

# **Projekttitle: Nutzung von Photovoltaikpotenzialen auf nicht endabgedeckten Mülldeponien.**

Abschlussbericht über ein Entwicklungsprojekt,  
gefördert unter dem AZ 31251-24/2 von der  
Deutschen Bundesstiftung Umwelt

von

Willi Harhammer, iKratos Solar- und Energietechnik GmbH

Oktober 2015



### ***Zielsetzung und Anlaß des Vorhabens***

Die Nutzung von Geländeflächen für Photovoltaikanlagen ist begrenzt. Mülldeponien mit Folienabdeckung bieten ausreichend geneigte, sonst ungenutzte Fläche für Photovoltaikanlagen. Eine Voraussetzung zur Nutzung dieser Flächen ist, dass die Abdeckfolie der Deponie im gesamten Bereich nicht verletzt werden darf. Deshalb ist eine freitragende Konstruktion zur Befestigung von Photovoltaikmodulen erforderlich.

Im Projekt ist vorgesehen eine kostengünstige Lösung zu entwickeln, die es ermöglicht, eine sehr große Fläche von Photovoltaikmodulen ohne Befestigungen am Untergrund/ der Folie aufzubauen. Die Herausforderung besteht hierbei darin, dass die empfindliche Folienschicht während der Montage, Nutzung und Wartungsarbeiten bei allen Witterungsbedingungen über etwa 20 Jahre nicht beschädigt werden darf sowie die Struktur des Deponieberges nicht unter der Krafteinwirkung beeinträchtigt wird. Da der Nutzungszeitraum von Deponiegas begrenzt ist, soll das System so entwickelt werden, dass ein möglichst großer Teil der Komponenten demontiert und wiederverwendet werden kann. Der freitragende Aufbau und die damit verbundene bessere Kühlung der Photovoltaikmodule bieten zusätzlich den Vorteil eines höheren Wirkungsgrades.

### ***Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden***

Folgende Arbeitsschritte wurden durchgeführt:

1. Konzepterstellung mechanischer Aufbau und Gesamtsystem
2. Pflichtenheft
3. Konzeptdetaillierung und Simulation mechanischer Aufbau und Entwicklung Gesamtaufbau
4. Entwicklung freitragende Komponenten und Modulaufbau
5. Entwicklung freitragende Mauer und Montage-/Demontagetechnik für empfindlichen Untergrund
6. Entwicklung Verbindungstechnik
7. Aufbau der Komponenten
8. Aufbau prototypische Anlage
9. Funktionstests
10. Optimierung
11. Langzeittests
12. Dokumentation

Eine Deponie sollte prototypisch als Testfeld dienen. Allerdings konnten die Entscheidungsträger keine Genehmigung für ein Testfeld herbeiführen. Daher wurde auf dem Betriebsgelände der Firma iKratos ein Deponieberg simuliert. Es wurde an der Oberseite eines Hanges ein Stützsystem/ eine Stützwand hergestellt und an den Verbindungsstücken Seile zum Deponiefuß geführt, die oberhalb der Folie gespannt sind. Auf diesen Seilen wurden die Module aufgebracht.

### ***Ergebnisse und Diskussion***

Im Zuge des Projektes wurde auf Basis einer simulierten Deponie ein prototypischer Versuchsaufbau umgesetzt, mit dem für nicht endabgedeckte Deponien repräsentative Untersuchungsergebnisse dargestellt werden konnten.

Insbesondere die stark gesunkenen Einspeisevergütungen und die noch zu hohen Herstellkosten für die Unterkonstruktion (ca. 300 Euro/kWp) ergeben z.Zt. noch keine wirtschaftliche Nutzung. Bei Eigenverbrauch des erzeugten Stroms (z.B. durch den Deponiebetreiber selbst), Verbrauch in unmittelbarer Nähe oder Direktvermarktung und einer kostengünstigeren Serienkonstruktion (Ziel 100-120 Euro/kWp) ist die angestrebte wirtschaftliche Nutzung realisierbar.

Generell ist das System auch auf andere lokale Gegebenheiten übertragbar, beispielsweise wo herkömmliche Unterkonstruktionen nur durch massiven Aufwand bei der Adaption auf den jeweiligen Untergrund eingesetzt werden könnten (Treppensysteme oder bergige Regionen).

### ***Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation***

Bisher wurden die Ergebnisse des Projektes nicht veröffentlicht bzw. präsentiert. Nächste Schritte sind, die Entscheidungsträger von der Umsetzung eines großen Testfeldes auf einer Deponie zu überzeugen und Langzeitstudien durchzuführen insbesondere hinsichtlich eventuell austretender Gase und sonstiger Verschleißerscheinungen an der Folie oder den Modulen/ elektronischen Komponenten.

### ***Fazit***

Im Zuge des Projektes wurde ein prototypischer Versuchsaufbau umgesetzt, mit dem für nicht endabgedeckte Deponien repräsentative Untersuchungsergebnisse dargestellt werden konnten. Damit können potentiell weitere Flächen für die Erzeugung von Energie aus der Sonne erschlossen werden. Die Komponenten sind handelsüblich beziehbar und damit entsteht eine hohe Reproduzierbarkeit.

