

Abschlussbericht **„PV-Anlage aus verformbaren Dünnschichtmodulen“**

Gefördert durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt (Az. 24715)

Erstellt von

Dr.-Ing. Matthias Kühle-Weidemeier*

Dipl.-Ing. Detlef Mencke**

* Wasteconsult international
Robert-Koch-Str. 48B
30853 Langenhagen
www.wasteconsult.de

** Ingenieurbüro
Mencke & Tegtmeyer GmbH
Schwarzer Weg 43 A
31789 Hameln
www.ib-mut.de

September 2011

Im Auftrag des BAV
Bergischer Abfallwirtschaftsverband

Gefördert durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt



Projektkennblatt
der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt



Az	24715-24/2	Referat	Fördersumme 93579€ (beantragt)
----	-------------------	---------	--------------------------------

Antragstitel **PV-Anlage aus verformbaren Dünnschichtmodulen**

Stichworte Photovoltaik, Deponieabdichtung, Deposolar

Laufzeit	Projektbeginn	Projektende	Projektphase(n)
55 Mon. inkl. Verlänger.	1.11.2006	30.6.2011	

Zwischenberichte
2008, 2009, 2010, 2011

Bewilligungsempfänger	BAV Bergischer Abfallwirtschaftsverband Braunswerth 1-3 51766 Engelskirchen	Tel 0 22 63 / 805 - 0 Fax 0 22 63 / 805 - 520
------------------------------	---	--

Projektleitung
Dipl.-Ing. Wolfgang Görtz

Bearbeiter

Kooperationspartner

Wasteconsult international
Robert-Koch-Str. 48B
30853 Langenhagen
www.wasteconsult.de

Ingenieurbüro Mencke & Tegtmeyer GmbH
Schwarzer Weg 43A
31789 Hameln
www.ib-mut.de

Zielsetzung und Anlaß des Vorhabens

Deponien werden nach ihrer Betriebsphase mit einer temporären oder dauerhaften Abdeckung versehen. Durch den Einsatz von nicht konvektionsdichtem Boden kann bei temporären Abdeckungen klimaschädigendes Deponiegas entweichen und der Eintritt von sickwasserbildendem Niederschlagswasser in die Deponie nur begrenzt vermindert werden. Ziel des Projekts war die anwendungsreife Entwicklung und Erprobung einer innovativen und ressourcenschonenden Photovoltaikanlage aus verformbaren Modulen, die gleichzeitig der solaren Stromerzeugung und der emissionsverhindernden Deponieoberflächenabdichtung dient. Durch die Art der Stromerzeugung, die Unterbindung erheblicher Methanemissionen (die dann nahezu vollständig durch das Deponieentgasungssystem erfasst werden) und deren energetische Nutzung kann so ein deutlicher Beitrag zum Klimaschutz geleistet werden. Das erprobte System senkt den Ressourcenverbrauch für den Bau der Deponieabdeckung erheblich und stellt ein Flächenrecycling der Deponiefläche da.

Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden

Es wurden zwei Varianten mit unterschiedlichem Trägermaterial untersucht: Fertig laminierte Produkte mit Dachdichtungsbahnen und neu zu entwickelnde und zu erprobende Verbunde aus PE-HDDeponiedichtungsbahnen und fertig laminierten Dachbahn-Solarzellen-Kombinationen bzw. flexiblen Solarzellen. Hierfür wurden Verbindungsversuche durchgeführt. Neben Verlegung und Verbindung der Bahnen wurden Setzungsauswirkungen auf das System (z.B. Wellenbildung und Schäden) und die Eignung zur Wiederaufnahme und Neuverlegung untersucht.

Das System wurde zur Untersuchung von Stromerzeugung und Verschmutzungsgefahr an zwei unterschiedlichen Böschungsneigungen von ca. 1:3 und 1:15 getestet. Des Weiteren wurden Beständigkeit, sowie die Auswirkungen der unterschiedlichen Trägermaterialien auf den Wirkungsgrad der Module und die Auswirkung der unterschiedlichen Wärmeausdehnungskoeffizienten der Trägermaterialien untersucht. Der deponietechnische Teil wurde durch Wasteconsult betreut, der elektrotechnische Teil dieses Projektes durch das Ingenieurbüro Mencke & Tegtmeyer. Hangprofilierung sowie Verlegung und Verbin-

derung der Bahnen wurden durch den BAV durchgeführt. Im 1. Halbjahr 2007 wurden die ersten Verbindungsversuche und die Hangprofilierung durchgeführt. Im 3. Quartal 2008 wurden die dachbahnbasierten Versuchsfelder sowie ein kristallines Referenzfeld errichtet und in Betrieb genommen. Danach erfolgen die Betreuung der Messtechnik und die Datenaufnahme. Prototypen der PEHD-Verbunde folgten 2009.

Ergebnisse und Diskussion

Große Lieferschwierigkeiten bei flexiblen Solarmodulen im ersten Projektjahr sowie die unerwartet großen technischen Schwierigkeiten bei der Entwicklung der PEHD Verbundbahnen führten zu einem deutlich größeren Zeitbedarf für das Vorhaben als ursprünglich vorgesehen. Durch mehrfache Verlängerung des Vorhabens konnten die geplanten Versuchsfelder jedoch weitgehend realisiert werden und auch das Hauptziel der Entwicklung einer Verbundbahn aus PE-HD Deponiedichtungsbahn und flexiblen Solarmodulen erreicht werden. Auf der Deponie Leppe konnten Versuchsfelder mit flexiblen Modulen auf Dachbahnbasis über mehrere Jahre erfolgreich betrieben werden. Die Errichtung von elektrisch angeschlossenen Versuchsfeldern mit den PE-HD Verbundbahnen war innerhalb der Projektlaufzeit jedoch nicht mehr möglich, da der nach hinten geschobene Einbauzeitpunkt mit notwendigen Umprofilierungsarbeiten auf der Deponie kollidierte. Die Verbunde waren aber zum Abschluss der Projektlaufzeit produktions- und marktreif. Beim Vergleich der Energieerträge der vorhandenen Einbauvarianten konnten keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden, so dass die Einbauart auf Basis genehmigungstechnischen und finanziellen Randbedingungen festgelegt werden muss.

Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation

Die Vorhabensergebnisse wurden auf zahlreichen nationalen und internationalen Fachtagungen sowie in der Fachpresse vorgestellt:

Kuehle-Weidemeier, M. (2011): Development, construction and operation of a flexible landfill cover with an integrated photovoltaic power plant. In: SARDINIA 2011, Thirteenth International Waste Management and Landfill Symposium, S. Margherita di Pula (Cagliari, Italy).

