

VERSCHMUTZUNG UND DEGRADATION, EINE BESTANDSAUFNAHME



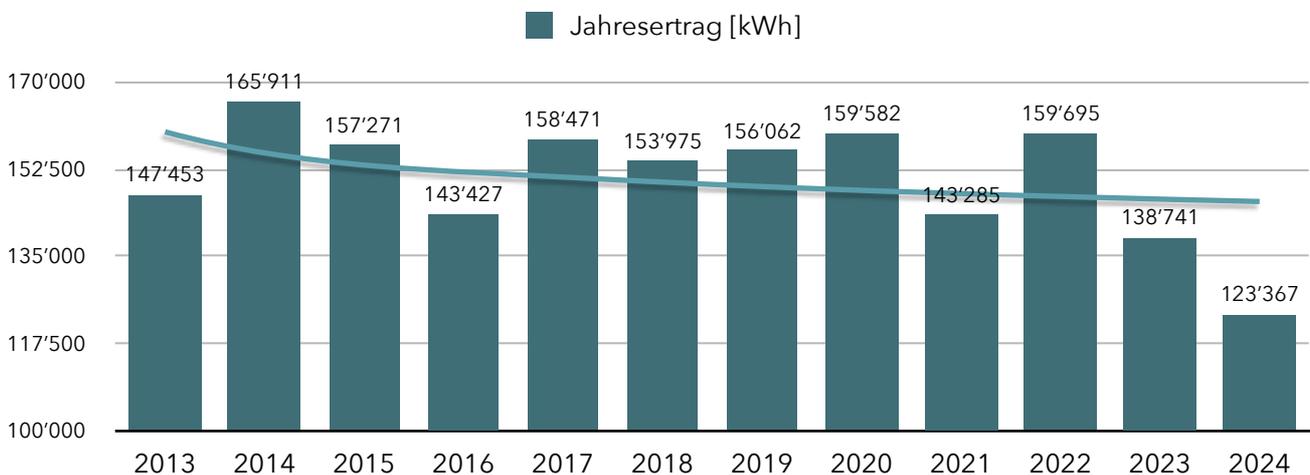
Erkenntnisse in Kurzform

Die Degradation (altersbedingter Leistungsverlust) von PV-Modulen ist entgegen früherer Annahmen gering. Leistungsverluste infolge von Verschmutzung (Russ, Moos und Algen) sind stark abhängig von der Montageart, dem geografischen Standort und der Neigung. Im hier untersuchten Fall ist der Ertragsrückgang verschmutzungsbedingt zwischen 10% und 20%. Eine Reinigung lohnt sich bei grossen Anlagen mit hoher Vergütung, bei kleineren ohne KEV (kostendeckende Einspeisevergütung) tendenziell nicht.

Vorgeschichte

Im Jahr 2011 habe ich drei PV-Anlagen geplant, gebaut oder begleitet. Zwei Anlagen auf EFH mit 12 kWp als Aufdachanlagen mit rund 30° Neigung sowie eine Aufdachanlage in der Industrie mit 20 kWp und 10° Neigung. Im Jahr darauf folgte dann eine um 10° aufgeständerte Flachdachanlage mit 130 kWp.

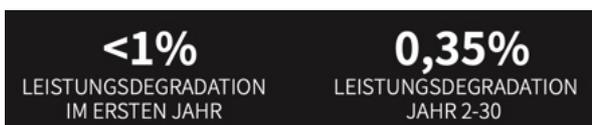
Insbesondere die gut zu inspizierende Flachdachanlage habe ich jährlich überprüft und konnte keine bleibende Verschmutzung feststellen. Jeder stärkere Regen hat den Schmutz weggespült, die 10° Neigung hat geholfen, dass auch der untere Rand am Modulrahmen sauber blieb. Die jährlichen Erträge wurden festgehalten und wiesen keine Abweichungen auf, welche nicht meteorologisch erklärbar gewesen wären. Sehr deutlich unter dem langjährigen Mittel war erst das Jahr 2024 und rückblickend war auch das Vorjahr tendenziell zu schwach.



Die Begehung zeigte dann, dass alle Module auf dem Flachdach im unteren Bereich eine Verschmutzung aufwiesen, welche selbst mit normalen Reinigungsmitteln kaum zu lösen war. Meiner Meinung nach handelte es sich um Algen oder Flechten.

