

Nachbetreuung von PV-Anlagen

TEKO



Verfasser: Raphael Zemp

Experte: Jörg Schenker

Techniker HF Energie und Umwelt

Datum: 12.11.2023



INHALT

Vorwort.....	5
Management Summary.....	4
Beruflicher Werdegang.....	5
Ziel der Arbeit:.....	7
Terminplan.....	8
Wie funktioniert eine PV Anlage?	9
Zellaufbau	9
Aufbau des Solarmoduls:.....	10
Monitoring.....	12
Sichtkontrolle.....	14
Wärmebild Aufnahme:	18
Elektrolumineszenzmessung	19
Kennlinienmessung	20
Wartung.....	21
Huawei:.....	21
SolarEdge	22
Kostal	22
Delta	23
Fronius	24
SMA	24
GoodWe.....	25
Zusammenfassung Wechselrichter-Wartung:	25
Reinigung:.....	26
Reinigungsarten:.....	27
Gefahren durch falsche Reinigung.....	28
Weitere Gründe für eine Reinigung.....	31
Ästhetik.....	31
Lebensdauer	31
Kombination mit Sichtkontrolle.....	31
Ersatz von Komponenten und Reparaturen.	32
Entsorgung:.....	33
Fazit	34
Überwachung	34
Reinigung.....	34

Sichtkontrolle..... 34

Messungen 34

Quellen 35

Abbildungsverzeichnis 36

Quellenverzeichnis 37

Herkunft der Grafiken..... 38

Literatur 39

Schlusswort..... 35

Selbstständigkeitserklärung..... 40

MANAGEMENT SUMMARY

Die vorliegende Arbeit widmet sich der umfassenden Analyse von Photovoltaikanlagen, beginnend mit der Planung und Installation bis hin zu Wartung, Reinigung, Ersatz von Komponenten und schliesslich der Entsorgung. Ein besonderer Fokus liegt auf den verschiedenen Technologien und Methoden, die für die Überwachung und Fehlererkennung in PV-Anlagen verwendet werden.

Überwachungstechnologien:

Die Überwachung von PV-Anlagen spielt eine zentrale Rolle, um Leistungsprobleme frühzeitig zu erkennen. Infrarotthermografie, Elektrolumineszenzmessung und Kennlinienmessungen sind leistungsfähige Werkzeuge, um Fehler wie Risse, Verunreinigungen und Verschattungen zu identifizieren.

Wartung und Reinigung:

Die Wartung von Photovoltaikanlagen, insbesondere der Wechselrichter, ist entscheidend, um einen reibungslosen Betrieb sicherzustellen. Verschiedene Hersteller haben spezifische Wartungsanforderungen, die sorgfältig befolgt werden müssen. Die Entscheidung zur Reinigung der Module erfordert eine individuelle Bewertung unter Berücksichtigung von Ertragsverlusten, ästhetischen Aspekten und Sicherheitsrichtlinien.

Ersatz von Komponenten und Reparaturen:

Der rechtzeitige Ersatz defekter Komponenten, wie Module oder Optimierer, ist entscheidend, um Ertragsverluste zu minimieren. Die Kosten für den Ersatz müssen in die langfristige Wirtschaftlichkeitsberechnung einfließen.

Entsorgung:

Die Entsorgung von PV-Modulen ist ein wichtiger Schritt, um die Umweltauswirkungen zu minimieren. Die Mehrheit der Module kann wiederverwertet werden, wodurch der Beitrag zur Nachhaltigkeit in der Solarenergiebranche gestärkt wird.

Insgesamt liefert diese Arbeit einen umfassenden Überblick über die Lebenszyklusaspekte von Photovoltaikanlagen und betont die Bedeutung präziser Planung, regelmässiger Überwachung und sorgfältiger Wartung für ihren langfristigen Erfolg.

VORWORT

Liebe Leserinnen und Leser

Mit Freude präsentiere ich meine Diplomarbeit im Lehrgang "Dipl. Techniker HF Energie und Umwelt" an der TEKO Luzern. In diesem Lehrgang haben wir uns bereits mit verschiedenen Aspekten der Photovoltaik auseinandergesetzt. Allerdings fehlte ein wichtiger Teil, nämlich die Betreuung und Pflege von PV-Anlagen nach ihrer Installation. Genau an diesem Punkt setzt meine Arbeit an. Um Informationen zu diesem Thema zu sammeln, begab ich mich auf die Suche.

Zu meinem Glück gibt es bereits viele Informationen zu PV-Anlagen. Zum anderen liegt der Fokus auf dem Markt momentan hauptsächlich auf dem Bau neuer Anlagen und weniger auf ihrer langfristigen Wartung. Daher basiert einige wenige Aspekte in meiner Arbeit auf meinen eigenen Erfahrungen und denen meiner Kollegen, insbesondere im Hinblick auf die Reinigung von PV-Anlagen.

Während meiner Arbeit habe ich viel dazu gelernt und mein Wissen im Bereich der Photovoltaik vertieft. Bereits während meiner Lehrzeit hatte ich die Gelegenheit, Solarmodule auf einem Dach zu montieren. Seitdem hat mich dieses Thema nicht mehr losgelassen. Es kristallisierte sich früh heraus, dass dies mein Interessengebiet ist. Nachdem ich mich in meiner beruflichen Laufbahn mit der Installation auf der AC- und DC-Seite sowie der Projektleitung beschäftigt habe, widme ich mich bei meinem neuen Arbeitgeber, der Solarenergie Küng GmbH, der Nachbetreuung von PV-Anlagen. Das Unternehmen deckt sämtliche Aspekte der Anlagenpflege ab, einschliesslich Reinigung, Wartung, Monitoring und Beratung. Über 150 PV-Anlagen mit einer Gesamtleistung von 13.5 MWp bieten mir vielfältige Einsatzmöglichkeiten und Einblicke in den Lebenszyklus von PV-Anlagen, von der Installation bis zur Entsorgung.

Diese Arbeit richtet sich einerseits an Installateure und Anlagenbesitzer, die mehr über die Nachbetreuung von PV-Anlagen erfahren möchten. Andererseits sind auch alle herzlich eingeladen, die sich generell für das Thema interessieren.

Vielen Dank an alle, die sich die Zeit nehmen, dieses Dokument zu lesen.

BERUFLICHER WERDEGANG

LAUFBAHN

Seit 2023	Systemtechniker Solarenergie Küng GmbH
2022 – 2023	Projektleiter PV Helion Energy AG
2021 – 2022	Elektroinstallateur Bouygues E&S InTec Schweiz AG
2020 – 2021	Projektleiter OnTecGroup AG
2017 – 2020	Elektroinstallateur Belevo AG Menznau
2012 – 2017	Lehre als Elektroinstallateur Belevo AG Menznau, BBZB Luzern

WEITERBILDUNGEN

Seit 2020	Dipl. Energie und Umwelt Techniker HF Teko Luzern
2023	Eingeschr. Installationsbewilligung NIV Art.14
2020	Bürofachdiplom VSH HSO Luzern
2020	ECDL Profile Certificate
2020	Erstprüfung gemäss NIN
2019	S10 Schulungszertifikat E3DC
2019	Eco2friendly Training, Solar S02 Otto Fischer
2017	Eco2friendly Training, Solar S01 Otto Fischer



Raphael Zemp

Breitestrasse 53
5734 Reinach
02.07.1996

077 510 98 76
raphael.zemp2@edu.teko.ch

ZIEL DER ARBEIT:

Photovoltaikanlagen befinden sich derzeit auf einem nie dagewesenen Hoch. Noch nie wurden so viele Anlagen wie heute gebaut. Solche Anlagen bieten viele Vorteile, wie die Reduzierung des bezogenen Energiebedarfs und die Möglichkeit, finanzielle Erträge durch den eingespeisten Strom zu erzielen. All dies wird vom jeweiligen Installateur berechnet und ermutigt die Kunden zum Kauf der Anlage.

Allerdings gibt es Komponenten, die nach einer gewissen Zeit ersetzt werden müssen, Ertragsausfälle aufgrund von Störungen und Verschmutzungen, die die Produktion im Laufe der Jahre beeinträchtigen können. Die Frage ist, welche dieser Faktoren bereits in den Berechnungen berücksichtigt werden und welche nicht. Macht es Sinn, die Anlage zu reinigen?

Diese und andere Fragen werden oft übersehen. In meiner Arbeit möchte ich auf den Unterhalt einer PV Anlage eingehen. Ich möchte aufzeigen was nach der Fertigstellung der Anlage noch auf den Eigentümer zukommt und auf welche Angebote er zurückgreifen kann.

TERMINPLAN

Für die Planung dieser Arbeit habe ich Microsoft Lists verwendet. Dank dem Programm war es mir möglich schnell zu adaptieren und meine Gesamtzeit im Blick zu behalten.

Titel	zu erledigen bis	Erledigt?	Aufgewandte Stunden	Zeitalter
Finalisieren und Fertigstellen der Arbeit	10.12.2023	Erledigt	24	10.11.2023: Dokument überarbeiten. (8h) 11.11.2023: Layout und Bilder (8h) 12.11.2023: Fertigstellen und Hochladen (8h)
Grundrecherche	29.09.2023	Erledigt	44	19.09.2023: Dokument erstellen und Gedanken über Inhalt machen. (1h) 20.09.2023: Grundsätzliches Einlesen ins Thema (1h) 23.09.2023: Weitere Grundlagenforschung (2h) Während Schreiben der Arbeit: (40h)
Jörg kontaktieren und zwei Besprechungstermine vereinbaren	24.09.2023	Erledigt	0,5	23.09.2023: Mail gesendet (0,5)
Branche Meinungen einholen	9.8.2023	Erledigt	4	07.10.2023: 2h 08.10.2023: 2h
Roadmap erstellen	20.09.2023	Erledigt	2	20.09.2023: Erstellt
Tiefgehende Recherche (im Detail auf einzelne Aspekte eingehen)	15.10.2023	Erledigt	40	10.10.2023: 8h 11.10.2023: 8h 12.10.2023: 8h 13.10.2023: 2h 14.10.2023: 4h 15.10.2023: 2h
Arbeit schreiben	21.10.2023	Erledigt	108	11.10.2023: 3h 13.10.2023: 6h 14.10.2023: 6h 15.10.2023: 6h 17.10.2023: 4h 20.10.2023: 8h 21.10.2023: 8h 22.10.2023: 8h 23.10.2023: 2h 24.10.2023: 4h 25.10.2023: 1h 26.10.2023: 2h 27.10.2023: 8h 28.10.2023: 8h 29.10.2023: 3h 31.10.2023: 2h 3.11.2023: 8h 4.11.2023: 9h 5.11.2023: 10h
Interview Planen und durchführen	31.10.2023	Abgebrochen		Ich konnte keinen Mehrwert in einem Interview feststellen. Es ist mir kein passender Kontext mit interessantem Interviewpartner eingefallen.
Unternehmen fragen ob diese in Ihrer Offerte die Nachbetreuung von PV-Anlagen einrechnen	30.09.2023	Erledigt	4	30.09.2023: 4h
Buch "Photovoltaikanlagen bauen, pflegen und Nutzen" als E-Book kaufen und durchlesen	9.9.2023	Erledigt	4	02.10.2023: Recherche nach Fachbüchern, Lesen des genannten Buches.
Anschreiben der Wechselrichter Hersteller bezüglich Wartung.	28.10.2023	Erledigt	4	28.10.2023: 4h
Nachforschung zu DIN Normen und zu verwanten Arbeiten	30.10.2023	Erledigt	3	30.10.2023: 3h
			Summe	237,5

WIE FUNKTIONIERT EINE PV ANLAGE?

Zellaufbau

Um die verschiedenen Schäden und Servicefälle zu verstehen, ist es zunächst erforderlich, zu verstehen, wie eine PV-Anlage überhaupt funktioniert. Dies ermöglicht eine bessere Erklärung der Auswirkungen von Verschmutzungen im Nachgang.

Der grundlegende Aufbau einer Photovoltaikzelle beruht auf dem photoelektrischen Effekt. Dieser Effekt wurde 1921 von Albert Einstein beschrieben, wofür er den Nobelpreis erhielt. Wenn wir das Bohrsche Atommodell betrachten, fällt auf, dass den Valenzelektronen in der äussersten Schicht Energie durch Wärme oder Licht zugeführt werden kann. Dieses Elektron kann nun das Atom verlassen.