Kühle-Weidemeier, M. (2011): Nachnutzung von Deponien durch Photovoltaikanlagen – Technik und Potenziale. Kasseler Abfallforum 2011.

Kuehle-Weidemeier, M. (2010): Implementation of the first landfill cover sealing with integrated photovoltaic power plant. International Symposium Waste Management Zagreb 2010.

Kuehle-Weidemeier, M. (2010): Implementation of the first landfill cover sealing with integrated photovoltaic power plant. Second Global Waste Symposium, San Antonio, Texas, USA.

Kuehle-Weidemeier, M. (2008): A new landfill cover with integrated photovoltaic power plant. Poster at the Global Waste Symposium, Copper Mountain, Colorado, USA.

Kühle-Weidemeier, M. (2008): Verbundsystem aus Deponieoberflächenabdichtung und Fotovoltaikanlage. Depotech 2008, Leoben, Österreich.

Kühle-Weidemeier, M. (2008): Nachnutzung von Deponien durch Photovoltaik am Beispiel der Deponie Leppe. 18. Karlsruher Deponie- und Altlastenseminar 2008.

Kühle-Weidemeier, M. (2008): Deponie Leppe: Oberflächenabdichtung mit Fotovoltaikanlage. 24. Fachtagung „Die sichere Deponie“, Würzburg 7.-8. Februar 2008.

Kühle-Weidemeier, M. (2007): Strom aus dichter Deponieoberfläche. In: Umweltmagazin 11/2007.

Kuehle-Weidemeier, M. (2007): The first surface sealing with integrated photovoltaic power plant. In: SARDINIA 2007, Eleventh International Waste Management and Landfill Symposium, Italy.

Kühle-Weidemeier, M. (2007): Die erste Deponieoberflächenabdichtung mit integrierter Photovoltaikanlage. In: DAS-IB GmbH (Hrsg.) Bio- und Deponiegas Fachtagung 2007, DAS-IB GmbH.

Fazit

Die Anwendung von flexiblen Solarmodulen als Deponieoberflächenabdichtung wurde erfolgreich realisiert und erprobt. Neben der Verwendung von Produkten aus dem Dachabdichtungsbereich wurde auch ein Verbund aus PEHD-Deponieabdichtungsbahnen und verformbaren Dünnschichtmodulen produktionsreif entwickelt. Dieses kommt insbesondere für bisher noch nicht in abgedichtete Deponiebereiche in Betracht. Es wurde somit eine nachhaltige Kombination von Deponieabdichtung und Photovoltaikanlage entwickelt, die ohne zusätzlichen Flächenverbrauch große Photovoltaikanlagen ermöglicht und gleichzeitig die Gas- und Sickerwasseremissionen Deponien drastisch vermindert und auch die Erfassungsquote von energetisch nutzbarem Deponiegas im Vergleich zu temporären Abdichtungen aus mineralischen Materialien steigert.

Bei flexiblen Dünnschichtmodulen hat in der vergangenen Zeit nicht ein so starker Preisrückgang wie bei kristallinen Modulen stattgefunden, wodurch das System zunächst wirtschaftlich benachteiligt war. Durch weiteren Modulpreisrückgang nach Projektende werden bei konventionellen Deponiesolaranlagen künftig jedoch die Kosten des Trägersystems zum dominierenden Faktor werden. Dann ist die wirtschaftliche Konkurrenzfähigkeit des Systems zu erwarten. 2012/13 konnten bei Freiflächenanlagen die Gestell- und Gründungskosten bereits 50% der Anlagenkosten ausmachen.

Inhalt

1.1.	Vorhabensbeschreibung	3
1.2.	Vorteile des zu untersuchenden Systems	4
1.3.	Zu untersuchende Eigenschaften.....	5
1.4.	Tatsächlicher Projektablauf	6
2.	Lage und Konzeption der Testfelder.....	9
2.1.	Lage der PV-Anlage.....	9
2.2.	Aufbau des Versuchsfeldes	10
3.	Verbindungsversuche und Einbau der Solarbahnen.....	13
3.1.	Materialien und Verbindungsarten	13
3.2.	Rahmenkonstruktion als Adapter zur Nachrüstung von Dichtungsbahnen mit Photovoltaikmodulen/Solar-Dachbahnen	14
3.3.	Verbindungsversuche und Einbau von KDB und Solarmodulen	16
3.3.1.	Kaschierung von Kunststoffdichtungsbahn und UniSolar Modul	16
3.3.2.	Flächige Verklebung von Kunststoffdichtungsbahn und Modul.....	17
3.3.3.	Verbunde mit Fuji und Flexcell Modulen.....	18
3.4.	Ergebnisse der Verbindungsversuche von KDB und Dachbahn.....	22
3.4.1.	Bahnen von Solar Integrated / Sarnafil.....	22
3.4.2.	Dachbahnen der Fa. Alwitra	26
4.	Kristalline Referenzfelder	31
5.	Ableitungen, Messtechnik und Wechselrichterstation	33
6.	Bildüberblick der Testfelder	35
7.	Elektrotechnische Ausstattung und Untersuchungen.....	37
7.1.	Beschreibung des Gesamtaufbaus	37
7.2.	Beschreibung der PV-Systemtechnik	38
7.3.	Messtechnik.....	39
8.	Betriebserfahrungen und Messergebnisse	40
8.1.	Setzungen.....	40
8.2.	Verformungen und Schmutzablagerungen auf den Testfeldern.....	40
8.3.	Haltbarkeit des Verbunds zwischen Modulen und Dichtungsbahn	42

8.4.	Haltbarkeit des Gesamtsystems.....	42
8.5.	Elektrischer Ertrag der Versuchsfelder.....	43
9.	Zusammenfassung.....	47

Veranlassung und Projektablauf

Titel des Vorhabens: „PV-Anlage aus verformbaren Dünnschichtmodulen“

DBU Aktenzeichen: 24715 – 24/2

Projektlaufzeit: 2006 – 2011

Bewilligungsempfänger: BAV Bergischer Abfallwirtschaftsverband

1.1. Vorhabensbeschreibung

Die photovoltaische (PV) Energieerzeugung ist eine umwelt- und ressourcenschonende Möglichkeit der Stromerzeugung. Zur Realisierung von Anlagen mit sehr großer Leistung kommen als Standort Freiflächen außerhalb von Gebäuden in Betracht, z.B. Deponien.

