der Gebäudeaußenseite mit Überdachung

Verschmutzung der PV-Module

Ein relevantes Thema für PV-Strangleitungen und PV-Generatoren ist die Verschmutzung. Verschmutzungen auf PV-Modulen beeinträchtigen die PV-Generatoreerträge: Vogelkot, Blätter o.ä. führen zu punktuellen Verschattungen auf den PV-Modulen. Diese können anhand einer Kennlinienmessung durch Dellen in der Kennlinie leicht erkannt werden, zumal sich solche Verschmutzungen in der Regel signifikant auf den Anlagenenertrag auswirken. Sind PV-Module mit einem Winkel größer als 30° angestellt, werden Verschmutzungen größtenteils durch Regen weggespült. Bei flach

aufgestellten PV-Modulen bzw. direkt auf Flachdächern montierten PV-Modulen wirkt sich der Wegwascheffekt nur wenig aus, so dass die PV-Module in regelmäßigen Intervallen gereinigt werden sollten. Insbesondere bei PV-Modulen mit Rahmen führt dieser Umstand zu Randverschmutzungen, die in hoher Menge zu Schlagschatten führen und so die Anlagenenerträge erheblich reduzieren können. Anders sieht es mit diffusen Verschattungen durch Staub o. ä. aus. Besonders in der Nähe von Industrieanlagen ist mit atmosphärisch bedingten Verschmutzungen zu rechnen. Diese lagern sich auf den PV-Modulen gleichmäßig ab.

Solche diffusen Verschattungen verursachen im Vergleich zu Schlagschatten keine Dellen in der U/I -Kennlinie des PV-Strangs. Diese Ablagerungen setzen sich in der Regel auf alle PV-Module gleichermaßen ab, so dass diese weder durch die Anlagenenerträge noch anhand von Überwachungssystemen, die die PV-Stränge einzeln überwachen, erkannt werden. Verschmutzungen an PV-Modulen sind nicht sicherheitsrelevant. Dennoch sollten im Rahmen der Prüfung auch die Art der umliegenden Industriegebäude und andere Verschmutzungsquellen berücksichtigt werden.

2.6.4 Montagekonstruktion

Im Rahmen der Prüfung ist durch Besichtigen die korrekte Montage der Betriebsmittel zu prüfen. Bei PV-Generatoren auf Dächern darf die Montagekonstruktion nicht unzulässig verändert werden. Entsprechend sind mögliche Eingriffe in die Dachstatik, Dachdichtigkeit und mögliche gegenseitige Beeinflussungen durch andere technische Anlagen zu bewerten. Hierbei sind im Rahmen der Prüfung von PV-Stromversorgungssystemen auf Dächern in Industrieanlagen, öffentlichen Gebäuden o. ä. die Öffnungsradien von RWA-Kuppeln oder Ausblasöffnungen von Ablauanlagen explosionsgefährdeter Bereiche zu beachten. Zudem sind mögliche Wechselwirkungen und Beeinträchtigungen durch Kontaktkorrosion mit Befestigungsmitteln oder Weichmacherwanderungen zwischen Dachhaut und Auflagematten zu beachten. Liegt die Montagekonstruktion mit Montagematten auf der Dachhaut auf, sind die Kunststoffe durch geeignete Beschichtungen voneinander

zu trennen (Bild 2.6). Des Weiteren sind Kontaktkorrosionen zwischen Metallen durch Montagemittel aus Edelstahl zu vermeiden. Grundsätzlich sollte bei größeren PV-Anlagen eine Liste der verwendeten Materialien vorliegen.



Bild 2.6 Unterlegmatte mit Alufolie zur Vermeidung von Weichmacherwanderung

Befestigung

Durch Besichtigen der Montagekonstruktion kann auch ein Prüfer mit elektrotechnischem Hintergrund die bestimmungsgemäße Verwendung der Befestigungsmaterialien augenscheinlich überprüfen. Andernfalls sollte ein Sachverständiger für Bautechnik hinzugezogen werden. Stockschraben müssen im rechten Winkel zur Montagekonstruktion angeordnet sein. Zudem sind Schrauben und Unterlegscheiben gemäß der Montage- und Bedienungsanleitung zu verwenden. Bei schräger Anordnung (Beispiel Bild 2.7: nicht fachgerecht befestigte Stockschraube) kann die Anpresskraft der Schraube nicht die volle Fläche berühren, so dass die Anpresskraft der Schraube reduziert ist und sich Letztere somit lockern kann.



Bild 2.7 Nicht fachgerecht befestigte Stockschraube

Bemessungsausschaltvermögen der Schalt- und Schutzeinrichtungen fehlt



Zum Zeitpunkt der Begutachtung liegen keine Angaben und Berechnungen der zu erwartenden Fehler- und Kurzschlussströme der PV-Wechselstromhauptleitung zwischen Transformator und Schaltgeräte-kombination vor.

