

# Solar Deponieabdeckung – Kraftwerk der Zukunft

Andrea Bodenhausen, Khalid Bachiri

## ZUSAMMENFASSUNG

In diesem Beitrag werden drei in Italien, den USA und Deutschland angesiedelte Systeme vorgestellt, bei denen mit flexiblen Dünnschichtmodulen arbeitende Photovoltaik(PV)-Anlagen in Deponien im Renaturierungsprozess integriert wurden. Er zeigt, warum konventionelle starre Solarpanels aus Glas nicht das Produkt erster Wahl für noch betriebene oder gerade geschlossene Deponien sind, und diskutiert verschiedene Wege, auf denen der Nutzen von flexiblen Dünnschicht-PV-Systemen – derzeit weltweit auf Dachbahnen aufgebracht oder darin integriert – vorteilhaft für Geomembranen auf Deponiegeländen angewendet werden kann. Der Beitrag erörtert den Einsparungseffekt von Ressourcen solcher Dünnschicht-Solarsysteme, die vielfältige Funktionen bei der Nachnutzung von Deponien, sauberer Energieerzeugung und Erschließung zusätzlicher Erträge erfüllen.

## 1. EINLEITUNG

Obwohl viele den konzeptionellen Vorteil der Nutzung geschlossener Deponiegelände zur Aufstellung von fest im Boden verankerten Solarinstallationen anerkennen, sind in der Praxis damit zahlreiche aus der Situation entstehende Schwierigkeiten verknüpft. Bis heute kamen Deponien, auf denen organische Abfälle gelagert werden, für solche Installationen erst nach einem Mindestzeitraum von einem Jahrzehnt nach der Schließung, in der Regel wenigstens zwanzig Jahre oder mehr, in Frage, wenn der Prozess der Entgasung, Verdichtung und Absenkung einen Punkt ausreichender topographischer Stabilität erreicht hat, um die Aufstellung von aufgeständerter Glaspanels zu ermöglichen. Selbst nach zwei oder drei Jahrzehnten Absetzung nach der Schließung steht immer noch die Frage im Raum, wie diese aufgeständerten PV-Systeme dauerhaft und sicher verankert werden können, ohne die unterirdische Integrität des Schließungssystems der Deponie zu schädigen. Die Absicht dieses Beitrags ist es, eine andere Möglichkeit des Einsatzes von Solarenergie zu diskutieren, die eher mit Abdichtungssystemen von Deponien (und anderen Entsorgungsanlagen) vereinbar ist.

Dieser Beitrag untersucht im Detail die Nutzung der Deponie Malagrotta zur Erzeugung von Solarenergie während des Zeitraums der temporären Abdeckung sowie andere Lösungen, die auf in Dach-/Geomembranen integrierten, flexiblen, dünnenschichtigen Photovoltaik-Modulen beruhen. Er erörtert auch die vielfältigen Funktionen, die eine Abdeckung mit photovoltaischer Geomembran bei der Renaturierung von Deponien leisten kann, und die zusätzlichen mit Photovoltaik-Anlagen erschlossenen Erträge.

## 2. MALAGROTTA – DAS ZIEL

Die Deponie Malagrotta ist die größte Deponie Roms und wird in Kürze ihr maximales Fassungsvermögen erreichen. Daher haben sowohl die Eigentümer Colari Consorzio Laziale Rifi uti und Sorain Ceccini S.p.A als auch der Betreiber E. Giovi s.r.l. einerseits ihre Anstrengungen verstärkt, Abfall – vor allem Kunststoff und Metall – zu recyceln. Andererseits wird das bei der Müllzersetzung freigesetzte Gas durch Rohrleitungen abgeführt und zur Elektrizitäts- und Kraftstofferzeugung genutzt.



**Abbildungen 1-3:** Die Deponie Malagrotta vor der Installation des SolarDachbahn-PV-Systems.

Das Ziel der Eigentümer und des Betreibers ist es, zu einem der größten Stromversorger in der Region zu werden. Während ihre Projekte zur Verwertung des bei der Müllzersetzung entstehenden Gases bereits verwirklicht sind, suchen sie ebenfalls nach einem Weg, die zu renaturierenden Deponiebereiche zur umweltschonenden Energieerzeugung zu nutzen. Dies führte zur Analyse von Photovoltaik-Systemen.

### **3. STARRES KRISTALLINES SILIZIUM IM VERGLEICH MIT FLEXIBLEN DÜNNSCHICHTSOLARMODULEN**

Obgleich ursprünglich eine kristalline PV-Anlage in Erwägung gezogen wurde, zeigte ein solches System im Vergleich zu flexiblen Dünnschicht-Photovoltaik-Lösungen mehrere Probleme.