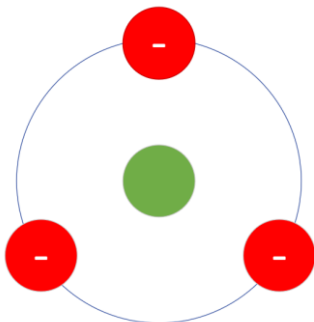


Abbildung 1: Bor

Bor
3 Valenzelektronen

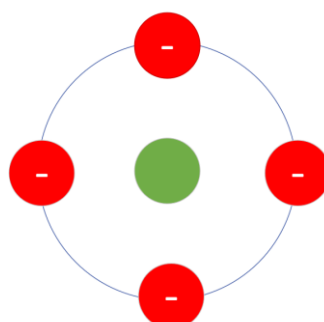


Abbildung 2: Silizium

Silizium
4 Valenzelektronen

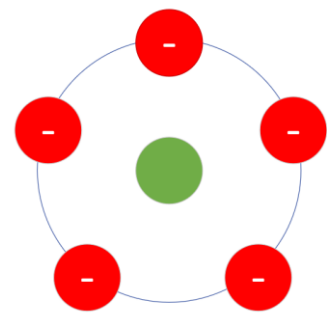


Abbildung 3 Phosphor

Phosphor
5 Valenzelektronen

Wenn Licht auf die atomare Struktur einer Siliziumzelle trifft, beginnen sich die Elektronen im Gitter zu bewegen. Die dabei entstehenden Löcher sind positiv geladen.

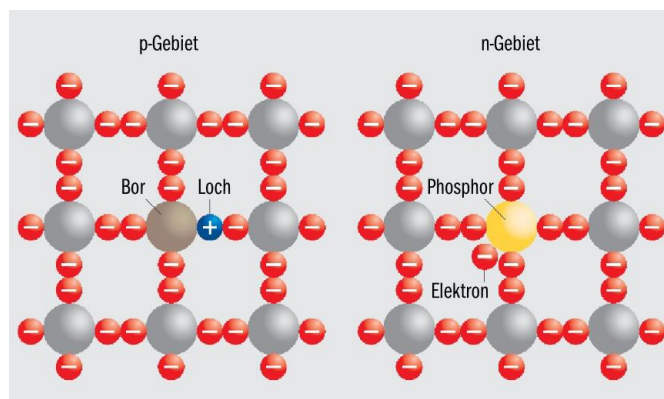


Abbildung 4: P und N-Gitter

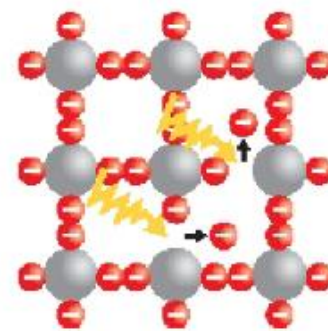


Abbildung 5: Elektronenwanderung

Genau, der photoelektrische Effekt wird genutzt, um in den Photovoltaikmodulen Spannung und schliesslich auch Strom zu erzeugen. Dies geschieht, indem einige der Siliziumatome durch Bor und Phosphor ersetzt werden. Da Phosphor ein Elektron mehr als Silizium hat und Bor eines weniger, können die Elektronen unter Einwirkung von Sonnenlicht wandern. Dadurch entsteht elektrischer Strom.

Aufbau des Solarmoduls:

Es gibt verschiedene Möglichkeiten, ein Solarmodul herzustellen. Generell kann jedoch gesagt werden, dass ein Modul normalerweise aus mehreren Zellen besteht, die in Serie geschaltet sind. Dies hat zur Folge, dass bei einem Zellbruch in einer Zelle das gesamte Modul ausfallen kann.

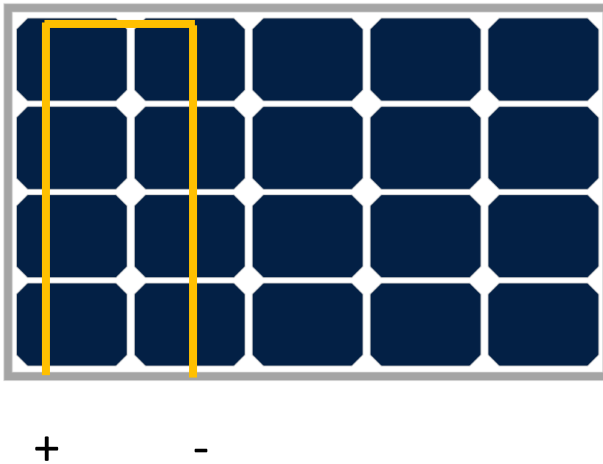


Abbildung 6: Verschaltung von Zellen

Zudem sind Module mit einer Bypassdiode ausgestattet um zu hohe Ertragsausfälle Abzufedern. Diese leitet den Stromfluss um eine defekte Zelle herum um diese vor Überhitzung zu schützen

Die Module selbst sind in der Regel zu einem Strang verschaltet. Alle Module in einem Strang sind in Serie geschaltet.

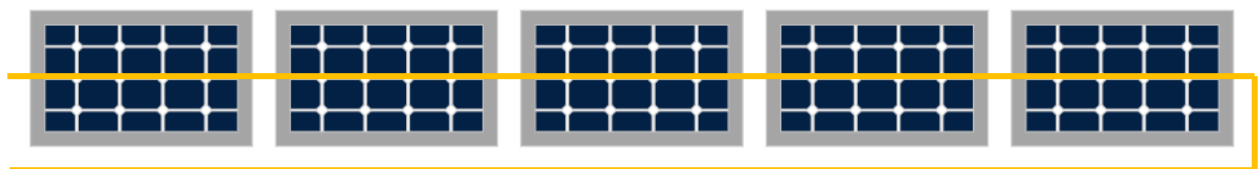


Abbildung 7: Verschaltung von Modulen

Das bedeutet, dass die Module ebenfalls von der einwandfreien Leistung jedes einzelnen Moduls, und somit auch jeder einzelnen Zelle im gleichen Strang abhängig sind. Ein Leistungseinbruch in einem Modul wirkt sich auf die anderen Module im gleichen Strang aus, da in der Serienschaltung der Ausfall eines Gliedes den Ausfall der gesamten Kette bedeutet.

Diesem Effekt kann gezielt entgegengewirkt werden, beispielsweise durch die Verwendung von Optimierern. Dennoch zeigt es bereits auf, welche Auswirkungen ein stark verschmutztes Modul theoretisch haben kann. Im Normalfall werden die einzelnen Stränge parallel zum Wechselrichter geführt.

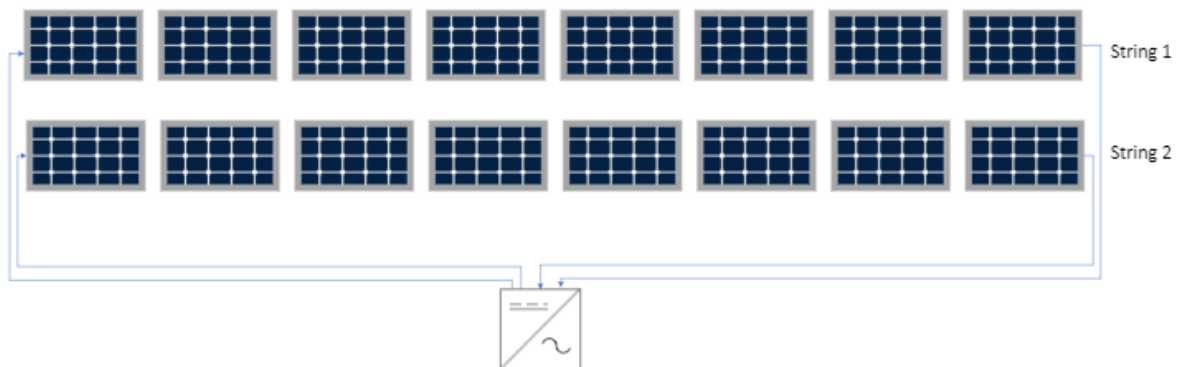


Abbildung 8: Verschaltung von Strings

In diesem Beispiel fließt weiterhin Strom aus String 2, selbst wenn String 1 ausfällt. Ein kompletter Ausfall eines Moduls würde somit einen Energieverlust von 50% bedeuten. Der Wechselrichter ist dafür verantwortlich, aus der Gleichspannung, die auf dem Dach erzeugt wird, Wechselspannung zu erzeugen. Diese Wechselspannung wird an das öffentliche Netz angepasst.

MONITORING

"Vertrauen ist gut, Kontrolle ist besser." Dieses oft verwendete Sprichwort lässt sich zweifellos auch auf die technische Welt übertragen. Je neuer eine Maschine ist, desto mehr Kontrollmechanismen sind in der Regel vorhanden. Bei PV-Anlagen verhält es sich nicht anders.

Ein gutes Monitoring bedeutet daher nicht nur, einen Überblick über die aktuelle und vergangene Produktion zu haben, sondern auch Fehler möglichst schnell zu erkennen und festzustellen, ob die Anlage die erwartete Produktion erbringt. Viele Dienstleister bieten die Möglichkeit an, Anlagen aus der Ferne zu überwachen. Das bedeutet, dass im Falle einer Störung der Dienstleister Sie kontaktiert und gegebenenfalls einen Termin zur Fehlerbehebung vereinbart oder Sie berät.

Darüber hinaus werden oft andere Pakete angeboten. Zum Beispiel ist es in den meisten Monitoring-Portalen möglich, eine Auswertung der Stromproduktion über einen bestimmten Zeitraum anzuzeigen. Dadurch können verschiedene Jahre miteinander verglichen werden. Es kann festgestellt werden, ob Module stark verschmutzt sind oder nicht mehr ordnungsgemäss funktionieren.

Neben den Portalen der einzelnen Hersteller von Wechselrichtern gibt es auch unabhängige Anbieter von Monitoring-Systemen. Die bekanntesten darunter sind Solarlog, Solarmanager und Smartfox.

Solarmanager:



Abbildung 9: Solarmanager

Solarlog



Abbildung 10: Solarlog

Smartfox:



Abbildung 11: Smartfox

Die verschiedenen Monitoring-Systeme weisen oft Ähnlichkeiten auf, da sie letztendlich die gleichen Daten erfassen und darstellen möchten. Die Wahl des Systems hängt in der Regel von den Erfahrungen des Installateurs oder des beratenden Unternehmens ab.

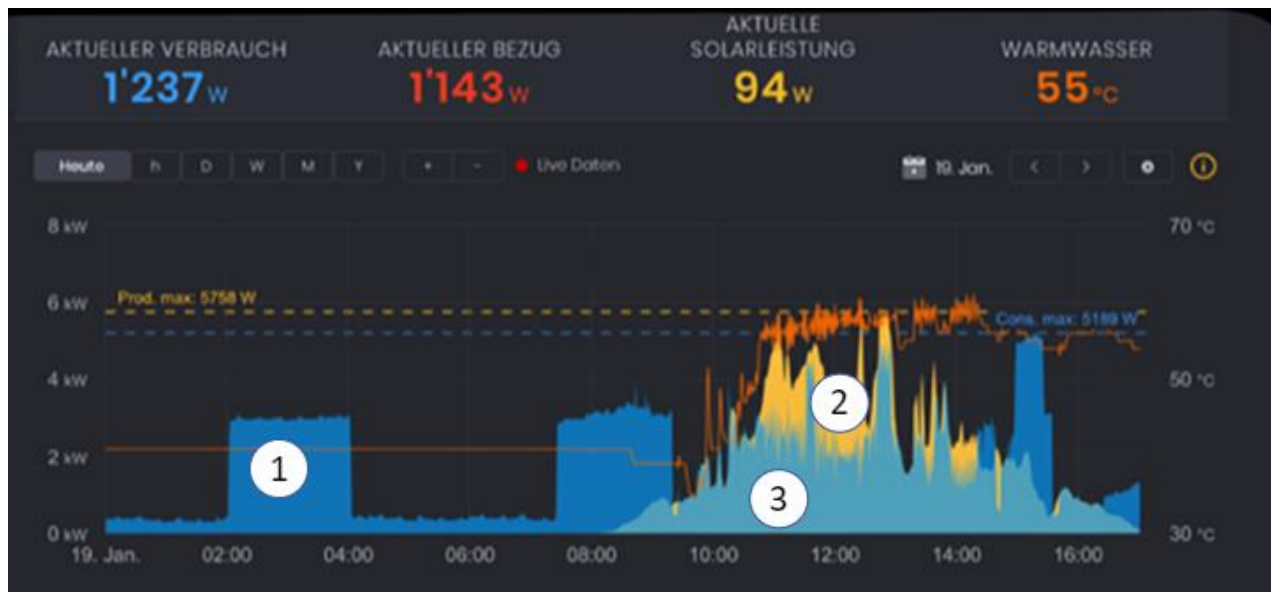


Abbildung 12: Solarmanager Dashboard

In diesem Beispielbild ist das Stromverhalten einer typischen PV-Anlage auf einem Einfamilienhaus dargestellt. In Dunkelblau ist die vom Netz bezogene Energie (1) zu sehen, die im Laufe des Tages abnimmt, da sie durch die vom Dach erzeugte orangefarbene Energie (2) ersetzt wird. Dieser kombinierte Teil (3) wird als Eigenverbrauch bezeichnet.