Innerhalb der Schaltgerätekombination sind Schalt- und Schutzgeräte mit unterschiedlichem Bemessungsausschaltvermögen angeschlossen.

Es sind folgende Betriebsmittel eingebaut:

- NA-Schutz / 25 kA
- Messtechnik / 10 kA
- Überstrom-Schutzeinrichtungen / 6 kA

Gemäß Aussage des Betreibers wird die elektrische Anlage über einen Transformator mit einer Bemessungsscheinleistung von 2.250 kVA und einer relativen Kurzschlussspannung von 6 % gespeist.

Im Fehlerfälle (Kurzschluss, Erdschluss, Körperschluss) wird bei netzgekoppelten Erzeugungsanlagen vom allgemeinen Stromversorgungsnetz die Fehlerstelle gespeist.

Berechnung des Kurzschlussstroms am Anfang des Transformators

Eingaben / Kennwerte:

- Bemessungsscheinleistung des Transformators: $S_n = 2.500 \text{ kVA}$
- relative Kurzschlussspannung: $u_k = 6 \%$
- Nennspannung: $U_n = 400 \text{ V}$

Berechnung des Nennstroms:

Der Nennstrom des Transformators wird wie folgt berechnet:

$$I_N = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot U_n}$$

$$I_N = \frac{2.500 \text{ kVA}}{\sqrt{3} \cdot 400 \text{ V}}$$

$$I_N = 3.608,44 \text{ A}$$

Berechnung des Kurzschlussstroms am Anfang des Transformators:

Der Kurzschlussstrom am Anfang des Transformators wird wie folgt berechnet:

$$I_K = \frac{I_N}{u_k} \cdot 100 \%$$

$$I_K = 60,14 \text{ kA}$$

Es ist der rechnerische Nachweis über den maximalen Kurzschlussstrom am Ende der Leitung (Anschlussstellen des PV-Schranks) zu erbringen. Sofern dieser über dem Bemessungsausschaltvermögen der Schalt- und Schutzgeräte liegt, sind diese nicht gemäß den zu erwartenden Kurzschlussströmen ausgewählt.

Der Sachverhalt ist zu klären.

fehlender Nachweis der fachgerechten Befestigung des PV-Generators



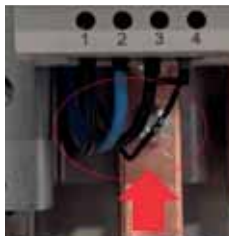
Zum Zeitpunkt der Begutachtung lag dem Sachverständigen kein Ballastierungsplan vor.

Die Ballastierungssteine liegen teilweise auf dem Kabeltragsystemen auf. Dies kann die sichere Befestigung aufgrund unzureichender Kraftübertragung auf die Montageschienen der PV-Teilgeneratorfelder beeinträchtigen. Gemäß DIN VDE 0100-100 Abs. 134 sind elektrische Betriebsmittel sowie die Kabel- und Leitungsanlage mit geeigneten Befestigungsmitteln gemäß den Herstellervorgaben zu befestigen. Die Ballastierung der PV-Montagekonstruktion ist demnach Bestandteil der Kabel- und Leitungsanlage.

Der Nachweis ist z.B. mit einem Dachbelegungsplan und, sofern erforderlich, anhand einer Windlastberechnung zu erbringen.

Leitungsverlegung und Anschlüsse (allgemein)

gegenseitige Beeinflussungen
innerhalb des Verteilers



Die Leiter der Hilfs- und Messstromkreise und des Hauptstromkreises (Stromschiene) sind in nicht geeigneter Weise verlegt, als dass eine Berührung zwischen den basisisolierten Leiter der internen Verdrahtung mit den nicht isolierten Stromschienen des Hauptstromkreises verhindert würde.

Gemäß DIN VDE 0660-600-1 Abs. 10.4 muss nachgewiesen werden, dass die Luft- und Kriechstrecken in Abhängigkeit von der Bemessungsstossspannung den nach DIN VDE 0660-600-1 Tabelle 4 angegebenen Mindestabständen entsprechen.

Die Berührung der basisisolierten Leiter mit den Stromschienen kann die Isolationseigenschaften der Hauptstromkreise (Luftisolierung) beeinträchtigen.

