

Merkblatt Photovoltaik Nr. 17

Umgang mit Hagelschäden an Solaranlagen

Durch den vermehrten Zubau von Solaranlagen und das sich ändernde Klima haben Schäden an Solaranlagen zugenommen. Es gilt, die richtigen Massnahmen zu treffen, um diese Schäden zu vermeiden. Kommt es dennoch auf Grund von Hagelschlag zu Schäden an Solaranlagen, so soll mit diesem Merkblatt ein Hilfsmittel zur Verfügung stehen.

1 Hintergrund

Hagelstürme gehören zu den bekannten Naturrisiken in der Schweiz. Jedes Jahr entstehen durch Hagel Schäden in Millionenhöhe.

Seit 2019 wurden im Projekt «Hagelklima Schweiz» die Grundlagen zu Hagelhäufigkeit, Hagelkorngrösse und Wiederkehrperioden überarbeitet. Beteiligt waren nebst MeteoSchweiz das BAFU und weitere Bundesämter, die Gebäudeversicherungen, der SIA und weitere Organisationen.

Daraus hervorgegangen ist insbesondere die neue Hagelkarte, siehe Abbildung 1. Diese neue Hagelkarte wird in künftige Regelwerke einfließen.

Im Sommer 2021 kam es in vielen Regionen der Schweiz, insbesondere in der Region Zug/Luzern zu ausserordentlich intensiven Hagelzügen, die massive Schäden an Solaranlagen verursachten. Swissolar hat im Anschluss daran eine Empfehlung zum Umgang mit Hagelschäden herausgegeben.

Mit diesem Merkblatt wird diese Empfehlung aufgegriffen und mit vertieften Informationen und Ergebnissen aus der Forschung ergänzt.

2 Risiken

Durch den Klimawandel ist mit dem häufigeren Auftreten von Extremereignissen – darunter auch Hagelstürmen – zu rechnen. Die neue Hagelkarte zeigt, in welchen Gebieten in einer Wiederkehrperiode von 50 Jahren mit welchen Hagelkorngrössen gerechnet werden muss.

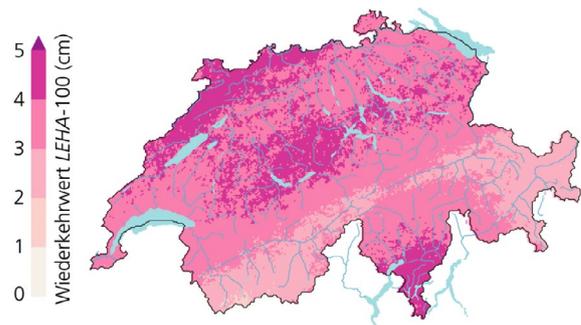


Abbildung 1: Neue Hagelkarte Schweiz, Hagelklima Schweiz

Für die Solarbranche wird die neue Hagelkarte zu Herausforderungen führen. So sind viele neue Gebiete mit 50-jährigen Wiederkehrperioden mit Korndurchmessern von über 4 cm ausgewiesen. Konkret bedeutet dies, dass die Hagelwiderstandsklasse HW 3 in diesen Gebieten nicht mehr ausreichend sein wird.

Weiter ist die Auflösung höher als in der bisherigen Hagelkarte, sodass sich in bestimmten Gebieten die Frage stellen wird, ob HW3 oder HW4 notwendig ist.

Alle diese Fragen werden mit der Übernahme der neuen Karte in die normativen Regelwerke geklärt werden müssen.

Derzeit gilt noch die Norm SIA 261/1 (2020) «Einwirkungen auf Tragwerke» mit der Hagelkarte in Anhang G1. Für Bauwerksklassen II und III wird schon heute an vielen Orten HW4 gefordert.

Hagelwiderstandsklassen

Die Zuweisung eines Bauteils zu einer Hagelwiderstandsklasse erfolgt durch experimentelle Untersuchung in anerkannten Prüflaboren. Dabei werden die Bauteile unter normierten Bedingungen mit Eiskugeln beschossen. Die Einteilung in eine Hagelwiderstandsklasse bedeutet, dass das Bauteil den Beschuss unter diesen Bedingungen schadlos überstanden hat.