Die Standardmethode zur Aufstellung von Solarpanels aus Glas auf Deponien besteht darin, das Gelände so weit wie möglich einzuebnen, um die Photovoltaik-Panels auf einem Unterbau aus Beton zu montieren. In Malagrotta war das Risiko des Modulbruchs allerdings aufgrund des sich noch bewegenden Bodens sehr hoch, was zu sich gegeneinander verschiebenden Bereichen hätte führen können. Ein Unterbau hätte einerseits dieses Problem nicht vollständig beseitigt und sich nicht harmonisch in die Landschaft eingefügt. Außerdem wäre ein den Verschiebungen in der Deponie standhaltender Unterbau sehr teuer gewesen und hätte die wirtschaftliche Rentabilität des Projekts in Frage gestellt.

Eine flexible Photovoltaik-Lösung auf der Grundlage einer Dach-/Geomembran wie der in Malagrotta eingesetzten SolarDachbahn von Solar Integrated brachte Vorteile, da sie sich dem instabilen Boden anpassen kann, und somit die Notwendigkeit eines teuren Unterbaus entfällt. Sie konnte ebenfalls unter Nutzung des umfangreichen Know-hows von Solar Integrated auf dem Gebiet der gebäudeintegrierten Photovoltaik vollständig in die Landschaft eingebettet werden. Zusätzlich bewiesen die Dünnschichtmodule von UNI-SOLAR<sup>®</sup>, dass sie aufgrund ihrer besseren Leistung bei hohen Temperaturen etwa 100 kWh / kWp mehr erzeugen als kristalline Silizium-Module. Dies ist der bei den amorphen Dünnschicht-Solarzellen von UNI-SOLAR<sup>®</sup> angewandten Triple-Junction-Technologie zu verdanken. Triple-Junction bedeutet, dass das dünnschichtige Laminat so auf die Trägerschicht aufgebracht wird, dass drei spezifische Halbleiterlagen entstehen. Jede Lage verwertet das Licht aus einem spezifischen Bereich des Lichtspektrums – d.h. blau, grün und rot. Blaues Licht herrscht vorwiegend am Morgen und Nachmittag des Tages sowie auch bei bewölktem oder bedecktem Wetter. Dies bedeutet, diese PV-Zellen fangen über einen längeren Zeitraum des Tages Licht auf. Außerdem macht die Triple-Junction-Technologie diese PV-Zellen unempfindlicher hinsichtlich Orientierung und Neigungswinkel. Da die amorphen Siliziumzellen zudem einen sehr niedrigen Temperaturkoeffizienten haben, sind sie weniger anfällig gegenüber steigenden Modultemperaturen, benötigen keine Belüftung oder Kühlung und eignen sich daher perfekt zur harmonischen Einbindung in Deponien und Gebäude.



**Abbildung 4:** Die Deponie Malagrotta mit der PV-Installation  
(gleiche Ansicht wie das Foto in der Mitte oben)

#### **4. AUSFÜHRUNG**

Um die Anlage in Malagrotta zu errichten, wurde die Deponie mit einer dünnen Betonschicht überzogen, getrennt durch mit Holzbalken abgedichtete Fugen, um eine kontrollierte Bewegung des Geländes und Bruch der Betonplatte zu ermöglichen. Da die flexible PV-Membran wie auf einem Dach verlegt wird, kann von unten keine Luft eindringen und Windauftrieb verursachen. Diese Montagemethode beugt außerdem dem Diebstahl der Module vor.

Da kein Wasser aus der Deponie austritt, kann das Regenwasser aus dem Deponiebereich abfließen. Die SolarDachbahnen erfüllt einen zusätzlichen Zweck, nämlich die Bodenabdichtung und Ermöglichung einer kontrollierten Abführung des überschüssigen Wassers. Regenwasser kann auch bei der Reinigung des PV-Systems helfen und wird unterhalb der Anlage gesammelt.

Um ein einfaches und problemlos zu wartendes System zu gewährleisten, wurden anstatt eines zentralen Wechselrichters String-Wechselrichter eingesetzt. Einerseits stellen String-Wechselrichter sicher, dass die Spannung in jedem einzelnen PV-Feld nicht zu hoch wird. Andererseits ermöglichen String-Wechselrichter Wartung und Reparatur ohne die Abschaltung des gesamten Systems – nur in der betroffenen Sektion wird die Energieerzeugung unterbrochen.