## Inhaltsverzeichnis

1. Verzeichnis von Bildern und Tabellen .....	2
2. Verzeichnis von Begriffen und Definitionen .....	2
3. Zusammenfassung .....	3
4. Einleitung .....	4
5. Hauptteil .....	7
6. Fazit .....	18
7. Literaturverzeichnis .....	18
8. Anhänge .....	18

## 1. Verzeichnis von Bildern und Tabellen

Abbildung 1: Überblick über im Stand der Technik bekannte PV- Systeme.....	4
Abbildung 2: Terrassenförmige Anordnung von PV- Modulen und einer Deponie mit seitlicher Folienabdeckung .....	5
Abbildung 3: Elektrischer Schaltplan.....	10
Abbildung 4: Stringplan.....	10
Abbildung 5: Technische Zeichnung des Rahmens .....	11
Abbildung 6: Bilder des Testaufbaus .....	12
Abbildung 7: Messergebnis über den Temperaturverlauf, 27.02.2015 .....	13
Abbildung 8: Messergebnis über den Temperaturverlauf, 19.03.2015 .....	13
Abbildung 9: Messergebnis über den Temperaturverlauf, 10.07.2015 .....	13
Abbildung 10: Messergebnis über den Temperaturverlauf, 26.07.2015 .....	13
Abbildung 11: Messergebnis über den Temperaturverlauf, 03.08.2015 .....	14
Abbildung 12: Messwert Leistung und Einstrahlung vom 27.02.2015.....	14
Abbildung 13: Messwert Leistung und Einstrahlung vom 19.03.2015.....	15
Abbildung 14: Messwert Leistung und Einstrahlung vom 10.07.2015.....	15
Abbildung 15: Messwert Leistung und Einstrahlung vom 26.07.2015.....	15
Abbildung 16: Messwert Leistung und Einstrahlung vom 03.08.2015.....	15
Tabelle 1: Technische Daten des Produktes IBC MonoSol 195 CS, 200 CS.....	9
Tabelle 2: Datenblatt der GSE HD Glatt Kunststoffdichtungsbahn .....	16

## 2. Verzeichnis von Begriffen und Definitionen

PV                      Photovoltaik

### 3. Zusammenfassung

Existierende PV-System auf Deponien weisen Nachteile auf, weil der Berg durch Anlegen von Treppen verändert werden muss. Folienintegrierte Systeme müssen komplex und aufwändig hergestellt werden. Ziel dieses Projektes war deshalb, ein freitragendes System zur Befestigung von Photovoltaikmodulen über die Folienabdeckungsfläche zu entwickeln und zu erproben. Damit sollte die Gefahr der Beschädigung der Folie vermieden und eine weitere Möglichkeit zur Nutzung der Fläche nicht endabgedeckter Deponien geschaffen werden.

Eine Deponie sollte prototypisch als Testfeld dienen. Allerdings konnten die Entscheidungsträger keine Genehmigung für ein Testfeld herbeiführen. Daher wurde auf dem Betriebsgelände der Firma iKratos ein Deponieberg simuliert. Es wurde an der Oberseite eines Hanges ein Stützsystem/ eine Stützwand hergestellt und an den Verbindungsstücken Seile zum Deponiefuß geführt, die oberhalb der Folie gespannt sind. Auf diesen Seilen wurden die Module aufgebracht.

Im Zuge des Projektes wurde auf Basis dieser simulierten Deponie ein prototypischer Versuchsaufbau umgesetzt, mit dem für nicht endabgedeckte Deponien repräsentative Untersuchungsergebnisse dargestellt werden konnten. Damit können potentiell weitere Flächen für die Erzeugung von Energie aus der Sonne erschlossen werden. Die Komponenten sind handelsüblich beziehbar und damit entsteht eine hohe Reproduzierbarkeit.

Nächste Schritte wären, die Entscheidungsträger von der Umsetzung eines großen Testfeldes auf einer Deponie zu überzeugen und Langzeitstudien durchzuführen insbesondere hinsichtlich eventuell austretender Gase und sonstiger Verschleißerscheinungen an der Folie oder den Modulen/ elektronischen Komponenten. Allerdings werden diese Einflüsse als nicht funktionsbeeinträchtigend angesehen. Generell ist das System auch auf andere lokale Gegebenheiten übertragbar, beispielsweise wo herkömmliche Unterkonstruktionen nur durch massiven Aufwand bei der Adaption auf den jeweiligen Untergrund eingesetzt werden könnten (Treppensysteme oder bergige Regionen).

Das Projekt wurde gemeinschaftlich von der iKratos Solar- und Energietechnik GmbH und der KD Stahl- und Maschinenbau GmbH entwickelt. Die Förderung erfolgte durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt unter dem Aktenzeichen 31251-24/2.

## 4. Einleitung

Im Stand der Technik sind die klassischen Systeme auf Dächern von Privathäusern oder etwa industriell genutzten Gebäuden bekannt (siehe folgende Abbildung).



**Abbildung 1: Überblick über im Stand der Technik bekannte PV- Systeme**

Generell unterscheidet man auch aktive und passive Systeme. Während passive ortsunveränderlich sind, folgen die aktiven Systeme dem Sonnenverlauf durch entsprechende technische Hilfsmittel wie Motoren und Antriebssysteme. Hauptziel ist, die Sonneneinstrahlung optimal auszunutzen. Bei den unbeweglichen Systemen kann der Wirkungsgrad durch große Flächen erhöht werden. Problem ist jedoch, dass zugängliche und anderweitig nutzbare Flächen insbesondere in Mitteleuropa teuer und damit selten sind. Des Weiteren ist es mittlerweile verboten, Flächen mit PV- Anlagen auszustatten, die anders genutzt werden können (bspw. landwirtschaftlich). Neben der effektiven Nutzung der geringen zur Verfügung stehenden Fläche sind die Menschen zusätzlich darauf bedacht, den Anblick der Umgebung nicht durch großflächige Solarparks auf Feldern oder ähnlichem zu entstellen und damit die Natur zu erhalten.

Aus diesen und anderen Gründen sind viele Hersteller und Montagebetriebe daran interessiert, alternative Flächen zu evaluieren und durch entsprechende Entwicklungen diese für die Energieerzeugung nutzbar zu machen. Hierbei kam in der Vergangenheit mehrfach die Idee auf, Mülldeponien mit PV-Modulen zu bestücken. Sie werden auf einem präparierten Hang auf Terrassen mit statischen Untergrundkonstruktionen installiert (siehe nachfolgende Abbildungen).

Die Folienabdeckung an Deponiehängen dient unter anderem zur erheblichen Unterstützung der im Deponieberg ablaufenden Zersetzungsprozesse (siehe folgende Abbildung). Die Deponiegase werden wiederverwendet und über die Folie abgeleitet. Mülldeponien mit Folienabdeckung bieten ausreichend geneigte Fläche für Photovoltaikanlagen, die sonst ungenutzt sind. Eine Voraussetzung zur Nutzung dieser Flächen ist, dass die Abdeckfolie der Deponie im gesamten Bereich unter keinen Umständen verletzt werden darf.