Hagelwiderstandsklasse	Durchmesser in cm	Masse in g	Geschwindigkeit in m/s
HW 1	1	0,5	13,8
HW 2	2	3,6	19,5
HW 3	3	12,3	23,9
HW 4	4	29,2	27,5
HW 5	5	56,9	30,8

Tabelle 1: Hagelwiderstandsklassen und Eigenschaften Hagelprüfung

Für Solaranlagen geprüfte Produkte sind im Hagelregister aufgeführt (Gruppe 121 – Dach – Photovoltaik-Module beziehungsweise Gruppe 122 – Dach – Thermische Sonnenkollektoren).

3 Mögliche Schäden

Es wird bei möglichen Schäden durch Hagelstürme an Solaranlagen unterschieden, ob sie sicherheits- oder ertragsrelevant sind.

Bei sicherheitsrelevanten Schäden sind sofort Massnahmen zu ergreifen. Ertragsrelevante Schäden können unter Umständen bestehen bleiben.

3.1 Photovoltaik

Durch Hagel können an PV-Modulen folgende Schäden auftreten:

- Glasbruch
- Isolationsfehler
- Mikrorisse der Zellen
- Schäden am Modulrahmen

Nur die schweren Schäden lassen sich von blossen Auge erkennen. Die meisten Schäden können

jedoch ausschliesslich durch Elektrolumineszenz-Messung der PV-Module oder durch langfristiges Ertragsmonitoring identifiziert werden.

In Tabelle 2 sind die Methoden zur Identifikation von Schäden an PV-Modulen aufgeführt.

Methode	sicherheitsrelevant	ertragsrelevant	Art der Schäden
Sichtprüfung	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Glasbruch, Schäden am Rahmen
Thermographie (IR)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Glasbruch, Hotspots (Teilausfälle, Leerlauf, etc.)
Isolationsmessung	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Glasbruch, beschädigte Kabel
Elektrolumineszenz (EL)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Mikrorisse, Zellbrüche
Ertragsmonitoring		<input checked="" type="checkbox"/>	Ertragsausfall durch Leistungsminderung der Module, Meteo-daten bereinigt

Tabelle 2: Methoden zur Identifikation von Schäden

Die einzelnen Methoden werden in Kapitel 5 beschrieben.

Solarzellen von neuere PV-Modulen sind oft mit einer höheren Anzahl elektrischer Verbinder verlötet (Multi-Wire-Module). Zellbrüche führen bei diesen Modulen tendenziell weniger schnell zu Leistungseinbussen als bei älteren PV-Modulen, deren Solarzellen teilweise nur mit zwei Busbars verlötet sind.

3.2 Solarwärme

Durch Hagel können an Kollektoren folgende Schäden auftreten:

- Glasbruch
- Lecks im Solarkreis
- Schäden am Kollektorrahmen
- Schäden an Dichtungen

Schäden an Kollektoren lassen sich in der Regel durch eine Sichtprüfung erkennen. Bei Vakuumröhren ist der Verlust des Vakuums nach ein paar Tagen meistens durch weissliche Verfärbungen auf der Rückseite der Röhren zu erkennen. Diese Röhren müssen ersetzt werden.

4 Empfehlung zum Vorgehen bei Schäden durch Hagel an Solaranlagen

Nach einem starken Hagelgewitter sollte in jedem Fall eine Sichtkontrolle der Solaranlage erfolgen. Werden keine sichtbaren Schäden festgestellt, so kann davon ausgegangen werden, dass keine unmittelbar sicherheitsrelevanten Schäden an der Solaranlage entstanden sind. In diesen Fällen kann es sinnvoll sein, den Ertrag mindestens 2 Jahre lang mit den Vorjahren zu vergleichen und allenfalls Wärmebilder (siehe Kapitel 5.3) zu erstellen, um allfällige Hotspots zu identifizieren. Sind Schäden sichtbar (z. B. Glasbruch), so sollte das Schadensbild in Verantwortung des Eigentümers sorgfältig dokumentiert und der zuständigen Gebäudeversicherung bzw. der privaten Sach- oder Technischen Anlagenversicherung gemeldet werden. Die beschädigte Anlage sollte durch eine Fachperson begutachtet und das weitere Vorgehen sollte mit der zuständigen Versicherung abgesprochen werden. Dabei sind die Empfehlungen der Versicherung einzuhalten. Begutachtungen und Reparaturarbeiten sind durch Fachpersonen und unter Berücksichtigung aller Sicherheitsvorschriften durchzuführen. In jedem Fall sollte die (Teil-)Anlage in Absprache mit der Versicherung möglichst rasch instand gestellt werden.