Was passiert bei einem Totalausfall der Anlage? Wenn ein solcher Ausfall nicht bemerkt wird, kann es dazu führen, dass erst bei Erhalt der nächsten Stromrechnung vom Elektrizitätswerk auffällt, dass der Ertrag der Anlage in diesem Quartal überraschend niedrig ist.

Um solche Situationen zu verhindern, werden die meisten Installationen mit dem Internet verbunden. Dadurch hat der Anlagenbesitzer die Möglichkeit, regelmässig zu überprüfen, ob alles noch in Ordnung ist. Die meisten Wechselrichter-Anbieter bieten auch Apps an, die bei Unregelmässigkeiten oder Ausfällen Alarm schlagen. Dabei ist es wichtig zu wissen, welche Funktionen beim jeweiligen Anbieter im Monitoring enthalten sind.

Es gibt auch Unternehmen, die Fernüberwachungsdienste anbieten. Dabei wird beispielsweise einmal täglich überprüft, ob es neue Störungsmeldungen gibt, und im Falle solcher Meldungen wird der Kunde kontaktiert. Dies ermöglicht eine Kontaktaufnahme meist innerhalb von 48 Stunden beziehungsweise innerhalb von zwei Arbeitstagen nach Auftreten des Fehlers. Dadurch kann schnell ein Termin zur Behebung des Problems vereinbart werden.

Eine solche Fernüberwachung ist mit Kosten verbunden und wird daher eher von Besitzern grösserer Anlagen wie Land- oder Industriebetrieben in Auftrag gegeben. Eigenheimbesitzer, die die Selbstdisziplin haben, den Stand der Anlage regelmässig zu überprüfen, können laut Aussagen verschiedener Unternehmer mit dieser Eigenüberwachung auskommen.

SICHTKONTROLLE

Bei einer Sichtkontrolle werden in regelmässigen Abständen üblicherweise alle Teile der Anlage gründlich begutachtet. Dies ist besonders bei grösseren Anlagen empfehlenswert. Durch eine sorgfältig durchgeführte Sichtkontrolle können Fehlerquellen frühzeitig erkannt und behoben werden. Zudem liefert sie Aufschluss über eine Vielzahl von Verschmutzungen und mögliche Einbussen in der Anlagenleistung.

Im Folgenden sehen Sie einige Auffälligkeiten, die bei einer Sichtkontrolle auftreten können.



Abbildung 13: Vogel Kott

Vogel Kott

Eine der Häufigsten Verschmutzungsarten. Auch Wenn diese Harmlos wirkt, kann es verheerende Folgen für das Modul haben.

Gefahren:

- Hotspot
- Einbussen

Empfohlene Massnahmen

- Ertragsvergleich
- Wärmebild Aufnahme

Reinigung der Module

Staub und Sand

Diese Art der Verschmutzung kann seinen Ursprung an diversen Orten finden. Von einer Baustelle in der Nähe bis zum Saharastaub, welcher bis zu uns getragen wurde.

Mögliche Folgen:

- Ertragsverlust

Empfohlene Massnahmen:

- Ertragsvergleich

Reinigung



Abbildung 14: Staub und Sand



Abbildung 15: Ablagerung am Rand des Moduls

Ablagerungen am Rand des Moduls

Obwohl die Module als «Selbstreinigend» gelten, kann es vorkommen, dass der Regen es nicht schafft, die Verschmutzungen über den Modulrahmen zu tragen. Dieser Effekt wird von einem flacheren Winkel verstärkt.

Mögliche Folgen:

- Ertragsausfall
- Hotspots

Empfohlene Massnahme:

- Ertragsvergleich
- Wärmebildaufnahme
- Reinigung



Abbildung 16: Biofilm

Biofilm

Kolonien von Mikroorganismen wie Schimmelpilz, Cyanobakterien, Algen, Flechten, Moos und Schwarzpilzen werden wissenschaftlich als Biofilm bezeichnet. Diese können potentiell mittels Zellfortbildung in die Glasflächen und Dichtungen vordringen.

Mögliche Folgen:

- Auswirkung auf Lebensdauer

Empfohlene Massnahme

- Reinigung



Abbildung 17: Russ und Strassenstaub

Russ und Staub von Strassen. (Färbt bei Abwischen das Taschentuch Schwarz)

Dieser Dunkle Staub ist meistens etwas hartnäckiger.

Mögliche Folge:

- Ertragseinbussen

Empfohlene Massnahme:

- Reinigung der Module

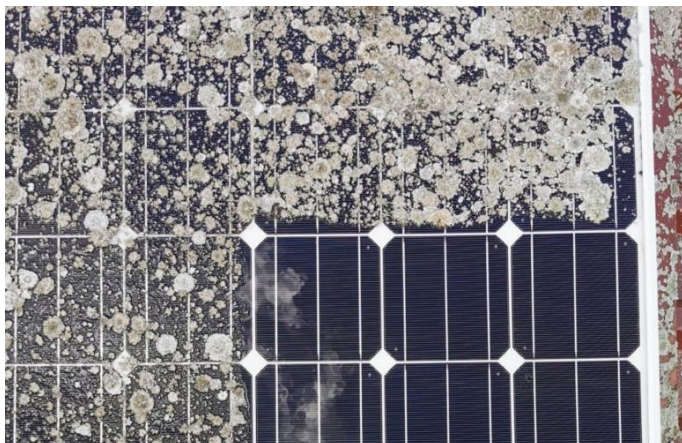


Abbildung 18: Flechten

Flechten

Flechten sind ein Indikator für reine Luft. Durch die Abnahme der Schwefeldioxid Verschmutzung sind diese heute wieder häufiger zu sehen. Zwar stellen Sie keine Bedrohung für den Menschen dar, auf den Modulen aber sind sie nicht gerne gesehen.

Gefahren:

- Ertragseinbußen
- Einlagerung bei Rahmen
- Verformung des Modulrahmens

Empfohlene Massnahme: Module reinigen.

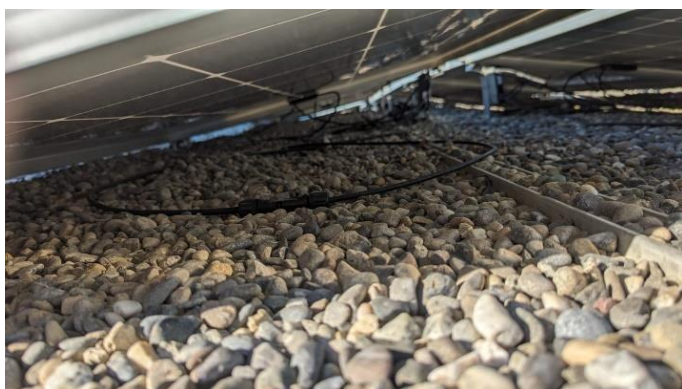


Abbildung 19: Stecker nicht hochgebunden

Stecker nicht hochgebunden

Da die Stecker als Witterungsfest gelten wird bei der Installation häufig nicht darauf geachtet, doch es ist wichtig, dass diese nicht auf der Dachhaut oder am Boden liegen. Sind die Stecker dauerhaft dem Regen oder Feuchtigkeit ausgesetzt, werden diese innen oxidiert. Diese Reduktion der Leitfähigkeit kann im schlimmsten Fall in einem Brand enden.



Abbildung 20: Rostige Schraube

Rost

Beim Bau einer Anlage ist darauf zu achten, dass rostfreie Materialien zum Einsatz kommen. Eine Kombination aus Regen und weiteren Umgebungsbedingungen haben bei dieser Schraube dazu geführt, dass dennoch Rost entstanden ist. Dies ist zusätzlich bedenklich, da diese Schrauben in diesem Beispiel die Anlage mit den Ballastierungssteinen verbinden. Sollte diese Verbindung zu sehr geschwächt werden, kann es bei starken Winden zu einer Zerstörung der Anlage kommen.

Gefahren:

- Stabilität der Anlage bedroht

Empfohlene Massnahme:

- Neue Schraubverbindung erstellen.



Abbildung 21: Vogelnest

Nistplatz

In diesem Beispiel wurden die Stecker durch das Nest einer permanenten Feuchtigkeit ausgesetzt, was zu einem schlechten Isolationswert geführt hat. Das selbe kann auch durch Bienen oder Wespenester oder durch Nagetiere passieren.

Mögliche Folgen:

- Iso-Fehler
- Notabschaltung der Anlage

Empfohlene Massnahmen:

- Nest entfernen
- Abdeckung montieren
- Stecker wechseln

WÄRMEBILD AUFNAHME:

Bei einer Wärmebildaufnahme wird jedes Modul auf mögliche Erwärmungen untersucht. Nach einer gewissen Betriebszeit erreichen viele Photovoltaikanlagen nicht mehr ihre ursprüngliche Leistungsfähigkeit, was zu einer Reduzierung der Energieerzeugung führt. Einzelne Solarzellen fallen aus, wichtige Komponenten wie Wechselrichter arbeiten nicht mehr mit maximaler Effizienz. Dies hat zur Folge - neben der verringerten Energieausbeute - dass es zu Erwärmungen oder Überhitzungen an fehlerhaften Stellen kommt, verursacht durch parasitäre Ströme, die im schlimmsten Fall zu Bränden führen können. Diese fehlerhaften Stellen, auch als "Hotspots" bekannt, lassen sich aufgrund ihrer thermischen Signatur zuverlässig mithilfe von Wärmebildkameras erkennen und im Anschluss gezielt reparieren. Bei den vielfältigen Photovoltaik-Anlagen unterschiedlichster Hersteller, die heute in Betrieb sind, können zahlreiche Fehlerstellen unterschiedlicher Form und Erscheinung auftreten. Um sie sicher zu erkennen, bedarf es leistungsfähiger Wärmebildkameras und geschulter Fachleute.

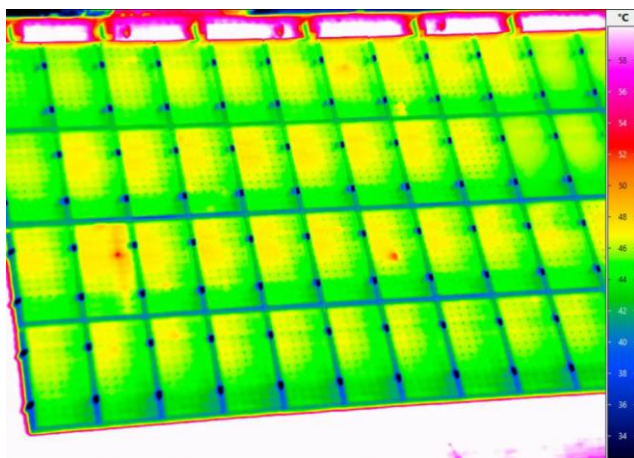


Abbildung 22: Wärmebild

Die Thermografie kann eine Vielzahl von Fehlern in PV-Modulen identifizieren. Dazu gehören:

Risse in den Zellen: Wenn es Risse in den Solarzellen gibt, können diese mithilfe der Thermografie sichtbar gemacht werden. Risse können die Leistung der Zelle erheblich beeinträchtigen.

Verunreinigungen: Verunreinigungen auf der Oberfläche der Module, wie Vogelkot oder Staub, können zu örtlichen Erhöhungen des elektrischen Widerstands führen, die mithilfe der Thermografie erkannt werden können.