**Abbildung 5-6:** String-Wechselrichter sind im Photovoltaik-System der Deponie Malagrotta in gleichmäßigen Abständen angeordnet

## 5. ZAHLEN UND FAKTEN

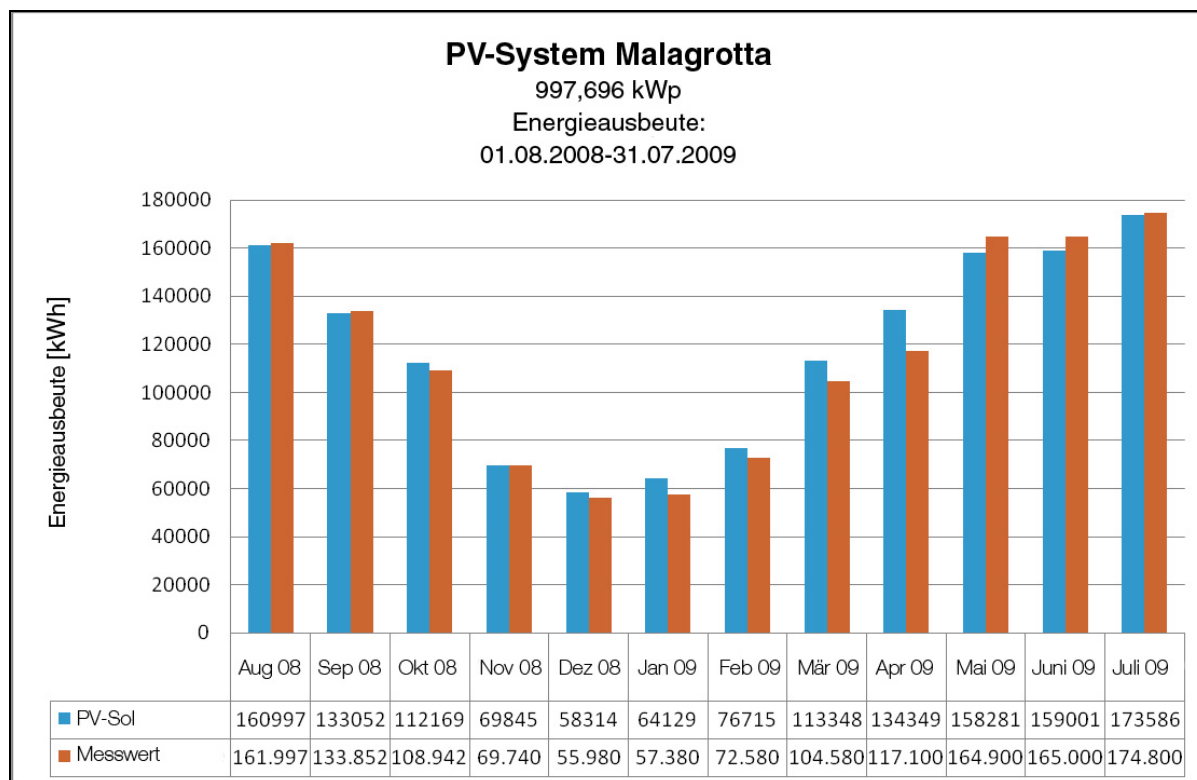
Das PV-System der Deponie Malagrotta besteht aus einer PV-Anlage von nahezu 1 MWp, die zu 2/3 auf der Deponie und 1/3 auf dem Dach eines dazugehörigen Gebäudes installiert ist. Die Gesamtanlage dehnt sich auf einer Fläche von 21300 m<sup>2</sup> aus und soll den Prognosen zufolge jährlich rund 1 421 000 kWh erzeugen.

Durch die Vermeidung von geschätzten 1 257 Tonnen Kohlendioxidemissionen jährlich leistet sie einen Beitrag zum Klimaschutz. Und da die TPO-Bahn und das PV-Laminats recyclingfähig sind, geht der Umwelteffekt sogar über die Lebensdauer des Systems hinaus.



