

August 2019

Leitfaden Betriebsführung Photovoltaik



energieschweiz

Unser Engagement: unsere Zukunft.

Autoren

Christian Moll, Leiter Technik Photovoltaik, Swissolar

Jörg Rothenbühler, REVELIO GmbH

Mit Unterstützung von Sylvia Schüpbach, Rechtsanwältin
und Peter Toggweiler, Basler & Hofmann AG

**Diese Studie wurde im Auftrag von EnergieSchweiz erstellt.
Für den Inhalt sind alleine die Autoren verantwortlich.
Der Einfachheit halber wird nur die männliche Form verwendet.**

Adresse

EnergieSchweiz, Bundesamt für Energie BFE

Mühlestrasse 4, CH-3063 Ittigen. Postadresse: CH-3003 Bern

Infoline 0848 444 444, www.infoline.energieschweiz.ch

energieschweiz@bfe.admin.ch, www.energieschweiz.ch, twitter.com/energieschweiz

Vorwort

In der Schweiz wurden bis Ende 2018 Photovoltaikanlagen (PV-Anlagen) mit einer Leistung von ungefähr 2200 MW Leistung installiert, das entspricht rund 3,4 % der Schweizerischen Stromerzeugung. Die Photovoltaik wird mittelfristig zu einer wichtigen Säule der Energiewende in der Schweiz werden! Entscheidend für den sicheren und wirtschaftlichen Betrieb der PV-Anlagen sind eine fachgerechte Planung und Installation. Funktionierende PV-Anlagen schaffen bei der Bevölkerung Vertrauen in diese Technologie. Neben einer fachgerechten Installation ist es sehr wichtig, dass die PV-Anlagen während ihrer rund 30-jährigen Laufzeit in einem ordnungsgemässen und sicheren Zustand bleiben, damit die prognostizierten Erträge erreicht werden können. Mit einer funktionierenden Fernüberwachung und bei Bedarf einer Anlagenwartung kann der ordnungsgemässe Betrieb gewährleistet werden.

Der Leitfaden enthält Informationen zu wichtigen Aspekten, die bei der Inbetrieb- bzw. Abnahme einer PV-Anlage zu berücksichtigen sind. Er soll sowohl Bauherren als auch Solarinstallateuren als Ratgeber zur Verfügung stehen. Ferner werden im Leitfaden Empfehlungen zur Anlagenüberwachung, zur Wartung und zur Fehleruntersuchung gegeben. Rechtliche Aspekte, insbesondere was die Wartung und das Thema Garantien und Gewährleistungsfristen betrifft, werden ebenfalls behandelt.

Inhalt

1	Vorgehen bei der Inbetriebnahme und der Schlusskontrolle	5
1.1	Kontrollen aufgrund der Vorgaben der Niederspannungsinstallationsverordnung (NIV)	5
2	Monitoring der PV-Anlage.....	10
2.1	Wie kann das Monitoring erfolgen?.....	10
2.1.1	Monitoringsysteme/Übertragungsmöglichkeiten	10
2.1.2	Datenschnittstellen der Monitoringsysteme/Übertragungsmöglichkeiten.....	11
2.1.3	Überwachung pro Modul	12
2.2	Probleme mit dem Monitoring	12
2.3	Welche Fehler können mit dem Monitoring erkannt werden?	13
2.4	Welche Monitoringsysteme gibt es am Markt?	13
3	Aufgaben und Pflichten der Anlagenbetreiber	15
3.1	Garantie/Gewährleistung/Mängelrüge.....	15
3.2	Welche Versicherungen braucht es wirklich?	17
4	Wartung	19
4.1	Wann und wie oft ist eine Wartung erforderlich?	19
4.2	Wer bietet eine Wartung an?	20
4.3	Welche Massnahmen sollen im Rahmen der Wartung durchgeführt werden?	20
4.4	Notwendige Messungen im Rahmen einer Wartung	23
4.5	Voraussetzungen für die Wartung	26
4.6	Welche Arbeitssicherheitsmassnahmen müssen während der Wartung beachtet werden?	27
4.7	Bewertung der wichtigsten Punkte in einem Servicevertrag	28
4.8	Fachgerechte Reinigung der PV-Anlage	30
4.9	Entfernung von Schnee, Prüfen der Schneefänger	31
4.10	PV-Anlage auf einem Gründach	31
4.11	Optionale Kontrollen im Rahmen einer Wartung: Thermographie, Elektrolumineszenz.....	33
4.12	Prüfung der Modulleistung in Prüflaboren	34
5	Solarprofis – geprüfte Fachfirmen	35
6	Glossar	36
7	Abbildungsverzeichnis	37

1 Vorgehen bei der Inbetriebnahme und der Schlusskontrolle¹

Die Fertigstellung der PV-Anlage bildet in der Regel die Schlusskontrolle. Die Schlusskontrolle stellt gemäss Niederspannungsinstallationsverordnung (NIV) Art. 24 Abs. 3 die Übergabe und den Zeitpunkt dar, ab dem ein Teil oder eine ganze elektrische Installation bestimmungsgemäss genutzt wird. Sie markiert den Übergang der Verantwortung vom Ersteller zum Auftraggeber. Der Werkvertrag wird dabei entweder nach Obligationenrecht (OR) (wenn nichts Spezielles vereinbart wird) oder nach der entsprechenden SIA-Norm² (muss explizit vereinbart sein) abgeschlossen.

Beim Vertrag nach SIA muss der Unternehmer die Vollendung des Werks anzeigen, nach OR muss der Bauherr das Werk prüfen und bei Mängeln den Unternehmer benachrichtigen. Dieser Übergang wird sinnvollerweise mit der Schlusskontrolle verbunden. Bei dieser Kontrolle wird festgestellt, ob das Werk vollständig und funktionstüchtig ist. Die Ergebnisse dieser Prüfung sollen in einem Protokoll festgehalten werden. Das Datum der Schlusskontrolle bildet den Beginn der Fristen für Gewährleistung und Mängelbehebung.

Die folgenden Informationen sollten im Protokoll mindestens enthalten sein:

- Allgemeine Informationen zur PV-Anlage (Bauobjekt, Bauherr, Bauleitung, Unternehmer, Werkvertrag, Technische Daten der PV-Anlage), Datum der Abnahme
- Prüfung des vereinbarten Lieferumfangs
- Funktionskontrolle, falls nicht bereits anderweitig erfolgt
- Status der Abnahme (allfällige Mängel, Frist zu deren Behebung, etc.)
- Liste mit vorhandenen Messungen

Der SIA stellt für diese Abnahme eine Protokollvorlage (gegen Entgelt) zur Verfügung.

1.1 Kontrollen aufgrund der Vorgaben der Niederspannungsinstallationsverordnung (NIV)

Niederspannungsinstallationsverordnung (NIV)

Die NIV regelt die Voraussetzungen für das Arbeiten an elektrischen Niederspannungsinstallationsanlagen und für die Kontrolle dieser Installationen. Sie stellt Installationsarbeiten grundsätzlich unter eine Bewilligungspflicht.

¹ Swissolar Merkblatt Photovoltaik Nr. 8 „Inbetriebnahme und Abnahme von Photovoltaikanlagen“, Teil der „Photovoltaik Merkblätter Schweiz“, erhältlich unter <https://www.swissolar.ch/fuer-fachleute/hilfsmittel-photovoltaik/merkblaetter/>

² In der Regel SIA 118 in der aktuellsten Fassung

Für neu installierte PV-Anlagen sieht die NIV nachfolgende Kontrollen für die Inbetriebnahme und Übergabe an den Bauherren vor. Der Installateur stellt die für die vorgeschriebenen Kontrollen erforderlichen Dokumente zusammen und stellt sie den Kontrollorganen (z.B. unabhängige Kontrollorgane, ESTI, etc.) zu. Der Bauherr wird von den verschiedenen Kontrollorganen kontaktiert und muss ihnen Zugang zur Anlage gewähren.

Pflichten des Eigentümers

Wer eine elektrische Installation betreibt, hat ebenfalls gesetzliche Pflichten: Er muss dafür sorgen, dass die Anlage sicher und soweit möglich störungsfrei läuft. Der Eigentümer ist als Anlagenbetreiber meistens kein Fachkundiger (nach der NIV), sondern ein Laie. Er muss die technischen Unterlagen der Installation aufbewahren und einen Sicherheitsnachweis erbringen können. Diesen kann ein Laie nicht selbst erstellen, sondern er gibt ihn in Auftrag. Den Auftrag darf nur jemand ausführen, der dazu fähig und berechtigt ist (s. Abschnitt «unabhängige Kontrolle»).

Weiter muss der Eigentümer Mängel unverzüglich beheben lassen. Auch die Mängelbehebung darf nur durch entsprechend ausgebildete und berechtigte Personen geschehen.

Baubegleitende Erstprüfung

Vor der Inbetriebnahme einer elektrischen Installation oder von Teilen davon ist eine baubegleitende Erstprüfung durchzuführen. Gemäss Verordnung des UVEK über elektrische Installationen³, Art. 14 Abs.1, muss für die baubegleitende Erstprüfung ein offizielles Mess- und Prüfprotokoll erstellt werden.

Diese Erstprüfung der PV-Anlage muss protokolliert und dokumentiert werden. Im Prüfbericht müssen folgende Punkte ersichtlich sein:

- Zusammenfassende Beschreibung des Systems (Name, Adresse usw.)
- Verzeichnis aller besichtigten und erprobten Stromkreise
- Bericht der Besichtigung
- Bericht der Prüfergebnisse für jeden erprobten Stromkreis
- Unterschriften der Person(en), die die Prüfung durchgeführt hat/haben
- Angaben hinsichtlich der Person, die für den Bau und die Prüfung des Systems verantwortlich ist sowie hinsichtlich des Umfangs ihrer Verantwortlichkeit

Diese Messungen dürfen nur von entsprechend qualifizierten Personen mit geeigneten Messinstrumenten durchgeführt werden. Die Anforderungen an diese Personen sind in der NIV, Art. 10 und Art. 25 beschrieben.

Betriebsinterne Schlusskontrolle

Vor der Übergabe einer elektrischen Installation an den Eigentümer muss eine Schlusskontrolle durchgeführt werden. Sie muss von einer fachkundigen oder einer kontrollberechtigten Person mit-

³ <https://www.admin.ch/opc/de/classified-compilation/20173115/index.html>

tels Mess- und Prüfprotokoll sowie dem Sicherheitsnachweis erstellt werden. Bei eingeschränkter Installationsbewilligung (nach Art. 14 NIV) führen die in der Bewilligung aufgeführten Personen eine Erstprüfung oder eine Schlusskontrolle der ausgeführten Arbeiten durch und erstellen davon ein Mess- und Prüfprotokoll. Sie unterzeichnen es und bewahren es zuhause der Kontrollorgane auf. Der Sicherheitsnachweis über die Schlusskontrolle ist dem Eigentümer mit der Übergabe der Installation auszuhändigen. Der Inhaber einer eingeschränkten Installationsbewilligung übergibt dem Eigentümer und dem Netzbetreiber das Protokoll über die Schlusskontrolle der ausgeführten Arbeiten. Als Übergabe gilt der Zeitpunkt, ab dem ein Teil oder eine ganze elektrische Installation bestimmungsgemäss genutzt wird (NIV Art. 24 Abs. 3).