Deponien werden nach ihrer Betriebsphase für eine Zeit von 10-20 Jahren mit einer temporären Abdeckung versehen, um das Abklingen der Setzungen abzuwarten, bevor die endgültige Abdichtung erfolgt. Häufig wird sie aus Boden hergestellt. Die Bodenabdeckung ist nicht konvektionsdicht, so dass klimaschädigendes Deponiegas (Methananteil ca. 50%) entweichen kann und auch der Eintritt von Niederschlagswasser in die Deponie nur begrenzt vermindert wird und es zur fortgesetzten Sickerwasserbildung kommt. Dieses Sickerwasser müsste mit hohen Kosten gereinigt werden. Im anschließenden Zeitraum (endgültige Oberflächenabdichtung) werden die Sickerwasserbildung und der Austritt von Deponiegas auf Klasse 2 Deponien in der Regel durch eine Oberflächenabdichtung, die eine Kunststoffdichtungsbahn (KDB) als konvektionsdichtes Element enthält, verhindert.

Photovoltaikanlagen sind eine attraktive Nachnutzung für die großen Oberflächen stillgelegter Deponien. Es findet ein Flächenrecycling in Verbindung mit klimaschonender Energieerzeugung statt. Konventionelle PV-Anlagen werden mit teuren, ressourcenverbrauchenden Stahlgestellen auf einer mit erheblichen Mengen Bodenmaterial und weiteren Baustoffen hergestellten Deponieabdeckung errichtet.

Im Forschungsprojekt sollte untersucht werden, inwieweit Verbundabdeckungen aus Kunststoffdichtungsbahnen und verformbaren Dünnschicht-PV-Modulen den technischen und betrieblichen Anforderungen an eine Deponieabdichtung temporär oder dauerhaft gerecht werden. Ein solches multifunktionales System hat den Vorteil, dass gleichzeitig eine emissionsmindernde, konvektionsdichte Deponieoberflächenabdichtung und eine PV-Anlage entstehen.

Im Rahmen des Forschungsvorhabens sollten auf der Deponie Leppe Testfelder errichtet werden, auf denen unterschiedliche Kombinationen von Solarzellen und Dichtungsbahnen hinsichtlich ihrer Beständigkeit, Praxistauglichkeit und elektrischen Leistungsfähigkeit verglichen werden. 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 ange-

passt sind. Daneben sollten auch bereits am Markt befindliche Verbunde aus Dachbahnen und Photovoltaikmodulen erprobt werden.

1.2. Vorteile des zu untersuchenden Systems

Das zu untersuchende System weist gegenüber den bisher realisierten PV-Anlagen auf Deponien folgende Vorteile auf:

- Geringerer Materialaufwand für die Montage der Solarzellen (keine Gestelle)
- Geringerer Silizium- und Energieverbrauch bei der Zellproduktion durch Verwendung von amorphen Dünnschichtmodulen
- Viel größere Verformungstoleranz durch Einsatz flexibler Solarzellen, daher auch für jüngere Deponieabschnitte geeignet, die erhebliche Setzungen aufweisen
- Gleichzeitige Verwendung als Deponieabdichtung (erhebliche Ressourceneinsparung und verbesserte Fassung von klimaschädigendem Deponiegas).
- Vereinfachte Anpassbarkeit der PV-Anlage an etwaige Setzungen der Deponie

Abbildung 2-1 zeigt das innovative System im Zeitraum, in dem es als Photovoltaikanlage und temporäre Deponieabdichtung eingesetzt ist, im Vergleich zur üblichen temporären Abdeckung mit Boden und einer darauf platzierten, herkömmlichen Solaranlage.