Nachteile:

- Integration nur durch vorherige Baumaßnahmen zur Herstellung von Treppenanlagen
- Keine Nutzung der Folienfläche
- Nicht ohne Rückstände rückbaubar

## Folienintegrierte PV Systeme

Im Rahmen des Forschungsvorhabens der Firma Wasteconsult wurden auf einer Deponie Testfelder errichtet, auf denen unterschiedliche Kombinationen von Solarzellen und Dichtungsbahnen hinsichtlich ihrer Beständigkeit, Praxistauglichkeit und elektrischen Leistungsfähigkeit verglichen wurden. Besonderes Augenmerk lag auf der Entwicklung eines Verbundes aus den für Deponieanwendungen üblichen Dichtungsbahnen aus Polyethylen hoher Dichte (PE-HD) und verformbaren Dünnschichtsolarzellen, da Material und Eigenschaften der Trägerbahn so an die Notwendigkeiten und auch an rechtliche Rahmenbedingungen im Deponiebereich möglichst gut angepasst sind. Daneben sollten auch bereits am Markt befindliche Verbunde aus Dachbahnen und Photovoltaikmodulen erprobt werden.



**Abbildung 2: Terrassenförmige Anordnung von PV- Modulen und einer Deponie mit seitlicher Folieneindeckung**

Nachteile:

- Aufwändiger Fertigungsprozess zur Herstellung von dichtungsbahnintegrierten Solarzellen
- Keine prozesssichere Nutzung (bspw. aufgrund unterschiedlicher Dehnungskoeffizienten der Solarzellen und der Folienschicht)
- Wenige bis keine Anbieter von Schichtverbundsystemen
- Hohe Stresseinwirkung auf die Folie durch Verschweißung/ Vernietung der Module auf der Folie. Gefahr von Leckagestellen bei unsachgemäßer Installation.
- Hohe Anschaffungskosten, da wenig bis keine verfügbaren Hersteller

## Darstellung der grundlegenden Idee

Aufgrund der dargestellten Nachteile existierender Systeme bspw. bezüglich der Voraussetzung zur mechanischen Änderung der Deponie mit Treppen sowie der dargestellten komplexen Herstellung und fehlender Lieferanten folienintegrierter Systeme ist deshalb ein freitragendes System zur Befestigung von Photovoltaikmodulen über die Folienabdeckungsfläche Ziel dieses Projektes.

Vereinfacht gesagt, soll an der Oberseite eines Hanges ein Stützsystem/ eine Stützwand in den Deponieberg eingebracht werden, an dem/ der Seile oder Ketten angebracht werden, welche von Modulfeld zu Modulfeld bis zum Deponiefuß gespannt werden. Auf diesen Modulfeldern werden die Module aufgebracht. Die Modulfelder ruhen frei beweglich auf der Deponiefolie

Geplant worden ist ein Prototyp- Versuchsfeld mit den Daten:

- Maße: 2m x 7m
- Leistung: 1,4 kWp
- Hangneigung 25° bis 30°

Vorteile:

- Einsatz handelsüblicher Komponenten
- Vollständige Rückbaubarkeit auf der Folienfläche
- Keine mechanischen Stresssituationen für die Folie
- Damit prozesssicherer Betrieb durch Ausschluss von Undichtigkeitsstellen
- Weitere Einsatzfelder auch an Berghängen oder Felswänden möglich.

Im Projekt war vorgesehen, eine kostengünstige Lösung zu entwickeln, die es ermöglicht, eine sehr große Fläche von Photovoltaikmodulen ohne Befestigungen am Folienuntergrund aufzubauen. Die Herausforderung besteht hierbei darin, dass die empfindliche Folienschicht während der Montage, Nutzung und Wartungsarbeiten bei allen Witterungsbedingungen über etwa 20 Jahre nicht beschädigt werden darf.

Zielwerte:

- Linienlast von 1.30 kN/m (130 kg/m bei Windsog),
- Aufbau und Test eines Testfeldes mit den Maßen 2 m x 7 m
- Hangneigung bis 30°
- Auch für kleine Anlagen geeignet
- 1,4 kWp
- Freie Abspannung ohne Stützen: 40m
- Abstand der Module zur Oberfläche 30-40 cm
- Auflage mit Gewichten (bspw. ausbetonierte Reifen, Auflagerelemente) zur Kompensation von Windkräften
- Horizontale und vertikale Bewegungsfreiheit, Kompensation von Setzung ohne Wirkungsgradverlust
- Leichte Zugänglichkeit (Wartung) Kabelführung und mechanische/ elektronische Schnittstellen
- Durch bessere Kühlung höherer Wirkungsgrad gegenüber vergleichbarer Anlagen.

## 5. Hauptteil

Im Vorfeld wurden Recherchen vorgenommen bezüglich elektrischer Einzelkomponenten. Dies umfasste Verbindungstechnik, Solarkabel und Sensoren. Wichtig sind zunächst Steckverbinder mit verschiedenen Sicherheitseigenschaften. Die Schutzklasse IP 65 ist die Basisanforderung. Diesbezüglich wurde der Markt sondiert. Untersucht wurde die Eignung der existenten Steckverbinder bezüglich der Belastung und Vibrationsanfälligkeit, da Steckverbinder mit Eignung dafür nur in der Raumfahrt und beim Militär eingesetzt werden. Diese sind allerdings teurer als reguläre Steckverbinder (Faktor 1,5 - 4).

Weiterhin wurden Recherchen vorgenommen zu Sensoren. Fokus lag hier zunächst darauf, die Senkung des Berges zu detektieren, um im Versuchsaufbau und der späteren Installation, die Setzung des Berges und die Auswirkungen auf das photovoltaische System zu ermitteln. Die Senkung des Berges wurde schließlich mittels Hilfssystemen gemessen.

