

Allmähliche Reduktion des Energieertrags netzgekoppelter Photovoltaikanlagen infolge permanenter Verschmutzung

Prof. Dr. H. Häberlin und Ch. Renken
Berner Fachhochschule, Hochschule für Technik und Architektur (HTA) Burgdorf,
Labor für Photovoltaik, Jlcoweg 1, CH-3400 Burgdorf
Tel: +41 / 426 68 11, Fax: +41 / 34 426 68 13
e-mail: heinrich.haeberlin@isburg.ch (später heinrich.haeberlin@hta-bu.bfh.ch)

1. Einführung

Seit Frühling 1994 betreibt das Photovoltaiklabor der HTA Burgdorf (vormals Ingenieurschule Burgdorf, ISB) ein Testzentrum für Photovoltaikanlagen mit einem Solargenerator (60kWp, Anstellwinkel 30°) auf dem Dach des Neubaus der Abteilung Elektrotechnik [1]. Die Anlage liegt in unmittelbarer Nähe der Eisenbahn-Hauptstrecke Bern-Zürich. Im Laufe der Zeit wurde die Entwicklung eines **permanenten Verschmutzungstreifens** am unteren Rand der verwendeten (gerahmten) Solarmodule beobachtet, welcher eine allmähliche Reduktion des Energieertrags der Anlage bewirkte.

Da im deponierten Material auch Eisenstaub nachgewiesen wurde, lag zunächst die Vermutung nahe, dass dieser Eisenstaub für die Entwicklung dieser Verschmutzung mitverantwortlich ist und dass es sich primär um ein lokales Phänomen bedingt durch die Eisenbahn-Hauptstrecke bei dieser Anlage handelt. Untersuchungen bei anderen, weiter von der Bahnlinie entfernten Anlagen in Burgdorf zeigten aber ebenfalls permanente Verschmutzungen, welche allerdings etwas weniger gravierend sind.

2. Verschmutzung der Photovoltaikanlage der HTA Burgdorf

Im Juni 1998 wurde der Solargenerator der Anlage gereinigt und die U-I-Kennlinien der Arrays der Anlage vor und nach der Reinigung ausgemessen. Glücklicherweise zeigten die Messungen, dass der Leistungsverlust weitgehend reversibel ist. Auf Grund der Messungen betrug die Reduktion der auf STC umgerechneten Leistung infolge dieser Verschmutzung zwischen **3,1% bis 13,8%** pro Array. **Die durchschnittliche Reduktion** bezogen auf die gesamte PV-Anlage betrug **7,6%**. Auf dem beobachteten Verschmutzungstreifen etablierten sich teilweise bereits **Pionierpflanzen (Moose und Flechten)**, welche die Entwicklung des Schmutzstreifens durch Zurückhaltung von organischem und anorganischem Staub weiter verstärkten.

Da am Standort dieser Anlage für die Wechselrichtertests ein sehr detailliertes Monitoring durchgeführt wird, war es möglich, nicht nur die nach einer Betriebszeit von 5 Jahren resultierende Verschmutzung zu bestimmen, sondern aus den vorhandenen Messdaten auch ihren zeitlichen Verlauf. Dabei zeigte es sich, dass die Entwicklung des Schmutzstreifens im Verlauf der Zeit nicht kontinuierlich erfolgt, sondern sich nach zunächst langsamem Beginn deutlich beschleunigt. In den ersten Jahren wurde auch noch keine biologische Aktivität beobachtet. Die Erklärung dazu ist naheliegend: Sobald Pionierpflanzen (Moose und Flechten) auftauchen, haben diese die Tendenz, durch den Wind und andere Einflüsse abgelagerte organische und anorganische Substanzen zurückzuhalten und daraus Humus für ihre weitere Entwicklung zu bilden. Bei ungünstigen Bedingungen (z.B. im Hochsommer oder im Winter) können diese Pflanzen temporär absterben, sie entwickeln sich aber aus den vorhandenen Sporen immer wieder neu, so dass eine einmal vorhandene Pflanzenbesiedelung und die daraus resultierenden Schmutzstreifen ohne künstliche Reinigung erhalten bleiben.

Bild 1:

Ansicht auf das Gebäude der Abteilung Elektrotechnik der HTA Burgdorf mit dem Solargenerator (60kWp) der PV-Testanlage. Eine Eisenbahn-Hauptstrecke führt etwa 10m hinter dem Aufnahmestandort durch.