Unabhängige Kontrolle

Eine PV-Anlage muss innerhalb von 6 Monaten nach der Übernahme durch ein unabhängiges Kontrollorgan oder durch eine akkreditierte Kontrollstelle kontrolliert werden. Die unabhängige Abnahmekontrolle der Installation ab AC-Anlageschalter, die durch einen Installateur mit einer allgemeinen Installationsbewilligung erstellt wurde, kann durch ein unabhängiges oder ein akkreditiertes Kontrollorgan ausgeführt werden. Eine Abnahmekontrolle durch eine akkreditierte Inspektionsstelle ist dann zwingend, wenn die Installation von einem Inhaber mit einer eingeschränkten Installationsbewilligung erstellt wurde. Innerhalb dieser Frist ist auch der Sicherheitsnachweis über die Abnahmekontrolle der zuständigen Netzbetreiberin und / oder gegebenenfalls dem ESTI einzureichen (Art. 35 Abs. 3 NIV). Bei planvorlagepflichtigen Anlagen > 30 kVA kann das ESTI im Rahmen der Abnahmekontrolle nach Verordnung über das Plangenehmigungsverfahren für elektrische Anlagen (VPeA) auch die unabhängige Kontrolle gemäss Art. 35 Abs. 3 NIV erledigen, sofern der Sicherheitsnachweis für den AC-Teil, das Mess- und Prüfprotokoll Photovoltaik für den DC-Teil und die vollständige Dokumentation der Anlage vorliegen.

Wo finde ich die Kontrollorgane?

Kontrolleure, die eine unabhängige Kontrolle durchführen sind hier zu finden:

<https://verzeichnisse.est.ch/de/aikb.htm>

Akkreditierte Kontrollstellen sind hier zu finden:

<https://www.sas.admin.ch/sas/de/home/akkreditiertestellen.html> (Suchbegriff: NIV / Akkreditierungstyp: SIS – Inspektionsstelle)

ESTI-Kontrollen bei Anlagen grösser 30 kVA⁴

PV-Anlagen grösser 30 kVA sind planvorlagepflichtig. Bei diesen PV-Anlagen kontrolliert das eidgenössische Starkstrominspektorat (ESTI) nach der Fertigstellung, ob die Anlage vorschriftsgemäss und in Übereinstimmung mit den genehmigten Plänen erstellt worden ist.

⁴ Weisung Nr. 233 Version 0918d - Photovoltaik-Energieerzeugungsanlagen (PV-EEA)

Wiederkehrende Prüfungen gemäss Niederspannungsinstallationsverordnung (NIV)

Die Empfehlungen und Ergebnisse der vorangegangenen Prüfungen sind bei der periodischen Kontrolle zu berücksichtigen. Zudem muss ein Prüfbericht der periodischen Kontrolle vorgelegt werden, der auch alle Fehler und Empfehlungen für Reparaturen oder Verbesserungen enthält.

Beglaubigung von Anlagen⁵

Die Pronovo AG ist das Kompetenzzentrum des Bundes für den Umgang mit der Erzeugung erneuerbarer Energien (www.pronovo.ch). Sie wickelt im Auftrag des Bundes unter anderem das Einspeisevergütungssystem (EVS), die Einmalvergütung (EIV) und den Herkunftsnachweis (HKN) ab. Mit der Beglaubigung von Anlagen- und Produktionsdaten wird garantiert, dass die Inanspruchnahme von öffentlichen Fördermitteln (EIV) berechtigt ist. Beglaubigende Stellen sind Netzbetreiber oder Auditoren. Die Beglaubigung der Anlagen muss durch einen Auditor mit Zulassung der Schweizerischen Akkreditierungsstelle (SAS) erfolgen, sie muss im Rahmen einer Begehung vor Ort und durch Überprüfung vorgelegter Dokumente geschehen. Anlagen mit einer Anschlussleistung von höchstens 30 kVA (wechselstromseitige Nennleistung) können durch den zuständigen Netzbetreiber (Betreiber der Messstelle) beglaubigt werden, sofern dieser rechtlich vom Anlagenbetreiber entflochten ist. Neu kann die Beglaubigung von Anlagen kleiner 30 kW auch durch ein unabhängiges Kontrollorgan im Rahmen der unabhängigen Kontrolle durchgeführt werden. Somit können durch die zeitliche Optimierung Kosten gespart werden. Für die Durchführung einer Beglaubigung ist der Anlagenbetreiber verantwortlich. Er muss dafür einen Auditor bzw. den Netzbetreiber beauftragen. Eine Liste akkreditierter Auditoren ist unter nachfolgendem Link zu finden: <https://pronovo.ch/de/services/formulare/>

Instruktion des Bauherrn

So rasch wie möglich nach der Inbetriebnahme sollte der Anlagenbetreiber anhand der Anlagen dokumentation in die Anlage eingewiesen werden. Die wesentlichen Anlagenbestandteile und deren Funktionalität müssen ihm vom Ersteller der Anlage erläutert werden. Hierzu gehört z.B. auch die Erläuterung von Displayanzeigen des Wechselrichters, eines Stromspeichers oder eines Monitoringsystems. Sofern noch nicht geklärt, sollte mit dem Anlagenbetreiber definiert werden, wer für die Anlagenüberwachung verantwortlich ist. Übernimmt der Bauherr die Überwachung selbst, muss er auf seine Pflichten (Kontrolle der Anlagenüberwachung und rechtzeitige Meldung von Störmeldungen) hingewiesen werden, wobei sich die schriftliche Form empfiehlt. Erfolgt das Monitoring durch den Installationsbetrieb müssen Aufgaben und Pflichten in einem Servicevertrag geregelt werden (s. 4.7).

⁵ Leitfaden zur Beglaubigung von Anlage und Produktionsdaten, Pronovo

Anlagendokumentation

Die Anlagendokumentation muss gemäss der Norm „SN EN 62446-1:2016⁶ Netzgekoppelte PV-Systeme – Mindestanforderungen an Systemdokumentation, Inbetriebnahme und Prüfanforderung“ vom Installationsbetrieb erstellt werden. Sie sollte vor Ort bei der Anlage abgelegt sein und mindestens Folgendes enthalten:

1. Allgemeines, Adressen, Angaben Eigentümer Objekt, Angaben Eigentümer PV-Anlage, Anlagenstandort, ausführende Unternehmungen, Datum
2. Systemdaten (Projektidentifikation, Bemessungsleistung des Systems in kW DC oder kVA AC, PV-Module und Wechselrichter (Hersteller/Modell/Anzahl), Datum der Installation und Datum der Inbetriebnahme)
3. Informationsblatt „Vorgehen im Störfall“ nach SN EN 62446-1:2016
4. Prüfergebnisse und Inbetriebnahme-Angaben, inklusive Sicherheitsnachweis (SiNa) sowie Mess- und Prüfprotokoll
5. Nachweis über die Abnahmekontrolle (zwischen Bauherr und Installateur)
6. Prinzipschema (Stromlaufplan) AC und DC
7. String-/Strangplan (Übersicht, wie die Modulstränge verschaltet wurden: mehrere Module werden zu einem String/Strang verschaltet)
8. Blitzschutzplan mit Anschlusspunkten und Attest der Gebäudeversicherung, nur erforderlich bei blitzschutzpflichtigen Gebäuden respektive, wenn Blitzschutz vorhanden ist.
9. Datenblätter (Unterlagen der eingesetzten Komponenten: Module, Wechselrichter, Unterkonstruktion, Solarkabel, Fernüberwachung, Überspannungsschutz, Generatoranschlusskasten, Zählertableau, Sicherheitsausrüstung (Absturzeinrichtungen), gegebenenfalls Stromspeicher und Ladestation), Konformitäten, Angabe zu Garantiebedingungen der Komponenten, Bewilligungsunterlagen (Pronovo, EVU, falls nötig Baubewilligung)
10. Angaben über die mechanische Unterkonstruktion (Statiknachweis)
11. Betriebs- und Wartungsangaben
12. Beschreibung, wie die Arbeitssicherheitsbestimmungen während der Arbeiten auf dem Dach eingehalten werden (z.B. Angabe von Anschlagpunkten, etc.). Gut beschrieben werden die Anforderungen im Merkblatt der Schweizerischen Unfallversicherung (Suva) „Sicher zu Energie vom Dach“⁷

⁶ Swissolar Merkblatt Photovoltaik Nr. 8 „Inbetriebnahme und Abnahme von Photovoltaikanlagen“, Teil der „Photovoltaik Merkblätter Schweiz“, erhältlich unter <https://www.swissolar.ch/fuer-fachleute/hilfsmittel-photovoltaik/merkblaetter/>

⁷ Sicher zu Energie vom Dach: <https://www.suva.ch/material/dokumentationen/sicher-zu-energie-vom-dach.-montage-und-instandhaltung-von-solaranlagen-44095.d-40954-40954>

2 Monitoring der PV-Anlage

Swissolar empfiehlt für alle PV-Anlagen ein Monitoring (Anlagenüberwachung), da eine individuelle und kontinuierliche Kontrolle der Erträge über das Wechselrichterdisplay über einen Zeitraum von 20 bis 25 Jahren nicht realistisch ist. Mit dem Monitoring werden Anlagenstörungen oder -ausfälle aufgezeigt. Die Warnmeldungen können z.B. per E-Mail, Fax oder SMS versendet werden. Zudem kann die Ertragsproduktion der Anlage während der gesamten Betriebszeit anhand von Jahres-, Monats- und Stundenwerten visualisiert werden. Bei den meisten Wechselrichtern ist bereits ein Datenlogger integriert, der für die Fernüberwachung genutzt werden kann. Darüber hinaus braucht es einen Internetanschluss, damit auf das jeweilige Portal des Wechselrichterherstellers zugegriffen werden kann. Neben den wechselrichterintegrierten Systemen gibt es auch wechselrichterunabhängige Monitoringsysteme. Eine Übersicht der in der Schweiz am häufigsten eingesetzten Systeme ist im Kapitel 2.4 beschrieben. Mit dem Monitoring kann die Wirtschaftlichkeit der PV-Anlage sichergestellt und bei Störmeldungen rechtzeitig eine Störungsbehebung und anschliessende Wartung in Auftrag gegeben werden.

2.1 Wie kann das Monitoring erfolgen?⁸

2.1.1 Monitoringsysteme/Übertragungsmöglichkeiten

Es gibt verschiedene Möglichkeiten, mit denen die Anlage fernüberwacht werden kann.

Datenlogger

Mit einem externen Datenlogger können produktunabhängig verschiedene Wechselrichtertypen unterschiedlicher Hersteller überwacht werden. Werden mehrere Anlagen überwacht, können alle Erträge in einem Portal visualisiert werden (s. Kapitel 2.4).