Degradation oder Verschmutzung

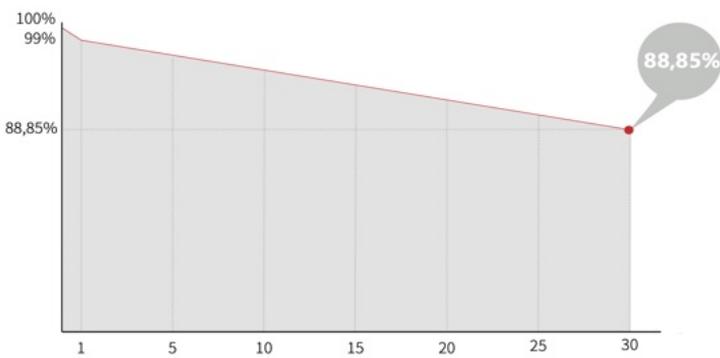
Im Jahr 2012 betrug die Leistungsgarantie der gebräuchlichen PV-Modulen meist 80% nach 25 Jahren mit linearer Abnahme. Im Jahr 2024 und mit entsprechender Langzeiterfahrung beträgt die Garantie bereits 89% nach 30 Jahren, ab dem zweiten Jahr linear. Das entspricht einer jährlichen Degradation von 0.37% statt 0.8% und das bei einem Bruchteil der Kosten!



Leistungsgarantie Longi Solar im Jahr 2025

Ertragsverluste in der Photovoltaik

30 Jahre Leistungsgarantie



Leistungsgarantie Longi Solar im Jahr 2025



Leistungsgarantie Trina Solar im Jahr 2012

Der fast schlagartige Ertragsrückgang nach 10 Betriebsjahren war mir mit einer möglichen Degradation der Module nicht erklärbar. Ein Leistungsverlust der insgesamt 8 baugleichen Wechselrichter ohne entsprechende Fehlermeldung schien mir auch sehr unwahrscheinlich. Also blieb nur noch die Verschmutzung als realistischer Grund.

Der Reinigungsversuch

Da die Reinigung mit Wasser und Bürste, selbst unter Zuhilfenahme von normalem Haushaltreiniger kaum Besserung brachte, bestellte ich ein geeignetes Reinigungsmittel. Zu zweit nahmen wir uns das Modulfeld eines Wechselrichters vor, um nach erfolgter Reinigung einen aussagekräftigen Vergleich ziehen zu können. Das Reinigungsmittel wurde verdünnt mit einer Gartenspritze vollflächig aufgetragen, nach kurzer Einwirkzeit mit einer Schruppbürste das Modul gereinigt und danach mit einer wasserführenden, weichen Bürste nachgereinigt. Die Mikroorganismen mussten teilweise mit Nachdruck weggebürstet werden, auf der Gesamtfläche löste sich ein dunkler Schleier, das Wasser färbte sich schwarz. Ich gehe davon aus, dass es sich hier im Wesentlichen um abgelagerten Russ handelte. Der Zeitaufwand zum Reinigen von 24 Modulen ohne Vorbereitung betrug zu zweit rund 75 Minuten, also 2.5 Personenstunden. Die Module entsprechen in der Dimension und Leistung nicht den heutigen Modellen. Die gereinigte Generatorfläche weist eine Peakleistung von 12.4 kW auf.





Die Analyse

Unsere acht Wechselrichter haben weder LAN noch WLAN und werden von einem SolarLog via RS485 ausgelesen. Die Fünf-Minutenwerte werden ins Web geschrieben und danach mit einer leider nicht mehr gepflegten und nicht mehr käuflichen Software visualisiert oder bei Bedarf genauer analysiert. Ich kann hier die verschiedenen Leistungsverläufe der Wechselrichter normalisiert übereinanderlegen und vergleichen. So können Schäden oder Verschattungen einzelner Felder gefunden oder verschiedene Anlagen verglichen werden.



Modulfeld 3 und 4 im ungereinigten Zustand:

Die Ertragskurven von Wechselrichter 4 (orange) hinter Wechselrichter 3 (gelb) vom 19.3.2025. Das Ertragsverhältnis ist hier 56.3 zu 54.8 kWh, also **102.7%**. Das Modulfeld von WR 3 ist in den Morgenstunden leicht verschattet



Modulfeld 3 ungereinigt, Modulfeld 4 gereinigt:

Die Ertragskurven von Wechselrichter 4 (orange) hinter Wechselrichter 3 (gelb) vom 7.4.2025. Der Ertragsverhältnis ist hier 80.7 zu 66.0 kWh, also **122.3%**.

Die gereinigte Generatorfläche liefert somit einen **19% höheren Ertrag** als die ungereinigte (um die Verschattung bereinigt)



Pultdach ungereinigt, Modulfeld 4 gereinigt:

Die Ertragskurven von Wechselrichter 2 (orange) hinter Wechselrichter 3 (gelb) vom 7.4.2025. Der Ertragsverhältnis ist hier 5.99 zu 5.32 kWh/kWp, also **112.6%**. (unterschiedliche Leistung)

Der Ertragsrückgang ist hier ohne Bodeneffekt (Kies) nur mit Russablagerung deutlich geringer.