Bild 2:

Ansicht eines Teils des Solargenerators der 60kWp-PV-Testanlage der HTA Burgdorf: Die Module auf der linken Seite sind frisch gereinigt. Bei den Modulen auf der rechten Seite ist die Verschmutzung am unteren Modulrand sichtbar, welche sich in der Zeit von Juni 1993 bis Mai 1998 angesammelt hat.



Bild 3:

Verschmutzungstreifen an der Unterkante eines gerahmten Moduls Siemens M55 (längere Seite in horizontaler Position gemäss Bild 2).

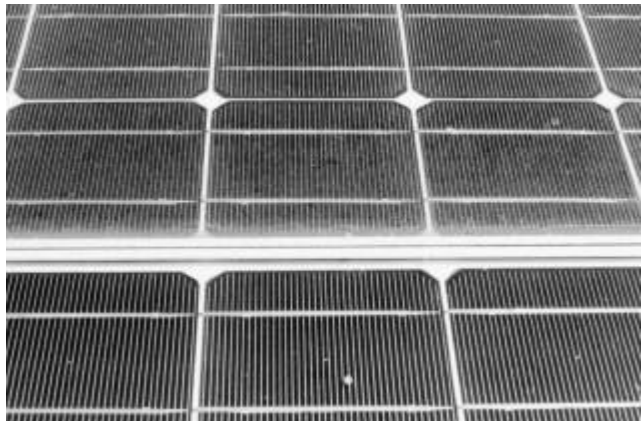


Bild 4:

Detailansicht des relativ kompakten, etwa 1 cm breiten Verschmutzungstreifens an der Modul-Unterkante (Detail von Bild 3).

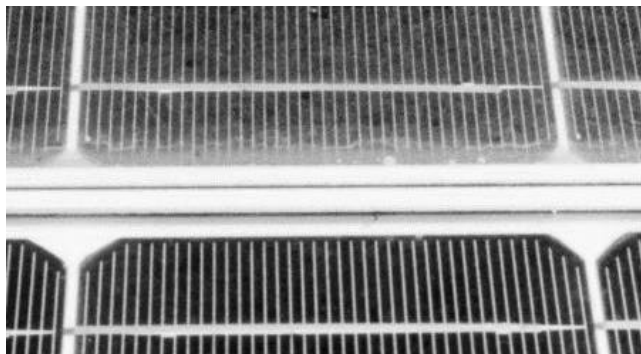


Bild 5:

Auch bei steiler angestellten, hochkant montierten Modulen können derartige Verschmutzungstreifen auftreten. Beim gezeigten Modul ist der Anstellwinkel 65° .

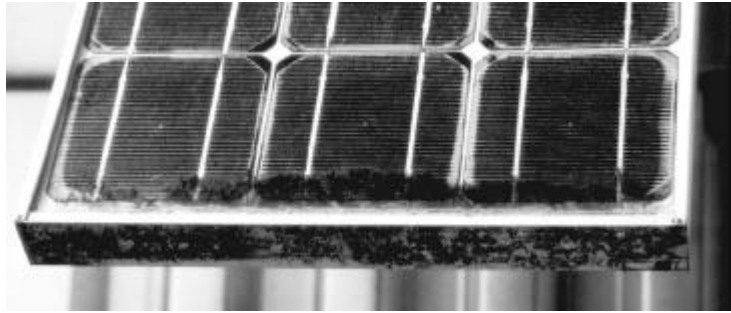


Bild 6:

Detailansicht des Moduls von Bild 5 von einer Stelle, wo sich bereits Flechten entwickeln.

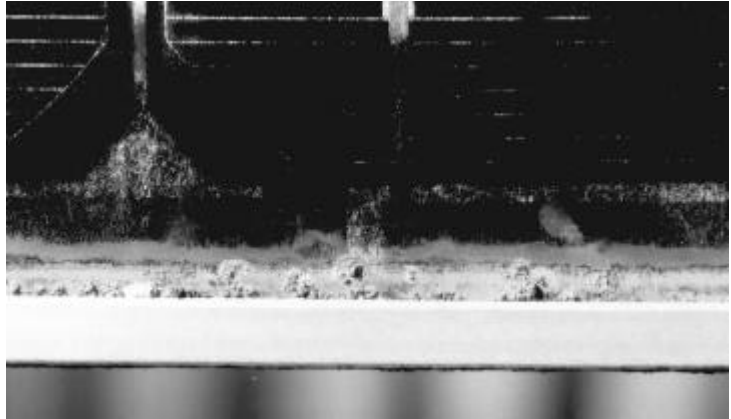


Bild 7:

Auf STC umgerechnete U-I- und P-U-Kennlinien sowie MPP-Leistung eines ungereinigten Arrays der PV-Anlage der HTA Burgdorf (4 parallele Stränge von je 6 Modulen M55 in Serie) nach 5 Betriebsjahren (gemessen im Juni 1998). Der Wendepunkt auf der U-I-Kennlinie ist ein typisches Merkmal bei dieser Verschmutzung.