Abbildung 1: BE Netz AG, Datenlogger

⁸ Weiterbildungsunterlagen Solarbildung Schweiz, Bezug unter www.solarbildung.ch

Wechselrichterintegrierte Systeme

Die Mehrzahl der heute eingesetzten Wechselrichter verfügt über eine integrierte Monitoringfunktion, die kostenlos für die Fernüberwachung genutzt werden kann.

Zählerauslesung

Mit einer zählerbasierten Anlagenüberwachung werden primär die Ertragswerte einer PV-Anlage kontrolliert. Bei solchen Systemen werden für den Soll-Ertrag genaue Wetterdaten verwendet. Diese können zum grössten Teil standortgenau zur Verfügung gestellt werden: Einerseits durch Zugriff auf ein zusammenhängendes Netz von Wetterstationen, andererseits durch einen eigenen Einstrahlungssensor, der an der PV-Anlage montiert ist. Wichtig bei Einstrahlungssensoren ist, dass die Referenzzelle nicht verschmutzt ist, da sonst ein falscher Sollertrag zugrunde gelegt wird. Die effektiv gemessenen Zählererträge stellen den Ist-Ertrag dar. Bei grösseren Abweichungen zwischen Soll- und Ist-Ertrag wird an den Anlagenbetreiber eine Fehlermeldung verschickt. Das System kann auch ergänzend zu wechselrichterintegrierten Systemen verwendet werden.

2.1.2 Datenschnittstellen der Monitoringsysteme/Übertragungsmöglichkeiten

Es gibt verschiedene Datenschnittstellen und Übertragungsmöglichkeiten, die je nach Anlagensituation verwendet werden können.

Ethernet

Die meist kostengünstigste und zuverlässigste Variante zu einem bestehenden Netzwerk ist eine kabelgebundene Ethernetverbindung (LAN-Kabel). Hierfür braucht es ein bestehendes, allgemein verfügbares Netzwerk. Mit der kabelgebundenen Anbindung des Wechselrichters oder Datenloggers ist eine hohe Zuverlässigkeit und Störsicherheit gewährleistet. Diese Variante weist den geringsten Energieverbrauch auf.

Powerline

Als Alternative zum Netzkabel kann die lokale 230V AC Netzverdrahtung zur Kommunikation mit dem Router verwendet werden. Dazu wird am Startpunkt (Router) und Endpunkt (Wechselrichter oder Datenlogger) ein PLC-Adapter (PowerLineCommunication Adapter) in eine Steckdose gesteckt, wobei der Adapter auf beiden Seiten über einen Ethernetausgang verfügt. Diese Kommunikationsart ist etwas fehleranfälliger als eine Ethernetverkabelung und kann bei Personen, die sensibel auf elektromagnetische Störungen reagieren, Probleme verursachen. Dieses System wird vor allem dort angewandt, wo die Verlegung eines Ethernetkabels mit grossem Aufwand verbunden ist. Das System funktioniert jedoch nur innerhalb des gleichen Stromkreises (gleiche Sicherungsgruppe). Die Übermittlung auf verschiedenen Stromkreisen ist nur bedingt möglich und anfällig. Die Herstellerangaben der jeweiligen Systeme sind zu beachten.

WLAN

Als Alternative zum lokalen Netzwerk kann eine WLAN-Funkverbindung verwendet werden, falls dies vom Wechselrichter oder Datenlogger unterstützt wird. Diese Verbindungsart ist oft stör anfälliger, insbesondere wenn sich der Wechselrichter oder Datenlogger weit von der Funkbasis ent-

fernt befindet. WLAN wird vor allem dort angewandt, wo eine kabelgebundene Verdrahtung nur mit grossem Aufwand realisierbar ist.

Mobilfunk

Ist kein lokales Netzwerk vorhanden, oder kann aus IT-Sicherheitsgründen der Datenlogger nicht in das lokale Netzwerk integriert werden, kann der Datenlogger über das Mobilfunknetzwerk angeschlossen werden. Dabei ist darauf zu achten, dass ein Funkstandard verwendet wird, der auch zukünftig vom Mobilfunkanbieter unterstützt wird. Es wird empfohlen, immer mit einem externen Mobilfunkmodem (LTE-Modem) zu arbeiten, damit dieses bei Bedarf ausgewechselt werden kann. Zudem ist darauf zu achten, dass der Empfang am gewählten Standort stabil ist. Die meisten Telekommunikationsanbieter bieten spezielle Datenabonnemente an, die mit relativ geringen Kosten verbunden sind.

2.1.3 Überwachung pro Modul

Es gibt hierfür Modulwechselrichter oder Modulüberwachungssysteme. Bei Modulwechselrichtern, die pro Modul einen Modulwechselrichter integriert haben, kann der Ertrag jedes einzelnen Moduls überwacht und visualisiert werden. Somit können Störungen modulgenau identifiziert werden. Gleichzeitig ist es auch ein Wechselrichter. Bei Anlagen mit einem Strangwechselrichter besteht ebenfalls die Möglichkeit, die einzelnen Module nachträglich mit einem Modulüberwachungssystem nachzurüsten. Somit können Spannungen, Ströme und die Temperatur überwacht sowie die jeweilige Modulleistung visualisiert werden.

2.2 Probleme mit dem Monitoring

Bei der Anlagenüberwachung können verschiedene Probleme auftauchen. So muss z.B. sichergestellt werden, dass es keine Kommunikationsprobleme gibt, d.h. es muss eine ausreichend gute Daten- oder Funkverbindung bestehen. Eine fehlerhafte Konfiguration kann ausgeschlossen werden, wenn die ersten Ertragsmeldungen realistische Werte aufzeigen. Dies sollte zusammen mit dem Installationsbetrieb überprüft werden. Heute gibt es viele verschiedene Anbieter von Wechselrichtern mit integriertem Monitoring. Ob die Qualität dieser wechselrichterintegrierten Überwachung ausreichend ist oder ob eine externe Lösung zu verwenden ist, kann ebenfalls der Installationsbetrieb einschätzen. Meist sind Fehlermeldungen vom Überwachungssystem nicht eindeutig. Daher muss der Bauherr, insbesondere wenn er selbst für die Anlagenüberwachung verantwortlich ist, die relevanten Fehlermeldungen (Ertragsausfall, Kommunikationsstörung) eindeutig erkennen können. Auch besteht das Risiko, dass Adressen von Empfängern der Störungsmeldungen sich ändern und nicht entsprechend angepasst wurden. Auch eine volle Mailbox kann dazu führen, dass eine Störungsmeldung nicht ankommt.

2.3 Welche Fehler können mit dem Monitoring erkannt werden?

Mittels Monitoring können unter anderem Ertragsverluste der Anlage durch Verschattung sowie Verschmutzung oder Modul- und Wechselrichterdefekte festgestellt werden. In diesen Fällen meldet das Überwachungssystem Ertragsminderungen oder komplette Ertragsausfälle.

Eine Ertragsminderung aufgrund einer Verschattung kann z.B. über eine Referenzsolarzelle festgestellt werden. Die Referenzzelle misst die tatsächliche Solareinstrahlung und vergleicht diese mit der Anlagenproduktion. Im Falle einer Verschattung wird eine Abweichung vom Soll-Ertrag gemeldet. Auch Ertragsminderungen durch Verschmutzung der Anlage können festgestellt werden. Voraussetzung dafür ist aber, dass die Referenzzelle nicht verschmutzt ist. Ein Abgleich ist auch mittels Meteodaten für eine bestimmte Region oder bei mehreren Modulsträngen durch einen Vergleich der Produktion der verschiedenen Wechselrichter (pro Strang) untereinander möglich.

Ferner können Isolationsfehler, hervorgerufen durch Defekte an Modulen oder Schäden an der Verkabelung, festgestellt und gemeldet werden. Kommunikationsstörungen (keine Datenübertragung und somit keine Ertragsvisualisierung) können ebenfalls erkannt werden. Der Anlagenbetreiber erhält in den beschriebenen Fällen eine Warnmeldung mit der entsprechenden Fehlerbezeichnung.

2.4 Welche Monitoringsysteme gibt es am Markt?

Es werden sowohl wechselrichterintegrierte als auch externe Überwachungssysteme verwendet. Die meisten Wechselrichter verfügen über wechselrichterintegrierte Monitoringlösungen, mit denen Störmeldungen versandt werden können. Meist gibt es auch eine kostenlose Visualisierung der Ertragsdaten auf einem Portal. Zu den in der Schweiz häufig verwendeten Wechselrichtern (Aufzählung nicht abschliessend) zählen unter anderem Geräte von ABB, Delta, Enphase Energy (Modulwechselrichter), Fronius, Huawei, Kaco, Kostal, Solarmax, SMA, Refusol/Advanced Energy und SolarEdge (Modulwechselrichter). Teilweise können mit den Monitoringlösungen auch Stromspeicher überwacht werden.

Eine umfassende Marktübersicht aller Monitoringsysteme (extern und wechselrichterintegriert) ist bei PV Magazin online zu finden unter:

<https://www.pv-magazine.de/marktuebersichten/monitoringsysteme/produktdaten/>

Eine nicht abschliessende Übersicht der wechselrichterunabhängigen Monitoringlösungen ist in der nachfolgenden Tabelle dargestellt.

Wechselrichterunabhängige Monitoringlösungen (Aufzählung nicht abschliessend)

Hersteller	Produkt	Visualisierung/ Webportal	Bemerkung
Common-Link AG	Inter-Link®-Solar	www.pv-log.de	Monitoring PV-Anlagen
Egon AG	Egonline	www.egonline.ch	Monitoring PV-Anlagen
Meteocontrol	blue' log	www.meteocontrol.com	Monitoring PV-Anlagen
Skytron energy GmbH	skylog®	www.skytron-energy.com	Monitoring PV-Anlagen
Smartblue AG	Smartblue Datenlogger	www.smartblue.de	Monitoring PV-Anlagen
Smartfox	Smartfox	www.smartfox.at	Monitoring PV-Anlagen
Solare Daten-systeme GmbH	Solar-Log	www.solar-log.com	Kompatibel mit über 2'300 Wechselrichtermodellen, Monitoring PV-Anlagen und Stromspeicher.
QTE Service & Systeme GmbH	QTE energy	www.qte.de/energy/monitoring.html	Monitoring PV-Anlagen und Stromspeicher

3 Aufgaben und Pflichten der Anlagenbetreiber

Anlagenbetreiber sollten mit dem Installationsbetrieb einen Werkvertrag abschliessen. Dort können alle wichtigen Punkte rund um die Installation einer PV-Anlage geregelt werden z.B. welche Garantien in Anspruch genommen werden können und welche Gewährleistungsfristen bestehen (s. Kapitel 3.1). Werden bei einer Anlage Wartungen durchgeführt, sind die wichtigsten Punkte eines Servicevertrags und einer Wartung im Kapitel 4 beschrieben. Die während der Wartung einzuhaltenden Arbeitssicherheitsmassnahmen sind im Kapitel 4.6 beschrieben. Wie die PV-Anlage am besten versichert wird, ist im Kapitel 3.2 erläutert.