Die durch die Luftstrecken isolierten Leiter des Hauptstromkreises und die an den Stromschienen verlegten basisisolierten Leiter der Hilfsstromkreise bieten keinen ausreichenden Schutz durch doppelte oder verstärkte Isolierung zwischen dem Hauptstromkreis und den Hilfsstromkreisen. [vgl. DIN VDE 0100-410, DIN VDE 0660-600-1]

Trennung von Haupt- und Hilfsstromkreisen



Die erd- und Kurzschlussicher verlegten Leiter sind nicht auf direktem Wege zu den Anschlussstellen geführt. Die Leiter liegen direkt an den Stromschienen an.

Nach DIN VDE 0100-520 Abs. 521.11 gilt eine Anordnung aus Einzelleitern (blank oder isoliert) als kurzschluss- und erdschlussicher verlegt, wenn eine gegenseitige Berührung und eine Berührung mit geerdeten Teilen verhindert wird und durch äußere Einflüsse kein Kurzschluss zu erwarten ist. Dies ist zu erreichen durch

- Verlegung mit ausreichenden Ausständen zueinander und gegenüber anderen Stromkreisen durch Abstandshalter oder räumliche Trennung;
- Führen der Leitungen in getrennten/separaten Elektroinstallationskanälen oder getrennten Installationsrohren.

[vgl. DIN VDE 0100-520]

Leitungsverlegung unter mechanischer Beanspruchung 	Die Befestigungen der Kabel und Leitungen sind unzureichend. Zudem sind die auf Bodenhöhe verlegten Leitungen der PV-Wechselstromhauptleitungen unzureichend gegen mechanische Beanspruchung geschützt. Nach DIN VDE 0100-520 Abs. 522 müssen die Verlegeart und die Befestigungsmittel so ausgewählt werden, dass der Schutz gegen die zu erwarteten Umgebungseinflüsse in allen zugehörigen Teilen der Kabel- und Leitungsanlage sichergestellt ist. Hierbei sind die Auswahl und Ausführung der Befestigungsmittel zu berücksichtigen. Die Befestigung mit Kabelbindern stellt keine geeignete Befestigungsmethode dar. Die losen Leitungen sind fachgerecht mit geeigneten Befestigungsmitteln zu befestigen. Nach DIN VDE 0100-520 Abs. 522.6 kann durch einen zusätzlichen mechanischen Schutz (z.B. eine mechanische Umwehrgung) ein geeigneter Schutz sichergestellt werden. Es wird darauf hingewiesen, dass mechanische Beanspruchungen der Leitungen direkt auf die Klemmverbindungen übertragen werden. Diese können sich mit der Zeit lösen. [vgl. DIN VDE 0100-520]
Leitungen unzureichend gegen Zugbeanspruchung geschützt 	Die von außen in die Niederspannungs-Schaltgerätekombination eingeführten Leitungen sind unzureichend gegen Zugbeanspruchung unmittelbar nach Einführung in das Betriebsmittel/Verteiler geschützt. Nach DIN VDE 0100-520 Abs. 522.8.5 sind Kabel und Leitungen mit geeigneten Befestigungsmitteln gegen Zugbeanspruchung zu schützen. Wenn die Kabel- und Leitungsanlage einer andauernden Zugbeanspruchung unterworfen ist (z.B. durch ihr eigenes Gewicht bei senkrechter Verlegung), müssen Kabel- oder Leitungsbauart, Querschnitt und Befestigungsart dazu geeignet sein, eine Beschädigung der Leitungen oder Kabel durch übermäßige Zugbeanspruchung zu vermeiden. Die Kabel und Leitungen sind demnach z.B. mit Bügelschellen an einer C-Profilschiene zu befestigen und/oder mit geeigneten Kabelverschraubungen an der Einführstelle in eine Niederspannungs-Schaltgerätekombination bzw. ein Gehäuse zu befestigen. Die Anforderungen an die IP-Schutzart sind hierbei zu beachten.
ungeeignete Auswahl der Befestigungsmittel 	Die Befestigungsschelle (Schraubrohrschele Stahl verzinkt mit Gummieinlage) ist augenscheinlich nicht für die Befestigung von Kabeln und Leitungen geeignet. Nach DIN VDE 0100-100 Abs. 134.1 müssen elektrische Anlagen fachgerecht von geeignetem qualifiziertem Personal und unter Verwendung von geeignetem Material errichtet werden. Der Nachweis über die bestimmungsgemäße Verwendung ist zu erbringen. Andernfalls ist das Befestigungsmittel gegen ein geeignetes Befestigungsmittel zu ersetzen. Anmerkung: Rohrschellen schließen eine Verwendung als Kabel- und Leitungsbefestigung auch aufgrund der Größe und der damit unzureichenden Zugentlastung aus. Die Rohrschellen sind gegen geeignete Befestigungsmittel zu tauschen. [vgl. DIN VDE 0100-100, DIN VDE 0100-520]