**Abbildung 7-9:** Verschiedene Bilder des Photovoltaik-Systems der Deponie Malagrotta

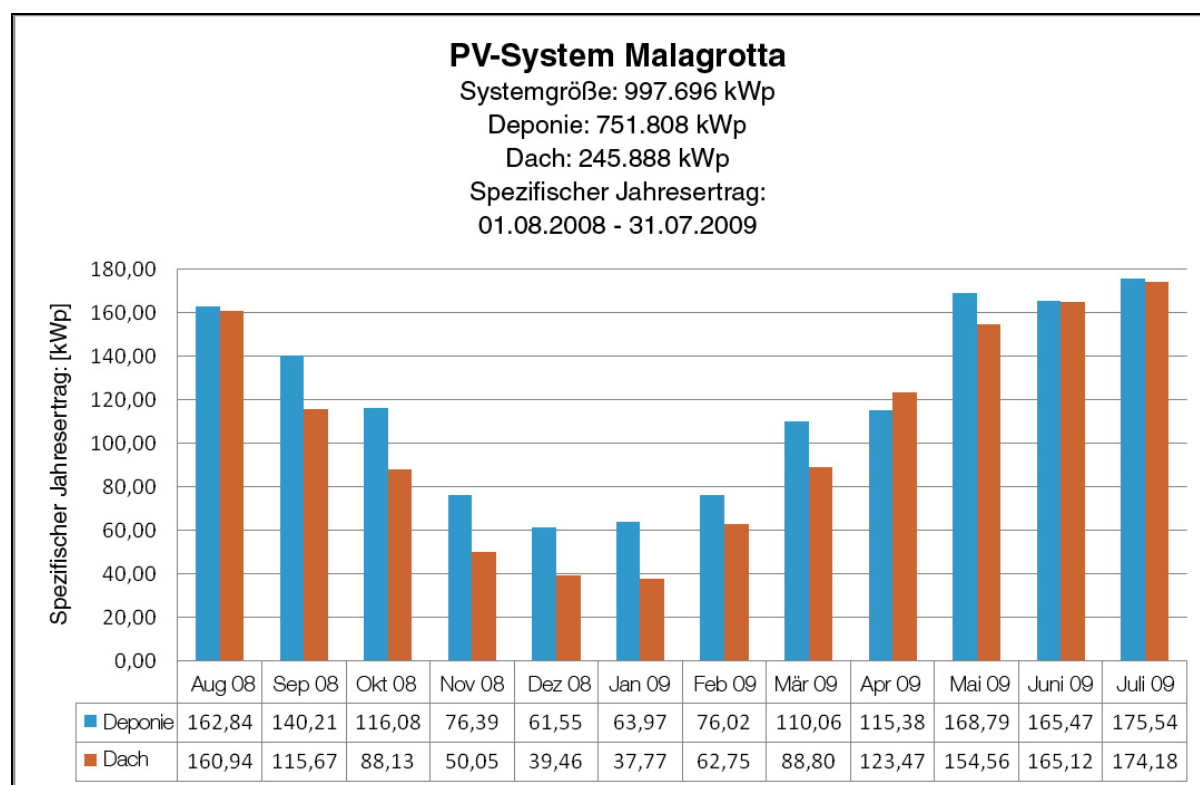
Nach einjährigem Betrieb hat das Gesamtsystem 1.386.851 kWh erzeugt. Die Abweichung im Vergleich zu der ursprünglichen Prognose war auf das relativ schlechte Wetter Anfang 2009 zurückzuführen.



**Abbildung 10:** Vergleich zwischen dem prognostizierten und dem gemessenen Energieertrag der gesamten Malagrotta-Anlage.

Bei einem Blick auf die Einzelleistung des Deponiesystems und des Dachsystems wird der höhere Energieertrag des Deponiesystems eindeutig sichtbar, was auf die Neigung und Ausrichtung des Systems zurückzuführen ist.





**Abbildung 11:** Vergleich des spezifisch erreichten Energieertrags auf der derzeitigen Deponie und der angrenzenden Dachinstallation

Der spezifische prognostizierte Energieertrag mit PV Sol betrug 1 417 kWh / kWp. Das Gesamtsystem erreichte 1 398 kWh / kWp. Hierzu trug die Deponieinstallation mit 1 432 kWh / kWp bei, während das auf dem Flachdach verlegte System trotz suboptimalem Neigungswinkel und Ausrichtung 1 261 kWh / kWp erreichte.

## 6. ANDERE LÖSUNGEN

### Tessman Road Deponie, San Antonio, Texas

Für die Deponielösung in San Antonio wurde ein ähnlicher Ansatz gewählt. Jedoch kam anstatt der dünnen Betonlage eine Geomembran zum Einsatz.

Die Ausführung fand in drei verschiedenen Schritten statt:

Zuerst wurde der Abfall mit Erde abgedeckt. Auf dieser eingeebnete Fläche wurde eine TPO-Geomembran verlegt und durch mit Erde zugeschütteten Gräben befestigt. In einem dritten Schritt wurden TPO-Geomembranabschnitte, auf die die flexiblen Dünnschicht PV-Lamine aufgeklebt waren, mit Heißluft auf die ursprüngliche Geomembran-Schicht geschweißt. Die



Gräben dienen dem zusätzlichen Zweck der Bereitstellung einer sicheren Umgebung für die Solarkabelführungen.