Degradation in der Forschung

Das Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme hat zu diesem Thema ausführlich geforscht und schreibt: „Natürlich degradieren auch Photovoltaik-Module, allerdings im Normalfall sehr langsam. Konkret bedeutet dies für waferbasierte Module, also Solarpaneele mit einer Grundlage aus dünnen Siliziumscheiben, einen so langsamen Alterungsprozess, dass es eine Herausforderung für die Wissenschaftler darstellen kann, Leistungsverluste überhaupt nachzuweisen. Eine Studie des Instituts an 44 größeren PV-Dachanlagen ergab eine durchschnittliche jährliche Degradation der Nennleistung bei Modulen von ca. 0,15 Prozent“

Erkennung von Leistungsreduktion durch Verschmutzung

Eine aussagekräftige Messung der Verschmutzung wäre in der Prüfkammer mit einer Leistungsmessung unter Normbedingungen möglich. Eine weitere Möglichkeit ist der Betrieb eines immer gereinigten Einstrahlungssensors und dem Vergleich der beiden Daten. Eine praxistaugliche Lösung ist auch, die jährlich jeweils höchsten Tageserträge miteinander zu vergleichen.

Reinigung von Modulfeldern

Stand Frühling 2025 listen Suchmaschinen im Internet eine grosse Anzahl an Firmen auf, welche sich auf die Reinigung von Photovoltaik-Anlagen spezialisiert haben. Dazu gehören sogar Kaminfeger, welche dadurch den Rückgang an fossilen Feuerungen kompensieren möchten. Gereinigt wird mit Rotorbürsten an Teleskopstangen, Robotern oder wasserführenden Bürsten. In der Regel wird Osmosewasser ohne Reinigungsmittel verwendet.



Die Kosten für eine professionell angebotene Reinigung von PV-Anlagen bewegen sich bei meiner Recherche in folgendem Rahmen:



PV-Anlage auf Industriedach, 984 m², 150 kWp. Direkt zugänglich, keine Absturzsicherung vorhanden. Angebotener Preis: **ca. Fr. 3'700.00** mit Reinigung mittels Roboter und Osmosewasser.



PV-Anlage auf Satteldach einseitig, 63 m², 12 kWp. Hebebühneneinsatz nicht möglich. Online-Preis **ca. Fr. 1'200.00**, Reinigungsart unbekannt, vermutlich Teleskopstangen und Rotorbürsten.

Wirtschaftlichkeit der Reinigung

Ob sich eine Reinigung finanziell auszahlt oder nicht, hängt stark von der Grösse der Anlage und dem Verkaufspreis der Energie oder dem Eigenverbrauchsanteil ab. Ich erlaube mir hier zwei vereinfachte Betrachtungen mit entsprechenden Unsicherheiten bei den getroffenen Annahmen:

Beispiel 1, Industrieanlage 150 kWp, 100% Einspeisung KEV 35 Rappen

Die Verschmutzung rechne ich linear auf 20% Reduktion innerhalb 5 Jahren, was zu einem kumulierten Ertragsausfall $0.5 * (150 \text{ MWh/Jahr} * 20\% * 5 \text{ Jahre} * 350 \text{ CHF/MWh}) = 26'250 \text{ CHF}$ führt. Die Reinigung kostet 3'700.00 und ist damit bereits im ersten Jahr amortisiert.

Beispiel 2, EFH-Anlage 15 kWp, 70% Einspeisung zu 14 Rappen, 30% Eigenverbrauch zu 30 Rappen (fiktives Beispiel)

Die Verschmutzung rechne ich linear auf 12% Reduktion innerhalb 5 Jahren, was zu einem kumulierten Ertragsausfall von $0.5 * (15 \text{ MWh/Jahr} * 12\% * 5 \text{ Jahre} * (30\% * 300 \text{ CHF/MWh} + 70\% * 140 \text{ CHF/MWh})) = 1'692 \text{ CHF}$ führt, was ungefähr in der Grössenordnung der Reinigungskosten liegt. Die steuerliche Geltendmachung des Reinigungsaufwandes bei der Einkommenssteuer kann aber hier helfen.

Alle Angaben ohne Gewähr und lediglich informativ. Die unveränderte Weitergabe der Information ist erlaubt, Hinweise zu Fehlern nehme ich gerne unter mcgeiser@mac.com entgegen.