

# **Vergleich der Verschmutzung von PV Anlagen: Alte Anlagen in der Schweiz im Vergleich zu einer neuen Anlage in Spanien**

Prof. Dr. H. Häberlin, Luciano Borgna und Philipp Schärf  
Bernere Fachhochschule, Technik und Informatik (BFH-TI),  
Elektro- und Kommunikationstechnik

Labor für Photovoltaik, Jlcoweg 1, CH-3400 Burgdorf / SCHWEIZ

Tel: +41 34 426 68 11, Fax: +41 34 426 68 13,  
E-Mail [heinrich.haeberlin@bfh.ch](mailto:heinrich.haeberlin@bfh.ch); [www.pvtest.ch](http://www.pvtest.ch)

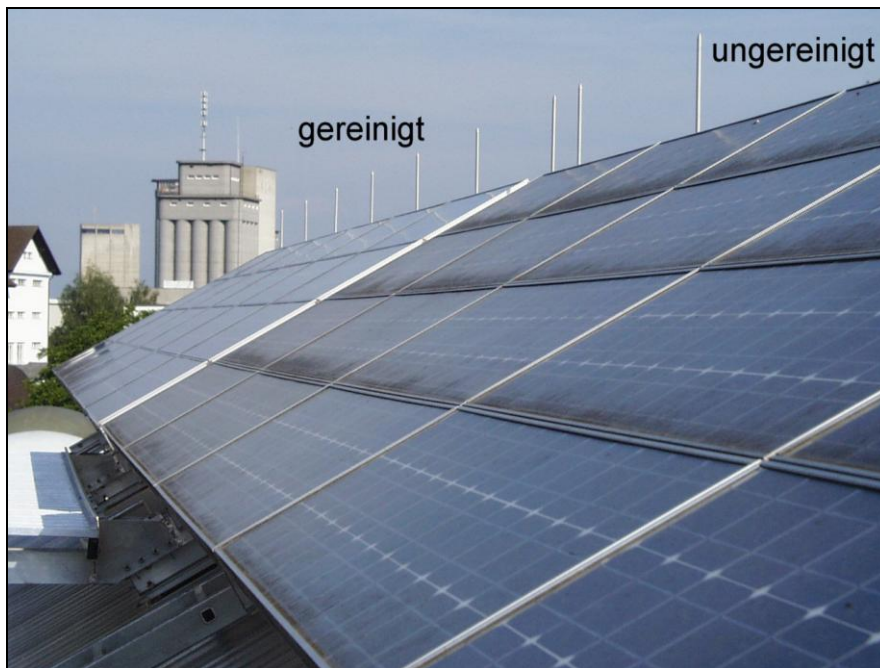
## **1. Einführung**

Bei Photovoltaikanlagen kann sich im Laufe der Jahre trotz der Selbstreinigung durch Regen und Schnee eine gewisse permanente Verschmutzung entwickeln. Dies geschieht an manchen, aber nicht an allen Orten und ist vom Aufbau der Anlage und den lokalen Verhältnissen abhängig. Diese Verschmutzung kann oft nur durch eine Reinigung vollständig entfernt werden [1], [2], [3]. Im Laufe der Zeit sind auch diverse Firmen entstanden, die Reinigungsmaterial für oder Reinigungen von Photovoltaikanlagen anbieten [4]. Anlagen in Südeuropa werden oft in gewissen Zeitintervallen gereinigt [5]. Anlagen in ariden Gebieten verschmutzen ohne Reinigung oft innerhalb von wenigen Monaten beträchtlich [6], [7].

In Fachkreisen bestehen unterschiedliche Ansichten, ob, wann und wie häufig PV-Anlagen gereinigt werden sollen. Im Rahmen des EU-Projektes PV-Servitor (Projekt Nr. 232062, Entwicklung eines autonomen Serviceroboters zur Reinigung und Inspektion von PV-Anlagen, gefördert von der EU unter FP7-SME) bestand die Möglichkeit, entsprechende Messungen an einer Anlage im Innern von Spanien auf ca. 39°N durchzuführen und quantitativ auszuwerten. In diesem Beitrag werden die dabei erhaltenen Messresultate mit den bisher vom PV-Labor der BFH an Anlagen in der Schweiz gemessenen Werten verglichen und Gründe für die festgestellten Unterschiede diskutiert.