Einfachster Ansatz ist die Detektion mittels Lichtschranken in einer Hilfsvorrichtung, die an bestimmten Stellen des Systems angebracht wird und die Setzung misst. Der Sensor wurde dann an einem Seil/Kette oder sonstigen Fixpunkten angebracht und über eine Messleiste mit spezifischer Teilung (< 1mm beispielsweise) in die Lage versetzt, eine Setzung über eine gewisse Zeitspanne detektieren. Daraus lassen sich dann Rückschlüsse ableiten, wie sich die Setzung über die Nutzungsdauer von 20 Jahren verhält.

Eine weitere wesentliche Anforderung ist der Schutz der Folie. Bedenken bei den Betreibern ist, dass durch die teilabgedeckte Bauweise, welche durch die Module bedingt ist, die Folie durch die Witterungsbedingungen an nicht abgedeckten, lokalen Stellen stärker beansprucht wird als an den abgedeckten Stellen. Vereinzelt wurde verlangt, dass die Folie zusätzlich mit einem Vlies abgedeckt wird, um Schäden zu verhindern. Ziel sollte auch in diesem Projekt weiterhin sein, dass keine zusätzlichen Abdeckungen eingesetzt werden. Daher war auch Aufgabe im Projekt nachzuweisen, ob durch die zusätzliche Teilabdeckung der Folie Gefährdungspotential für diese entsteht.

Die Deponie Gosberg war aufgrund der lokalen Nähe die bevorzugte Wahl für einen Testaufbau.

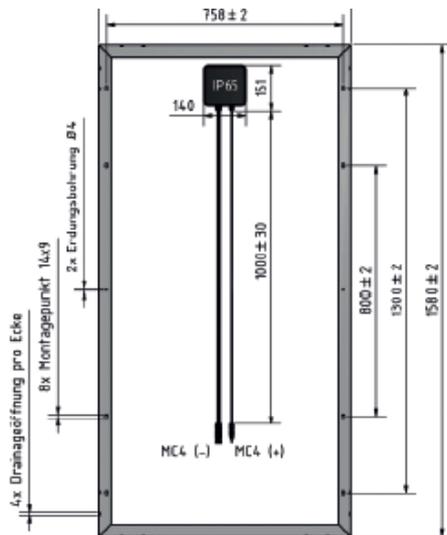
Zwischenzeitlich musste der Projektpartner gewechselt werden, was zu Verzögerungen führte: Durch die Insolvenz von LST hat sich das Projekt natürlich verzögert. Allerdings fand am 15.11.2013 ein Besuch bei der KD Stahl- und Maschinenbau GmbH statt, wo der aktuelle Status besprochen wurde. KD hat bei diesen Gesprächen die Bereitschaft erklärt, bei dem Projekt mitarbeiten und nicht nur die Projektinhalte übernehmen, sondern auch die Projektmitarbeiter von der LST GmbH, die hierfür eingeplant waren. Die notwendigen Unterlagen vom Insolvenzverwalter wurden der DBU übergeben. Die KD Stahl- und Maschinenbau GmbH übernahm dann im weiteren Verlauf das Projekt.

Nach der Kooperationsübernahme durch die KD Stahl- und Maschinebau GmbH wurde das Projekt entsprechend des Antrages weiter fortgeführt. Das Konzept sah vor, die Anlage im Inselbetrieb zu betreiben und eine Datenfernüberwachung zu implementieren, damit jederzeit Zugriff möglich ist und die Auswertung effizient umgesetzt werden kann. Als ergänzende Maßnahme soll die Alltagstauglichkeit dadurch demonstriert werden, dass vor Ort ein elektrischer Stapler der Deponie mit der erzeugten Energie geladen wird.

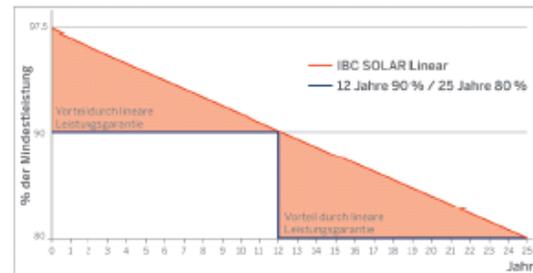
Nach der Erteilung der Genehmigung zur Installation einer Testanlage auf der Deponie wurden im Ergebnis lokaler Wahlen Entscheider im Landkreis ausgetauscht. Die neuen Entscheidungsträger hatten bezüglich der Genehmigungserteilung Bedenken, so dass die Genehmigung zunächst zurückgezogen wurde. Hiernach sollte ein weiteres Genehmigungsverfahren durchlaufen werden, dessen Kosten von ca. 10.000 EUR von den Projektpartnern hätte getragen werden sollen. Zudem daure dies mindestens 6 Monate, mit ungewissem Ausgang. Deshalb entschied man sich auf eigenem Gelände der iKratos einen nachgebildeten Deponieberg aufzubauen, welcher das Original so weit wie möglich simulieren soll. Hierzu wurde ein Berg aufgeschüttet. Parallel wurde die Originalfolie besorgt, mit der die Deponie bespannt ist. Hierauf wurde dann die mechanischen Konstruktionen von KD Stahl installiert.