### **Deponie Leppe, Deutschland**

Die Deponie Leppe wird als Pilotanlage für ein von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) gefördertes Forschungsprojekt benutzt und von dem Bergischen Abfallwirtschaftsverband betrieben. In diesem Fall wurde das Projekt mit einer Kombination aus flexiblen Dünnschichtsolarzellen realisiert, die auf für Deponien zugelassenen PE-HD-Geomembranen aufgebracht waren. Zusätzlich wurde ein Vergleichsfeld mit konventionellen Solarmodulen erbaut. (Kühle-Weidemeier, 2007). Um eine dauerhafte Kombination zwischen der PE-HD-Geomembran der SolarDachbahn von Solar Integrated sicherzustellen, wurde dazwischen ein Adapterstreifen benutzt, der einerseits die Bindung an die Geomembran und andererseits das Verschweißen der SolarDachbahn ermöglicht.



**Abbildungen 12-14:** Montage der SolarDachbahn mit einem Adapterstreifen; verschiedene Solartestsysteme auf der Versuchsanlage Deponie Leppe; Vergleichsfeld kristalline Silizium-Solarmodule

## **7. DIE MULTIFUNKTIONALE SOLARABDICHTUNG – LÖSUNG VON DEPONIEPROBLEMEN UND ERZEUGUNG SAUBERER ENERGIE**

Obwohl die Erzeugung sauberer Energie Hauptzweck eines Solarsystems ist, erfüllen ein- und doppelagige SolarDachbahn-Systeme bei Anwendungen auf Deponien eine Reihe weiterer Funktionen.

Eine der wichtigsten Funktionen liegt darin, die Deponie in eine umweltfreundlichere Anlage zu verwandeln, indem die Emissionen der wesentlich zur Erderwärmung beitragenden methanhaltigen Gase minimiert werden.

Darüber hinaus schützen Solarlösungen die Deponie gegen Belastung, Regenwasser und Wasserinfiltration. Letztere könnte für die Destabilisierung des Hangs durch Durchnässung sorgen und die Entstehung von Sickerwasser fördern. Die Bodenabdichtung ermöglicht gleichzeitig einen kontrollierten Abfluss des Regenwassers, das zudem das Solarsystem reinigt.

## **8. SOLARENERGIE ERMÖGLICHT ZUSÄTZLICHE ERTRÄGE**

Heute bieten mehr als 48 Länder weltweit Förderprogramme für die Erzeugung von Solarenergie.

Die meisten europäischen Länder bieten Einspeisetarife, wenn der erzeugte Solarstrom in das öffentliche Netz eingespeist wird. Ein Einspeisetarif erlaubt es in der Regel, die erzeugte kWh zu einem höheren Preis zu verkaufen als die vom Versorgungsunternehmen gekaufte kWh.

Die Höhe der Einspeisetarife ist gewöhnlich für einen gewissen Zeitraum – z.B. 20 Jahre – festgelegt und garantiert somit ein stabiles Einkommen. In der derzeitigen Finanzkrise machen Einspeisetarife Solarenergie wegen des sicheren Investments besonders attraktiv, indem sie für viele Jahre eine garantierte Investitionsrendite bieten.

## 9. SCHLUSSFOLGERUNG

Diese drei Projekte zeigen, dass flexible Dünnschichtsolarsysteme eine Lösung für großflächige Deponien bieten können; dabei verwandeln sie vorher ungenutztes Gelände in einen wertvolle Erträge erwirtschaftenden Vermögenswert.

Im Vergleich zu konventionellen starren Photovoltaiksystemen bieten sie vielfältige Vorteile

- benötigen keine zusätzlichen kostenintensiven Unterbauten
- eignen sich idealerweise zum Einsatz auf instabilem Boden
- erfüllen Funktionen der Deponieabdichtung – mindern den Bedarf an zusätzlichen Ressourcen
- ermöglichen die Kanalisierung von Deponiegasen – reduzieren den Beitrag von Deponien zur Erderwärmung

Somit erschließen flexible Dünnschichtsolarsysteme neue Bereiche der sauberen Energieerzeugung, wobei sie mehrere Probleme im Zusammenhang mit Deponien abdecken und ebenfalls zusätzliche Erträge für die Abfallwirtschaft ermöglichen.

## LITERATURHINWEISE

Kühle-Weidemeier (2007), *The First Surface Sealing with Integrated Photovoltaic Power Plant (Die erste Oberflächenabdichtung mit integriertem Photovoltaik-Kraftwerk: Tagungsbericht Sardinien 2007, Elftes Internationales Symposium für Abfallwirtschaft und Deponie*