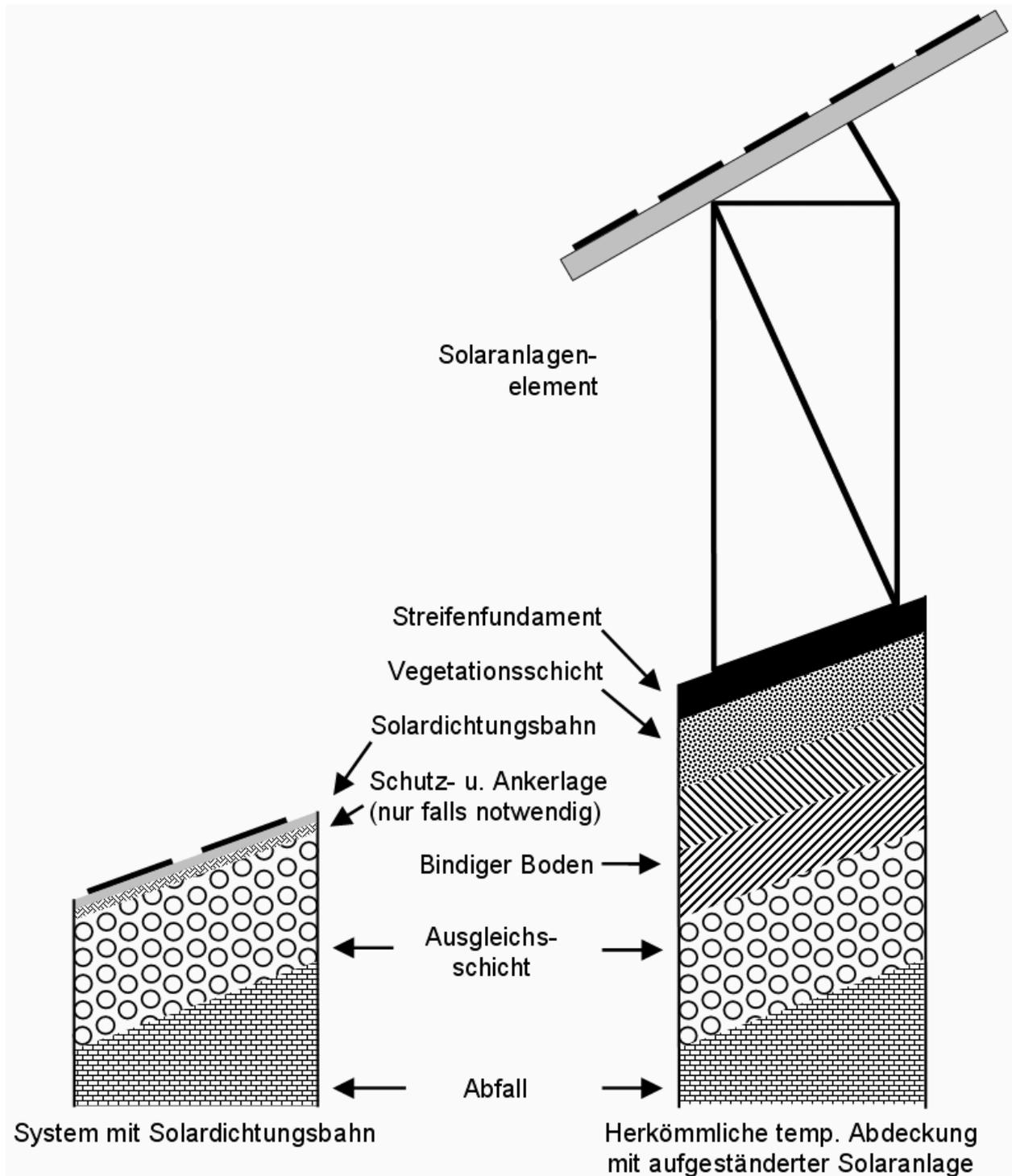


Abbildung 2-1: Temporäre Deponieabdichtung in Kombination mit einer Photovoltaikanlage als innovatives und als konventionelles System

1.3. Zu untersuchende Eigenschaften

- Verlegung und Verbindung der Bahnen

- Auswirkungen der Setzungen auf das System (Schäden, Wellenbildung etc.)
- Eignung zur Wiederaufnahme und Neuverlegung nach starken Setzungen
- Unterschiedliche Stromerzeugung und Verschmutzungsgefahr bei zwei deponietypischen Böschungsneigungen (1:3 und 1:10)
- Langzeitbeständigkeit
- Auswirkung unterschiedlicher Trägermaterialien auf den Wirkungsgrad der Module
- Auswirkungen der unterschiedlichen Wärmeausdehnungskoeffizienten
- Vergleich der Wirksamkeit unterschiedlicher Modultypen

1.4. Tatsächlicher Projektablauf

Nach der Bewilligung eines vorzeitigen Maßnahmebeginns im Oktober 2006 wurde am 30.11.2006 der Antrag auf Förderung des Projektes „PV-Anlage aus verformbaren Dünnschichtmodulen“ auf der Deponie Leppe des Bergischen Abfallwirtschaftsverbandes (BAV) in der Fassung vom 28.09.2006 von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) bewilligt.

Nach der Bewilligung des vorzeitigen Maßnahmebeginns wurde im November 2006 mit der Planung der Photovoltaik-Pilotanlage (PV-Anlage) auf der Deponie Leppe des BAV begonnen. Die Planung umfasste die Festlegung der Lage der Pilotanlage, der Anpassung des PV-Anlagenaufbaus unter dem Aspekt der Arbeitssicherheit und der Modulverfügbarkeit, Festlegung des voraussichtlichen Deponieprofils für die PV-Anlage und Ermittlung von Grunddaten für eine Wirtschaftlichkeitsberechnung des künftigen Betreibers.

Dadurch, dass notwendige administrative Entscheidungen in der ersten Hälfte des Jahres 2007 abgewartet werden mussten, kam es zu ersten Abweichungen vom ursprünglichen Zeitplan. Anfang Mai 2007 wurde mit der Profilierung des südwestlichen Hanges der Deponie für die PV-Anlage begonnen. Die Ausführung erfolgte planungsgemäß in einem Steilbereich mit einem Winkel zur Horizontalen von ca. 34° und einem Flachbereich von ca. 9° zu Realisierung der grundsätzlich angestrebten Steigungsvarianten.

Einzigster Hersteller, der für das Projekt geeignete Module auch liefern konnte, war UniSolar. Die notwendigen Testmodule für die Verbindungsversuche mit PE-HD Deponieabdichtungsbahnen standen zunächst nur in sehr geringer Menge und erst ab Sommer 2007 zur Verfügung. Dies führte zu erheblichen Verzögerungen im Projekt und schränkte die Möglichkeiten der technischen Entwicklung und der Durchführung von Belastungsversuchen etc. stark ein.

Im Interesse eines möglichst praxisrelevanten Erkenntnisgewinns aus den Versuchsfeldern und aufgrund mangelnder Verfügbarkeit einiger der geplanten Modultypen wurde der Anlagenaufbau überarbeitet.

Im Juli 2007 wurde eine beschränkte Ausschreibung für die benötigten Module angefertigt. Diese wurde am 02.08.2007 versandt. Die Angebotsfrist endete in der 34. Kalenderwoche 2007.

Da bis zum Submissionstermin kein Angebot eingegangen war, sollten die notwendigen Module dann direkt beim Hersteller bestellt werden.

Nach längeren Verhandlungen darüber, in deren Rahmen im Herbst 2007 auch eine Besprechung bei UniSolar in Frankfurt stattfand, war UniSolar Deutschland dann grundsätzlich bereit, sich bei UniSolar Amerika für einen Verkauf der für das Projekt benötigten Module einzusetzen. Im Februar 2008 kam dann von UniSolar die Nachricht, dass es einen Lieferengpass gäbe und eine Lieferung von Modulen für das Projekt daher nicht möglich sei. Eine Änderung dieser Situation werde nicht vor 2010/11 erwartet.

Tabelle 2-1: Verfügbarkeit von flexiblen Modulen im Februar 2008

Hersteller	Liefersituation Februar 2008
Sharp	Verweis an div. Händler, Info geschickt.
Sun-Master	Komplett ausverkauft, kann in absehbarer Zeit nichts liefern
Cis-Solar	Entwicklung der Cis-Module noch in der Pilotphase, voraussichtlich Ende 2009 verkaufsfähiges Produkt.
Solarlink	Kann Dünnschichtmodule via US-Hersteller Iowa Thinfilm liefern. Module kosten ein vielfaches der UniSolar Module und daher aus wirtschaftlichen Gründen ungeeignet.
Schott	Kann gewünschte Ausführung nicht herstellen, Datenblatt Schott ASI 86 Dünnschichtmodul.
First Solar	Nicht geeignet für unsere Anwendung und bietet nur an führende Projektentwickler und Betreiber von altern. Kraftwerken an.
Uni-Solar	Komplett ausverkauft.
Flexcell	Volle Produktion voraussichtlich ab Mitte/Ende 2008, nach kleiner Menge für Pilotanlage und größeren Mengen für später angefragt.
Powerfilm	Angefragt wie bei Flexcell. Firma ist Nachfolger von Iowa thin film solar.
Solara / Centrosolar AG	Nur leicht verformbare Module auf 1mm Stahlplatte. Biegeradius 3%. Teuer.
Sonnenstromfabrik	Gehört zu Centrosolar.
Sunware	keine geeigneten Produkte.
Fuji	Module werden nur in einer nicht endmontagegeeigneten Form geliefert
Photowatt	Entwicklung flexibler Module vorerst eingestellt (Stand 2007).
Odersun	Keinerlei Rückmeldung trotz diverser Anrufe und E-Mails.