#### Technische Angaben zur Musteranlage:

- Leistung: 1,56 kWp
- Ausrichtung: 95 Grad
- Neigung: 23 Grad
- PV Generator: 8 Module IBC MonoSol 195 Wp (siehe nachfolgende Tabelle)
- spezifischer Jahresertrag: 765 kWh/kWp
- Elektrischer Schaltplan und Verstringungsplan siehe nachfolgende Bilder



Vorteil durch lineare Leistungsgarantie



## TECHNISCHE DATEN

IBC MonoSol	195 CS	200 CS
STC Leistung P <sub>max</sub> (Wp)	195	200
STC Nennspannung U <sub>mpp</sub> (V)	36,8	36,9
STC Nennstrom I <sub>mpp</sub> (A)	5,30	5,42
STC Leerlaufspannung U <sub>oc</sub> (V)	45,4	45,6
STC Kurzschlußstrom I <sub>sc</sub> (A)	5,67	5,80
800 W/m <sup>2</sup> NOCT AML5 Leistung P <sub>max</sub> (Wp)	143,14	146,78
800 W/m <sup>2</sup> NOCT AML5 Nennspannung U <sub>mpp</sub> (V)	33,84	33,93
800 W/m <sup>2</sup> NOCT AML5 Leerlaufspannung U <sub>oc</sub> (V)	42,98	43,97
800 W/m <sup>2</sup> NOCT AML5 Kurzschlußstrom I <sub>sc</sub> (A)	4,54	4,56
Rel. Wirkungsgradreduzierung bei 200W/m <sup>2</sup> (%)	3,9	3,9
Tempkoeff I <sub>sc</sub> (%/°C)	+0,03	+0,03
Tempkoeff U <sub>oc</sub> (mV/°C)	-153	-153,7
Tempkoeff P <sub>mpp</sub> (%/°C)	-0,47	-0,47
Modulwirkungsgrad (%)	15,3	15,7
NOCT (°C)	47	47
Max. Systemspannung (V)	1000	1000
Rückstrombelastbarkeit I <sub>r</sub> (A)	15	15
Stromstärke Strangsicherung (A)	10	10
Absicherung ab parallelen Strängen	4	4
Höhe (mm)	45	45
Gewicht (kg)	15,5	15,5
Artikelnummer	2003800001	2003800002

20.01.2014

Tabelle 1: Technische Daten des Produktes IBC MonoSol 195 CS, 200 CS





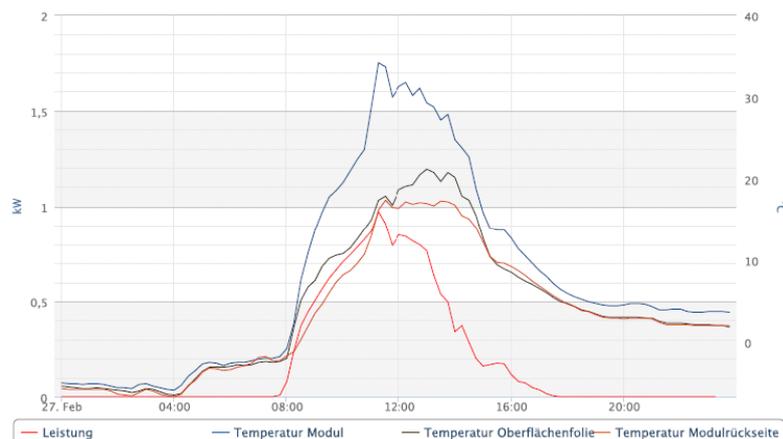


Abbildung 6: Bilder des Testaufbaus

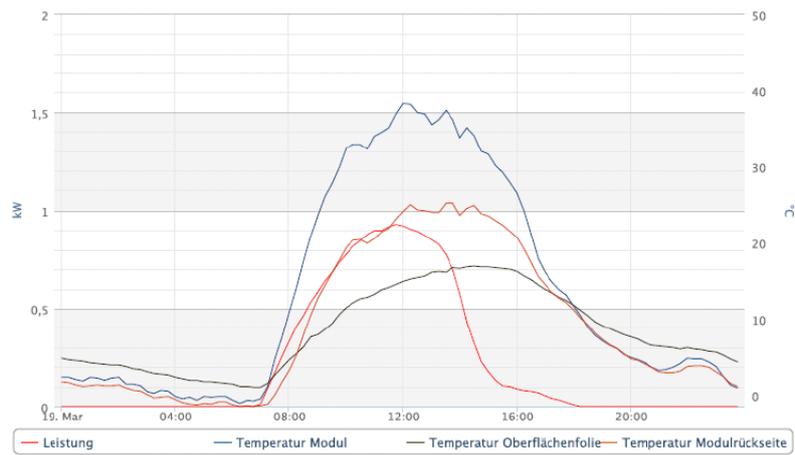
Analyse des Betriebs:

1. Temperaturverläufe Modul, Unterseite Modul, Folienoberfläche

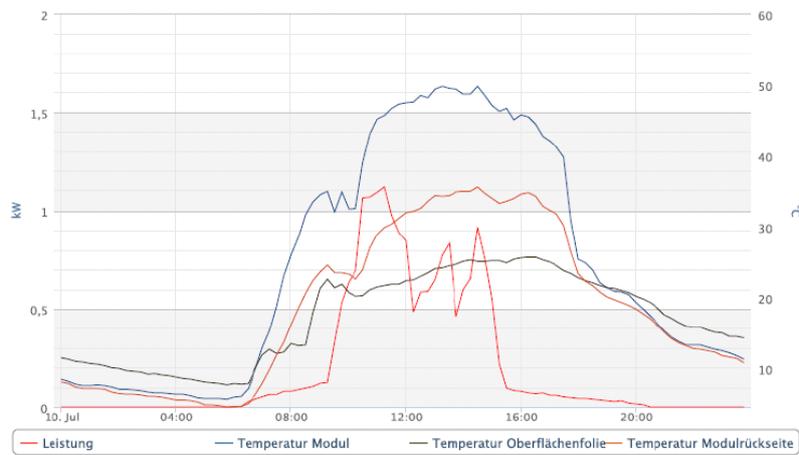
Die Aufzeichnungen der Temperaturverläufe zeigen, dass die Kühlung der Module ausreichend ist auch bei geringer Hangneigung von nur 20 Grad. Die Oberflächentemperatur der Folie ist deutlich geringer als bei direkter Bestrahlung der Folie. (siehe Anlage 6 Februar bis August 2015)