Schäden an der Glasabdeckung: Beschädigungen oder Risse in der Glasabdeckung der Module können ebenfalls thermografisch erkannt werden.

Verschattung: Selbst eine begrenzte Verschattung, beispielsweise durch nahegelegene Gebäude oder Bäume, kann örtliche Erhöhungen des elektrischen Widerstands verursachen, die in der Thermografie sichtbar werden.

Insgesamt ist die Thermografie ein nützliches Werkzeug, um eine Vielzahl von Fehlern und Problemen in PV-Modulen zu identifizieren, die die Leistung der Anlage beeinträchtigen können. Dies ermöglicht eine gezielte Reparatur und Wartung, um die Effizienz der Anlage aufrechtzuerhalten.

ELEKTROLUMINESZENZMESSUNG

Die Elektrolumineszenzmessung ist eine alternative Methode zur Infrarotmessung und wird hauptsächlich bei detaillierteren Analysen von PV-Modulen eingesetzt. Sie bietet Einblicke in das Vorhandensein von Zellbrüchen in einem Modul.

Bei der Elektrolumineszenzmessung strahlen die Solarzellen Licht aus, das aufgefangen wird. Die Module werden dazu einer Spannung oberhalb ihrer Nennspannung ausgesetzt. Dabei emittieren sie Licht, das knapp unterhalb des sichtbaren Spektrums liegt. Dieses Licht kann mit Fotokameras aufgenommen werden, aber die Messung ist anfällig für Störungen, weshalb sie oft in einer Dunkelkammer im Labor durchgeführt wird. Messungen im Freien sind möglich, erfordern jedoch einen höheren Aufwand aufgrund der notwendigen höheren Spannungsversorgung pro Strang.

Die Interpretation der Elektrolumineszenzmessungen ist anspruchsvoll. Selbst ein neues PV-Modul kann bereits Unregelmässigkeiten aufweisen. Darüber hinaus bedeutet das Vorhandensein von Auffälligkeiten in der EL-Messung nicht zwangsläufig, dass das Modul schlechter produziert. Ein Modul kann trotz Zellbrüchen jahrelang oder sogar jahrzehntelang einwandfrei funktionieren. Dies führt dazu, dass die Infrarotmessung in der Praxis weiter verbreitet ist. Diese Methode stellt die leistungsrelevanten Fehler in Modulen besser dar und ist einfacher durchzuführen.

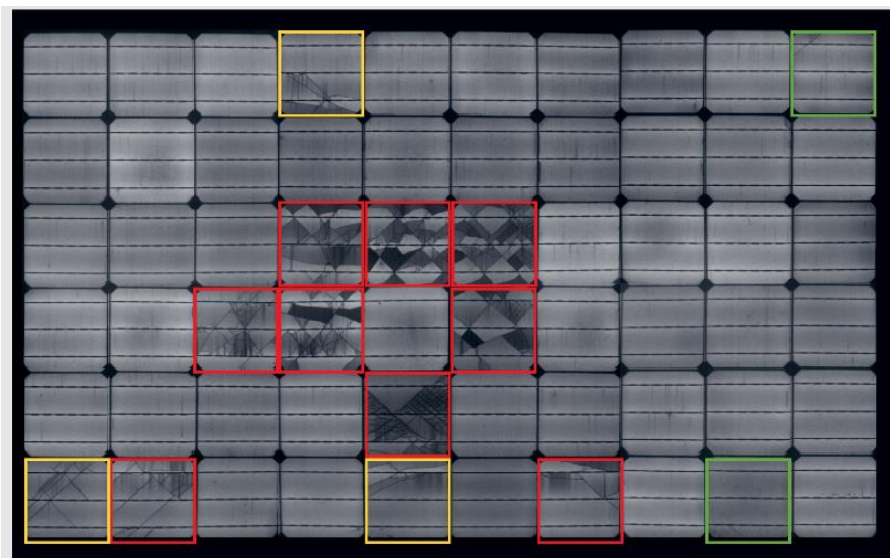


Abbildung 23: E-Messung

Zellkategorie Beschreibung Leistungseinbusse

Unkritische Zellbrüche	Keine oder kaum elektrisch inaktive Zellbereiche	< 1%
Kritische Zellbrüche	Zellbrüche, die potenziell bis zu 20% der Zellfläche isolieren können	1 bis 20%
Sehr kritische Zellbrüche	Zellbrüche, die mehr als 20% der Zellfläche isolieren können	> 20%

Es ist wichtig zu wissen, dass die Elektrolumineszenzmessung nicht direkt aufzeigt wie ein Modul produziert. Ein Modul kann trotz einem Auffälligen Bild bei der Messung die versprochene Leistung bringen. Viel mehr dient diese Messung der detaillierten Nachforschung weshalb ein Modul Probleme macht.

KENNLINIENMESSUNG

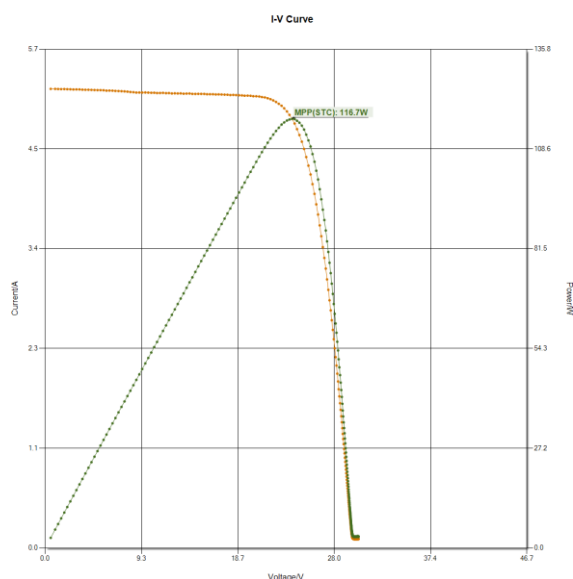


Abbildung 24: Kennlinienmessung

Die Kennlinienmessung ist eine Methode, bei der die gemessenen Werte der Module mit den Werten des Datenblatts abgeglichen werden. Die Kennlinie auf dem Bild zeigt ein Modul, das eine Nennleistung von 185 Wp (Watt peak) hat. Die anderen gemessenen Module auf diesem Dach erzeugten eine Leistung von 165 Wp, während dieses Modul auf 120 Wp einbricht. Daher ist klar, dass dieses Modul ersetzt werden muss. Für die anderen Module wäre eine Elektrolumineszenzmessung empfehlenswert, um weitere Abweichungen zu identifizieren



Abbildung 25: Mobiles PV-Labor

Das Institut für Solartechnik SPF verfügt über eine mobile Messstation für die I/U-Kennlinienmessung, Infrarotmessung, Hochspannungsprüfung und die Elektrolumineszenz-Prüfung. Der Vorteil liegt in der Ortsunabhängigkeit. Solange der Anhänger dorthin gelangen kann, können die Module vor Ort auf Herz und Nieren getestet werden. Dies folgt dem Motto: Wenn die Module nicht ins Labor kommen können, kommt das Labor zu den Modulen. Dies ermöglicht eine bequeme und umfassende Überprüfung der Anlagen direkt vor Ort.

WARTUNG

Grundsätzlich sind PV-Anlagen wartungsarm. Je nach Umgebung können jedoch äussere Einflüsse wie Staub, Regen und andere Faktoren den Wechselrichter beeinflussen. Insbesondere Staubablagerungen auf dem Wechselrichter können dazu führen, dass die Wärmeverluste steigen. In solchen Fällen ist es ratsam, den Wechselrichter in regelmässigen Abständen von Verschmutzungen zu befreien.

Um solche Situationen zu vermeiden, ist es bereits bei der Planung ratsam, einen geeigneten Standort für den Wechselrichter auszuwählen. Die Wahl eines nicht idealen Standorts, um Kosten für Kabelwege zu sparen, kann sich über die Jahre hinweg nachteilig auswirken.

Es gibt jedoch bestimmte Wartungsintervalle, die im Benutzerhandbuch des Wechselrichters vorgeschrieben sind. Die in den Montage- und Betriebsanleitungen angegebenen Vorgaben zur Wartung der Geräte sollten sorgfältig befolgt werden.

Es ist wichtig, die spezifischen Wartungsanweisungen für den jeweiligen Wechselrichter zu kennen und zu befolgen, da verschiedene Modelle unterschiedliche Anforderungen haben können.

Huawei:

In der Betriebsanleitung des Huawei SUN2000 lässt sich eine Tabelle finden welche exakt vorschreibt, wann welche Wartungsarbeiten zu erledigen sind.



Abbildung 26: Huawei Wechselrichter

Details prüfen	Prüfmethode	Wartungsintervall
Sauberkeit des Systems	Überprüfen Sie den Kühlkörper auf Fremdstoffe oder den Gesamtzustand des SUN2000.	Jährlich oder jedes Mal, wenn eine Auffälligkeit erkannt wird
Betriebsstatus des Systems	SUN2000 auf Beschädigung oder Verformung prüfen.	Jährlich
Elektrische Anschlüsse	<ul style="list-style-type: none"> ● Kabel sind fest verbunden. ● Kabel sind intakt, insbesondere die Teile, die mit metallischen Oberflächen in Kontakt kommen, sind nicht zerkratzt. 	Die erste Überprüfung muss sechs Monate nach der ersten Inbetriebnahme erfolgen. Von da an kann das Intervall sechs bis zwölf Monate betragen.
Zuverlässigkeit der Erdung	Stellen Sie sicher, dass die Erdungsklemme und das Erdungskabel sicher angeschlossen sind.	Jährlich
Abdichtung	Prüfen, ob alle Klemmen und Anschlüsse ordnungsgemäß abgedichtet sind.	Jährlich

Abbildung 27: Tabelle aus Anleitung

Auf Anfrage bezüglich der Verbindlichkeit dieser Vorgaben habe ich folgende Antwort von Huawei erhalten:

«Die unten aufgeführte Tabelle zeigt die sinnvollen Arbeiten, welche ein gutes Funktionieren des Wechselrichters garantieren. Wir hoffen sehr, dass diese von den Installateuren beachtet werden. Auch machen wir unsere Schulungen entsprechend.

Falls ein Fehler auftritt und das Gerät beschädigt ist, beurteilen wir die Situation fallweise. Es gab auch schon vereinzelt Situationen, wo wir eine Garantie abgelehnt haben, z.B. bei der Installation nach Lichtbogen wenn ein PV-Stecker unter Vollast herausgezogen wird.

Allgemein kann ich festhalten, dass die allermeisten Installateure saubere Arbeit leisten und wir uns von Huawei bemühen, die Produkte und Anleitungen so zu gestalten, dass es wenig Fehlermöglichkeiten gibt.»

SolarEdge

SolarEdge hat Spezifische Hinweise, was die Lüfter angeht. Ansonsten konnte ich keine weiteren vorgaben in Ihrer Anleitung ermitteln.



Abbildung 28: Wechselrichter von Solaredge

Wartung des Lüfters

Öffnen Sie mindestens einmal jährlich das Lüftergitter und reinigen Sie den Lüfter und das Gitter mit einer Bürste von dem angesammelten Staub.

Sofern Sie über die SetApp eine Statusmeldung **Not Working** („Nicht in Betrieb“) erhalten, tauschen Sie den Lüfter wie im nachstehenden Abschnitt beschrieben aus.

Abbildung 29: Auszug aus Bedienungsanleitung.

Kostal

11.1 Wartung und Reinigung

Nach der fachgerechten Montage arbeitet der Wechselrichter nahezu wartungsfrei.

Folgende Wartungsarbeiten sind für den Wechselrichter durchzuführen:

Tätigkeit	Intervall
Kabelverbindungen und Stecker prüfen	1x jährlich
Lüfter reinigen Kap. 11.3	1x jährlich
Anschließend einen Lüftertest durchführen. Der Lüftertest kann unter dem Service Menü > Lüftertest gestartet werden.	

Tab. 8: Wartungsliste

Werden keine Wartungsarbeiten durchgeführt, führt das zum Ausschluss der Garantie (siehe Ausschluss der Garantie in unseren Service- und Garantiebedingungen).