3.1 Garantie/Gewährleistung/Mängelrüge

Der Anlagenbetreiber hat als Besteller eines Werks einen Rechtsanspruch darauf, dass das Werk vertragsgemäss funktioniert. Er hat es in der Regel beim Installateur bestellt, deshalb haftet ihm gegenüber dem Installateur für die Behebung von Mängeln.

Der Installateur hat sein Material beim Hersteller gekauft. Der Hersteller haftet dem Installateur gegenüber für einwandfreies Funktionieren der Ware. Es handelt sich hier um ein Verhältnis unter Geschäftsleuten, bei dem die Haftung beschränkt werden kann. Hinweise finden sich oft in den Allgemeinen Geschäftsbedingungen (AGB) der Hersteller.

Der Begriff «Garantie» bezeichnet die Bedingungen, die vom Anbieter aufgestellt werden und in denen beschrieben ist, wie er seine Mängelgewährleistungspflicht wahrnimmt. Eine Garantie bezeichnet damit stets eine Leistung, die vom Aussteller der Garantie versprochen wird. Sie kann von den gesetzlichen Mängelgewährleistungspflichten abweichen.

Zwischen den Garantiefristen der Hersteller und den Gewährleistungsfristen der Installationsbetriebe muss unterschieden werden. Hersteller von Modulen und Wechselrichtern versprechen oft längere Garantiefristen als die Installateure. Bei Wechselrichtern wird eine Produktgarantie von 5 bis 10 Jahren ausgesprochen, gegen Aufpreis kann sie bis auf 20 Jahre verlängert werden. Bei Modulen gibt es Produktgarantien von 5 bis 15 Jahren, die ebenfalls gegen Aufpreis verlängert werden können.

Die Produktgarantie stellt eine Garantie auf ein Produkt dar, es wird gewährleistet, dass ein Artikel bei der Auslieferung in einem einwandfreien Zustand bzw. frei von Mängeln war. Weiter gibt es die Leistungsgarantie, mit der versprochen wird, dass Solarmodule nach einer bestimmten Zeit noch einen bestimmten Prozentsatz ihrer auf dem Datenblatt vermerkten Leistung abgeben. Häufig wird garantiert, dass Module innerhalb der ersten 10 Jahre noch 90% und innerhalb von 25 Jahren noch 80% ihrer Anfangsleistung aufweisen müssen. Die Produkt- und Leistungsgarantien sind von Hersteller zu Hersteller unterschiedlich.

Solche Garantien sind freiwillige Leistungen der Hersteller – nicht des Installationsbetriebs. Deshalb kann der Hersteller selbst entscheiden, was die Garantie abdeckt und wie lange sie gilt.

Gegenüber dem Anlagenbetreiber muss klargestellt werden, dass diese Garantien vom Hersteller versprochen und gewährt werden, jedoch nicht vom Installationsbetrieb.

Für den Installateur gelten gesetzliche Mindestleistungen nach OR. Wurde der Werkvertrag nach der Norm SIA 118 abgeschlossen, gelten die Vorschriften dieser Norm. Gewährleistungsfristen in der Schweiz dauern 2 bis maximal 5 Jahre, danach sind die Ansprüche zur Mängelbehebung verjährt. Bei Verträgen, die nach der Norm SIA 118 abgeschlossen werden, können offene Mängel während 2 Jahren, verdeckte Mängel bis 5 Jahre nach der Abnahme geltend gemacht werden.

Aufgrund der Unterschiede zwischen Garantie und Gewährleistung ist es wichtig, dass in einem Werkvertrag geregelt wird, wer wofür wie lange haftet. So wird die Gefahr vermieden, dass unter Umständen Jahre nach Vertragsabschluss Missverständnisse entstehen. Es muss z.B. klar ersichtlich sein, dass die Garantie, die ein Hersteller gewährt, bei diesem eingefordert werden muss. Spätestens nach Ablauf der vertraglichen Gewährleistungsdauer des Installateurs soll sich der Kunde grundsätzlich direkt an den Hersteller wenden, eine Unterstützung aus Kulanz durch den Installateur ist damit in der Praxis immer noch möglich. Eine Installationsfirma, die das Thema Garantie und Gewährleistung eindeutig regeln möchte, könnte in ihrem Werkvertrag nachfolgende Formulierung verwenden:

Wir erfüllen unsere Gewährleistungspflicht nach OR bzw. nach SIA 118⁹. Garantien der Hersteller, die darüber hinausgehende Garantiedauern versprechen, können nach Ablauf der ordentlichen Gewährleistungsfrist nicht bei uns, sondern müssen beim Hersteller eingefordert werden. Wir beraten Sie in dieser Angelegenheit gerne.

Bauherren können bezüglich eines Werkvertragsentwurfs bei den Solarprofis, Mitgliedern von Swissolar, nachfragen. Der Muster-Werkvertrag steht den Mitgliedern zur freien Verfügung.

2 oder 5 Jahre Gewährleistungsdauer?

Nach Obligationenrecht (OR) dauert die Gewährleistungsfrist 5 Jahre, wenn „*Mängel eines beweglichen Werkes, das bestimmungsgemäss in ein unbewegliches Werk integriert worden ist, die Mangelhaftigkeit des Werkes verursacht haben*“. Das heisst, wenn z.B. ein fehlerhafter Wechselrichter für Ertragseinbussen der Anlage verantwortlich ist, gilt eine Gewährleistungsfrist von 5 Jahren. Die Wendung „bestimmungsgemäss in ein unbewegliches Werk *integriert*“ im OR ist auslegungsbedürftig und wird von den Gerichten noch genauer definiert werden. Ein Wechselrichter etwa ist für sich gesehen ein bewegliches Werk, während das Haus, in das er «bestimmungsgemäss integriert» wird, ein unbewegliches Werk ist. Die bestimmungsgemässe Integration spielt damit hinsichtlich der Gewährleistungsdauer eine grosse Rolle.

⁹ Verträge können nur nach der Norm SIA 118 abgeschlossen werden, wenn der Inhalt der Norm beiden Vertragsparteien bekannt ist.

Mängelrüge

Ein Mangel muss dem Installationsbetrieb sofort (nicht später als 7 Kalendertage) nach der Entdeckung (Art. 201 OR) gemeldet werden, aus Beweisgründen am besten schriftlich (bei e-Mail eine Empfangsbestätigung verlangen, bei Postversand mindestens Versand mit A+). Verspätete Meldungen führen zum Verlust der Gewährleistungsrechte. Garantiebestimmungen enthalten oft ebenfalls Meldefristen, die eingehalten werden müssen, damit die Garantieleistung nicht dahinfällt.

3.2 Welche Versicherungen braucht es wirklich?¹⁰

Bei Versicherungen stellt sich grundsätzlich die Frage, welche wirklich benötigt werden. In den meisten Fällen wird es möglich (und teilweise vorgeschrieben sein), die PV-Anlage in die bestehende Gebäudeversicherung einzuschliessen. Diese deckt grundsätzlich die Elementarschäden durch Feuer, Wasser, Sturm, Hagel und Blitzeinschläge ab. Falls die PV-Anlage nicht Teil der Gebäudeversicherung ist, kann eine All-Gefahrenversicherung abgeschlossen werden. Ergänzend können freiwillig weitere Versicherungen abgeschlossen werden.

Es empfiehlt sich auf jeden Fall, bei der Gebäudeversicherung des jeweiligen Kantons abzuklären, ob die Anlage versichert ist oder nicht. Nachfolgend ist aufgeführt, welche Schäden von den verschiedenen Versicherungen gedeckt werden.

Gebäudeversicherung

Falls keine obligatorische Gebäudeversicherung besteht, sind die Versicherungsabschlüsse freiwillig. Keine kantonalen Gebäudeversicherungen gibt es in den Gustavo-Kantonen (GE, UR, SZ, TI, AI, VS, OW). Bei gebäudeintegrierten Anlagen muss die PV-Anlage in den meisten Kantonen als Zusatz in die bestehende Gebäudeversicherung integriert werden.

All-Gefahrenversicherung

Bei dieser Versicherung ist die PV-Anlage grundsätzlich gegen alle denkbaren Gefahren bis auf die ausdrücklich in den Versicherungsbedingungen genannten Ausschlüsse versichert. Je nach Angebot sind zum Beispiel Diebstahl, Einbruchdiebstahl, Raub, Plünderung, Feuer, Brand, Blitzschlag, Sturm, Hagel, Schneedruck, Überspannungsschäden, innere Betriebsschäden (techn. Schäden), Vorsatz Dritter, Sabotage, Vandalismus, Frost, Tierverbiss (z.B. Marderbiss), Ertragsausfall sowie De- und Remontagekosten versichert.

Versicherung der Garantieleistungen

Ein weiteres Thema ist die Versicherung der Garantieleistungen. Hierbei geht es um den Schutz der Garantieansprüche bei Insolvenz des Herstellers, oder wenn er aus anderen Gründen die Garantieforderungen nicht erfüllen kann. Die Rückversicherung der Garantieleistungen muss der

¹⁰ Swissolar Merkblatt Photovoltaik Nr. 4 „Versicherungen“, Teil der „Photovoltaik Merkblätter Schweiz“, erhältlich unter <https://www.swissolar.ch/fuer-fachleute/hilfsmittel-photovoltaik/merkblaetter/>

Hersteller der Solarmodule abschliessen. Bei grösseren Bestellungen lohnt sich zu prüfen, ob eine geeignete Rückversicherung besteht und unter welchen Bedingungen der Schaden gedeckt ist.

Haftpflichtversicherung

In der Schweiz werden die meisten PV-Anlagen an oder auf einem Gebäude montiert. Dadurch sollte die PV-Anlage Bestandteil der für Gebäudebesitzer üblichen Gebäudehaftpflichtversicherung sein. Ob und wie die Haftpflicht gedeckt ist, muss in jedem Fall individuell abgeklärt und bestätigt werden. Die Prämien orientieren sich in der Regel nach dem Wert des Gebäudes, womit die Kosten entsprechend dem Wert der PV-Anlage zunehmen.

Montageversicherung

Die Montageversicherung deckt Schäden für den Zeitraum zwischen Anlieferung des Materials auf der Baustelle bis zur Inbetriebnahme der fertig erstellten Anlage.

Versicherungsvergleich

Wenn die Versicherung der Photovoltaikanlage in die bestehende Gebäudeversicherung eingeschlossen werden kann, ist das die einfachste Lösung. Da, wo die Elementarschadenversicherung nicht obligatorisch bei der kantonalen Gebäudeversicherung eingebunden ist, kann es Sinn machen, auch bei externen Versicherern nachzufragen, was für eine Prämie sie für die gleiche Leistung verlangen. Allenfalls ergeben sich noch bessere Konditionen oder die eigene Gebäudeversicherung verbessert ihre Offerte nochmals, wenn eine günstigere Konkurrenzofferte vorliegt. Tieferer Prämien sind ansonsten grundsätzlich mit ähnlichen Massnahmen wie bei anderen Versicherungsprodukten möglich, zum Beispiel durch einen erhöhten Selbstbehalt.