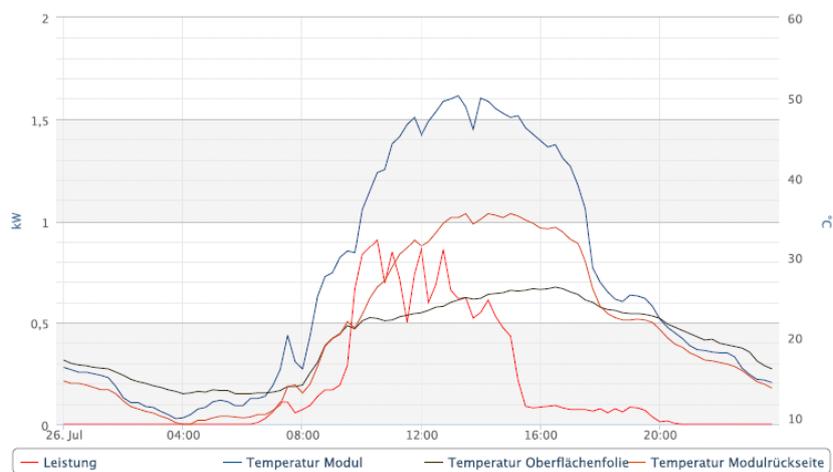
**Abbildung 7: Messergebnis über den Temperaturverlauf, 27.02.2015**



**Abbildung 8: Messergebnis über den Temperaturverlauf, 19.03.2015**



**Abbildung 9: Messergebnis über den Temperaturverlauf, 10.07.2015**



**Abbildung 10: Messergebnis über den Temperaturverlauf, 26.07.2015**

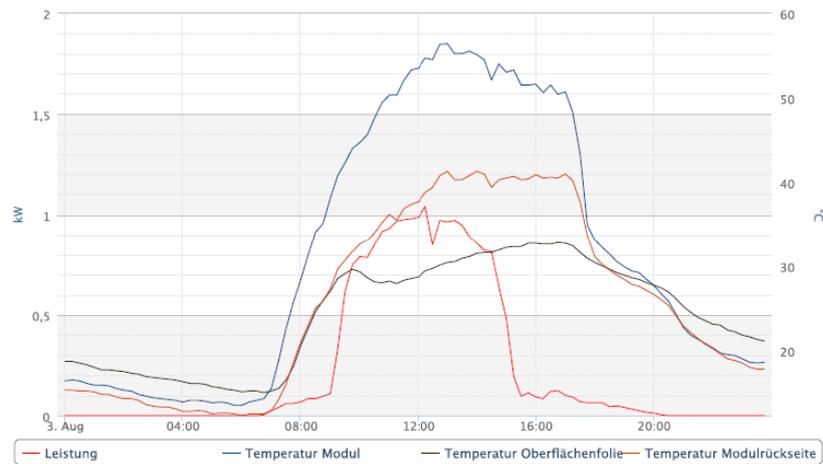


Abbildung 11: Messergebnis über den Temperaturverlauf, 03.08.2015

## 2. Leistungs- und Ertragsverhalten

Das Leistungs- und Ertragsverhalten ist vergleichbar zu anderen Gestellvarianten von PV Generatoren. Die Modultemperatur ist wegen der ausreichenden Selbstbelüftung durch Konvektion nicht überhitzt. (siehe nachfolgende Abbildungen)

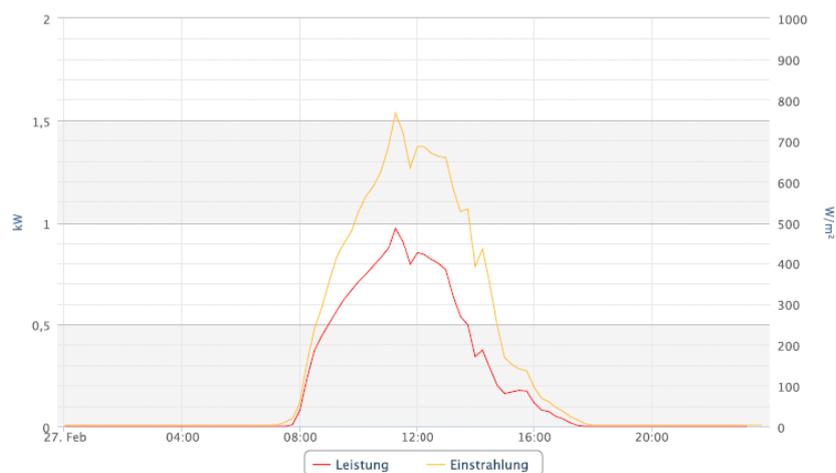
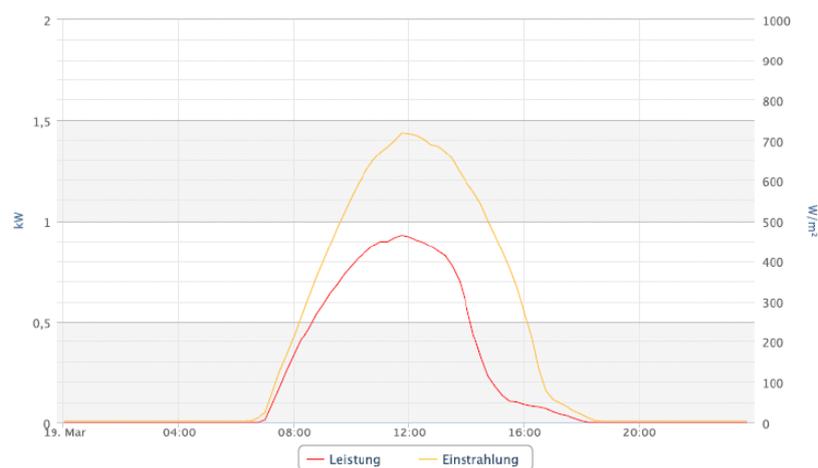
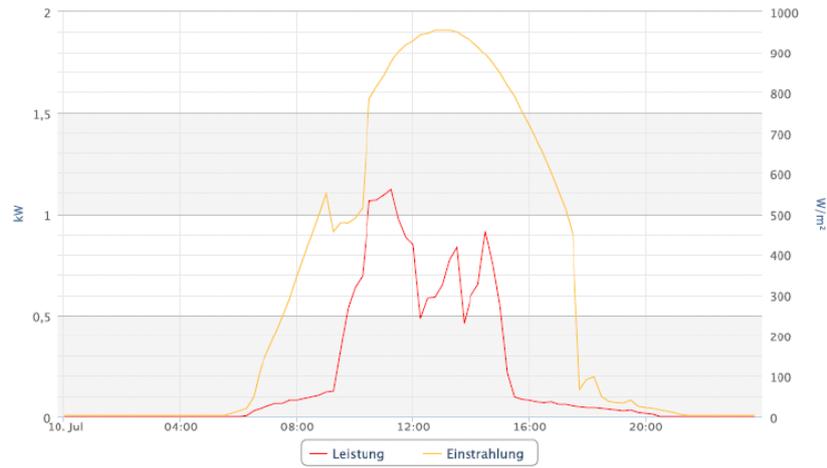