Abbildung 2: Durch Hagel beschädigte PV-Anlage und Solarthermie-Anlage, Bild: Ernst Schweizer AG

Je nachdem, ob es sich bei einer Solaranlage um Photovoltaik oder um Solarthermie handelt, müssen unterschiedliche Dinge beachtet werden.

4.1 Photovoltaik

Hagelschäden treten meist sehr kleinräumig auf. Lokal tätige Fachunternehmen können kurzfristig für die Begutachtung vieler Anlagen angefragt werden. In diesen Fällen sind Indachanlagen vor Aufdachanlagen zu priorisieren. Bei Indachanlagen besteht eine erhöhte Gefahr (Brandgefahr und Gefahr von eindringendem Wasser).

Wenn bei einer Anlage Glasschäden festgestellt werden oder wenn Module stark deformiert sind oder andere sichtbare Schäden aufweisen, sollte der betroffene Anlagenteil möglichst schnell abgeschaltet und die DC-Kreise aufgetrennt werden.

Bei der Begutachtung durch Fachpersonen sollte als erstes eine Isolationsmessung erfolgen, um sicherzugehen, dass keine Isolationsfehler bestehen. Weiter ist die Gefahr durch Glasscherben zu beachten und es sind Massnahmen gegen Absturz entsprechend den Empfehlungen der Suva zu ergreifen.

Mögliche Hotspots lassen sich mit Infrarot-Aufnahmen (Thermografie) identifizieren, Mikrorisse mit Elektrolumineszenz-Aufnahmen. Weil letztere Aufnahmen mit relativ grossem Aufwand verbunden sind, sind sie nur bei dringendem Verdacht auf Beschädigung empfohlen.

Bei der Entfernung der beschädigten Anlage / des beschädigten Anlagenteils ist besondere Vorsicht geboten, weil durch Isolationsfehler gefährliche Ströme auftreten können. Kurzfristig kann mithilfe von Klebefolie oder breitem Klebeband verhindert werden, dass von stark beschädigten Modulen eine Gefahr ausgeht, wenn Glasscherben sich lösen und herunterfallen. Beschädigte Module sind fachgerecht dem Recycling zuzuführen.

Nach der Begutachtung kann die Fachperson entscheiden, ob eine Wiederinbetriebnahme der Anlage gefahrlos möglich ist.

Die Wiederinbetriebnahme nach einer Reparatur erfolgt nach der Schlusskontrolle und dem Ausfüllen des Mess- und Prüfprotokolls. Falls nur Module ausgewechselt wurden, ist keine erneute unabhängige Kontrolle notwendig. Gerade bei älteren Anlagen kann es sich als schwierig erweisen, einzelne Ersatzmodule gleichen Typs, Herstellers und

gleicher Dimensionen zu finden. In solchen Fällen können Module mit geringfügig abweichenden Eigenschaften eingesetzt werden, siehe dazu das Merkblatt «Kompatibilitätsbereich von PV-Modulen mit unterschiedlichem Strom im MPP». Weiter müssen parallel geschaltete Stränge auf den gleichen MPP-Eingang dieselbe Spannung haben. Falls sich die Anlagenleistung bei einem Modulersatz ändert, muss dies Pronovo gemeldet werden. Betreffend Einmalvergütung/Einspeisevergütung von solchen Anlagen ist Kapitel 7 in der «Richtlinie zur Energieförderungsverordnung (EnFV) - Photovoltaik» zu beachten (erhältlich unter <https://pronovo.ch/de/services/formulare>).