4 Wartung¹¹

Unter einer Wartung werden Arbeiten verstanden, die dazu dienen, eine Anlage in einem betriebsfähigen, ordnungsgemässen und sichereren Zustand zu halten sowie den Verschleiss zu verzögern. Zu den Wartungsaufgaben zählen verschiedene Messungen und Kontrollen der Anlagenbestandteile. Eine Wartung sollte von ausgebildetem Fachpersonal durchgeführt werden. Bei Photovoltaikanlagen gibt es keine gesetzliche Pflicht und auch grundsätzlich keine technische Notwendigkeit, eine Wartung durchzuführen, da es z.B. keine Verschleisssteile gibt (Ausnahme z.B. Transformator bei Grossanlagen). Die Anlagen sollten auf jeden Fall fernüberwacht werden, damit im Falle einer Störmeldung die Störung behoben und im Anschluss eine weitere Überprüfung der Anlage vorgenommen werden kann. Jedoch ist auch, wenn die Anlage fernüberwacht wird, nicht zu 100% garantiert, dass alle Anlagenprobleme erkannt werden. Glasbruch, sofern er die Leistungsfähigkeit des Moduls nicht beeinträchtigt, kann über das Monitoring z.B. nicht angezeigt werden. Daher kann es Sinn machen, nach einem Sturm eine zusätzliche Sichtkontrolle durchzuführen, um den Anlagenzustand zu überprüfen.

Anforderungen an Betriebs- und Wartungsdaten gemäss der Norm SNG 491000-2086A

Gemäss dieser Norm werden folgende Unterlagen verlangt:

- Not-Abschaltung / Trennvorrichtung
- Reinigungs- und Wartungsempfehlungen
- Checkliste, was im Fall eines Anlageausfalls unternommen werden muss
- Zukünftige Arbeiten am Gebäude, die sich auf den PV-Generator auswirken können (z.B. Anschlagpunkte für Dacharbeiten)
- Verlegeplan zur DC-Leitung als Information für die Feuerwehr

4.1 Wann und wie oft ist eine Wartung erforderlich?

Es gibt kein bestimmtes Zeitintervall, innerhalb dessen eine Wartung durchgeführt werden muss. Somit gehen bei Nichtdurchführung keine Gewährleistungsansprüche gegenüber dem Installationsunternehmen oder den Produktherstellern verloren. Vernachlässigt der Bauherr bzw. Anlagen-eigentümer jedoch seine Sorgfaltspflichten komplett, so kann ihm eine Mitverantwortung übertragen werden. Beim Betrieb von Stromspeichern kann je nach Hersteller eine regelmässige Wartung vorgeschrieben sein. Dies muss in der Dokumentation beschrieben sein und vom Installationsbetrieb entsprechend kommuniziert werden.

Überprüfung der PV-Anlage vor Ende der Gewährleistung

Eine Überprüfung der Anlage vor Ablauf der Gewährleistungsfrist ist sehr zu empfehlen, auch wenn bis dahin der Betrieb der Anlage störungsfrei verlaufen ist. Eventuell festgestellte Mängel

¹¹ Quellen für das Kapitel 4: Ullrich Schwarzburger, Störungsfreier Betrieb von PV-Anlagen und Speichersystemen, VDE Verlag sowie Schulungsunterlagen Solarbildung Schweiz, Bezug unter www.solarbildung.ch

können dann über die Garantieleistungen bzw. Gewährleistungspflichten abgedeckt werden. Moduleleistungsminderungen werden z.B. fast nicht wahrgenommen und können nur mit speziellen Messgeräten festgestellt werden. Durch einfache Messungen der Stringleitungen können bereits erste Fehlerquellen durch Vergleiche mit anderen Strings oder anhand des Moduldatenblattes erkannt werden. Für die Überprüfung der Anlage vor Ende der Gewährleistung empfiehlt es sich, eine dritte, unabhängige Firma zu beauftragen.

Überprüfung der PV-Anlagen nach einer Störungsbehebung

Eine Überprüfung der Anlage kann auch im Anschluss an eine zuvor erfolgte Störungsbehebung an der Anlage durchgeführt werden. Ernst zu nehmende Störmeldungen sind beispielsweise Meldungen zu Ertragsabweichungen, –ausfällen oder Kommunikationsstörungen. Grundsätzlich kann sich der Anlagenbetreiber für allfällige Wartungsaufgaben an nachfolgenden Zeitvorgaben orientieren:

Die periodischen Kontrollen gemäss NIV folgen festgelegten Zeiträumen (siehe Anhang NIV), die Erneuerung des Sicherheitsnachweises wird abhängig vom Gebäudetyp respektive der Gebäudenutzung alle 1 bis 20 Jahre vorgeschrieben. Die Kontrolle der Anlagentechnik (z.B. visuelle Kontrolle, Messungen, Test des externen Fehlerstromschutzschalters, etc.) sowie die Prüfung, ob die Anlagendokumentation vorhanden und korrekt ist, kann einer anderen Periodizität als in der NIV vorgeschlagen folgen. In der Anlagendokumentation sollte es Hinweise zum Kontrollrhythmus der jeweiligen Komponenten geben. Kontrollen können aber auch in Zusammenhang mit einer Anlagenreinigung erfolgen. Die Messung der Kennlinien vor Ende der Gewährleistungsfrist (5 Jahre) wird bei konkretem Verdacht einer Ertragsminderung empfohlen. Massgeblich dafür, ob eine Wartung durchgeführt wird, bleibt jedoch, ob Störmeldungen vorliegen oder ob die Anlage aufgrund der Standortbedingungen (Staubemissionen, Beschattung, Bewuchs, etc.) z.B. regelmässig gereinigt oder Bewuchs entfernt werden muss.

4.2 Wer bietet eine Wartung an?

Die Installationsfirma aber auch andere Fachfirmen können Wartungsdienstleistungen anbieten. Teil des Wartungspakets kann neben der eigentlichen Anlagenwartung auch die Anlagenüberwachung sein. In diesem Fall übernimmt eine Fachfirma die Anlagenüberwachung und behebt im Störfall innerhalb einer festgelegten Frist die Störung. Jedem Anlagenbetreiber steht es frei, die Anlagenüberwachung auch selbst durchzuführen. Bei Unsicherheit bezüglich der erhaltenen Störmeldung sollte der Installationsbetrieb um Hilfe gebeten werden. Bei Überwachung durch den Anlagebetreiber selbst, ist es wichtig, Störmeldungen umgehend an den Installationsbetrieb weiterzuleiten. Somit kann der Fachbetrieb das Gefahrenpotenzial abschätzen und innerhalb der Garanzzeit Mängel fristgerecht melden (siehe Kapitel 3.1).

4.3 Welche Massnahmen sollen im Rahmen der Wartung durchgeführt werden?

Die Überprüfung der Anlage vor Ort kann neben der Sichtprüfung unter anderem die Kontrolle der Funktionsfähigkeit und der Sicherheit der Anlage sowie weitere Dienstleistungen umfassen.

Sichtprüfung der Anlage

Bei der Sichtprüfung können mit bloßem Auge erkennbare Schäden festgestellt werden: Zum Beispiel die mechanische Überprüfung der Befestigungspunkte an den Modulen oder Beschädigungen an sämtlichen Anlagenkomponenten (Module, Unterkonstruktion, Wechselrichter, Verkabelung) sowie Schäden am Dach selbst. Bei Modulen können zudem allenfalls ertragsmindernde Schäden wie Delaminationen (Loslösung der Rückseitenfolie) oder Verfärbungen der Module (browning) erkannt werden. Auch die Art, wie Solarkabel verlegt wurden, ist besonders zu prüfen. Nicht (ortsfest) montierte Kabelkanaldeckel, nicht UV-beständige Schutzrohre oder eine versprödete Isolation bei Installationskabeln führen zu Störungen, insbesondere zu Isolationsfehlern. Neben einer Verkürzung der Anlagenlebensdauer können die genannten Installationsfehler im schlimmsten Fall Auslöser für einen Brand sein. Beim Generator-Anschlusskasten und beim Überspannungsschutz ist zu prüfen, ob die Leitungen und die Befestigungsschrauben alle fest sitzen. Mit einer Thermographiekamera kann eine genaue Bilddokumentation erstellt und festgehalten werden (siehe Kapitel 4.11). Weiter können z.B. Korrosion sowie mögliche Beschädigungen von Stringkabeln durch Schädlingsverbiss sowie Schäden an Anschlussboxen (Verformung, etc.) festgestellt werden.



Abbildung 2: Verfärbung der Module (browning), Jendra Power AG\$

Kontrolle nach Unwettern

Insbesondere nach einem Unwetter oder starkem Sturm können Wind- oder Hagelschäden an Modulen oder an der Unterkonstruktion entstehen, die den Ertrag nicht unmittelbar beeinträchtigen und deshalb nicht zu einer Fehlermeldung führen. In diesem Fall sollte insbesondere die Befestigung des Moduls an der Unterkonstruktion sowie die Befestigung der Unterkonstruktion selbst überprüft werden.



Abbildung 3: Modulschaden nach Sturm, Edisun

Überprüfung der Elektroinstallation

Zur Überprüfung der Elektroinstallation gehören auf der Gleichstromseite die Stringprüfung jedes einzelnen Strings mit Erstellung eines Protokolls sowie die Überprüfung des DC-Trennschalters auf sichere Funktion. Beim Wechselrichter sind die Kühlrippen zu kontrollieren und gegebenenfalls zu reinigen. Ferner sollten Sicherungskästen kontrolliert sowie Schraubverbindungen und Anschlüsse/Anschlussklemmen nachgezogen werden. Die Sicherungselemente müssen auf festen Sitz geprüft sowie elektrische Leitungen auf Beschädigungen hin untersucht werden.

Standortbedingte Einflussfaktoren

Während der Sichtkontrolle kann auch festgestellt werden, ob sich die Situation am Anlagenstandort verändert hat. Hier wird z.B. untersucht, ob sich durch Bewuchs Verschattungen ergeben haben oder ob die Module oder Wechselrichter verschmutzt sind (siehe Kapitel 4.8). Es sollte ferner überprüft werden, dass keine Gegenstände auf den Lüftungsschlitzen der Wechselrichter abgelegt sind, so dass der Wärmeabtransport behindert ist. Auch muss der Zugang zu den Wechselrichtern frei sein. Verschattungen können durch angrenzende Bäume oder durch Bewuchs auf einem Gründach (siehe Kapitel 4.10) sowie durch bestehende Gebäude und temporäre Einrichtungen wie Gerüste, Krane, etc. auftreten.