Abbildung 30: Wechselrichter von Kostal

Abbildung 31: Auszug aus Anleitung

Bei der Firma Kostal sind Wartungsanweisungen zu finden. Besonder ist, dass hervorgehoben wird, dass nichteinhalten der Wartung zu Ausschluss der Garantie führt. Dies bedeutet, wenn nicht alle 6 Monate der Lüftertest gemacht wird ist theoretisch die Garantie futsch.

Delta

Die Wechselrichter von Delta schreiben Halbjährliche Punkte vor.



Abbildung 32: Wechselrichter von Delta



Der Wechselrichter enthält keine Bauteile, die vom Bediener oder Installateur zu warten oder zu reparieren sind. Alle Reparaturarbeiten müssen durch Delta Energy Systems ausgeführt werden. Bei Öffnung der Abdeckung erlischt die Garantie.

Um den Normalbetrieb des Wechselrichters sicherzustellen, die folgenden **Sichtprüfungen** alle 6 Monate durchführen.

- Auf dem Display prüfen, dass der Wechselrichter ordnungsgemäß läuft. Datenverlauf und Fehlermeldungen prüfen.
- Die ordnungsgemäße Position sichtbarer Klemmen, Schrauben und Kabel überprüfen, ohne diese jedoch zu berühren.
- Auf beschädigte Teile prüfen, diese jedoch nicht berühren.

Falls Teile beschädigt sind, einen zertifizierten Elektriker informieren oder den Delta-Kundendienst kontaktieren.

Abbildung 33: Auszug aus Anleitung

Ich habe mich bei Delta über die Vorgaben bezüglich Wartung erkundigt und die folgende Antwort erhalten:

„Die Angaben des Herstellers sind Empfehlungen und keine Normen.

Die Vorgaben für Instandhaltung und Wiederholungsprüfung sind in der Norm DIN EN 62446-2: Instandhaltung netzgekoppelter PV-Systeme dargelegt.

Wenn die Empfehlungen nicht beachtet werden, hat das keinen Einfluss auf die Garantie der Wechselrichter.

Allerdings kann durch Beachtung der Empfehlungen ein Schaden frühzeitig bemerkt und behoben werden. Auch empfehlen wir die Lüftergitter auf Verschmutzung zu kontrollieren, dadurch kann der Wirkungsgrad der Anlage verbessert werden.“

Fronius

Fronius hält Besonderheiten fest im Zusammenhang mit einer Umgebung mit hoher Staubentwicklung.



Abbildung 34: Wechselrichter von Fronius

Wartung

Wartungs- und Service-Tätigkeiten dürfen nur von Fronius-geschultem Servicepersonal durchgeführt werden.

Abbildung 35: Wartungshinweis

Betrieb in Umgebungen mit starker Staubentwicklung

HINWEIS!

Wenn der Wechselrichter in Umgebungen mit starker Staubentwicklung betrieben wird, kann es zu Schmutzablagerungen am Kühlkörper und Lüfter kommen. Leistungsverlust durch unzureichende Kühlung des Wechselrichters kann die Folge sein.

- ▶ Sicherstellen, dass die Umgebungsluft zu jeder Zeit ungehindert durch die Lüftungsschlitze des Wechselrichters strömen kann.
- ▶ Schmutzablagerungen von Kühlkörper und Lüfter entfernen.

Abbildung 36: Auszug aus Anleitung

Gemäss den Garantiebestimmungen von Fronius kommt es bei nicht ordnungsgemässer Wartung zum Garantiausschluss.

SMA



Abbildung 37: Wechselrichter von SMA

10 Produkt reinigen

ACHTUNG

Beschädigung des Produkts durch Reinigungsmittel

Durch die Verwendung von Reinigungsmitteln können das Produkt und Teile des Produkts beschädigt werden.

- Das Produkt und alle Teile des Produkts ausschließlich mit einem mit klarem Wasser befeuchteten Tuch reinigen.

Vorgehen:

- Sicherstellen, dass das Produkt frei von Staub, Laub und anderem Schmutz ist.

Abbildung 38: Auszug aus Anleitung

In der Betriebsanleitung von SMA konnte ich lediglich diese Hinweise zur Reinigung finden.

GoodWe

Bei diesem Hersteller sind spezifische Anweisungen bezüglich Wartung vorhanden.



Abbildung 39: Wechselrichter von GoodWe

9.5 Routinemäßige Wartung

Wartungsgegenstand	Wartungsmaßnahme	Wartungsintervall
Reinigung des Systems	Überprüfen Sie den Kühlkörper, den Lufteinlass und -auslass auf Fremdkörper oder Staub.	Alle 6-12 Monate
DC-Schalter	Schalten Sie den DC-Schalter zehnmal hintereinander ein und aus, um sicherzustellen, dass er ordnungsgemäß funktioniert.	Einmal jährlich
Elektrischer Anschluss	Prüfen Sie, ob die Kabel sicher angeschlossen sind. Prüfen Sie, ob die Kabel beschädigt sind oder ob eine Kupferader freigelegt ist.	Alle 6-12 Monate
Abdichtung	Prüfen Sie, ob alle Klemmen und Anschlüsse richtig abgedichtet sind. Dichten Sie das Kabelloch neu ab, wenn es nicht dicht oder zu groß ist.	Einmal jährlich

Abbildung 40: Tabelle aus Anleitung

Zusammenfassung Wechselrichter-Wartung:

Leider konnten nicht alle Hersteller detaillierte Informationen zur Wartung bereitstellen. Dennoch zeigt sich, dass die Unternehmen, die geantwortet haben, regelmäßige Prüfungen der Wechselrichter empfehlen. Wenn jedoch ein Austausch während der Garantiezeit erforderlich ist, erfolgt dies in der Regel problemlos.

Die Sichtprüfung kann von jedem Anlagenbesitzer selbst durchgeführt werden, wobei darauf geachtet werden sollte, **niemals Stecker oder Verbindungen zu lösen, um mögliche Spannungsbögen zu vermeiden**. Es ist auch wichtig, die Betriebs- oder Bedienungsanleitung des Wechselrichters zu lesen, die dem Gerät beiliegt.

Es gibt keine einheitlichen Regeln für die Wartung von Wechselrichtern, aber die Norm "DIN EN 62446-2: Instandhaltung netzgekoppelter PV-Systeme" bietet Empfehlungen und Leitlinien zur Wartung von netzgekoppelten PV-Anlagen. Es ist ratsam, sich an diese Empfehlungen zu halten, um die Leistung und Lebensdauer der Anlage zu gewährleisten.

REINIGUNG:

Die Frage der Reinigung von PV-Anlagen kann in der Tat komplex sein, und es gibt keine festen Regeln dafür, wann eine Reinigung notwendig ist. Es gibt verschiedene Gründe, warum eine Reinigung in Betracht gezogen werden könnte, darunter finanzielle Aspekte, Ästhetik und die Sicherheit der Module.

Hinsichtlich der Rentabilität der Reinigung ist es wichtig zu berücksichtigen, dass der Ertragsverlust aufgrund von Verschmutzung in Relation zu den Reinigungskosten stehen sollte. Wenn der Ertragsverlust aufgrund von Verschmutzung höher ist als die Kosten der Reinigung, kann es wirtschaftlich sinnvoll sein, eine Reinigung durchzuführen. Es ist jedoch auch wichtig, andere Faktoren zu berücksichtigen:

- Dauer bis zur Ausgangslage: Wie lange wird es dauern, bis die Anlage wieder so verschmutzt ist wie derzeit? Wird die Anlage bis zu diesem Zeitpunkt kontinuierlich an Leistung und Ertrag verlieren? Dies hängt von der Umgebung und den äusseren Einflüssen ab.
- Zeitpunkt der Reinigung: Es kann sinnvoll sein, mit der Reinigung zu warten, bis bestimmte äussere Einflüsse, wie die Pollensaison, vorbei sind, um eine nachhaltigere Wirkung zu erzielen.
- Möglichkeit zur Kombination: Wenn ohnehin Renovierungsarbeiten am Gebäude geplant sind und bereits ein Gerüst vorhanden ist, kann dies die Reinigung erleichtern und Kosten sparen.
- Die Reinigung kann einen positiven Effekt auf die Lebensdauer der Module haben, da die Wahrscheinlichkeit von Hotspots verringert wird.

Letztendlich sollten Anlagenbesitzer die verschiedenen Aspekte abwägen und möglicherweise die Meinung eines seriösen Reinigungsunternehmens einholen, um fundierte Entscheidungen zur Reinigung ihrer PV-Anlage zu treffen. Die individuellen Umstände und Bedürfnisse können von Fall zu Fall variieren.

Reinigungsarten:

Von Hand:



Abbildung 41: Reinigung von Hand

Vorteil:

- Günstige Anschaffung
- Besichtigung des Dachs aus nächster Nähe

Nachteil:

- Zeitaufwand
- Schulung für Dachbegehung nötig

Reinigungsroboter:



Abbildung 42: Reinigungsroboter

Vorteil:

- Keine Begehung der Dachfläche nötig
- Schnell
- Bequem

Nachteil:

- Nicht auf jedes Dach Anwendbar
- Teurere Anschaffung

Mit Verlängerter Bürste:



Abbildung 43: Reinigungsbürste

Vorteil:

- Keine Begehung der Dachfläche nötig
- Besichtigung des Dachs aus nächster Nähe
- Günstigere Anschaffung

Nachteil:

- Schulung für Dachbegehung nötig
- Nur bis zu einer gewissen Grösse Anwendbar

Mit Lastwagen



Abbildung 44: Reinigungskran

Vorteil:

- Geringer Zeitaufwand
- Bei den Meisten Steildächern anwendbar

Nachteil;

- Teuerste Anschaffung
- Platz für die Zufahrt und Arbeit muss gewährleistet sein

Auf welche Art gereinigt wird hängt vom Unternehmen und den gegebenen Bedingungen am Standort ab. Letzten Endes ist es immer eine Preisfrage.

Gefahren durch falsche Reinigung

Die Arbeitssicherheit und die korrekte Vorgehensweise bei der Reinigung von PV-Anlagen sind entscheidend, um Schäden an der Anlage zu vermeiden und die Sicherheit der Arbeiter zu gewährleisten. Hier sind einige wichtige Punkte zu beachten:

- **Arbeitssicherheit:** Die Arbeitssicherheit sollte oberste Priorität haben. Eine Absturzsicherung auf dem Dach ist empfehlenswert, um die Sicherheit der Arbeiter zu gewährleisten. Dies ermöglicht einen sicheren Zugang zur Anlage und verhindert Unfälle.
- **Individuelle Betrachtung:** Es gibt keine universelle Regel, wann eine PV-Anlage gereinigt werden sollte. Jede Anlage muss individuell betrachtet werden. Verschiedene Anlagen haben unterschiedliche Verschmutzungsgrade und äussere Einflüsse. Die Notwendigkeit einer Reinigung hängt von verschiedenen Faktoren ab.
- **Art der Verschmutzung:** Die Art der Verschmutzung ist ein wichtiger Faktor. Einzelne punktuelle Verschmutzungen, die die Gesamtproduktion nicht erheblich beeinflussen, können dennoch langfristige Schäden an den Modulen verursachen. Flächendeckende Verschmutzung, die sich leicht durch Regen reinigen lässt, erfordert möglicherweise weniger häufige Reinigungen.
- **Empfehlungen der Hersteller:** Es ist ratsam, die Empfehlungen der Hersteller zu berücksichtigen. Einige Hersteller geben klare Richtlinien zur Wartung und Reinigung ihrer Produkte.

Die Frage, ab wann eine Reinigung sinnvoll ist, wurde verschiedenen Unternehmen in der Branche gestellt, und die Antworten variieren. Es gibt keine einheitliche Meinung dazu, und die Empfehlungen reichen von jährlichen Reinigungen nach der Pollensaison bis hin zu Reinigungen alle 3 Jahre. Es ist wichtig, die individuellen Gegebenheiten der PV-Anlage zu berücksichtigen und gegebenenfalls Ratschläge von Experten in Betracht zu ziehen.

«Primär die Ertragsdaten der Anlage über die Zeit vergleichen und bei messbaren Abweichungen handeln. Faustregel: Schrägdach- Anlagen alle 5-6 Jahre reinigen, Flachdachanlagen alle 3-4 Jahre reinigen oder bei der jährlichen Dachkontrolle prüfen.»

«Wir empfehlen alle 2 bis 5 Jahre eine professionelle Reinigung durchzuführen. Der genaue Intervall dieser Reinigung ist abhängig von den Umgebungsbedingungen und Neigung der Module.»