4.2 Solarwärme

Hagelschäden treten meist im Sommer auf, wenn die Gefahr von Überhitzung der Kollektoren am grössten ist. Einfache Glasschäden oder Deformationen am Kollektorrahmen sind in der Regel keine sicherheitsrelevanten Schäden. Die beschädigte Anlage sollte also nur in Absprache mit einer Fachperson ausser Betrieb genommen werden. Hagelschäden treten meist sehr kleinräumig auf.

Lokal tätige Fachunternehmen können kurzfristig für die Begutachtung vieler Anlagen angefragt werden. In diesen Fällen sind Indachanlagen vor Aufdachanlagen zu priorisieren. Bei Indachanlagen besteht erhöhte Gefahr, dass Wasser eindringt. Bei Röhrenkollektoren können zum Teil auch einzelne Röhren ausgetauscht werden. Beschädigte Kollektoren sind fachgerecht zu rezyklieren.

5 Methoden zur Identifikation von Schäden an PV-Modulen

5.1 Sichtprüfung

Mit einer einfachen Sichtprüfung lassen sich schnell etwaige Schäden feststellen. Ist eine Dachbegehung zur Sichtprüfung notwendig, so müssen die Sicherheitsmassnahmen gegen Absturz eingehalten werden. Auch hochauflösende Bilder können Aufschluss über allfällige Schäden geben.

5.2 Isolationsmessung

Aufgrund von Isolationsdefekten können Fehler-

ströme entstehen. Wenn bei der Sichtprüfung Schäden entdeckt wurden, sollte auf jeden Fall eine Isolationsmessung erfolgen, um sicherzugehen, dass keine gefährlichen Fehlerströme auftreten.

5.3 Thermografie (Infrarot-Aufnahmen)

Mithilfe von Aufnahmen im Infrarotbereich des elektromagnetischen Spektrums (Thermografie, Wärmebilder) lassen sich Temperaturunterschiede feststellen. Auf diese Weise können Hotspots in Solarmodulen identifiziert werden.

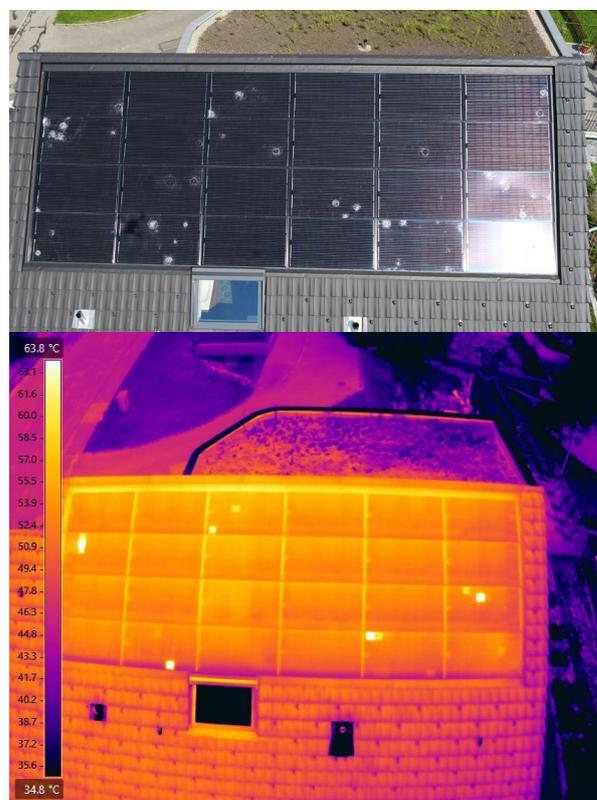


Abbildung 3: Dronenaufnahme eines Hausdachs mit Hagelschäden im sichtbaren und im infraroten Spektrum, Bilder: Energie Netzwerk, Heinz Simmler

Hotspots entstehen, wenn ein Bereich einer Zelle inaktiv ist (z. B. durch Defekte oder Teilverschattung). Dieser Bereich wirkt wie ein elektrischer Widerstand. Die anderen in Serie geschalteten Zellen erzeugen weiterhin eine elektrische Spannung. Wenn diese die Sperrspannung der inaktiven Zelle übersteigt, fliesst der volle Strom und die elektrische Energie wird in Wärme umgewandelt. Dies kann in Extremfällen zu Bränden führen.