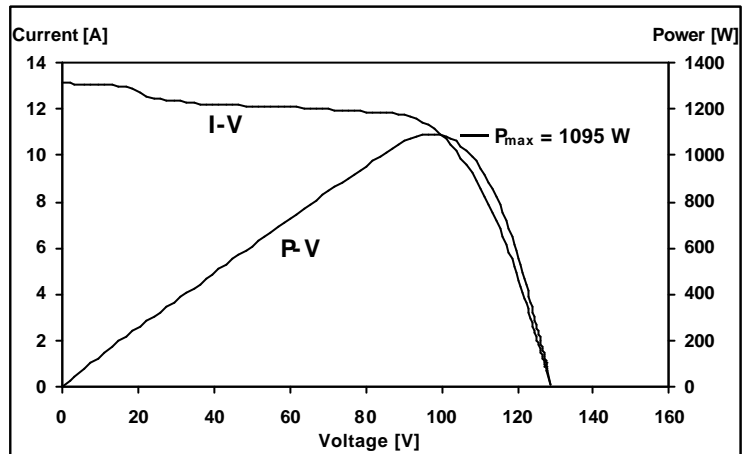


Bild 8:

Auf STC umgerechnete U-I- und P-U-Kennlinien sowie MPP-Leistung des Arrays von Bild 7 nach der Reinigung.

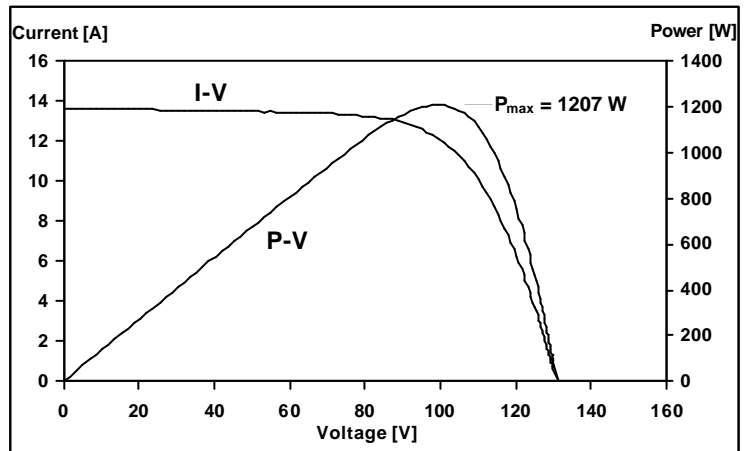


Bild 9:

Verlauf der Generatorleistung in Funktion der Zeit: Generator-Korrekturfaktor k_G in den drei Sommermonaten der Jahre 1994 bis 1997 und im Mai 1998. k_G sinkt zunächst langsam, dann nach Entwicklung biologischer Aktivität rascher ab ($k_G = Y_a/Y_T$, siehe [3]).

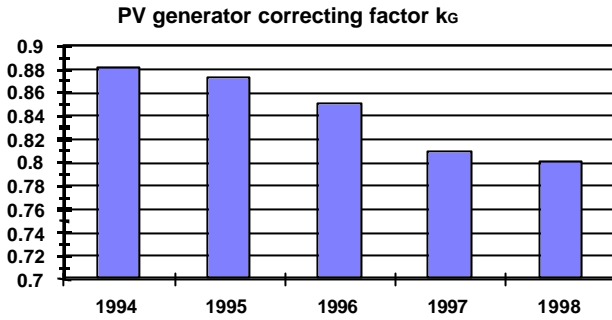


Bild 10:

Normierte Monatsstatistik eines Teils der 60kWp-Testanlage vor der Reinigung des Solargenerators im Mai 1998. Die nicht temperaturbedingten Feldverluste L_{cm} sind durch die Verschmutzung ungewöhnlich hoch. Dadurch sind der Generator-Korrekturfaktor k_G und das Performance Ratio PR relativ niedrig (weitere Erläuterungen in [3]).