## **2. Messungen an Anlagen in der Schweiz und Deutschland**

In der Schweiz wurden viele PV-Anlagen bereits zwischen 1988 und 1995 errichtet. Oft wurden dabei Module des damaligen Marktführers ARCO Solar resp. (nach der Übernahme) Siemens Solar eingesetzt. Für die meisten Anlagen wurde dabei das gerahmte Modul M55 (55 Wp, Länge 1,3 m, Breite 33 cm) verwendet. Bei diesen Modulen waren die Randabstände zwischen Solarzellen und Rahmen auf den Längsseiten zur Erzielung eines hohen Modulwirkungsgrads auf dem Datenblatt sehr klein (typisch 0 bis 2,5 mm). Bei vielen Anlagen wurden Anstellwinkel im Bereich von 30° gewählt und zur Minimierung des Einflusses von Beschattungen bei tief stehender Sonne wurden die Module mit der Längsseite parallel zur Horizontalen montiert ("Landschafts-Montage", siehe Bild 1 und 2).

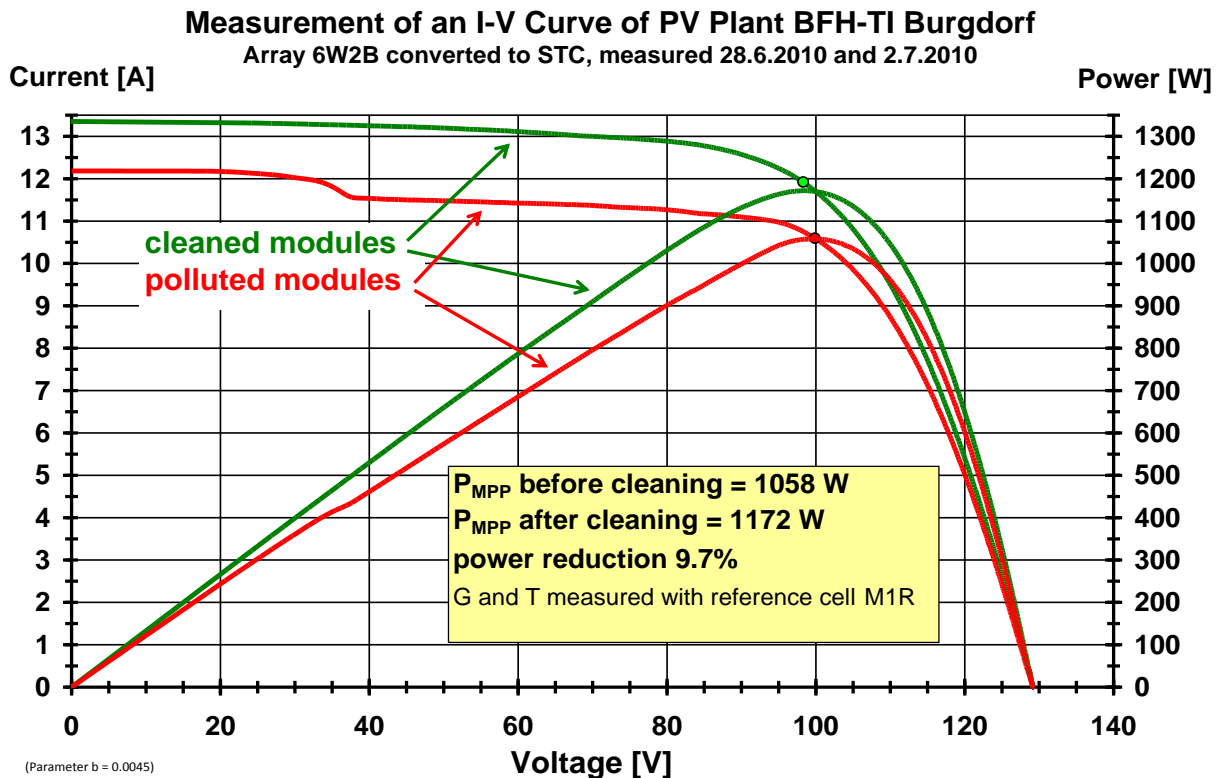


**Bild 1:** Ansicht eines Teils des PV-Generators der 60 kWp-PV-Anlage der BFH in Burgdorf ( $\beta = 30^\circ$ ) [3].



**Bild 2:** Detailansicht der Verschmutzung des PV-Generators von Bild 1 mit gerahmten Modulen Siemens M55 [3].

Durch Regen und Schnee wird ein grosser Teil der Schutzablagerungen (Staub, Pollen, Vogel- und Insektenkot usw.) jeweils abgewaschen. Dabei bildet sich bei gerahmten Modulen beim unteren Rahmen wie bei einer Flussmündung eine kleine Ablagerungszone für diesen Schmutz. In dieser fließt das Wasser nicht sofort ab, sondern es verdunstet allmählich und einen Teil des Schmutzes bleibt als Ablagerungsschicht zurück. Falls der Abstand zwischen Zellen und Rahmen allzu klein ist (wie beim M55), wird nach einer gewissen Zeit deshalb ein Teil der untersten Zellenreihe abgedeckt, was einen entsprechenden Minderertrag des Moduls zur Folge hat (siehe Bild 1 und 2). Messungen an der 1993 erstellten 60 kWp-PV-Anlage der BFH-TI in Burgdorf mit ca. 1100 Modulen M55 (mit 4 Zoll Zellen, meist in "Landschafts-Montage" mit Anstellwinkel  $30^\circ$ ) zeigen denn auch einen Minderertrag von bis zu 10%, wenn seit der letzten Reinigung etwa 4 Jahre verstrichen sind [1], [2], [3] (siehe Bild 3).