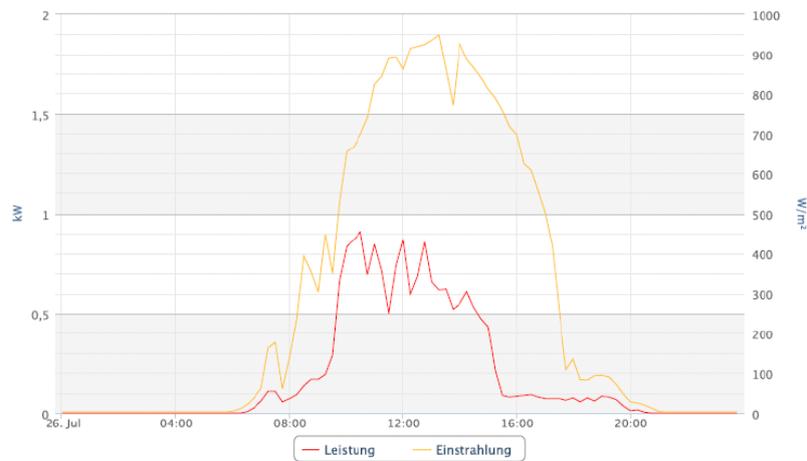
Abbildung 12: Messwert Leistung und Einstrahlung vom 27.02.2015



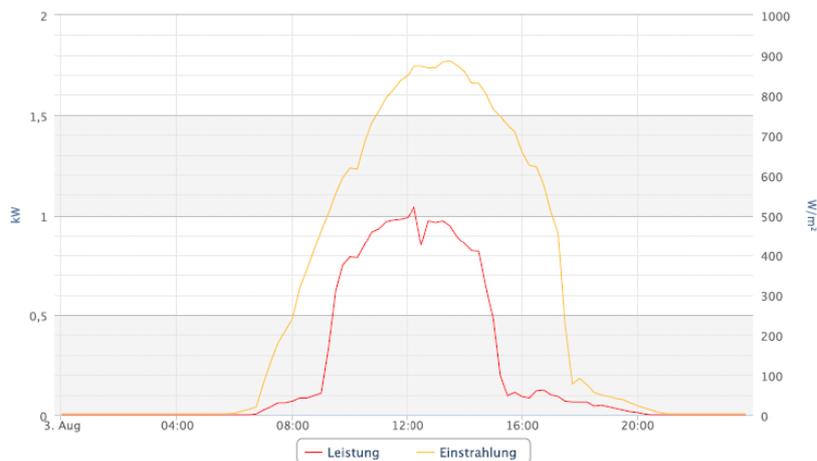
**Abbildung 13: Messwert Leistung und Einstrahlung vom 19.03.2015**



**Abbildung 14: Messwert Leistung und Einstrahlung vom 10.07.2015**



**Abbildung 15: Messwert Leistung und Einstrahlung vom 26.07.2015**



**Abbildung 16: Messwert Leistung und Einstrahlung vom 03.08.2015**

### 3. Belastung Folie, Datenblatt

Veränderungen an der Folie konnten in allen Bereichen unterhalb des PV Generators nicht festgestellt werden. Die Setzeigenschaften des Deponieberges, welche durch eine federnde Unterkonstruktion des Deponienachbaus simuliert wurde, führte zu keinerlei erkennbaren Beschädigung durch Zug- oder Druckbelastung. Ein Folienschnitt unmittelbar neben der Auflagefläche der Reifen wurde in der Dicke vermessen. Es wurde keine Veränderung der Materialstärke festgestellt. Zum Einsatz kam die Folienvariante mit 1,5 mm Dicke (siehe Tabelle)

#### Produktspezifikationen

Prüfeigenschaften	Einheit	Prüfmethode	Werte ( *)	
Dicke <sup>(a)</sup>	mm	DIN EN ISO 9863-1	1,5	2,0
Dichte	g/cm <sup>3</sup>	DIN EN ISO 1183-1/A	≥ 0,94	≥ 0,94
Zugeigenschaften (jede Richtung)		DIN EN ISO 527-3 (Type 5; 100 mm/min; l <sub>0</sub> = 50 mm)		
Streckspannung	MPa		17 (16)	17 (16)
Streckdehnung	%		11 (10)	11 (10)
Zugfestigkeit	MPa		35 (26)	35 (26)
Bruchdehnung	%		800 (700)	800 (700)
Weiterreißwiderstand	N	DIN ISO 34-1/B (a)	210 (195)	285 (265)
Stempeldurchdruckkraft	N	DIN EN ISO 12236	3,900 (3,500)	5,150 (4,650)
Rußgehalt	%	ASTM D 1603	2,0 – 3,0	2,0 – 3,0
Rußverteilung	Kategorie	ASTM D 5596	1/2 <sup>(b)</sup>	1/2 <sup>(b)</sup>
Maßänderung nach Warmlagerung (längs/quer)	%	DIN 53377 (120°C/1 h)	± 2	± 2
Schmelzindex <sup>(c)</sup>	g/10 min	DIN EN ISO 1133 (190°C / 5,0 kg) (190°C / 2,16 kg)	≤ 3,0 ≤ 1,0	≤ 3,0 ≤ 1,0
Spannungsrisssbeständigkeit (NCTL)	h	ASTM D 5397; Anhang	≥ 400	≥ 400
Oxidative Induktionszeit (OIT)	min	ASTM D 3895 (200°C; reines O <sub>2</sub> ; 1 atm)	≥ 100	≥ 100
<b>Referenzeigenschaften</b>				
Verhalten in der Kälte	°C	ASTM D 746	- 77	- 77
UV-Beständigkeit <sup>(d)</sup> verbliebener HP-OIT nach 1.600 h <sup>(e)</sup>	%	GRI-GM 11 ASTM D 5885	≥ 50	≥ 50
Rollenbreite (ca.) <sup>(f)</sup>	m	---	7,5	
Oberfläche	---	---	beidseitig glatt	