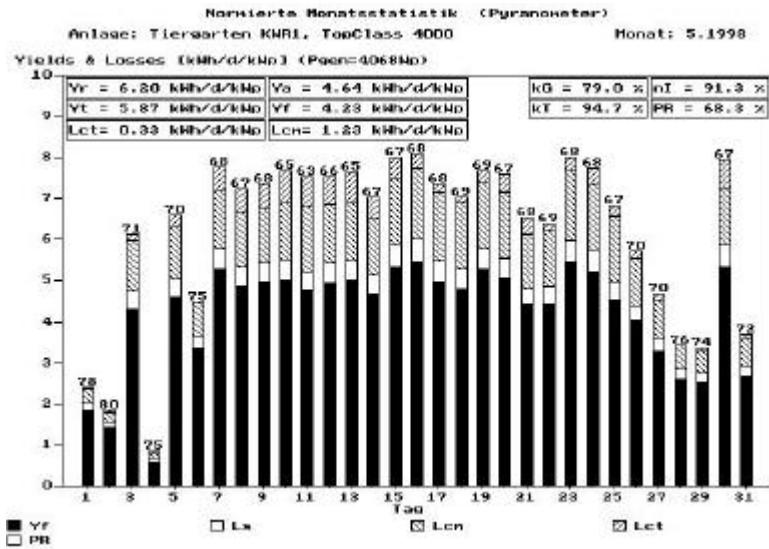


Bild 11:

Normierte Monatsstatistik für Juli 1998 nach der Reinigung (vergl. Bild 10). Die nicht temperaturbedingten Feldverluste L_{cm} sind nun erheblich geringer. Dadurch ist der Generator-Korrekturfaktor k_G und das Performance Ratio PR der Anlage deutlich gestiegen, trotz tieferem Temperatur-Korrekturfaktor k_T im Vergleich zum Mai 1998.

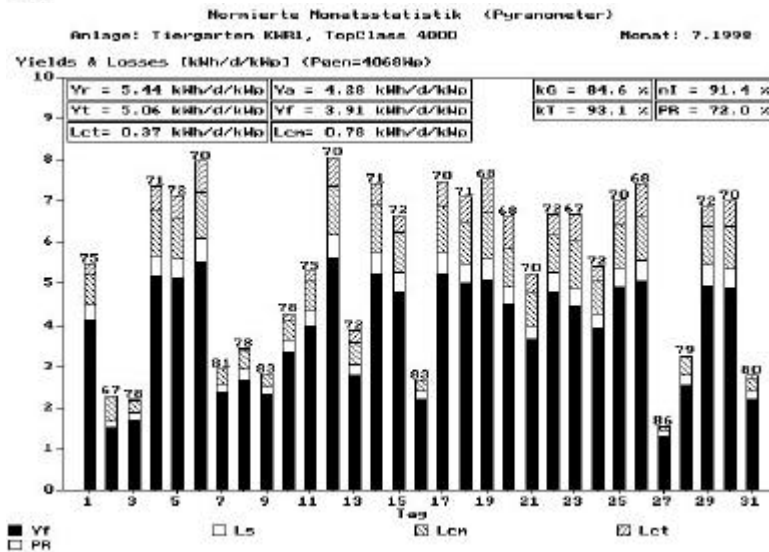


Bild 12:

Analyse der Zusammensetzung des verschmutzenden Materials: Eine dispersive Mikro-Röntgenaufnahme zeigt die wichtigsten anorganischen Komponenten.

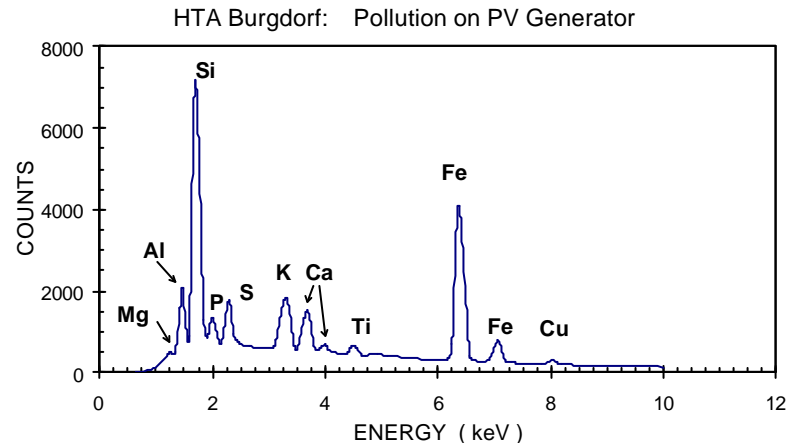
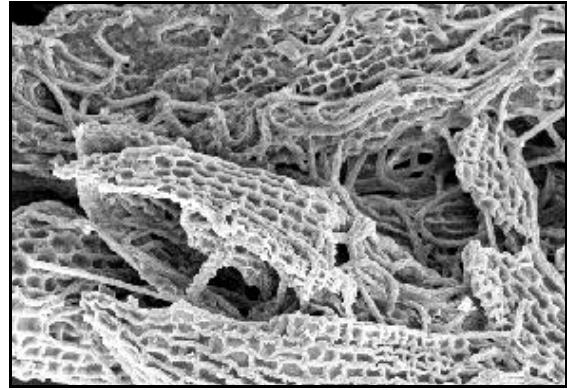