«Vorneweg rate ich unseren Kunden die Anlage zu überwachen, mittels kostenlose Web-Tools die der Wechselrichterhersteller bei Anmeldung zur Verfügung stellt. Durch diese kann eine konstante Leistungseinbusse erkannt werden und entsprechend reagiert werden.

- Des Weiteren ist es je nach Anlage (Steildach oder Flachdach) notwendig eine Routinegang zu machen und den Zustand zu überprüfen.
- Bei steileren Dächern besteht der Vorteil, dass diese auf natürliche Weise (Regenwasser) besser gereinigt werden.

- Auch ist bei Modulen mit Rahmen mehr Wartung notwendig, da es auf dem Rahmen zu Ablagerungen kommt und mit der Zeit einen Einfluss auf die Leistung und Qualität haben kann.»

«Mit den heutigen Anforderungen an Arbeitssicherheit und mit den technischen Möglichkeiten, lohnt sich das Reinigen einer Anlage nur, wenn ein offensichtlicher Produktionseinbruch dauerhaft erkennbar ist. Sonst ist kein sinnvolles Kosten Nutzen Verhältnis gegeben. Umso grösser die Anlage, umso eher lohnt sich ein Reinigung. Mit der Entwicklung von intelligentem Roboter, kann sich eine Reinigung in Zukunft eher lohnen. Steig der Abnahme Preis für den Strom verschieben sich die Vorteile zu einer Reinigung ähnlich.»

«Bei Anlagen mit KEV ist eine Reinigung mit Sicherheit lohnender. Auch mit steigenden Strompreisen steigt die Rentabilität»

Es ist interessant zu beobachten, dass der Glaube an "selbstreinigende Module" unter den befragten Unternehmen nicht mehr so weit verbreitet ist wie in früheren Jahren. Dies zeigt, dass die Wartung und Reinigung von PV-Anlagen ernsthafter betrachtet werden, da die tatsächliche Notwendigkeit von Reinigungsmaßnahmen von verschiedenen Faktoren abhängt.

Die Wahl des richtigen Zeitpunkts für die Reinigung ist in der Tat eine individuelle Entscheidung, die von verschiedenen Faktoren abhängt. Es gibt keine universelle Regel, und es ist wichtig, die spezifischen Umstände der Anlage zu berücksichtigen.

In Bezug auf die Wirtschaftlichkeitsberechnung für die Reinigung einer PV-Anlage ist die Grundformel die gleiche wie für die allgemeine Wirtschaftlichkeit:

Wirtschaftlichkeit = Ertrag / Aufwand

Für die Reinigung bedeutet dies, dass die Ertragsverluste aufgrund von Verschmutzung grösser sein müssen als die Kosten der Reinigung, damit die Reinigung wirtschaftlich sinnvoll ist. Die genauen Ertragsverluste müssen ermittelt werden, um diese Berechnung durchzuführen.

Es ist sinnvoll, dies anhand eines konkreten Beispiels zu veranschaulichen, um die Wirtschaftlichkeit der Reinigung einer PV-Anlage zu bewerten. Allerdings musste ich im Verlauf meiner Arbeit bemerken, dass es nicht so einfach ist wie ich dachte.

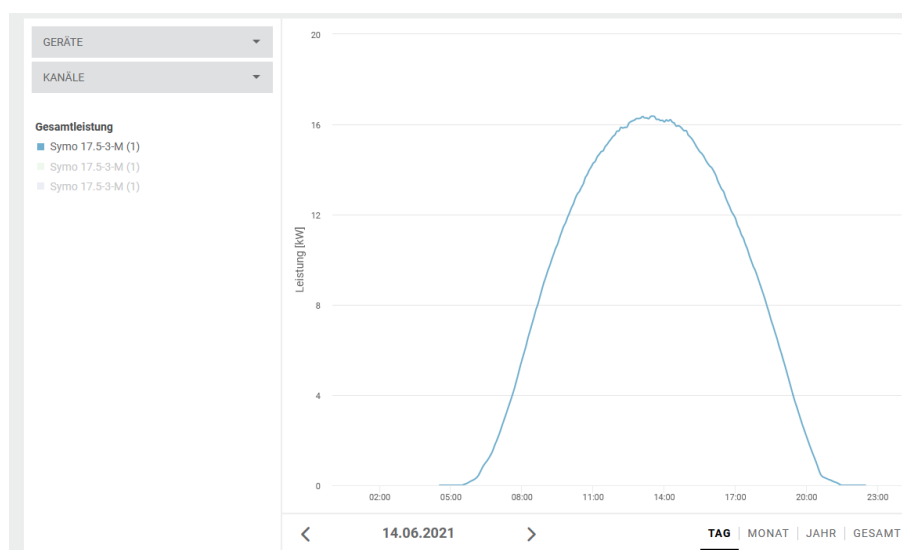


Abbildung 45: Leistungskurve

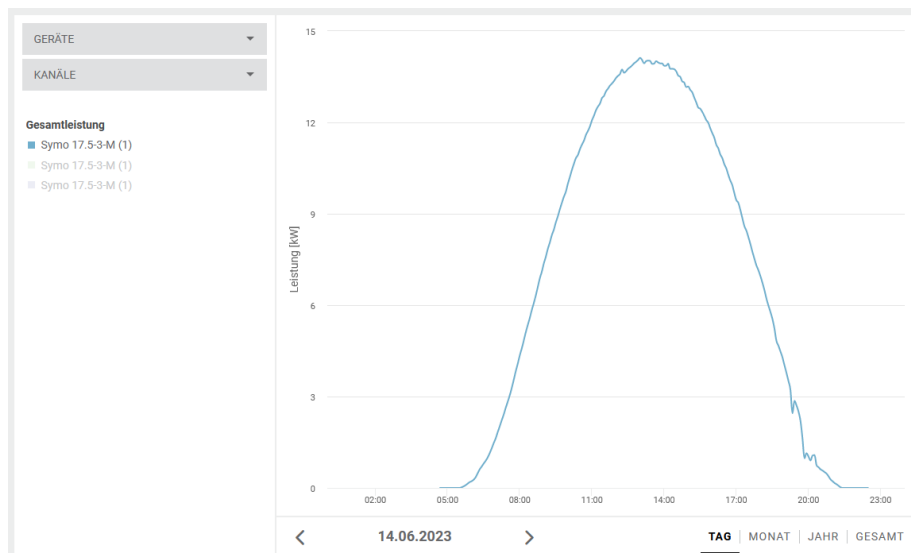


Abbildung 46: Leistungskurve 2

Die beiden Energiekurven zeigen den Ertrag vom 14.06.2021 und 2023. An den Beiden Tagen waren die Wetter und Temperaturverhältnisse nahezu Identisch. Der Peak der Energieproduktion erreichte um 14:00 im Jahr 2021 eine Leistung von 16.35kWp und 2023 eine Leistung von 14.12 kWp. Dies bedeutet die Produktion nahm durch die Verschmutzung ab. Dies entspricht einer Abnahme von ca. 13.64%. Wir können also mit einer Abnahme von ca. 10% rechnen.

2022 erzeugte die Anlage 23.39 MWh.

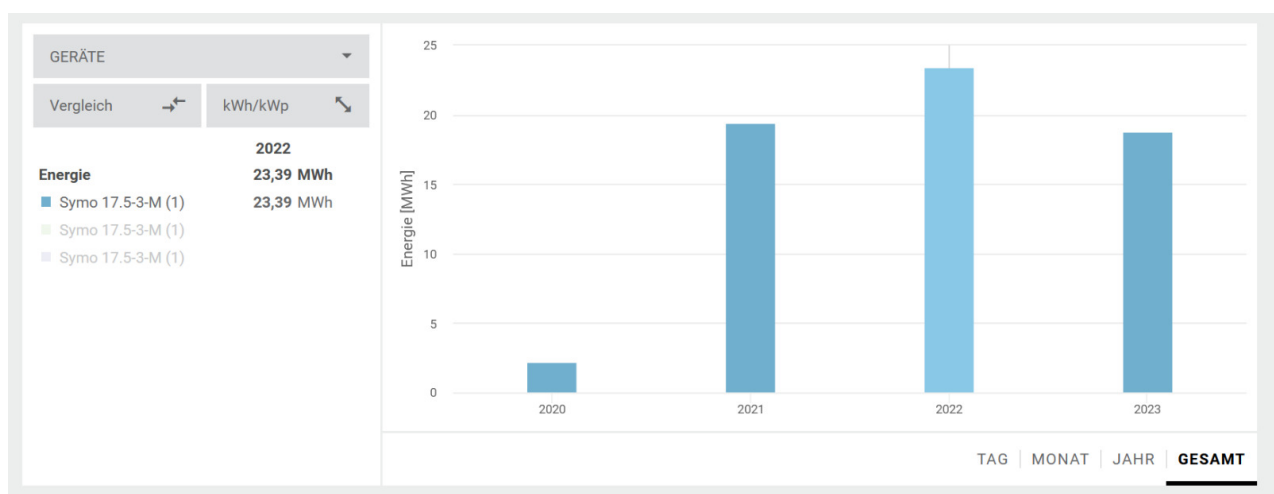


Abbildung 47: Energieertrag

Mit 10% mehr hätte die Anlage 25.73 MWh erzielt. Allerdings kann man nicht einfach die vollen 10% draufrechnen. Man muss Den Zeitraum der Verschmutzung beachten und berücksichtigen, dass die Anlage im gleichen Zeitraum wieder verschmutzt wird. Bei dieser Anlage waren es ca. 2 Jahre in welcher Sie stetig etwas mehr verschmutzt. Dies bedeutet, dass nach der Reinigung wieder mit einer Verschmutzung bis zum Ausgangspunkt gerechnet werden muss.

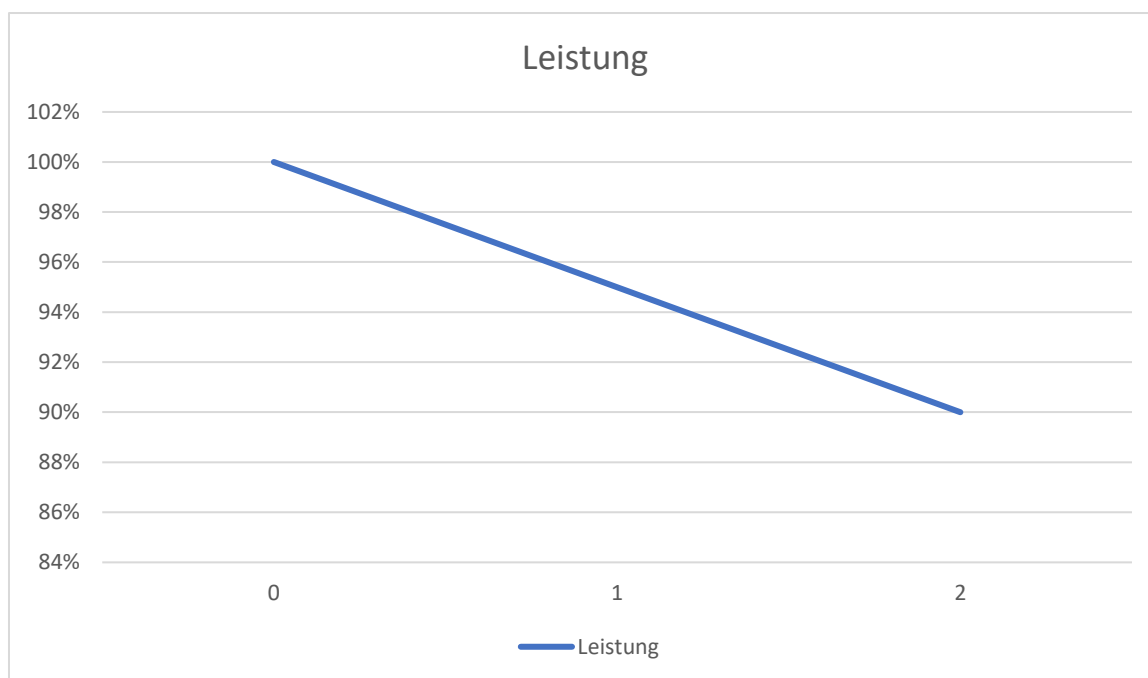


Abbildung 48: Leistungsabnahme durch Verschmutzung

Nun muss man die Energie welchen man rausbekommt unter der Berücksichtigung des Stromtarifs zu einem Geldbetrag machen. An dieser Stelle sind zu viele Faktoren auf Annahmen gestützt. Somit ist es mir leider nicht möglich ein Vernünftiges Ergebnis auf die Rentabilitätsfrage zu liefern.