Mit Thermografie lassen sich schnell und einfach Hotspots identifizieren. Bei Hagelschäden treten Hotspots vor allem zusammen mit sichtbaren Schäden auf, wie die Abbildung 3 zeigt. Thermografie kann entweder mit entsprechender Kamera oder mit Drohnen gemacht werden. Bei intaktem Modulglas können Zellbrüche und Mikrorisse in der Regel nicht mit der Wärmebildkamera identifiziert werden.

5.4 Elektrolumineszenzmessung

Elektrolumineszenz (EL) ist eine Form der Lumineszenz, bei der ein Festkörper durch Anlegen einer elektrischen Spannung dazu angeregt wird, elektromagnetische Strahlung zu emittieren, z. B. in Form von Licht. Solarzellen sind Halbleiterelemente, die bei Anlegen einer bestimmten elektrischen Spannung zum Leuchten. Im abgedunkelten Raum werden Aufnahmen gemacht. Auf diese Weise können elektrisch inaktive Bereiche der Zellen und Risse sichtbar gemacht werden. Die Module müssen für die Prüfung demontiert und in ein Prüfzentrum geschickt werden. Alternativ können sie vor Ort mit einem mobilen Messlabor getestet werden.

5.4.1 Interpretation der EL-Aufnahmen

Mikrorisse sind feine Risse in den Solarzellen, die aufgrund mechanischer Einwirkungen (wie z. B. Hagelschlag) auftreten. Die Länge kann von wenigen Millimeter bis über die ganze Zelle (wie in Abbildung 4) reichen.

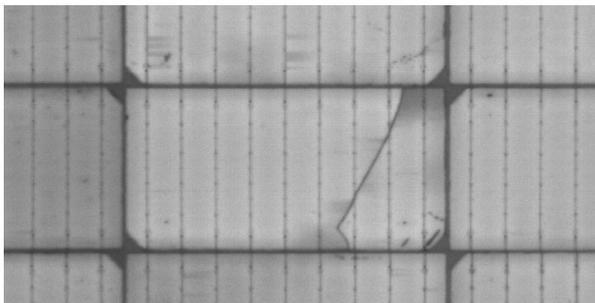


Abbildung 4: Zelle mit Mikroriss in Elektrolumineszenz-Aufnahme, Bild: SPF

Zellschäden wie in Abbildung 5 sind durch Mikrorisse komplett abgetrennte Bereiche der Zellen. Diese Bereiche wirken nicht mehr aktiv an der Stromproduktion mit, da sie vom Rest der Zelle getrennt sind, und führen zu Hotspots.

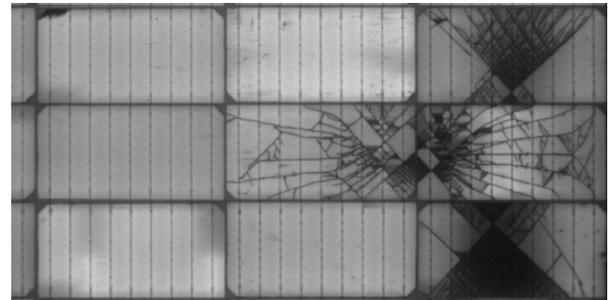


Abbildung 5: Zellbeschädigungen mit inaktiven Bereichen in Elektrolumineszenz-Aufnahme, Bild: SPF

Einzelne Mikrorisse führen selten zu Problemen. Mit Umwelteinwirkungen (Schnee, Wind, Temperaturwechsel) können sich die Risse mit der Zeit vergrößern und zu Zellschäden führen. Daher kann es sein, dass die Leistung einer so beschädigten Anlage nach ein paar Jahren sinkt, ohne dass von blosssem Auge Schäden sichtbar gewesen wären. Es ist unwahrscheinlich, dass grosse Ertragseinbussen bei Anlagen erfolgen, bei denen keine sichtbaren Schäden festgestellt wurden, dies ist jedoch schwierig zu beurteilen. Wenn einzelne Module aufgrund sichtbarer Schäden ausgewechselt wurden, empfiehlt es sich, den Ertrag der gesamten Anlage in den nächsten Jahre genau zu überwachen und Infrarot-Aufnahmen zu machen oder alternativ EL-Aufnahmen zu erstellen.