#### FUSSNOTEN:

(\*): Alle Werte sind - wenn nicht anders angegeben - Nominalwerte. Werte in Klammern sind Minimumwerte innerhalb des 95% - Vertrauensbereiches.

(a): Mittelwert: Nominalwert - 5%; Einzelwerttoleranz: ±10% vom tatsächlichen Mittelwert.

(b): Nur anwendbar für annähernd kugelförmige Agglomerate. Mindestens 9 von 10 Ergebnissen müssen der Kategorie 1 oder 2 entsprechen. Maximal 1 von 10 Ergebnissen darf der Kategorie 3 entsprechen.

(c): Standard Testbedingungen: 190°C / 5,0 kg.

(d): Testbedingungen: 20 h UV-Zyklus bei 75°C gefolgt von 4 h Kondensierung bei 60 °C; Gesamtzeit: 1.600 h.

(e): Die UV-Beständigkeit basiert auf dem verbliebenen Hochdruck-OIT, beurteilt unabhängig vom Ausgangswert.

(f): Rollenbreite und -länge mit einer Toleranz von ±1%.

**Tabelle 2: Datenblatt der GSE HD Glatt Kunststoffdichtungsbahn  
der Firma GSE Lining Technology. LLC**

### 4. Beurteilung Gesamtsystem, Gestell + Elektrik

Das Gestellsystem ist wegen seiner Robustheit geeignet, über lange Zeiträume einen sicheren und problemlosen Betrieb zu gewährleisten. Die mechanische Auslegung muss nochmals hinsichtlich Vereinfachung, insbesondere Gewichts- und Kostenreduzierung überdacht werden. Die elektrischen Anlagenbestandteile sind alle aus Serienkomponenten entstanden und deshalb wirtschaftlich.

Der modulare Aufbau des Gesamtsystems ist sowohl von der mechanischen als auch elektrischen Seite her geeignet, größere PV Anlagen damit zu realisieren.

## 5. Statik

Die Statik, insbesondere die Fundamente am Hangkopf sollte für große zusammenhängende Anlagen neu gerechnet werden, da der Verbund von mehreren Einheiten ( z.B. 4 Modulen wie beim Muster) wesentlich geringere Einflüsse durch Sog- und Abhebekräfte (Wind) erwarten lassen.

## 6. Kosten-Nutzen

Insbesondere die stark gesunkenen Einspeisevergütungen und die noch zu hohen Herstellkosten für die Unterkonstruktion (ca. 300 Euro/kWp) ergeben z.Zt. noch keine wirtschaftliche Nutzung. Bei Eigenverbrauch des erzeugten Stroms (z.B. durch den Deponiebetreiber selbst), Verbrauch in unmittelbarer Nähe oder Direktvermarktung und einer kostengünstigeren Serienkonstruktion (Ziel 100-120 Euro/kWp) ist die angestrebte wirtschaftliche Nutzung realisierbar.

## 6. Fazit

Letztlich wurde ein Produkt entwickelt, das für nicht endabgedeckte Deponien genutzt werden kann, insbesondere für die direkte Nutzung der Energie. Damit können eine weitere Flächen für die Erzeugung von Energie aus der Sonne erschlossen werden. Vorteile hierbei sind, dass Setzungen des Berges keinen Einfluss mehr auf das PV- System haben und das System komplett rückgebaut und neu aufgebaut werden kann. Zudem ist die Entkopplung von der Folie vorteilhaft. Eine aufwändige und energieintensive Integration der Module in die Folie entfällt. Damit entfallen viele Arbeitsschritte und Kosten. Die Komponenten sind handelsüblich beziehbar und damit entsteht eine hohe Reproduzierbarkeit.

Nächste Schritte wären, die Entscheidungsträger von der Umsetzung eines großen Testfeldes auf einer Deponie zu überzeugen und Langzeitstudien durchzuführen, insbesondere hinsichtlich eventuell austretender Gase und sonstiger Verschleißerscheinungen an der Folie oder den Modulen/ elektronischen Komponenten. Hier konnten die realen Gegebenheiten nur in eingeschränktem Umfang simuliert werden. Zudem erfolgt bislang die mechanische Belastung des Berges nur im kleinen Maße und könnte auch durch die Vergrößerung des im Rahmen des Projektes angelegten Versuchsfeldes kaum realer simuliert werden. Die statische Integrität des Berges durch das Abhängen könnte beeinflusst werden, die Auswirkungen werden jedoch derzeit als wenig gravierend oder funktionsbeeinflussen angesehen. Generell ist das System auch auf andere lokale Gegebenheiten übertragbar. Es wäre beispielsweise überall dort prädestiniert, wo sonst nur durch erheblichen Aufwand bei der Herrichtung eines geeigneten Untergrundes eine energetische Nutzung durch Photovoltaik realisiert werden könnte (siehe Stand der Technik Treppensysteme oder bergige Regionen).

## 7. Literaturverzeichnis

Entfällt

## 8. Anhänge

Entfällt

This document was created with Win2PDF available at <http://www.win2pdf.com>.  
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.  
This page will not be added after purchasing Win2PDF.