Einen Strompreis für die nächsten Jahre zu raten ist schlichtweg nicht möglich. Auch benötige ich für die genaue Preisbestimmung pro kWh das Nutzerverhalten der Anlage Eigentümer. Hierzu wäre also eine Langzeitstudie gefragt, welche im Rahmen meiner Arbeit nicht möglich ist. Ich hoffe trotzdem mit meinem festgehaltenen Gedankengang Anregungen für die Berechnung an der eigenen Anlage zu schaffen. Auch ist es bestimmt nicht schädlich, bei der Offerte mal die Frage nach der Berücksichtigung der erneuten Verschmutzung zu stellen.

Nun ist es umso wichtiger die weiteren Gründe für eine Reinigung der Module zu nennen

Weitere Gründe für eine Reinigung

Ästhetik

Die Ästhetik ist ein weiterer Grund für die Reinigung von PV-Anlagen. Ein gepflegtes Gebäude und eine saubere Anlage können das Gesamtbild verbessern. Daher kann ein Anlagenbesitzer, der Wert auf die Ästhetik seines Eigentums legt, auch die Reinigung der PV-Anlage in Betracht ziehen.

Lebensdauer

Eine Reinigung verhindert auch die Bildung von Hotspots. Zudem gibt es, wie auch bei der Sichtkontrolle aufgeführt Verschmutzungen welche das Glas oder den Modulrahmen angreifen können.

Kombination mit Sichtkontrolle

Gehen wir von einem Flachdach aus, welches einmal jährlich begangen wird. Hier könnte es vom Mehraufwand nicht mehr so viel ausmachen dem kontrollierenden noch einen Schwamm mitzugeben sofern dieser sich mit der Reinigung auskennt.

Diese Aspekte sind auf jeden Fall noch durchzugehen, wenn die Wirtschaftliche Komponente nicht den Eindeutigen Ausschlag gibt bei der Entscheidung für die Reinigung.

ERSATZ VON KOMPONENTEN UND REPARATUREN.

Der rechtzeitige Ersatz von defekten Komponenten in einer PV-Anlage ist entscheidend, um den reibungslosen Betrieb der Anlage sicherzustellen und Ertragsverluste zu minimieren. Bei Anzeichen für Defekte ist oft der Ersatz die empfohlene Massnahme. Ein defektes Modul kann beispielsweise dazu führen, dass der gesamte Strang ausfällt, was erhebliche Auswirkungen auf die Gesamterträge haben kann.

Bei Optimierern kann die Situation etwas komplexer sein. Es kann sinnvoll sein, abzuwarten, ob weitere Optimierer ausfallen, bevor alle gleichzeitig ersetzt werden. Dies hängt von verschiedenen Faktoren ab, darunter die Garantieansprüche, der erwartete Ertragsverlust und die Wirtschaftlichkeit des Ersatzes.

Die Berücksichtigung der Kosten für den Ersatz von Komponenten ist ein wichtiger Bestandteil der Wirtschaftlichkeitsberechnung für PV-Anlagen. Viele Betreiber rechnen einen gewissen Prozentsatz des Erstellungskosten pro Jahr für Servicefälle ein, um die finanziellen Auswirkungen von Reparaturen und Ersatz im Laufe der Zeit zu berücksichtigen.

Es ist interessant zu sehen, wie Unternehmen in der PV-Branche diese Aspekte in ihre Betriebsstrategien und Wirtschaftlichkeitsberechnungen einbeziehen, um den langfristigen Erfolg ihrer Anlagen sicherzustellen.

ENTSORGUNG:

Die Entsorgung von Photovoltaikanlagen ist ein wichtiger Schritt im Lebenszyklus der Anlagen. Es ist erfreulich zu sehen, dass bereits beim Kauf der Solarmodule eine vorgezogene Recyclinggebühr einkalkuliert ist, die die Entsorgung erleichtert. Auf diese Weise können die Module einfach an einer Entsorgungsstelle abgegeben oder sogar von spezialisierten Unternehmen abgeholt werden.

Es gibt leider immer noch eine weitverbreitete Fehlvorstellung, dass PV-Module gefährliche und knappe Ressourcen beinhalten. Dies ist jedoch nicht der Fall. Tatsächlich besteht der Hauptbestandteil der Module, nämlich Glas (zu etwa 90 Prozent), aus natürlichen Ressourcen, die in der Natur nahezu unbegrenzt verfügbar sind. Das Schlüsselmaterial des Glases ist Siliziumdioxid, das aus Quarzsand gewonnen wird. Die übrigen Schichten der Module setzen sich aus Siliziumwafern, Verbundfolien, einer geringen Menge Metall und, je nach Modell, einer Rückseitenfolie zusammen.

Die Siliziumwafer werden zusammen mit dem Glas wiederaufbereitet und finden Verwendung in der Produktion von Flachglas oder Glaswolle für Wärmedämmung. Die Verbund- und Rückseitenfolie wird verbrannt, um Energie in Form von Strom oder Wärme für die Zementproduktion zu erzeugen. Die Metalle, die etwa 5 bis 8 Prozent des Moduls ausmachen, werden extrahiert und in europäische Schmelzwerke zur Wiederverwertung transportiert. Somit können mehr als 75 Prozent eines PV-Moduls wiederverwendet werden. Die Kreislauffähigkeit der Siliziumwafer wird künftig durch eine optimierte Wiederverwertung noch weiter verbessert.

Die Entsorgung und das Recycling von PV-Modulen sind wichtige Aspekte, um sicherzustellen, dass die Umweltauswirkungen minimiert werden und wertvolle Materialien wiederverwendet werden können. Dies trägt dazu bei, die Nachhaltigkeit der Solarenergiebranche weiter zu fördern.

FAZIT

Neben einer fachgerechten Installation ist es sehr wichtig, dass PV-Anlagen während ihrer rund 25- bis 30-jährigen Laufzeit in einem ordnungsgemässen und sicheren Zustand bleiben. Nur so ist gewährleistet, dass die prognostizierten Erträge erreicht werden können. Mit einer funktionierenden Fernüberwachung und einer periodischen Anlagenwartung kann der ordnungsgemässe Zustand gewährleistet werden.

Überwachung

Die Überwachung via Onlineportal ins immer sinnvoll. Entweder vom Anlagebesitzer selbst oder über ein spezialisiertes Unternehmen. Wird eine Störung oder ein Ausfall von einem Gerät erkannt, erhält der Eigentümer eine Empfehlung für das weitere Vorgehen. Zudem ist es ihm oder ihr möglich seine Produktionsdaten mit den Vorjahren abzugleichen.

Für Bauherren, welche nicht wöchentlich das Onlineportal prüfen, bei denen das fachliche Wissen oder die benötigte Zeit fehlt ist es ratsam diese Arbeit an einen Dienstleister abzugeben. Damit Fehler, Störungen und Ausfälle rechtzeitig erkannt werden und um festzustellen, ob die PV-Anlage die Energiemenge produziert, welche simuliert wurde.

Reinigung

Bei einer Reinigung werden die PV-Module, mit speziellen Reinigungsgeräten, von dem Schmutz befreit, welcher sich über die Jahre angesammelt hat.

Eine Reinigung macht da Sinn, wo sich hohe Ertragseinbussen erkennen lassen. In den meisten Fällen wird die erneute Verschmutzung in der Rentabilität nicht berücksichtigt. Dennoch empfiehlt sich eine Reinigung um die Lebensdauer der Module nicht zu verkürzen. Die Reinigung sollte immer von einem professionellen Unternehmen durchgeführt werden. Sollte eine Privatperson dennoch die eigenen Module reinigen wollen, dann nur im kompletten sicheren Umfeld und nur mit einem Schwamm und ohne Reinigungsmittel.

Sichtkontrolle

Bei der Sichtkontrolle werden Komponenten wie: Wechselrichter, Module, Speicher, Anlagenschalter, Generatoranschlusskasten, etc. vor Ort auf Verschmutzungen und Beschädigungen geprüft. Kleinere Reparaturen werden direkt erledigt und bei grösseren Reparaturen wird der Kunde, mittels einer Offerte, informiert.

Eine Sichtkontrolle wird bei vielen Herstellern direkt als Pflicht angegeben. Der Umfang dieser ist jedoch unterschiedlich. Ich empfehle jedem Anlagenbesitzer die Betriebsanleitung oder das Benutzerhandbuch welches ihm in der Anlagedokumentation mitgeliefert wurde durchzulesen.

Die Sichtkontrolle an ein Unternehmen abzutreten empfiehlt sich für Bauherren, welchen die Zeit, das Fachwissen und das Interesse fehlt, um die Anlage jährlich zu überprüfen.

Messungen

Die vielen verschiedenen Arten von Messungen kommen in den meisten Fällen zum Zug wenn bereits Fehler von der Anlage selbst angezeigt werden. Es gibt allerdings auch die Möglichkeit eine Anlage präventiv in regelmässigen Abständen messen zu lassen. So lassen sich Fehler frühzeitig erkennen. Die Messung von Spannung, Strom und Isolationswiderstand und/oder eine Wärmebildaufnahme empfiehlt sich für Besitzer einer Anlage von mehr als 100 kWp und allen welche den Maximal möglichen Ertrag aus ihrer Anlage gewährleisten möchten.

SCHLUSSWORT

Muss ich noch etwas machen?

Diese Frage habe ich häufig nach der Inbetriebnahme einer PV-Anlage gestellt bekommen. Vor meiner Arbeit war meine Antwort immer: «Nein die läuft jetzt einfach.» Nun habe ich gelernt, dass es durchaus weitere Aspekte im Lebenszyklus der PV-Anlage gibt, welche es zu beachten gibt.

In meiner Diplomarbeit habe ich viel neues über die Nachbetreuung von PV-Anlagen gelernt. Es war schön zu sehen, dass ich bei der Informationssuche auf sehr viele hilfsbereite Menschen gestossen sind, welche auch selbst ein Interesse an meiner Arbeit gezeigt haben. Dies sorgte immer wieder für einen Motivationsboost, welchen ich bei dieser Arbeit gut gebrauchen konnte. Besonders freue ich mich über meine neuen Kenntnisse über Sichtkontrollen und Schadens Ermittlung.

In Anbetracht der umfassenden Informationen zu Photovoltaikanlagen und ihrem Lebenszyklus möchte ich abschliessend betonen, dass Solarenergie eine nachhaltige und umweltfreundliche Energiequelle ist, die in vielen Teilen der Welt immer mehr an Bedeutung gewinnt. Die effiziente Nutzung, regelmässige Wartung, Erkennung von Fehlern und die ordnungsgemässe Entsorgung von PV-Anlagen sind entscheidend, um ihren langfristigen Erfolg und positive Umweltauswirkungen zu gewährleisten.

Den Grössten Knackpunkt sehe ich bei der Reinigung. Ganz spezifisch bei der Wirtschaftlichkeit dieser. Leider konnte ich auch nach intensiver Auseinandersetzung mit dem Thema nicht ganz festmachen wie diese am besten berechnet wird. Ich hoffe, dass es in Zukunft noch weitere Langzeitstudien auf diesem Gebiet geben wird.

Grundsätzlich fühle ich mich nun gut ausgerüstet um in Zukunft im Bereich der Nachbetreuung tätig zu sein. An dieser Stelle möchte ich mich bei allen bedanken, welche sich kurz Zeit genommen haben, meine Fragen zu beantworten. Ein besonderer Dank geht an Mario Küng den Geschäftsführer der Solarenergie Küng GmbH für das zur Verfügung stellen der ganzen Bilder und die Inputs zu diesem Thema.

Vielen Dank auch an Sie fürs lesen. Ich hoffe ich konnte einen interessanten Einblick liefern.

Ich hoffe, dass die bereitgestellten Informationen hilfreich waren und dazu beitragen, das Verständnis für den Lebenszyklus von Photovoltaikanlagen zu vertiefen. Indem wir bewusst mit dieser erneuerbaren Energiequelle umgehen, können wir dazu beitragen, unseren Planeten nachhaltiger und umweltfreundlicher zu gestalten.