Kategorisierung von beschädigten Modulen

In der Praxis setzt sich die Klassifizierung von beschädigten Modulen anhand von Elektrolumineszenz-Aufnahmen der Firma MBJ Services GmbH durch.

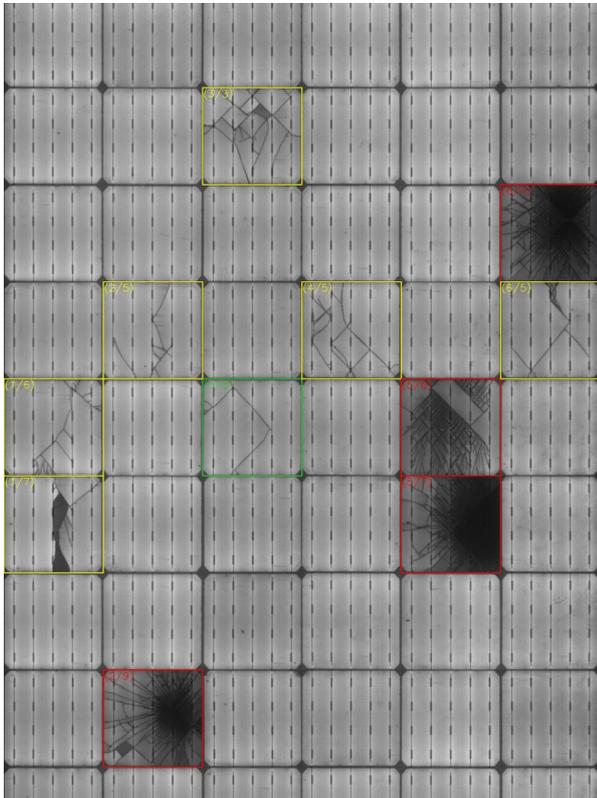


Abbildung 6: Elektrolumineszenzaufnahme eines beschädigten PV-Moduls, Bild: SPF

Zellkategorie	Beschreibung
grün = unkritische Zellbrüche	Einzelne Risse, die nicht in der Lage sind mehr als 1 % der Zelle abzutrennen
gelb = kritische Zellbrüche	Zellbrüche, die potenziell Zellbereiche grösser als 1 % und kleiner als 20 % von der Stromversorgung abtrennen können.
rot = sehr kritische Zellbrüche	Zellbrüche, die potenziell Zellbereiche grösser als 20 % von der Stromversorgung abtrennen können

Tabelle 3: Kategorisierung Zellbrüche

Sind alle Zellen eines Moduls wie in Abbildung 6 und Tabelle 2 beschrieben kategorisiert, kann das Modul gemäss Tabelle 3 klassifiziert werden.

Modul- klasse	Zellkategorie			Total markierte Zellen
	grün	gelb	rot	
A	<10%	0%	0%	<10%
B	<20%	<10%	0%	<20%
C	≥20%	≥10%	<10%	<30%
D	-	-	≥10%	≥30%

Tabelle 4: Modulklassen in Abhängigkeit der Zellkategorien

Module der Klassen C und D sollten auf jeden Fall ausgetauscht werden. Module der Klassen A und B können weiterbetrieben werden, es empfiehlt sich jedoch, den Energieertrag zu überwachen.