Somit waren 2008 auf regulärem Weg keine Module für die Realisierung des geplanten Verbundes mit PE-HD Bahnen erhältlich. Daher wurde erneut nach verfügbaren Produkten anderer Hersteller gesucht, was aber wieder erfolglos verlief.

Gleichzeitig wurden Firmen, die UniSolar Module in eigenen Produkten verwenden, angefragt, ob sie bereit seien, aus ihrem Kontingent Module für das Forschungsvorhaben zu verkaufen. Im Mai 2008 gelang es schließlich, die Fa. Solar Integrated für eine solche Lieferung zu gewinnen. Da Vorversuche mit kleineren Teststreifen und 3 m Modulen erfolgreich verlaufen waren, wurde angesichts der äußerst schwierigen Beschaffungssituation beschlossen, sofort die benötigte Menge vollständig zu bestellen.

Danach wurde auch die Bestellung der Dachbahnlamine bei der Fa. Solar Integrated veranlasst. Im Juli 2008 erklärte schließlich auch die Fa. Alwitra bereit, Dachbahnlamine aus ihrer Produktion für die Testfelder zu liefern. Ebenso wurden Wechselrichter und die Module für die kristallinen Referenzfelder bestellt.

Ende August und im September trafen die bestellten Materialien vor Ort ein, so dass mit dem Bau der dachbahnbasierten Felder sowie der Referenzfelder begonnen werden konnte. Die Fertigstellung und Inbetriebnahme dieser Versuchsfelder erfolgt sukzessive bis Ende Oktober 2008.

Die Herstellung und Erprobung der Lamine aus Uni Solar Modulen und PE-HD Deponieabdichtungsbahnen erfolgte in Zusammenarbeit mit der Fa. agru Kunststofftechnik. Während die zuvor durchgeführten Versuche mit kleineren Modulstücken und maximal 3 m langen Modulstreifen vielversprechend verliefen, zeigten sich bei den nun zur Verfügung stehenden 6 m langen Modulstreifen deutliche Probleme hinsichtlich der Beständigkeit der Verbindung und der Bewältigung der unterschiedlichen Materialausdehnungskoeffizienten. Bis Mitte 2009 wurde versucht, diese Probleme durch Einsatz anderer Kleber, Modifikation der Kunststoffmischung und Bewehrung der Trägerbahn zu lösen. Ein zufriedenstellendes Ergebnis, das ein auch langfristig haltbares Produkt erwarten ließ, konnte jedoch nicht erzielt werden.

Im Jahr 2009 standen nun auch flexible Module der Firmen Fuji und Flexcell zur Verfügung. Im Herbst 2009 wurden elektrisch nicht funktionsfähige Testbahnen (Lamine mit optimierte PE-HD Dichtungsbahn) zur ersten Erprobung auf der Deponie Leppe eingebaut. Die Ausführung mit Flexcell Modulen bewährte sich dabei sehr gut, so dass nach abschließenden Tests Anfang 2010 beschlossen wurde, die noch ausstehenden Testfelder mit Lamine mit Flexcellbestückung zu realisieren. Anfang März 2010 lag das Angebot von agru bzw. deren Vertriebspartner G Quadrat für die Herstellung und Lieferung der Verbundbahnen vor. Nach einer Nachverhandlung des Preises standen die Bestellung der Modulverbundbahnen und der Bau der noch ausstehenden Testfelder unmittelbar bevor und seitens der DBU wurde einer kostenneutralen Verlängerung des Projekts zugestimmt.

Eine Bestellung der Module durch den BAV ist dann jedoch nicht erfolgt, da 2010 aus betrieblichen Gründen eine Umprofilierung des Versuchsanlagenstandortes notwendig war.

Die DBU forderte Anfang 2011 den termingerechten Abschluss des Projektes bis zum 30.6.2011. Die von Wasteconsult vorgeschlagene, weitere Verlängerung des Projektes und eine Installation der noch fehlenden Testfelder mit PE-HD Laminen konnte seitens des BAV aufgrund von Änderungen an der Deponie nicht durchgeführt werden.

2. Lage und Konzeption der Testfelder

2.1. Lage der PV-Anlage

Die Lage des Versuchsfeldes orientiert sich an mehreren Bedingungen. Das Feld muss eine südliche Ausrichtung aufweisen und die angestrebte Neigung des Untergrundes muss entweder schon vorhanden, oder mit möglichst geringem Aufwand realisierbar sein. Darüber hinaus sollte die Entfernung zum Einspeisepunkt möglichst gering, sowie eine Möglichkeit zur Einhausung von Wechselrichtern und Messgeräten vorhanden sein.

Aufgrund der notwendigen Südausrichtung und der angestrebten Untergrundneigung wurde der westliche Südhang der Deponie Leppe für die Versuchsanlage gewählt. Hier wurden zwei unterschiedliche Standorte für die PV-Anlage untersucht, wie Abbildung 2-1 zeigt. Beide Positionen weisen einen Steil- und einen Flachhangbereich in Richtung Süden auf. Position 1 hat aber optimale Südausrichtung für die solare Energieerzeugung. Für Position 2 sprach zunächst eine noch nicht vollständig ausgeführte Profilierung und Abdeckung der Deponieoberfläche. Da sich aber eine Nachprofilierung von Standort 1 aus deponietechnischen Gründen als sinnvoll herausstellte und die Einspeisepunkte für beide Positionen in vergleichbarer Entfernung liegen, fiel die Wahl auf Standort 1. Von dort führen auch Leerrohre in einen Betoncontainer, der als Schaltzentrale für die PV-Anlage mitbenutzt werden kann.