Wenn Sie weitere Fragen haben oder zusätzliche Informationen benötigen, stehe ich Ihnen gerne zur Verfügung. Vielen Dank für Ihr Interesse und Ihr Engagement für erneuerbare Energien.

QUELLEN

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Bor.....	9
Abbildung 2: Silizium	9
Abbildung 3 Phosphor	9
Abbildung 4: P und N-Gitter	9
Abbildung 5: Elektronenwanderung.....	9
Abbildung 6: Verschaltung von Zellen	10
Abbildung 7: Verschaltung von Modulen	10
Abbildung 8: Verschaltung von Strings.....	11
Abbildung 9: Solarmanager	12
Abbildung 10: Solarlog	12
Abbildung 11: Smartfox.....	12
Abbildung 12: Solarmanager Dashboard.....	13
Abbildung 13: Vogel Kott.....	14
Abbildung 14: Staub und Sand	14
Abbildung 15: Ablagerung am Rand des Moduls	15
Abbildung 16: Biofilm	15
Abbildung 17: Russ und Strassenstaub.....	15
Abbildung 18: Flechten.....	16
Abbildung 19: Stecker nicht hochgebunden	16
Abbildung 20: Rostige Schraube.....	16
Abbildung 21: Vogelnest.....	17
Abbildung 22: Wärmebild.....	18
Abbildung 23: E-Messung.....	19
Abbildung 24: Kennlinienmessung	20
Abbildung 25: Mobiles PV-Labor	20
Abbildung 26: Huawei Wechselrichter	21
Abbildung 27: Tabelle aus Anleitung	21
Abbildung 28: Wechselrichter von Solaredge	22
Abbildung 29: Auszug aus Bedienungsanleitung.....	22
Abbildung 30: Wechselrichter von Kostal.....	22
Abbildung 31: Auszug aus Anleitung	22
Abbildung 32: Wechselrichter von Delta.....	23
Abbildung 33: Auszug aus Anleitung	23
Abbildung 34: Wechselrichter von Fronius	24
Abbildung 35: Wartungshinweis	24
Abbildung 36: Auszug aus Anleitung	24
Abbildung 37: Wechselrichter von SMA.....	24
Abbildung 38: Auszug aus Anleitung	24
Abbildung 39: Wechselrichter von GoodWe	25
Abbildung 40: Tabelle aus Anleitung	25
Abbildung 41: Reinigung von Hand	27
Abbildung 42: Reinigungsroboter.....	27
Abbildung 43: Reinigungsbürste.....	27
Abbildung 44: Reinigungskran	27
Abbildung 45: Leistungskurve	29
Abbildung 46: Leistungskurve 2	30

Abbildung 47: Energieertrag.....	30
Abbildung 48: Leistungsabnahme durch Verschmutzung	31

Quellenverzeichnis

Titel	Link	Zeitpunkt
Wartung und Unterhalt von Photovoltaikanlagen	https://hausinfo.ch/de/bauen-renovieren/unterhalt-renaovation-sanierung/planung-finanzierung-ruecklagen/unterhalt-solaranlagen.html	20.09.2023
Swissolar	https://www.swissolar.ch/de	23.09.2023
PV2Grid	https://www.pv2grid.ch/	23.09.2023
Sachbuch "Photovoltaikanlagen bauen pflegen und nutzen" von Sylvia Höhentinger	https://www.orellfuessli.ch/shop/home/artikeldetails/A1060038841	02.10.2023
Preisrechner für PV-Reinigung	https://www.pronto-ag.ch/leistungsbereiche/haustechnikreinigung/photovoltaik-reinigung/?gclid=EAlaIqobChMlvfSQqPPrgQMVpxoGAB1pbgdOEAAAYASABEglwoPD_BwE	10.10.2023
Biofilm auf Solarmodulen	https://www.bam.de/Content/DE/Paper-des-Monats/2018/Umwelt/2018-06-01-paper-des-monats-umwelt.html	16.10.2023
Bild Reihenschaltung von PV-Zellen	https://www.solaranlage-ratgeber.de/photovoltaik/photovoltaik-technik/photovoltaik-solarmodule	20.10.2023
Bild Reihenschaltung Module	https://energieblogger.at/photovoltaik-und-speicherwissen-in-serie-und-parallel-online-berechnen-um-anlagen-zu-planen_2979.html	20.10.2023
Solarmanager	https://www.solarmanager.ch/produkt/visualisierung/	20.10.2023
Solarlog	https://www.solar-log.com/produkte-loesungen/monitoring-solar-log-web-eneresttm	20.10.2023
Smartfox	https://smartfox.at/produkte/monitoring/	20.10.2023
Moose und Flechten auf PV-Modulen	https://www.objektprofis.com/solar-gebaeude/photovoltaikreinigung/flechten-und-moose	20.10.2023
Reinigung von PVA	https://www.energie-experten.org/erneuerbare-energien/photovoltaik/betrieb/reinigung	20.10.2023
Solarprofis	https://www.solarsol.de/flechten/	20.10.2023
Das Haus (Bild Bürstenreinigung)	https://www.haus.de/smart-home/photovoltaik-reinigung-32109	20.10.2023
Fehler an PV Modulen	https://www.energynet.de/2013/01/14/liste-5-fehler-photovoltaikmodule/	20.10.2023
Moos auf PV-Modulen	https://www.haustec.de/energie/pv-module/so-entfernen-sie-flechten-und-moos-auf-solarmodulen-richtig	21.10.2023
Infrarotmessung PV-Anlagen	https://www.infratec.de/thermografie/anwendungsgebiete/photovoltaik-inspektion/	21.10.2023
Infrarotmessungen PV	https://iopscience.iop.org/article/10.1088/2516-1083/ac890b/pdf	21.10.2023
mbj	https://www.mbj.ch/	22.10.2023
Titelbild	https://www.wegatech.de/ratgeber/photovoltaik/grundl	24.10.2023

	agen/wirkungsgrad/	
Datenblätter und Produktspezifische Informationen	https://www.solarmarkt.ch/de/wechselrichter	26.10.2023
TEKO Arbeit mit Verwandtem Thema	https://www.teko.ch/technik/energie--und-umwelttechnik/630547	26.10.2023
Reinigungsvideo	https://www.youtube.com/watch?v=gD_FlbPkas	29.10.2023
DIN Normen Vortrag	https://www.dgs.de/fileadmin/newsletter/2017/IS2017_Vortrag_Haselhuhn_Rahmenbedingungen.pdf	30.10.2023
DIN EN 62446	https://www.vde-verlag.de/normen/0100642/din-en-iec-62446-2-vde-0126-23-2-2021-08.html	30.10.2023
Wie Reinigungsmittel Module beschädigen können	https://www.imws.fraunhofer.de/de/presse/pressemittellungen/pv-reinigungsmittel-chemisch-korrosion-lochfrass.html	31.10.2023
Bild LKW	https://www.derphotovoltaikreiniger.de/photovoltaik-reinigung/	31.10.2023
Mobile Messtation SPF	https://www.ost.ch/de/forschung-und-dienstleistungen/technik/erneuerbare-energien-und-umwelttechnik/spf-institut-fuer-solartechnik/testing/mobiles-pv-labor	03.11.2023

Herkunft der Grafiken

Abbildung 1	Selbst erstellt in Microsoft Visio
Abbildung 2	Selbst erstellt in Microsoft Visio
Abbildung 3	Selbst erstellt in Microsoft Visio
Abbildung 4	Buch "Photovoltaikanlagen" von Christof Bucher
Abbildung 5	Buch "Photovoltaikanlagen" von Christof Bucher
Abbildung 6	Selbst erstellt in Microsoft Visio
Abbildung 7	Selbst erstellt in Microsoft Visio
Abbildung 8	Selbst erstellt in Microsoft Visio
Abbildung 9	https://www.solarmanager.ch/
Abbildung 10	https://www.solar-log.com/produkte-loesungen/monitoring-solar-log-web-eneresttm
Abbildung 11	https://smartfox.at/
Abbildung 12	https://www.solarmanager.ch/
Abbildung 13	Foto von Solarenergie Küng GmbH
Abbildung 14	Foto von Solarenergie Küng GmbH
Abbildung 15	Foto von Solarenergie Küng GmbH
Abbildung 16	Buch "Photovoltaikanlagen bauen, pflegen und nutzen" von Sylvia Höhentinger
Abbildung 17	Foto von Solarenergie Küng GmbH
Abbildung 18	Foto von Solarenergie Küng GmbH
Abbildung 19	Foto von Solarenergie Küng GmbH
Abbildung 20	Foto von Solarenergie Küng GmbH
Abbildung 21	Foto von Solarenergie Küng GmbH
Abbildung 22	Buch "Photovoltaikanlagen" von Christof Bucher
Abbildung 23	Buch "Photovoltaikanlagen" von Christof Bucher
Abbildung 24	Messung aus einem Bericht der Solarenergie Küng GmbH
Abbildung 25	https://www.ost.ch/de/forschung-und-dienstleistungen/technik/erneuerbare-energien-und-umwelttechnik/spf-institut-fuer-solartechnik/testing/mobiles-pv-labor
Abbildung 26	https://www.solarmarkt.ch/de/huawei-sun2000-12ktl-m5
Abbildung 27	Dokument "SUN2000-(12KTL-25KTL)-M5 Serie Benutzerhandbuch" von Huawei

Abbildung 28	https://www.solarmarkt.ch/de/solaredge-se10k-rw0teben4-setapp
Abbildung 29	Dokument "Installation Guide Three Phase System with SetApp Configuration"
Abbildung 30	https://www.solarmarkt.ch/de/kostal-plenticore-plus-10-g2
Abbildung 31	Dokument "Betriebsanleitung" vom Kostal Plenticore Plus
Abbildung 32	https://www.solarmarkt.ch/de/delta-m10a
Abbildung 33	Dokument "Installations- und Betriebshandbuch RPI M6A" von Delta
Abbildung 34	https://www.solarmarkt.ch/de/fronius-symo-8-2-3-m
Abbildung 35	Dokument "Installation Instructions Fronius Symo 3 - 8,2 kW "
Abbildung 36	Dokument "Installation Instructions Fronius Symo 3 - 8,2 kW "
Abbildung 37	https://www.solarmarkt.ch/de/sma-sunny-tripower-x-12
Abbildung 38	Betriebsanleitung SUNNY TRIPOWER X 12 / 15 / 20 / 25
Abbildung 39	https://www.solarmarkt.ch/de/goodwe-smt-gw25k-mt-30a
Abbildung 40	Dokument Goodwe User Manual"
Abbildung 41	Photovoltaik-Reinigung, Pflege, Sets & Kosten (energie-experten.org)
Abbildung 42	Photovoltaik-Reinigung, Pflege, Sets & Kosten (energie-experten.org)
Abbildung 43	Photovoltaik-Reinigung, Pflege, Sets & Kosten (energie-experten.org)
Abbildung 44	https://www.derphotovoltaikreiniger.de/photovoltaik-reinigung/
Abbildung 45	Aus dem Solarlog Portal von Solarenergie Küng GmbH
Abbildung 46	Aus dem Solarlog Portal von Solarenergie Küng GmbH
Abbildung 47	Aus dem Solarlog Portal von Solarenergie Küng GmbH
Abbildung 48	Selbst erstellt
Terminplan	Screenshot von meinem Terminplan aus Microsoft lists
Titelblatt PVA	https://www.wegatech.de/ratgeber/photovoltaik/grundl

Literatur

- Christof Bucher (2021) *Photovoltaikanlagen*
- Sylvia Höhentinger (2021) *Photovoltaikanlagen bauen, pflegen und nützen!*
- DIN VDE 0126-21 (VDE 0126-21)
- DIN EN 62446 (VDE 0126-23)
- Solaredge Fallbeispiel *Analyse eines Modulschadens nach einem Hagelschlag*

SELBSTSTÄNDIGKEITSERKLÄRUNG

Name: Zemp
Vorname: Raphael
Adresse: Breitestrasse 53
Ort: Reinach AG

Hiermit bestätige ich die Vorliegende Arbeit selbstständig verfasst zu haben. Diese Arbeit wurde weder in gleicher noch in ähnlicher Form einer Prüfungskommission vorgelegt.

Unterschrift:

12.11.2023

Raphael Zemp