**Bild 3:**

Gemessene I-U- und P-U-Kennlinien (umgerechnet auf STC) eines Arrays der Teilanlage West der PV-Testanlage der BFH-TI mit einer Nennleistung von 1310W (24 Module M55 mit 55W ( $\pm 10\%$ ) minus etwa 10W Diodenverluste) vor und nach der manuellen Reinigung Anfang Juli 2010.

Werden die Module dagegen mit der Schmalseite parallel zur Horizontalebene ("Portrait-Montage") und einem etwas grösseren Anstellwinkel von  $40^\circ$  bis  $50^\circ$  montiert, ist die Verschmutzungsneigung wegen des grösseren Gefälles, der grösseren Geschwindigkeit des Wassers bei der Rahmenkante, der kleineren Ablagerungszone und des grösseren Randabstandes zwischen Solarzellen und Rahmen bei den gleichen Modulen viel geringer. Bei grösseren Modulen ist dieser Effekt bei sonst gleichen Bedingungen wegen der längeren Gefällstrecke noch ausgeprägter.

In einem Beitrag in der Nummer 4/2011 hat auch die Zeitschrift Photon das Verschmutzungsproblem untersucht [4]. Dabei wurden aber vermutlich primär die Daten von vielen neueren Anlagen in Deutschland verwendet. Da bei neueren, grösseren Modulen nicht nur Moduldimensionen und die Zellen (5 oder 6 Zoll), sondern auch die Randabstände (mindestens  $> 5\text{mm}$  auf der Längsseite,  $> 10\text{mm}$  auf der Schmalseite, oft deutlich mehr) meist grösser sind, ist die Verschmutzungsneigung bei solchen Modulen unter sonst gleichen Umständen deutlich geringer. Deshalb wurden in [4] für Anlagen in Deutschland auch viel geringere Leistungsverluste durch Verschmutzung von bis gegen 3% angegeben.



### 3. Messungen an einer Anlage in Castuera/Spanien

In der Literatur wird oft von starken Verschmutzungen und regelmässigen Reinigungen bei Anlagen in ariden Gebieten berichtet [5], [6], [7], jedoch oft nur mit wenigen oder gar keinen quantitativen Angaben. Im Rahmen des EU-Projektes PV-Servitor ([www.pv-servitor.eu](http://www.pv-servitor.eu)) bot sich die interessante Gelegenheit, an der von IBC vor etwa drei Jahren erstellten PV-Anlage von 1,728 MWp in Castuera/Spanien Ende August 2011 quantitative Messungen vor und nach Reinigungen von Anlageteilen durchzuführen. Die Anlage besteht aus 240 Teilanlagen zu 7,2 kWp, bestehend aus jeweils 2 parallelen Strängen mit je 16 Modulen IBC 225-TE (225 Wp) und einem Wechselrichter SMC 7000 HV. Die Module sind in "Portrait-Montage" mit einem Anstellwinkel von etwa 30° montiert. Sie besitzen auch relativ grosse Randabstände (6 mm auf den Längsseiten, 20 mm auf den Schmalseiten), so dass die Neigung zu Randverschmutzung sehr gering ist.

Da wegen Transport- und Zollproblemen nicht allzu viele Messgeräte mitgenommen werden konnten und Unterbrüche zwecks Kennlinienmessung aus Sicht der Betreiber unerwünscht waren, wurde der Reinigungseffekt einerseits durch den Vergleich der Strangströme vor und nach der Reinigung eines der beiden Stränge an einer Anlage und andererseits durch den Vergleich der am Wechselrichter angezeigten Leistung benachbarter Anlagen beurteilt (Messung beider Anlagen vor und nach der Reinigung einer ganzen Anlage, Vergleichsanlage bleibt ungereinigt). *Erstaunlicherweise betrug der Gewinn durch die Reinigung trotz deutlich sichtbarer Verschmutzung in der Fläche maximal etwa 3%.* Bei dieser Anlage fehlte eine Randverschmutzung, sie hätte aber wegen relativ grossen Randabständen ohnehin keinen Einfluss gehabt. Bild 4 und 5 zeigen die in Castuera vorhandene Verschmutzung.