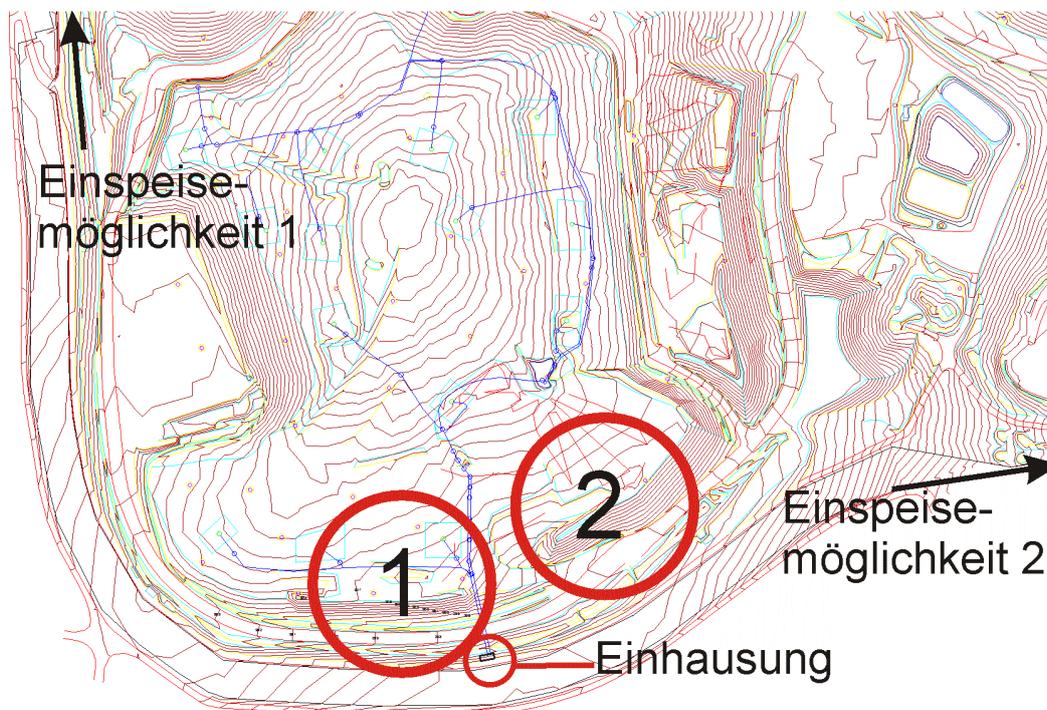


Abbildung 2-1 Untersuchte Positionen 1 und 2 im südwestlichen Deponiebereich

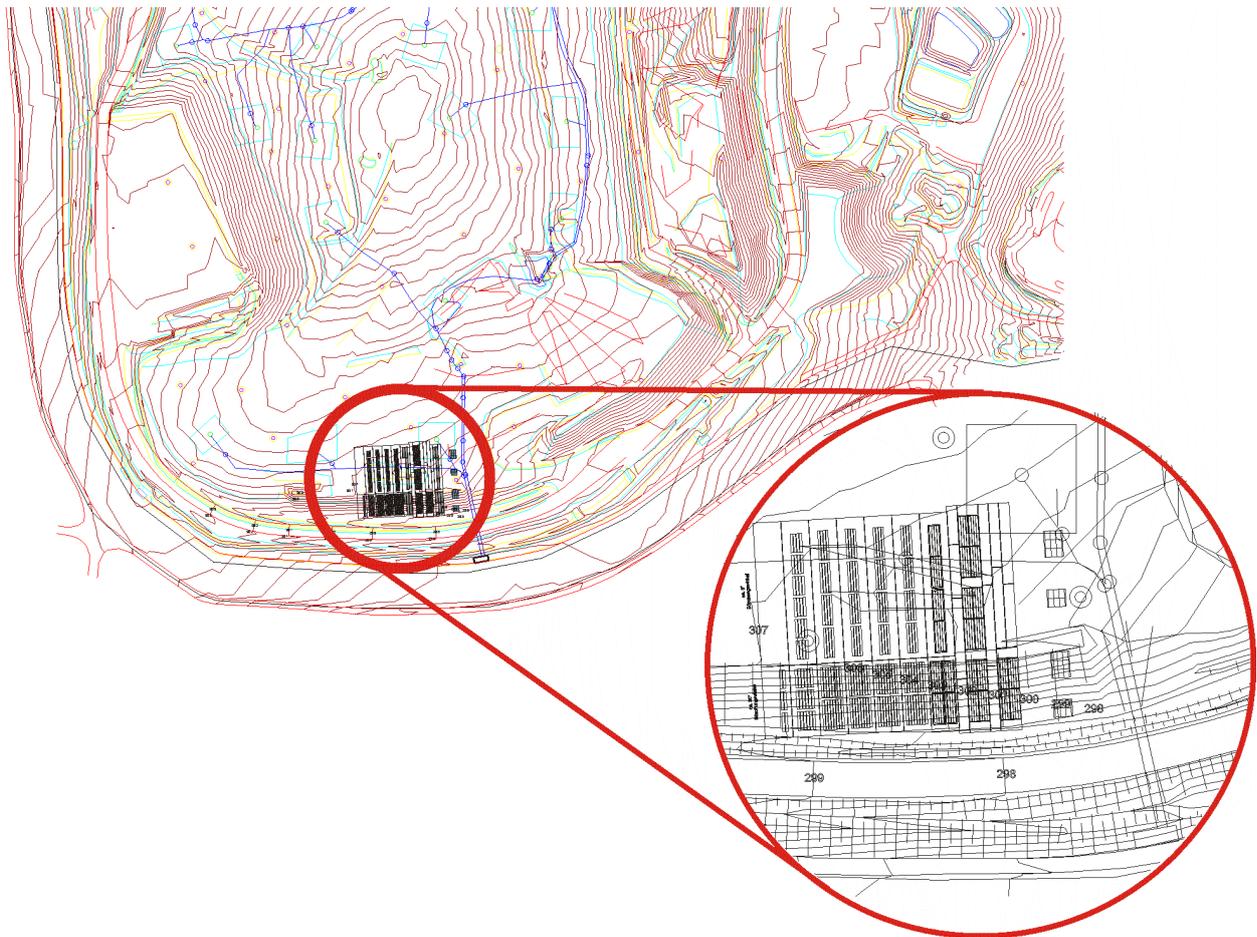


Abbildung 2-2 Lage des Versuchs- und Referenzfeldes im südwestlichen Deponiebereich

2.2. Aufbau des Versuchsfeldes

Als Trägermaterialien (Dichtungsbahn) wurden sowohl fertig laminierte Produkte mit Dachdichtungsbahnen als auch neu zu entwickelnde und zu erprobende Verbunde aus Deponiedichtungsbahnen aus PE-HD und flexiblen Solarzellen erprobt werden. Als Fertigprodukte aus dem Dachbereich wurden folgende Bahnen eingesetzt:

- Smart Roof® der Firma Solar Integrated, bestehend aus amorphen Dünnschichtmodulen der Firma Uni-Solar® und der Dachbahn Sarnafil-T der Fa. Sarnafil
- Evalon®-Solar der Fa. Alwitra, bestehend aus amorphen Dünnschichtmodulen der Firma Uni-Solar® und der Dachbahn Evalon® der Fa. Alwitra.