Abbildung 4: Verschmutzte Wechselrichter, Jendra Power AG



Abbildung 5: Verschmutzte Module, Jendra Power AG

Anlagendokumentation

Abschliessend sollte kontrolliert werden, ob die Dokumentation nach wie vor an der Anlage vorhanden ist und ob Revisionen oder Änderungen nachgeführt wurden. Dies ist vor allem für den Fall wichtig, wenn eine andere Firma als die Installationsfirma die Anlage wartet.

Update von Komponenten

Gerade bei Datenloggern wäre im Rahmen einer Wartung der richtige Zeitpunkt ein Update durchzuführen, falls dies erforderlich ist. Auch sonstige Updates von PV-Komponenten (z.B. Wechselrichtern) sind zu prüfen und durchzuführen. Zum Beispiel sollten bei alten Wechselrichtern wenn möglich die neuen Netzschutzeinstellungen vorgenommen werden (siehe Merkblatt „Ländereinstellungen Schweiz für Wechselrichter“¹² sowie Weisung 1/2018 der ElCom¹³). Weitere Informationen zum Thema sind auf der Website von Swissolar zu finden¹⁴.

Überprüfung der Funktionsfähigkeit und Sicherheit der PV-Anlage anhand verschiedener Messungen

Die Funktionsfähigkeit der PV-Anlage, insbesondere der Wechselrichter und Module, kann über verschiedene Messungen erfolgen (siehe Kapitel 4.4).

4.4 Notwendige Messungen im Rahmen einer Wartung

Allgemeine Informationen zu den durchgeführten Messungen

Jede Anlage ist verschieden und weist unterschiedliche Merkmale auf. Bei den durchgeführten Messungen kommt es zudem auf den aktuellen Zustand der PV-Anlage an. Um den Anlagenzustand korrekt bewerten zu können, sind bei den Messungen der Verschmutzungsgrad der Module,

¹² <https://www.swissolar.ch/fuer-fachleute/hilfsmittel-photovoltaik/merkblaetter/>

¹³ Weisung 1/2018: Verhalten dezentraler Energieerzeugungsanlagen bei Abweichungen von der Normfrequenz

¹⁴ <https://www.swissolar.ch/fuer-fachleute/aktuelle-fachinformationen/retrofit-massnahmen-der-elcom/>

die Verschattung einzelner Bereiche des Modulfeldes oder einzelner Module sowie verschiedene Ausrichtungen und Neigungswinkel der Anlage zu berücksichtigen. Bei Messungen, die über den Tag verteilt durchgeführt werden, ist darauf zu achten, dass sich die Werte mit der Einstrahlungsintensität und Temperatur laufend verändern.

Test des externen Fehlerstromschutzschalters (RCD)

Führen die AC-Anschlussleitungen für Wechselrichter durch feuergefährdete Räume, ist nach NIN ein Fehlerstromschutzschalter für Brandschutz einzusetzen, der regelmässig getestet werden muss. Diese Tests werden grundsätzlich im Rahmen der periodischen Kontrolle und durch die Betreiber der Anlage durchgeführt. Der Test des externen RCD-Schalters sollte in regelmässigen Abständen durchgeführt werden (ebenso wie der RCD-Test für die Elektroinstallation im Haus). Um unnötige Spannungstransienten zu vermeiden ist es sinnvoll, diesen Test am Abend nach Sonnenuntergang durchzuführen.

Nachfolgend werden die möglichen Messungen auf der DC-Seite vorgestellt. DC-seitig sind bei einer Solaranlage alle Komponenten, die vor den Wechselrichter installiert sind. „DC-seitig“ bezeichnet daher alle Bestandteile einer Solaranlage, die auf der Gleichstromseite liegen. Die Komponenten, die bei einer Solaranlage für die Produktion von Gleichstrom sorgen, sind vor allem die Solarmodule.

Spannungsmessung

Bei ausgeschalteter PV-Anlage können die Leerlaufspannungen der Strangleitungen gemessen werden. Mittels des Moduldatenblatts sind die Werte zu vergleichen und zu beurteilen. Die gemessenen Werte können einfach mit den Werten bei der Inbetriebnahme verglichen werden. Es muss jedoch berücksichtigt werden, dass der Messwert von der aktuellen Wetterlage und dem Zustand des Modulfeldes (Verschmutzung usw.) abhängt. Insbesondere die Einstrahlungsintensität und die Temperatur sind bei der Messung zu berücksichtigen. Wenn mehrere Strangleitungen dieselbe Ausrichtung und Neigung besitzen, können leicht die Messdaten untereinander verglichen und beurteilt werden.

Strommessung

Mit der Strommesszange können die Stringströme im Betrieb gemessen werden. Die Werte können nach Datenblatt überprüft und mit den gemessenen Werten bei der Inbetriebnahme verglichen werden. Wie bereits bei der Spannungsmessung beschrieben, sind der Anlagenzustand und die aktuellen Wetterbedingungen zu berücksichtigen.

Kennlinienmessung

Die Kurzschlussstrommessung geschieht in der Regel zusammen mit der Kennlinienmessung, die im ausgeschalteten Zustand der Anlage durchgeführt wird. Mittels einer Kennlinienmessung kann die Strom-/Spannungskennlinie und Leistung der PV-Anlage (Modulstrang oder ein einzelnes Modul) ermittelt werden. Hierzu werden die DC-Leitungen am Messgerät angeschlossen. Aus den DC-Messwerten kann der Anlagezustand ermittelt werden. Mit der Kennlinienmessung kann ein einzelnes Modul oder ein ganzer Strang gemessen werden. Im Messgerät sind zuvor die Moduldaten zu hinterlegen. Danach wird das Messgerät mit einem Modul oder mit einem Strang verbun-

den. Aus den Werten wird die Leistung des Moduls oder des Stranges ermittelt und mit dem Datenblatt verglichen. Je nach Messgerät werden die Daten mittels eines Diagramms angezeigt, und es wird sofort ersichtlich, ob die Leistungsgarantie des Herstellers eingehalten wurde. Zu berücksichtigen sind auch hier die während der Spannungsmessung aufgeführten Anlagenbedingungen vor Ort (Temperatur, etc.). Bei der Kennlinienmessung werden vorzugsweise Einstrahlungs- und Temperatursensoren eingesetzt.

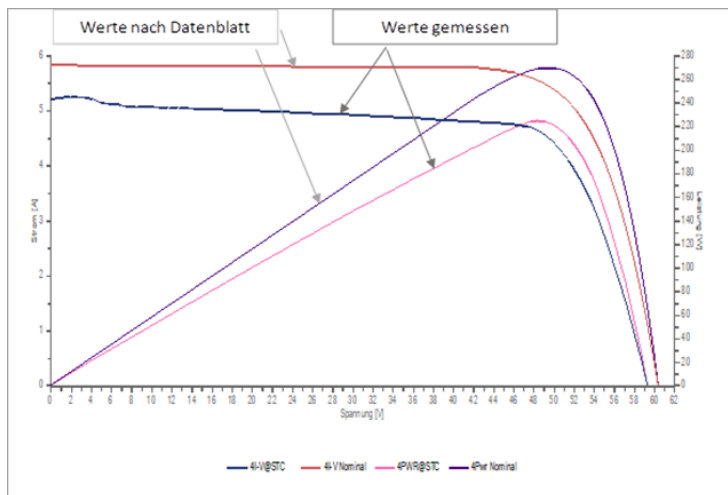


Abbildung 6: Kennlinienmessung, Darstellung der Abweichung der gemessenen Werte von den Werten im Datenblatt

Isolationsmessung

Bei der Isolationsmessung lässt sich feststellen, ob eine Verbindung zwischen einem aktiven Leiter (Plus- oder Minus-Leiter) zum Schutzleiter oder zur Erde besteht. Diese im Rahmen einer Wartung durchgeführte Messung kann von der Messung bei der Inbetriebnahme der Anlage abweichen. Ursachen für einen Isolationsfehler können vielfältig sein: Hierzu zählen Druckstellen oder Beschädigungen der Leiter aufgrund nicht ausreichend geschützter Kabeltrassen sowie Steckverbindungen, die nicht dicht sind, da beispielsweise Feuchtigkeit eingedrungen oder ein Schmorbrand entstanden ist. Auslöser können auch Leitungen sein, die dauerhaft im Nassen liegen sowie defekte Module, weil z.B. durch einen Glasbruch bei Feuchte oder Nässe eine Verbindung zum Erdpotential hergestellt wird. Bei Isolationsfehlern kann es sein, dass der Fehler nicht zu jeder Zeit auftritt. Wenn es morgens noch feucht oder nass ist, kann die Störung auftreten, im Laufe des Tages aber aufgrund der Trockenheit verschwinden. In diesen Fällen wird die Fehlersuche zur Herausforderung und sollte somit bei Feuchte oder Nässe durchgeführt werden.



Abbildung 7: Kabelbrand, Jendra Power AG

4.5 Voraussetzungen für die Wartung

Eine Anlagenwartung wird in der Hauptsaison der PV-Produktion durchgeführt. Für die verschiedenen Messungen braucht es ausreichend Sonneneinstrahlung, um repräsentative Messwerte zu erhalten und fundierte Aussagen zum Anlagenzustand zu treffen.

Um Wartungsarbeiten auf dem Modulfeld durchführen zu können, sind idealerweise Revisionsgänge erforderlich. Diese sind jedoch aus Gründen der Flächen- und Ertragsoptimierung auf vielen Solardächern nicht vorgesehen. Fehlen Revisionsgänge, kann es je nach Lage eines Modules sehr aufwändig sein, dieses im Falle einer Störung auszubauen.

Eine Begehung der Module sollte auf jeden Fall vermieden werden. Zum einen können Steine an den Schuhsohlen zu Rissen oder Kratzern am Modulglas führen. Zum anderen können punktuelle Belastungen durch eine Person zu Mikrorissen im Modul führen. Die so entstandenen Mikrorisse können langfristig zu von Ertragsminderung, über Hot Spots (so genannter „heisser Fleck“ aufgrund von Überhitzung des Moduls) bis hin zum vollständigen Ausfall des Moduls führen. Muss das Modulfeld zwingend begangen werden, können zumindest bei gerahmten Modulen so genannte Multiboards verwendet werden, mit denen eine Gewichtsverlagerung möglich ist. Alternativ können auch Hebebühnen eingesetzt werden. Der Zugang zu Wechselrichtern und zur Elektroverteilung etc. muss stets gewährleistet sein.



Abbildung 8: Einsatz Solar Multiboard, SMB Solar Multiboard GmbH

4.6 Welche Arbeitssicherheitsmassnahmen müssen während der Wartung beachtet werden?

Bei der Wartung von PV-Anlagen müssen die Arbeitssicherheitsvorschriften der Suva (Schweizerische Unfallversicherung) eingehalten werden. Arbeiten, die weniger als 2 Manntage dauern, können mit temporären Arbeitssicherheitsmassnahmen, d.h. mit einem Anseilschutz durchgeführt werden. Wartungen von PV-Anlagen im Einfamilienhausbereich werden in der Regel innerhalb dieses Zeitraums durchgeführt.