6 Versicherungen

Hagelschäden, auch an Solaranlagen, sind in der Regel durch die Gebäudeversicherungen bzw. durch die private Sach- oder Technische Anlagenversicherung abgedeckt. Wichtig ist, dass die Solaranlage bei der entsprechenden Versicherung angemeldet ist. Ebenfalls wichtig ist, dass die Komponenten im Hagelregister aufgeführt sind (bzw. zum Zeitpunkt des Baus aufgeführt waren). Im Schadensfall ist der Gebäudeeigentümer zuständig für die Meldung an die Gebäudeversicherung bzw. die private Sach- oder Technische Anlagenversicherung. Um den Schaden geltend zu machen, ist eine sorgfältige Dokumentation unabdingbar. Für die Schätzung der Schadenshöhe kann es sein, dass die Gebäudeversicherungen bzw. die private Sach- oder Technische Anlagenversicherung von den Installateuren eine Kostenschätzung verlangen. Kann im Einzelfall kurzfristig keine verbindliche Offerte erstellt werden, so sollte in Absprache mit der Versicherung eine andere Lösung gesucht werden. Die beschädigten PV-Module und Kollektoren sollten aufbewahrt werden, bis der Fall durch die Versicherung abgeschlossen ist, um allfällige Materialfehler auszuschliessen. Weitere Informationen zum Thema finden sich im Swissolar Merkblatt Photovoltaik Nr. 4 «Versicherungen».

7 Entsorgung und Recycling

7.1 PV-Module

Für die meisten in der Schweiz verbauten PV-Module wurde die vorgezogene Recycling-Gebühr entrichtet. Diese Module können über die Stiftung Sens eRecycling entsorgt werden. Beim Transport ist darauf zu achten, dass durch die Glasscherben keine Verletzungen entstehen, diese Gefahr kann mit Hilfe von Klebeband oder -folie reduziert werden.

7.2 Kollektoren

Kollektoren bestehen aus unbedenklichen Rohstoffen, die einfach getrennt und rezykliert werden können. Normale Entsorgungsunternehmen nehmen diese in der Regel entgegen. Auch hier ist beim Transport darauf zu achten, dass sich niemand an Glasscherben verletzt werden kann.

8 Abkürzungen

BAFU	Bundesamt für Umwelt
EL	Elektrolumineszenz
HW	Hagelwiderstandsklasse
IR	Infrarot
LEHA-100	«Largest Expected Hail on a reference Area», dt. «Grösster zu erwartender Hagel auf einer Referenzfläche» auf einer Referenzfläche von 100 m ²
MPP	Maximum Power Point
PV	Photovoltaik
SIA	Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein

9 Weiterführende Informationen

- [Hagelklima Schweiz](#)
- [MeteoSchweiz Karte Wiederkehrperioden \(Hagelkarte\)](#)
- [Hagelregister](#)
- [Website «Schutz vor Naturgefahren»](#)
- SIA 261/1 (2020)
«Einwirkungen auf Tragwerke»

- [Pronovo «Richtlinie zur Energieförderungsverordnung \(EnFV\) - Photovoltaik»](#), insbesondere Kapitel 7
- IEA PVPS M. Köntges et al., [Review of Failures of Photovoltaic Modules](#). 2014.
- IEA PVPS U. Jahn et al., [Review on Infrared and Electroluminescence Imaging for PV Field Applications](#). 2018.
- Swissolar, Merkblatt Photovoltaik Nr. 4 «Versicherungen»
- Swissolar, Merkblatt Photovoltaik Nr. 16 «Kompatibilitätsbereich von PV-Modulen mit unterschiedlichem Strom im MPP»
- Swissolar, [«Recyclingsystem in der Schweiz»](#)

Hinweis

Das vorliegende Merkblatt wurde mit grösstmöglicher Sorgfalt erstellt. Für die Richtigkeit, Vollständigkeit und Aktualität der Inhalte wird keine Gewähr geleistet. Insbesondere entbindet es nicht davon, die einschlägigen und aktuellen Empfehlungen, Normen und Vorschriften zu konsultieren und zu befolgen. Das vorliegende Merkblatt dient ausschliesslich zu Informationszwecken. Eine Haftung für Schäden, die aus dem Konsultieren bzw. Befolgen dieses Merkblatts entstehen, wird ausdrücklich abgelehnt.

Die Urheberrechte liegen bei Swissolar.

06/2022/Merkblatt-Nr. 21017d

Mit Unterstützung von