Da BAM-zugelassene Deponie-Kunststoffdichtungsbahnen untereinander sehr ähnliche Eigenschaften haben, wurde nur ein Produkt eines Herstellers erprobt. Die Wahl fiel auf die Fa. agru, von der die bis Projektbeginn auf der Deponie eingesetzten Dichtungsbahnen stammten.

Neben den oben bereits aufgeführten Untersuchungen wurden Voruntersuchungen zur geeigneten, durchdringungsfreien Verbindung von flexiblen Solarmodulen mit BAM-zugelassenen

Deponieabdichtungsbahnen aus PE-HD durchgeführt. Dabei wurden folgende Kombinationen erprobt:

- Amorphe Dünnschichtmodule der Firma Uni-Solar® mit Adapterrahmen aus der Dachbahn Sarnafil-T auf PE-HD-Bahn
- Amorphe Dünnschichtmodule Uni-Solar® mit Adapterrahmen (Dachbahn Evalon®)
- Amorphe Dünnschichtmodule der Firma Uni-Solar® direkt auf PE-HD-Bahn
- Amorphe Dünnschichtmodule direkt der Fa. Flexcell auf PE-HD-Bahn
- Amorphe Dünnschichtmodule von Fuji Electric Systems Ltd. direkt auf PE-HD-Bahn

Ursprünglich war vorgesehen, PE-HD Kunststoffdichtungsbahnen mit verschiedenen Stärken (1,5mm, 2,0mm, 2,5mm) zu verwenden. Versuche mit Teststreifen führten jedoch zu der Erkenntnis, dass bei 2mm Bahnstärke der günstigste Kompromiss zwischen Stabilität und Flexibilität vorlag. Daher wurde bei der weiteren Entwicklung nur eine Trägerbahnstärke von 2mm berücksichtigt.

Die adapterlosen Varianten ließen sich mit Modulen von UniSolar (bis Mitte 2009 die einzigen für uns verfügbaren flexiblen Module) trotz umfangreicher Versuche nicht dauerhaft haltbar herstellen und wurden daher nicht in der Versuchsanlage eingebaut. Als reine PE-HD Lösung ist unmittelbar nach bewilligter Verlängerung der Projektlaufzeit der Einbau von Verbunden aus PE-HD Bahn und Flexcell Modulen vorgesehen, bei denen als einzigem Modultyp Herstellbarkeit und Verfügbarkeit inzwischen sichergestellt ist. Die dafür vorgesehenen Testfelder sind im Lageplan mit einer Schraffur hinterlegt.

Die Testfelder werden sowohl mit in Gefällerichtung als auch mit quer zur Gefällerichtung verlaufenden Modulstreifen ausgeführt (siehe Lageplan).

Neben den elektrisch aktiven Versuchsfeldern gibt es noch einen auf dem Lageplan nicht eingezeichneten Bereich am Südhang, an dem die mechanische Beständigkeit verschiedener KDB-Modul-Verbunde erprobt wurde.

Abbildung 2-3 zeigt Varianten und Lageplan der Versuchsfelder.