In der Anlagendokumentation muss ein Plan enthalten sein, aus dem ersichtlich ist, wie die Arbeitssicherheit im Fall einer Wartung gewährleistet wird. Dies ist z.B. mit Anschlag-Einrichtungen möglich, die im Zuge der Installation der PV-Anlage vorgesehen werden müssen. Sind keine permanenten Anschlag-Einrichtungen vorhanden, können temporäre Anschlag-Einrichtungen installiert werden, zum Beispiel mit einem Überwurfseil oder einem Kollektivschutz mit Gerüst, mit Hebebühne oder ähnlichen Hilfsmitteln.

Kann die Wartung nicht Suva-konform durchgeführt werden, so liegt es in der Verantwortung der wartungsdurchführenden Firma, das Dach nicht zu betreten. Bei Arbeiten mit Anseilschutz braucht es geschulte Personen, die über eine persönliche Schutzausrüstung verfügen und die einen entsprechenden Höhensicherungskurs absolviert haben. Eine umfassende Beschreibung der zu erfüllenden Arbeitssicherheitsmassnahmen findet sich im Suva-Merkblatt [„Sicher zu Energie vom Dach“¹⁵](https://www.suva.ch/material/dokumentationen/sicher-zu-energie-vom-dach.-montage-und-instandhaltung-von-solaranlagen-44095.d-40954-40954).



Abbildung 9: Anseilschutz, BE Netz AG

Arbeiten unter Spannung sind zu vermeiden. Wie die PV-Anlage richtig ausgeschaltet werden muss, ist in der Betriebsanleitung beschrieben. Sollten Arbeiten unter Spannung unumgänglich sein, sind diese durch Fachpersonal gemäss der NIV auszuführen.

Der Anlagenbetreiber steht in der Verantwortung und kann bestraft werden, wenn die Arbeiten nicht fachgerecht ausgeführt werden oder ein Unfall entstanden ist. Daher sollte der Anlagenbetreiber den Installationsbetrieb auf die Suva-Richtlinien hinweisen und sich die Einhaltung der Richtlinien bestätigen lassen.

4.7 Bewertung der wichtigsten Punkte in einem Servicevertrag

In diesem Abschnitt werden die wichtigsten Punkte eines Servicevertrages beschrieben. Rechtlich enthält der Servicevertrag Elemente aus verschiedenen Vertragsarten, nämlich dem Werkvertrag und dem Auftrag; darauf wird hier nicht näher eingegangen.

Angaben Vertragsparteien

Im Servicevertrag müssen Angaben zum Vertragsinhalt, den Vertragsparteien und zum Anlagenstandort gemacht werden (Adresse der Firma, die die Wartung durchführt sowie Adresse des Anlagenbetreibers und Standort der PV-Anlage).

Umfang der Wartungsarbeiten

Es muss genau festgelegt werden, welche Punkte im Rahmen der Wartung bearbeitet werden (z.B. Monitoring der Anlage, periodische Aufgaben wie Sichtkontrolle, Reinigung von Anlagenteilen, Reparatur oder Ersatz von Anlagenkomponenten, Prüfung der angezeigten Wechselrichterwerte sowie allfälliger Fehlercodes).

Ist der Installationsbetrieb zusätzlich zur Wartung mit der Anlagenüberwachung beauftragt, muss geregelt sein, innerhalb welcher Fristen ein Störfall bearbeitet wird (z.B. nur an Werktagen) und was die Konsequenzen für den Betrieb sind, wenn die Fristen nicht eingehalten werden. Auch muss festgelegt werden, wie die Wartungsarbeiten oder auch die Behebung von Störfällen dokumentiert werden. Empfohlen wird, über die Wartungsarbeiten ein Protokoll zu erstellen.

Es muss zudem geregelt werden, wie mit Störungen umgegangen wird, die nicht zum Vertragsgegenstand gehören, da sie z.B. aufgrund fehlerhafter Bedienung, unsachgemässer Eingriffe, Erweiterungen oder Reparaturen, die nicht von der Installationsfirma durchgeführt wurden, oder durch vorsätzliche oder fahrlässige Beschädigung der Anlage verursacht worden sind.

Laufzeit des Servicevertrags, Kündigungsfristen

Die Laufzeit des Vertrags und mögliche Kündigungsfristen sollen definiert werden.

Vergütung

Für die Erbringung der regelmässig durchzuführenden Wartungsleistungen muss die Vergütung festgelegt werden. Es muss ebenfalls geregelt werden, wie mit ausserordentlichen Wartungsleistungen oder Reparaturen umgegangen wird.

Rechte und Pflichten

Die Rechte und Pflichten der Vertragsparteien sind in diesem Kapitel geregelt. Es muss z.B. geregelt sein, dass der Fachbetrieb jederzeit Zutritt zur Anlage hat, wenn er mit der Fernüberwachung und der Störungsbehebung beauftragt ist. Auch könnte geregelt werden, dass der Installationsbetrieb bestimmte Arbeiten an Drittfirmen abgibt.

Haftung

Unter diesem Punkt muss geregelt werden, wer für was haftet, sofern das Gesetz nicht zwingende Vorschriften enthält bzw. sofern von der Norm SIA 118 abgewichen werden soll, wenn die Anlage gemäss dieser Norm erstellt wurde.

Schlussbestimmungen

In den Schlussbestimmungen wird z.B. geregelt, dass Änderungen der Wartungsaufgaben schriftlich im Einverständnis beider Parteien neu vereinbart werden müssen. Hier wird z.B. auch der Gerichtsstand festgelegt.

4.8 Fachgerechte Reinigung der PV-Anlage

Module können durch Staub, Pollen, Laub, Vogelkot und weitere Ursachen verschmutzt werden. Bei gerahmten Modulen kann es im Laufe der Zeit am unteren Modulrahmen auch zu Mooswachstum kommen. Verschmutzung und Bewuchs führen zu Ertragsminderungen. Durch eine professionelle Modulreinigung können die Erträge einer Anlage optimiert werden. Normale Verschmutzungen durch z.B. Pollen oder Vogelkot werden in der Regel durch Niederschläge entfernt. Zu stärkeren Verschmutzungen und somit deutlichen Ertragseinbussen kann es vor allem auf Ställen, auf Gewerbebetrieben in der Nähe von Staub emittierenden Abbaugeländen und auf Dächern mit sehr geringer Dachneigung (unter 10 Grad) kommen. In solchen Fällen ist eine regelmässige Reinigung empfehlenswert.

Die Reinigung des Daches muss durch eine Fachfirma erfolgen. Für die Reinigung des Daches darf nur demineralisiertes Wasser oder Regenwasser verwendet werden, da es bei Verwendung von normalem Leitungswasser ansonsten zu Kalkflecken auf der Anlage kommt. Zudem dürfen keine Reinigungsmittel verwendet werden, da die Moduloberfläche angegriffen werden kann und somit Garantieansprüche seitens des Modulherstellers verloren gehen. Auch könnten Reinigungsmittel in die Gewässer gelangen.

Für die Reinigung werden normalerweise Teleskopstangen mit Bürsten verwendet. Diese müssen so beschaffen werden, dass das Modulglas nicht zerkratzt wird. Eine weitere Möglichkeit stellen Reinigungsroboter dar, die das Dach selbstständig reinigen.

Bei Reinigungsmaßnahmen dürfen die Module ebenfalls nicht begangen werden, auch müssen bei den Arbeiten die Arbeitssicherheitsbedingungen eingehalten werden.



Abbildung 10: Reinigung Solaranlage, BE Netz AG

4.9 Entfernung von Schnee, Prüfen der Schneefänger

Mancher Anlagenbetreiber möchte seinen Solarertrag auch in der Winterzeit optimieren. So wird teilweise zum Besen oder zur Schneeschaukel gegriffen, um das Dach von Schnee zu befreien. Hiervon ist in jedem Fall abzuraten. Einerseits ist die Sicherheit gefährdet, wenn die Person über keinen Anseilschutz verfügt, was bei Privatpersonen normalerweise der Fall ist. Andererseits können die Module und die Verkabelung durch die verschiedenen Geräte beschädigt werden. Es sollte also besser abgewartet werden, bis der Schnee von selbst abrutscht oder abtaut.

Schneefänger

Bei PV-Anlagen, deren Dachseite auf öffentlich begangene oder befahrene Flächen orientiert ist, ist der Anlagenbetreiber dazu verpflichtet, Massnahmen zu ergreifen, damit der Schnee nicht ungehindert auf den Weg oder die Strasse unterhalb der PV-Anlage abrutschen kann. Es muss ein Schneefänger installiert werden, der für die zu erwartende Schneemenge am Anlagenstandort ausreichend dimensioniert ist. In schneereichen Regionen kann es nach dem Winter in Extremfällen zu Verformungen bzw. Beschädigungen des Schneefängers und des Montageuntergrunds kommen. Dies muss im Rahmen einer Wartung überprüft werden.

4.10 PV-Anlage auf einem Gründach

Planung und Bau des Gründaches

Flachdächer werden sowohl im Einfamilien- und Mehrfamilienhausbereich als auch im Gewerbebereich begrünt. Häufig gibt es hierfür Auflagen seitens der Gemeinde, um für die überbaute Fläche eine bessere Wasserretention zu erzielen. In wenigen Fällen spielen auch ästhetische Gründe eine Rolle. Zudem kann durch ein Gründach die Temperatur des Gebäudes gesenkt und Lebensraum für Tiere und Pflanzen geschaffen werden.

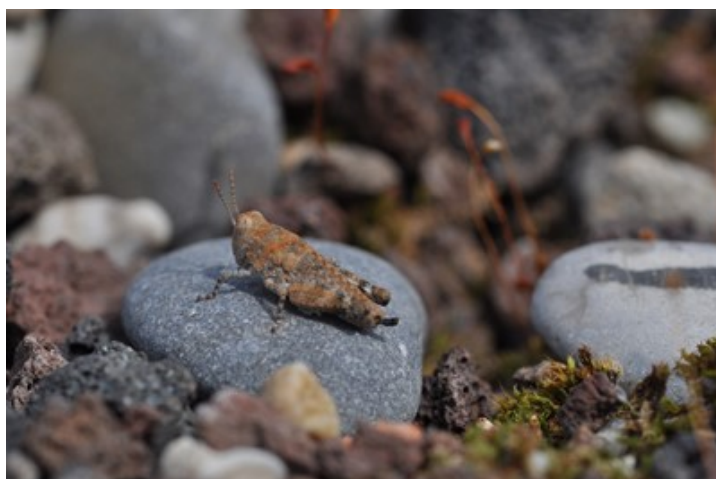


Abbildung 11: Lebensraum Gründach, Blauflügelige Sandschrecke, Dr. Stephan Brenneisen, ZHAW Wädenswil

Wenn ein Flachdach neu errichtet oder saniert wird und der Bau einer PV-Anlage geplant ist, kann auch das Gründach entsprechend geplant werden. Hier sollte ein Installationsbetrieb mit Erfahrung im Bereich PV-Gründach zu Rate gezogen werden. Mit der Substrathöhe, der Auswahl der

Pflanzen und der Positionierung der Module kann der Bewuchs entscheidend gesteuert werden. Werden Module z.B. so positioniert, dass zwischen den Reihen ein Gang besteht, können Pflanzen in diesem Bereich stärker wachsen, da von beiden Modulflächen Niederschläge auf diesen Bereich abgeleitet werden. In diesem Bereich sollte die Substrathöhe daher sehr gering sein, um nur ein mässiges Pflanzenwachstum zu ermöglichen.



