

# Sind Schadstoffe in Photovoltaik-Freiflächenanlagen eine Gefahr für den Boden?

T. Ebert, C. Müller

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Lange Point 12, 85354 Freising

E-Mail: [Titus.Ebert@Lfl.bayern.de](mailto:Titus.Ebert@Lfl.bayern.de)

**Abstract:** *Since 2004 many photovoltaic power plants were built on arable land, supported and financed by government aid. Usually only 30 – 40 % of the plant area is covered with solar-modules. The grass, that grows between the rows of modules will be mowed or grazed. It had to be proved by a literature research, whether the soil will be contaminated by heavy metals (esp. cadmium and lead) on such plants.*

**Zusammenfassung:** *Viele Photovoltaik(PV)-Freiflächenanlagen sind seit 2004 aufgrund der staatlichen Förderung entstanden. Da die Flächen nur zu 30 – 40 % mit Photovoltaik-Modulen bedeckt sind, kann sich zwischen den Reihen eine Grasnarbe ausbilden, die gemäht oder beweidet wird. Eine Literaturstudie sollte herausfinden, ob bei solchen Anlagen Schwermetallbelastungen (v. a. Cadmium und Blei) des Boden zu erwarten sind.*

Keywords: photovoltaic power plant, lead, cadmium, cadmiumtelluride, silicon solar modules, thin-film solar modules, soil protection;

Schlagworte: Photovoltaik-Freiflächenanlagen, Blei, Cadmium, Cadmiumtellurid, Silizium-Solarmodule, Dünnschichtmodule, Bodenschutz;

## 1 Einleitung und Zielsetzung

Aufgrund der staatlichen Förderung seit 2004 sind sehr viele Photovoltaik(PV)-Freiflächenanlagen auf landwirtschaftlichen Flächen entstanden. Ende 2010 schätzte die Bundesnetzagentur, dass auf ca. 2500 ha ehemals landwirtschaftlich genutzter Flächen in Bayern (ca. 0,1 % der Ackerfläche Bayerns) Strom durch Photovoltaik erzeugt wird (BAYERISCHER AGRARBERICHT 2012, neuere Zahlen liegen uns nicht vor).

Seit 1. Juli 2010 haben aber nur noch Freiflächen-Solarparks auf bereits versiegelten Flächen, auf Konversionsflächen (z. B. ehemaliges Militärgelände, Deponieflächen) und innerhalb eines 110 m Streifens längs von Autobahnen oder Schienenwegen Anspruch auf Einspeisevergütung nach EEG.

Da bei Photovoltaik(PV)-Freiflächenanlagen die Anlagenfläche in der Regel nur zu 30 bis 40 % mit PV-Modulen bedeckt ist, kann sich zwischen den Reihen eine Grasnarbe ausbilden, die gemäht oder von Schafen beweidet werden kann. Auch eine Freilandtierhaltung mit Geflügel, Rindern oder Pferden ist bei entsprechender technischer Anpassung der Höhe der PV-Module und der Robustheit der Aufständungen möglich. Im Zusammenhang mit der Nutzung solcher Flächen wurde die Frage aufgeworfen, ob aus den in Modulen und Lötstellen enthaltenen Schwermetallen (v. a. Cadmium und Blei) Belastungen des Bodens resultieren.

Eine ausführliche Darstellung der Ergebnisse der Literaturstudie mit Literaturliste findet sich in EBERT & MÜLLER (2011).

## 2 Arten von Solarmodulen

Am meisten verbreitet sind **kristalline Silizium-Module** (Marktanteil 2011 ca. 88 %), gefolgt von **Dünnschicht-Modulen**. Als Halbleiter dient mono- oder (poly)multikristallines Silizium. Je nach Kristallaufbau weisen die Silizium-Einzelzellen (Wafer) Schichtdicken von 100 oder mehr µm auf.

Bei Dünnschicht-Modulen wird im Gegensatz zu kristallinen Silizium-Modulen der Halbleiter als rund 2 – 10 µm dünne Schicht flächig auf ein geeignetes Trägermaterial (Glas, Metall oder Kunststoff) aufgebracht. Als Halbleiter sind amorphes und mikrokristallines Silizium oder Nicht-Silizium-Verbindungen im Einsatz.

Bei **Nicht-Silizium-Halbleiter-Modulen** besteht die Halbleiterschicht aus unterschiedlichsten Materialien z. B. Cadmiumtellurid (CdTe), Cadmiumsulfid (CdS) oder Kupfer-Indium-(Gallium)-Schwefel-Selenverbindungen (CIS/CIGS). Am weitesten verbreitet sind die CdTe-Module (Marktanteil 2011 ca. 5,5 %).