**Bild 4:** Teilansicht einiger Module bei der PV-Anlage in Castuera. Das Modul rechts unten ist bereits gereinigt. Es ist keine Randverschmutzung erkennbar.



**Bild 5:**  
Detail von Schmutzschicht und Rahmenabstand bei der PV-Anlage in Castura/Spanien. Auch im Detailbild ist keine Randverschmutzung erkennbar.

Das Ziel des erwähnten EU-Projektes war die Erforschung der notwendigen Grundfunktionen und erste Tests mit einfachen Funktionsmustern von autonomen Service-robotern an realen Anlagen. Bei der PV-Anlage in Castuera wurde ein Teil der Anlage mit einem solchen Funktionsmuster des von den Projektpartnern entwickelten PV-Servitor-Roboters gereinigt. Ein anderer Teil wurde zu Vergleichszwecken manuell gereinigt (siehe Bild 6). In den meisten Fällen wurde nur die untere Reihe geputzt und die Reinigungswirkung durch Vergleich der Leistung der unteren und der oberen Reihe bestimmt. Da noch nicht alle Patentanträge definitiv bereinigt sind, kann leider kein Bild des Roboters gezeigt werden.



**Bild 6:**  
Manuelle Reinigung von Teilen des Solar-generators der PV-Anlage in Castuera. In einem ersten Schritt werden die Module mit einer Bürste und Wasser gereinigt (rechts), danach wird das Wasser mit einem Gummischerer entfernt.



## 4. Fazit

Wie schon in früheren Publikationen erwähnt [3], kann keine generelle Aussage über die Verschmutzungsneigung gemacht werden. Diese *ist wesentlich von den lokalen Verhältnissen* (Art und Anzahl der Verschmutzungsquellen in der Nachbarschaft) und *von der Art und Aufbau der Anlage* (Modultyp, Grösse, Montageart, Randabstände, Neigungswinkel usw.) abhängig. Zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit von Reinigungen ist nicht nur die Höhe der allfälligen höheren Leistung nach der Reinigung und ihrer Kosten, sondern auch die Höhe des Einspeisetarifs der betreffenden Anlage und eine allfällige Begrenzung der voll vergüteten Volllaststunden (wie in Spanien) zu berücksichtigen. Tendenziell lohnt sich eine Reinigung umso weniger, je neuer die Anlage (mit entsprechend tieferem Einspeisetarif) ist und je tiefer eine allfällige Begrenzung der Volllaststunden in Bezug auf die maximal möglichen Volllaststunden ist. Unter den heutigen Bedingungen dürfte sich deshalb bei vielen Anlagen in Spanien eine Reinigung wirtschaftlich meist nicht lohnen.

Aus dieser Relativierung der Notwendigkeit der Reinigung auf Grund der Messungen an *einer* Anlage in Spanien (nur etwa drei Jahre alt) mit deutlich sichtbarer, aber relativ heller Verschmutzung und der an dieser Anlage festgestellten erstaunlich geringen Ertragssteigerung durch Reinigung von nur etwa 3% darf nun aber nicht gefolgert werden, dass die Reinigung von PV-Anlagen überhaupt nie notwendig sei. In Wüstengebieten oder wüstenähnlichen Regionen mit starker Staubbelastung sind periodische Reinigungen nach wie vor sinnvoll [5], [6], [7].

### Literatur:

- [1] H. Häberlin und Ch. Renken: "Allmähliche Reduktion des Energieertrags netzgekoppelter Photovoltaikanlagen infolge permanenter Verschmutzung". 14. Symposium PV-Solarenergie, Staffelstein, 1999.
- [2] H. Häberlin und Ph. Schär: Langzeitverhalten von PV-Anlagen über mehr als 15 Jahre. 25. Symposium PV-Solarenergie, Staffelstein, 2010.
- [3] H. Häberlin: "Photovoltaik – Strom aus Sonnenlicht für Verbundnetz und Inselanlagen". Electrosuisse-Verlag, CH-8320 Fehraltorf, 2010, ISBN 978-3-905214-62-8 und VDE Verlag, Berlin, ISBN 978-3-8007-3205-0.
- [4] A. Beneking: "Sauberkeit um jeden Preis?". Photon 4/2011.
- [5] A. Dietrich: "Germany vs. Spain – Unterschiedliche Erfahrungen aus mehrjährigem Betrieb von Solarkraftwerken in Deutschland und Spanien". 24. Symposium PV-Solarenergie, Staffelstein, 2009.
- [6] M. Ibrahim, B. Zinser u.a.: "Advanced PV test park in Egypt for investigating performance of different module and cell technologies". 24. Symposium PV-Solarenergie, Staffelstein, 2009.
- [7] A. Wagner: "Photovoltaic Engineering". Springer Verlag, Berlin, 2006, ISBN-10 3-540-30-30732-X.