Abbildung 12: Sedum-Zone vor den PV-Modulen, Dr. Stephan Brenneisen, ZHAW Wädenswil

Eine entsprechende Höhe der Unterkonstruktion hilft, dass Pflanzen im besten Fall nicht bis zu den Modulen hinreichen. Aufgrund von Flächenoptimierungen, die vor allem durch eine flache Ost-West-Ausrichtung erreicht werden - so vor allem auf Gewerbedächern umgesetzt - können schon geringere Pflanzhöhen ausreichen, um die Module zu verschatten. Dies muss bei der Planung der Anlage berücksichtigt werden.

Pflege des Gründachs

Für PV-Gründächer braucht es ein Pflegekonzept. Der Aufwand sollte sicherheitshalber mit ein bis zwei Pflegegängen pro Jahr eingeplant werden. Direkt nach der Pflanzung könnte es in den ersten Jahren einen etwas höheren Pflegeaufwand geben, bis die Pflanzung etabliert ist. Der Pflegeaufwand muss bei der Planung der Betriebskosten ausreichend berücksichtigt werden. Auch bei der Pflege des Gründachs müssen die Arbeitssicherheitsbestimmungen der Suva eingehalten werden.



Abbildung 13: Bewuchs auf Gründach, ost-west-ausgerichtete PV-Anlage, Dr. Stephan Brenneisen, ZHAW Wädenswil

4.11 Optionale Kontrollen im Rahmen einer Wartung: Thermographie, Elektrolumineszenz

Um der Ursache von Ertragsausfällen oder –minderungen auf den Grund zu gehen, stehen dem Anlagenbetreiber neben den bereits beschriebenen Methoden weitere Spezialuntersuchungen zur Verfügung.

Thermographie

Mit thermografischen Kameras ist es möglich, bei PV-Anlagen nach unzulässigen Erwärmungen zu suchen. Hier sind vor allem Punkt-Erwärmungen, so genannte „Hot Spots“, wärmere Zellen, die Gesamterwärmung eines Moduls sowie kurzgeschlossene Bypassdioden (Modulstrang wird erhitzt) feststellbar. Ursache für die Erwärmung sind Defekte auf Zell- und Modulebene, eventuelle Teilverschattungen, der Unterbruch von Leiterbahnen im Modul, nicht angeschlossene Stränge, die sich im Leerlauf befinden sowie die Alterung von PV-Modulen (Degradation). Für die Auswertung der thermografischen Bilder braucht es Fachleute. Thermografische Untersuchungen können auch mit Drohnen durchgeführt werden. Vorteil dieser Methode ist eine berührungslose, schnelle und sichere Untersuchung auch grösserer Anlagen.

Wann sollte eine thermographische Untersuchung durchgeführt werden?

Bei nicht anders erklärbaren Leistungsverlusten macht es Sinn, eine Thermographieuntersuchung durchzuführen. Neben der Identifikation defekter Module können auch Defekte bei der elektrischen Installation festgestellt werden.

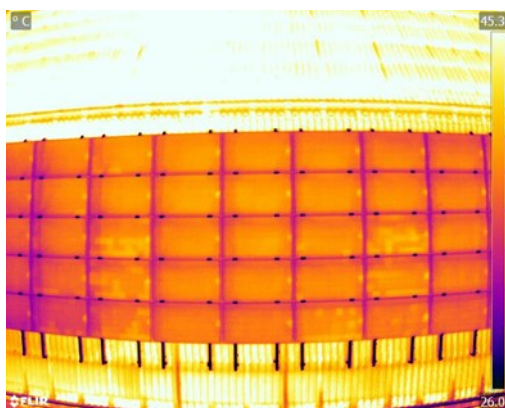


Abbildung 14: Thermographieaufnahme einer potenzialinduzierten Degradation (PID), Jendra Power AG

Elektrolumineszenz (EL) -Messung

Bei der Elektrolumineszenz-Messung wird der Photoeffekt der Solarzelle umgekehrt. Bei unter Strom gesetzten Solarmodulen beginnen die Zellen zu lumineszieren. Mithilfe einer speziellen EL-Kamera kann das dabei abgestrahlte Licht visualisiert werden. Die Messungen können bei Nacht oder bei Tag durchgeführt werden, bei Tag braucht es eine spezielle Abdeckung der Module. Mit der EL-Messung können sowohl kristalline als auch Dünnschichtmodule (a-Si, CIGS, CIS, CdTe) sowie verbaute und demontierte Module untersucht werden. Mit der EL-Messung ist es möglich, Mikrorisse und Zellbrüche an Solarmodulen zu erkennen. Ursachen für Zellbrüche und Mikrorisse können Sturm oder Hagel, ein nicht sachgerechter Transport sowie eine unsachgemässe Montage

oder das Begehen der Module sein. Nicht jeder Riss muss jedoch den Austausch eines Solarmoduls bedeuten. Werden allerdings grossflächige, dunkle (elektrisch nicht aktive Bereiche) festgestellt, können die Solarmodule eine entsprechende Minderleistung aufweisen.

4.12 Prüfung der Modulleistung in Prüflaboren

Unabhängige Labore wie z.B. die Scuola universitaria professionale della Svizzera italiana (SUPSI), die Zürcher Hochschule für angewandte Wissenschaften (ZHAW), die Berner Fachhochschule (BFH) und weitere bieten ebenfalls Möglichkeiten an, ein Modul zu überprüfen. Eine solche Prüfung ist z.B. erforderlich, wenn ein Modulhersteller einen vom Anlagenbetreiber oder Installateur festgestellten Leistungsrückgang des Moduls nicht anerkennen möchte. In diesem Fall könnte der Bauherr das Modul – allerdings auf eigene Kosten – in einem unabhängigen Prüflabor untersuchen zu lassen. Dort kann mit einem Flash-Test die effektive Leistung des Moduls bestimmt werden. Kann durch den Test im Labor nachgewiesen werden, dass die gemessene Leistung vom Wert auf der Flashliste abweicht, bestehen gute Chancen, dass der Modulhersteller aufgrund dieses Gutachtens ein Ersatzmodul bereitstellt. Auf der Flashliste wird zusätzlich zur Modulseriennummer die in der Modulfabrik gemessene Leistung des Moduls dokumentiert. Für die Modulleistung gibt es je nach Modulhersteller einen Toleranzbereich, innerhalb dessen die Modulleistung liegen kann. Die meisten Modulhersteller haben Module im positiven Toleranzbereich, d.h. das Modul hat in der Regel eine etwas höhere Leistung als auf dem Produktblatt angegeben. Es sind aber auch Negativtoleranzen möglich. Die Kosten für den Ab- und Wiedereinbau des Moduls, die Prüfung im Labor sowie den Versand an den Modulhersteller gehen in der Regel zu Lasten des Anlagenbetreibers.



Abbildung 15: Flasher, SUPSI

5 Solarprofis – geprüfte Fachfirmen

Die Fachmitglieder von Swissolar, die Solarprofis, können Sie bei der Planung, Installation und auch bei der anschliessenden Wartung der Anlage professionell unterstützen. Um Solarprofi zu werden, müssen Fachfirmen entsprechende Erfahrung, Fachwissen und Referenzanlagen nachweisen. Anschliessend erfolgt eine Prüfung durch externe Experten und den Vorstand von Swissolar. Solarprofis unterschreiben zudem eine Selbstdeklaration, mit der sie bestätigen, dass sie gemäss der anerkannten Regeln der Technik und gemäss der geltenden Gesetze und Vorschriften PV-Anlagen installieren, planen und verkaufen. Die Qualität der Arbeiten wird vom Verband mit Stichprobenkontrollen überprüft. Weitere Informationen sowie Zugriff auf das Solarprofiverzeichnis sind unter www.solarprofis.ch erhältlich.

6 Glossar

AC	Alternating Current: Wechselstrom
AC-Seite	Unter der AC-Seite versteht man den Teil der PV-Anlage vom AC-Trennschalter oder Wechselrichter bis zum Zählertableau
DC	Direct Current; Gleichstrom
DC-Seite	Unter der DC-Seite versteht man den Teil der PV-Anlage vom Modulfeld bis zum Wechselrichter
Delaminierung	Ablösen der Kunststoffschutzfolie von den Zellen unter dem Modulglas
EIV	Einmalvergütung
HKN	Herkunftsnachweis
kVA	Kilovoltampère
Monitoring	Anlagenüberwachung
NA-Schutzeinstellungen	Einstellungen Netz- und Anlagenschutz
NIN	Niederspannungsinstallationsnorm
NIV	Niederspannungsinstallationsverordnung
NIVV	Verordnung des Eidgenössischen Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK) über elektrische Niederspannungsinstallationen
OR	Obligationenrecht
PID	Potenzialinduzierte Degradation, Phänomen, das die Zellen von PV-Anlagen angreift. PID verursacht eine beschleunigte Verschlechterung der Leistung.
RCD-Schalter	R esidual C urrent D evice (Fehlerstromschutzschalter, umgangssprachlich als FI-Schalter bezeichnet)
SIA	Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein

7 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: BE Netz AG, Datenlogger	10
Abbildung 2: Verfärbung der Module (browning), Jendra Power AG\$	21
Abbildung 3: Modulschaden nach Sturm, Edisun	22
Abbildung 4: Verschmutzte Wechselrichter, Jendra Power AG	22
Abbildung 5: Verschmutzte Module, Jendra Power AG	23
Abbildung 6: Kennlinienmessung, Darstellung der Abweichung der gemessenen Werte von den Werten im Datenblatt	25
Abbildung 7: Kabelbrand, Jendra Power AG	26
Abbildung 8: Einsatz Solar Multiboard, SMB Solar Multiboard GmbH	27
Abbildung 9: Anseilschutz, BE Netz AG	28
Abbildung 10: Reinigung Solaranlage, BE Netz AG	30
Abbildung 11: Lebensraum Gründach, Blauflügelige Sandschrecke, Dr. Stephan Brenneisen, ZHAW Wädenswil	31
Abbildung 12: Sedum-Zone vor den PV-Modulen, Dr. Stephan Brenneisen, ZHAW Wädenswil	32
Abbildung 13: Bewuchs auf Gründach, ost-west-ausgerichtete PV-Anlage, Dr. Stephan Brenneisen, ZHAW Wädenswil	32
Abbildung 14: Thermographieaufnahme einer potenzialinduzierten Degradation (PID), Jendra Power AG	33
Abbildung 15: Flasher, SUPSI	34