### 3 Schadstoffe in Solarmodulen

Bei Solarmodulen auf Siliziumbasis ist der Halbleiter nur mit wenigen (Größenordnung  $10^{-5}$ ) Fremdatomen wie Bor, Indium, Aluminium, Gallium, Phosphor, Arsen oder Antimon dotiert. Nicht-Silizium-Halbleiter-Module enthalten v. a. Cadmiumtellurid und geringe Mengen Cadmiumsulfid als Halbleiter.

Für die elektrische Funktionsfähigkeit und die Verbindung der Einzelzellen zu einem Modul ist bei allen Typen von Solarzellen eine Vorder- und Rückseitenkontaktierung erforderlich. Bei kristallinen Silizium-Modulen werden hierzu Metallisierungspasten aufgebracht, die Silber, Aluminium und Bleioxid (in der Glasfritte) enthalten. Für die Verlotung der Einzelzellen zum Gesamtmodul werden Zinn-Blei-Lote eingesetzt. Bei Dünnschichtmodulen erfolgt die Kontaktierung meist mittels Zinn- oder Zinkoxiden, Aluminium, Silber oder Molybdän.

Von den in Solarmodulen enthaltenen Stoffen sind besonders Cadmium und Blei umweltrelevant.

Die Schichtdicke derzeit erhältlicher **CdTe-Solarmodule** liegt bei 2 – 4 µm CdTe und 0,1 – 0,2 µm CdS. Unter Abzug nicht beschichteter Randflächen (nur ca. 80 % der Modulfläche ist mit Halbleiter beschichtet) errechnen sich ca. 12 – 17 g CdTe und 0,4 – 0,6 g CdS je m<sup>2</sup> Modulfläche. Damit ergeben sich für eine Freiflächen-PV-Anlage mit CdTe-Modulen ca. 6 – 9 g Cd je m<sup>2</sup> Modulfläche.

Bei einer durchschnittlichen Modulfläche von 3000 m<sup>2</sup>/ha stehen also rund 18 – 27 kg Cd auf einem ha.

Die Schichtdicken der CdS- und CdTe-Schichten haben sich in den letzten Jahren stark vermindert, an effektiveren noch dünneren Halbleiterschichten wird geforscht.

Bei **kristallinen Silizium-Solarmodulen** wird in 30 – 50 % der Fälle auf die Zellrückseite eine bleihaltige Metallisierung aufgebracht. Je nach Art der Rückseitenmetallisierung ergeben sich 1 – 2 kg Pb/ha (Zellvorder- und -rückseite Silber basiert) bzw. 4 – 6 kg Pb/ha (Zellvorderseite Silber basiert, -rückseite Al basiert) (siehe EBERT & Müller, 2011).

Weiter ist Blei in den Blei-Zinn-Loten zum Verlöten der Silizium-Einzelzellen zum Gesamtmodul enthalten (10 g Blei je Modul, 100 x 160 cm).

Je nach eingesetztem Kontaktierungsmittel ergeben sich damit bei einer durchschnittlichen Modulfläche von 3000 m<sup>2</sup> 19 – 25 kg Pb/ha.

Aus Umweltschutzgründen kommen in letzter Zeit vermehrt bleifreie Kontaktierungen und Lote zum Einsatz.

### 4 Gefährdungspotenzial intakter Solarmodule

Im Hinblick auf die Abschätzung des Gefährdungspotentials, das von intakten Solarmodulen für den Boden ausgeht, sind v. a. Bindungsform und Wasserlöslichkeit der enthaltenen Schwermetalle sowie der Aufbau der Module (Schutz vor Witterungseinflüssen) entscheidend. Das in **CdTe-Modulen** enthaltene Cadmium liegt nicht elementar, sondern als CdTe bzw. CdS

gebunden vor. Diese Verbindungen sind äußerst stabil und sehr gering wasserlöslich. Da die Halbleiterschicht, samt Kontakten und Verbindern, von einer Glasverbundfolie sowie einer Front- und Rückglasscheibe umgeben ist, ist sie nicht unmittelbar der Witterung ausgesetzt. Daher ist ein Cadmиеintrag von intakten Modulen in den Boden nach derzeitigem Kenntnisstand bauartbedingt nicht zu erwarten.

**Kristalline Silizium-Module** werden ebenfalls laminiert und außerdem zusätzlich von einer Frontglasscheibe abgedeckt, besitzen meist aber keine zusätzliche Rückglasabdeckung. Bei kristallinen Silizium-Modulen ist das in den Metallisierungspasten und Lötstellen enthaltene Blei also nicht unmittelbar der Witterung ausgesetzt. Ein direkter Bleieintrag von intakten Modulen in den Boden ist daher ebenfalls nicht zu erwarten.

## 5 Gefährdungspotenzial von beschädigten/zerstörten Solarmodulen

Oft wird die Frage gestellt, ob bei einer Beschädigung/Zerstörung der Solarmodule z. B. durch Hagel oder Brand Cadmium oder Blei freigesetzt werden und damit in den Boden oder die Pflanzen gelangen kann. Hierzu finden sich in der Literatur v. a. Elutionsversuche, die im Zusammenhang mit Deponierung oder Recycling von Solarmodulen durchgeführt wurden.