Bild 13:

Elektronenmikroskopische Aufnahme der in einem Verschmutzungsstreifen enthaltenen Flechten.



3. Analoge Verschmutzungen bei weiteren Anlagen in Burgdorf

Da im auf dem Solargenerator der HTA Burgdorf deponierten Material auch Eisenstaub nachgewiesen wurde, lag zunächst die Vermutung nahe, dass dieser Eisenstaub für die Entwicklung dieser Verschmutzung mitverantwortlich ist und dass es sich primär um ein lokales Phänomen bedingt durch die Eisenbahn-Hauptstrecke bei dieser Anlage handelt. Im Oktober 1998 wurden in Burgdorf weitere Messungen an einer gleich alten PV-Anlage mit gerahmten monokristallinen Modulen vom gleichen Typ (längere Seite der Module in horizontaler Position) durchgeführt. Diese Anlage befindet sich jedoch in weiter Entfernung von der Bahnlinie in einem Wohngebiet ohne Industrie- oder Gewerbebetriebe. Hier wurde die Messung eines Strangs (6 Module) vor und nach der Reinigung durchgeführt. Auch hier war die Verschmutzung deutlich sichtbar, sie haftete jedoch weniger stark und liess sich leichter entfernen als die auf dem Solargenerator der HTA Burgdorf. Bei der Messung wurde eine **Leistungsreduktion von 8%** infolge der Verschmutzung festgestellt.

Bei einer weiteren PV-Anlage gleichen Jahrgangs mit grossen polykristallinen Modulen (102Wp), die sich auf dem gleichen Gebäude befindet, konnte ebenfalls ein Schmutzstreifen an der unteren Modulkante festgestellt werden. Dieser Streifen war jedoch erheblich weniger ausgeprägt. Die zur Moduloberfläche hin abgeschrägte Modulkante erleichtert hier wahrscheinlich das Abfließen von verschmutztem Regenwasser, somit wird die Ausbildung des Schmutzstreifens weniger begünstigt. Messungen an dieser Anlage zur Bestimmung der Leistungsreduktion infolge Verschmutzung sind geplant.

4. Schlussfolgerungen

Bisher wurde meist angenommen, dass in Mitteleuropa die natürliche Reinigung des Solargenerators durch Regen und Schnee ausreicht und dass keine künstliche Reinigung nötig ist. Nur in wenigen Beiträgen wurde bisher auf das Problem der permanenten Verschmutzung hingewiesen [2]. Treten solche Verschmutzungen nicht nur lokal, sondern an vielen Orten auf, hat dies auch einen Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit von Photovoltaikanlagen. Das Problem sollte insbesondere von Contracting-Firmen beachtet werden, die für Solarstrombörsen Offerten für die Produktion von Solarstrom über lange Zeiträume einreichen, sonst können böse Überraschungen und unvorhergesehene Verluste eintreten.

Verdankungen

Die in diesem Artikel verwendeten Daten wurden im Rahmen eines Langzeit-Messprojektes im Auftrag des PSEL (Projekt- und Studienfonds der Elektrizitätswirtschaft), des BFE (Bundesamt für Energie) und der IBB gewonnen. All diesen Institutionen gebührt Dank für ihre wertvolle Unterstützung.

Literatur

- [1] H. Häberlin: "Das neue 60kWp-Photovoltaik-Testzentrum der Ingenieurschule Burgdorf". SEV/VSE-Bulletin 22/1994.
- [2] H. Becker, W. Vaassen, W. Herrmann: "Minderleistungen von Solargeneratoren aufgrund von Verschmutzungen". 12. Symposium Photovoltaische Solarenergie Staffelstein 1997.
- [3] H. Häberlin, Ch. Beutler: "Analyse des Betriebsverhaltens von PV-Anlagen durch normierte Darstellung von Energieertrag und Leistung". 11.Symp. Photovoltaische Solarenergie Staffelstein, 1996.