### 5.1 Verfügbarkeit von Cadmium und Blei – Ergebnisse von Elutionsversuchen

Vom geotechnischen Institut, Norwegen (NGI) wurden 2010 Auslaugungsversuche mit Bruchstücken von CdTe-Modulen und multikristallinen Siliziummodulen (mc-Si) durchgeführt. Die auf < 4 mm zerkleinerten CdTe-Module wiesen einen Gesamtgehalt von 383 mg Cd/kg CdTe-Modulmaterial, die ebenfalls auf < 4 mm zerkleinerten Siliziummodule einen Gesamtgehalt von 576 mg Pb/kg mc-Si-Modulmaterial auf. Mittels deionisiertem Wasser durchgeführte Schüttel- und Säulenversuche ergaben geringe Cadmium- bzw. Bleigehalte. Demgegenüber wies der zur Bestimmung des maximalen Auslaugungspotentials durchgeführte Elutionsversuch erheblich höhere Cadmium- bzw. Bleiwerte auf mit einem deutlichen Anstieg bei abnehmendem pH-Wert (siehe EBERT & Müller, 2011).

Aufgrund der Versuchsanstellung stellen die mit < 4 mm Bruchstücken am NGI durchgeführten Untersuchungen jedoch einen Extremfall möglicher Schadstoffauslaugung dar.

### 5.2 Gefahr durch Hagelbruch oder Brand

Im Fall einer Beschädigung des Moduls durch ein **Hagelereignis** ist für die Frage der Freisetzung von Cadmium und/oder Blei entscheidend, ob die Halbleiterschicht bzw. die Kontakte und Lötstellen der Witterung ausgesetzt sind. In der Praxis dürften feine Risse in der Glasoberfläche entstehen, durch die Wasser eindringen kann. Auf PV-Freiflächenanlagen ist wohl kaum von einer Zerstörung der Module in so kleine Modulfragmente auszugehen, wie sie für die Elutionsversuche erzeugt wurden. Für Solarmodule werden in der Regel hagelgeprüfte Frontglasscheiben verwendet. Zusätzlich schützt die Folienlaminiierung auch bei Glasbruch vor einer Schadstoff-Freisetzung. Auch ist zu beachten, dass es bei Schüttelversuchen zu einem mechanisch bedingten Abrieb kommen kann (und damit zu höheren Schwermetallgehalten im Wasser), was bei in Freiflächenanlagen auftretenden Modulbrüchen nicht zu erwarten ist.

Im Falle eines **Brandes** (Blitzeinschlag) ist bei CdTe-Modulen lediglich von einer sehr geringen Schadstoff-Freisetzung auszugehen (sehr hoher Schmelzpunkt von CdTe; Einschluss der Schadstoffe in der Glasschmelze). Zur möglichen Freisetzung von Blei aus Silizium-Modulen im Brandfall liegen uns keine Angaben vor.

Je nach Grad der Beschädigung durch Hagel/Brand und Verweildauer auf der Anlagenfläche kann eine Auslaugung von Blei oder Cadmium aber nicht gänzlich ausgeschlossen werden. Defekte Module sollten im Sinne des vorsorgenden Bodenschutzes daher nicht länger auf der

Anlagenfläche verbleiben. Die Industrie bietet hierfür ein geordnetes Recyclingsystem an (PV Cycle Association).

## **6 Fazit und Ausblick**

Die Gefahr einer Bodenkontamination durch PV-Anlagen mit Blei oder Cadmium wird nach derzeitigem Kenntnisstand bei intakten Solarmodulen bauartbedingt als sehr gering eingestuft. Sind Halbleiterschicht, Kontakte oder Verlötlungen aufgrund von Beschädigungen der Module durch Hagel oder Brand der Witterung ausgesetzt, sollten diese aus Gründen des vorsorgenden Bodenschutzes nicht längere Zeit auf der Anlagenfläche verbleiben. Eine Auslaugung von Blei oder Cadmium kann dann nicht gänzlich ausgeschlossen werden.

## **7 Literatur**

EBERT, T. & MÜLLER, C. (2011): Schadstoffe in Photovoltaik-Freiflächenanlagen - Zeitschrift Bodenschutz Jhg. 16, 03 – 11: pp. 69 – 74.

SOLARSERVER (2012): [www.solarserver.de](http://www.solarserver.de).

BAYERISCHER AGRARBERICHT 2012: [www.agrarbericht-2012.bayern.de](http://www.agrarbericht-2012.bayern.de), Rubrik: "Landwirtschaft, Ländliche Entwicklung – Produktion und Vermarktung im pflanzlichen Bereich – Landnutzung".