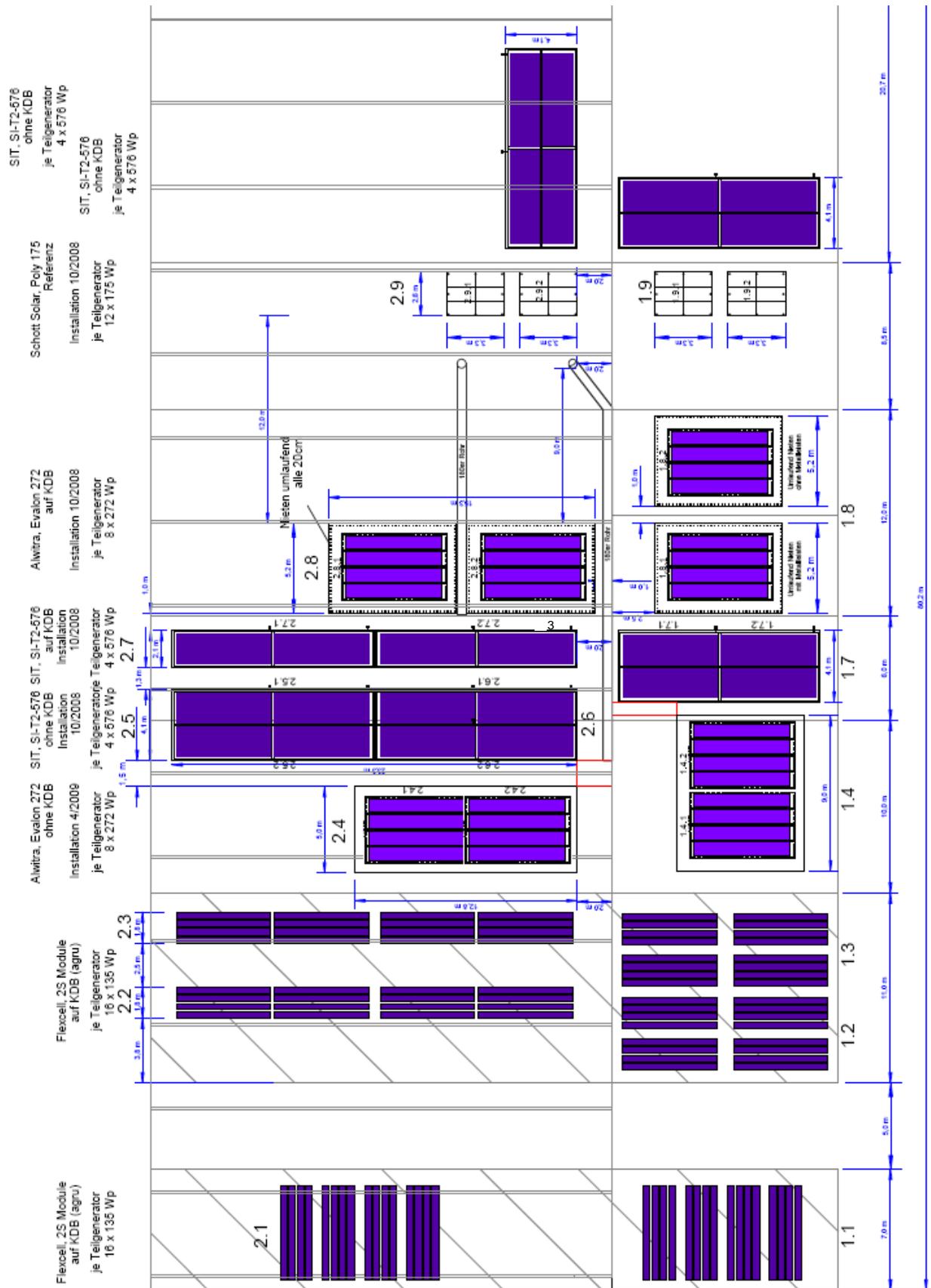


Abbildung 2-3 Plan Versuchsfeld (schraffierte Bereiche wurden nicht gebaut)

Durch die im Projektverlauf gewonnenen Erkenntnisse und externe Gegebenheiten kommt es zu Abweichungen von der zum Zeitpunkt des Projektantrags vorgesehenen Konfiguration bei den noch geplanten Varianten mit Modul-PEHD-Verbunden:

Tabelle 2-1 Gegenüberstellung aktuelle Versuchsfelder im Vergleich zum Projektantrag

Variante	Bestand bzw. <i>aktuelle Planung</i>		Ursprüngliche Planung	
	Träger	Modul/Dachbahn	Träger	Modul/Dachbahn
I	Dachbahn Sarnafil T	UniSolar	Dachbahn Sarnafil T	UniSolar
II	Dachbahn Evalon	UniSolar	Dachbahn Evalon	UniSolar
III	KDB	UniSolar Modul auf Dachbahn Sarnafil T	KDB	UniSolar Modul auf Dachbahn Sarnafil T
IV	KDB	UniSolar Modul auf Dachbahn Evalon	KDB	UniSolar Modul auf Dachbahn Evalon
V	<i>KDB</i>	<i>Flexcell Modul längs</i>	<i>KDB</i>	<i>UniSolar Modul</i>
VI	<i>KDB</i>	<i>Flexcell Modul längs (großflächiger Einbau)</i>	<i>KDB</i>	<i>Spheral Solar Power Modul</i>
VII	<i>KDB</i>	<i>Flexcell Modul quer</i>	<i>KDB</i>	<i>Fuji Modul</i>
Referenz	Rahmen	Kristalline Module	Rahmen	Kristalline Module

3. Verbindungsversuche und Einbau der Solarbahnen

3.1. Materialien und Verbindungsarten

Zur Ermittlung einer geeigneten Verbindung zwischen Solarmodul und Kunststoffdichtungsbahn sowie zwischen Dach- und Kunststoffdichtungsbahn wurden Verbindungsversuche durchgeführt. Dabei waren 2 Fälle zu betrachten:

- a. Die flächige Verbindung (z.B. zwischen Modul und KDB oder zwischen auf KDB aufliegender Dachbahn und KDB [Feld 2])
- b. Die Randverbindung (z.B. Verbindung von KDB und Dachbahn zwischen Feld 1 und 2)

Bei der flächigen Verbindung wurden 3 Varianten erprobt:

- i) Kaschieren der Module (Einlaufenlassen der Module in das heiße und zähflüssige HDPE während des Produktionsprozesses der KDB)
- ii) Flächige Verklebung von Modul und KDB
- iii) Rahmenkonstruktion aus PEHD-Material: Vernieten des Rahmens mit dem Modul (falls machbar) und Verschweißung des Rahmens mit der KDB.

Bei der Randverbindung wurden ebenfalls 3 Möglichkeiten untersucht. Hinsichtlich Aufwand

und Qualität der Verbindung im Erfolgsfall ergibt sich folgende Reihenfolge:

- i) Verschweißung der Bahntypen miteinander (bevorzugte Lösung)
- ii) Verklebung
- iii) Rahmenkonstruktion aus PEHD-Material: Vernieten des Rahmens mit der Dachbahn und Verschweißung des Rahmens mit der KDB. Die Verbindung von Feld 1 und 2 könnte ähnlich ausgeführt werden: Vernietung der Dachbahn und der KDB und darüber hinaus Aufschweißen eines zusätzlichen PEHD-Streifens auf die KDB. Dieser Streifen soll die Verbindung zwischen Dachbahn und KDB überlappen.

Für die Verklebung von KDB und Dachbahn wurden spezielle Mehrkomponenten-Kleber eingesetzt, die sich laut Hersteller zur Verbindung der Kunststoffe der KDB und der Dachbahnen eignen könnten.

3.2. Rahmenkonstruktion als Adapter zur Nachrüstung von Dichtungsbahnen mit Photovoltaikmodulen/Solar-Dachbahnen

Abbildung 3-1 zeigt einen Adapter (1), der die flexiblen Solarmodule (2) oder Dachbahnen (2) mit der KDB (3) verbindet. Die Solarmodule (2) oder die Dachbahn (2) werden mechanisch mit einem Rahmen (1) oder einem durchgehenden Streifen aus PE-HD verbunden (z.B. vernietet). Der Rahmen (1) selbst, der aus dem gleichen Material wie die KDB (3) besteht, wird mit der KDB (3) verschweißt. Auf diese Weise sind sowohl neue Dichtungsbahnen als auch bestehende Oberflächen mit Solarmodulen ausrüstbar.

Abbildung 3-2 zeigt einen KDB-Streifen (1), der bei nicht durchgehender Verbindung die Verbindung zwischen Dachbahn (2) und KDB (3) schützt. Die Dachbahn (2) wird mechanisch der KDB (3) und dem darauf aufgeschweißten KDB-Streifen verbunden (z.B. vernietet (4)). Der KDB-Streifen (1) selbst, der aus dem gleichen Material wie die KDB (3) besteht, wird mit der KDB (3) verschweißt. Auf diese Weise wird das Eindringen von Wasser in den Deponiekörper gehemmt und dem Abheben durch Windeinwirkung entgegengewirkt. Außerdem sind Dachbahn und KDB mechanisch stabiler verbunden.

Eine Rahmenkonstruktion wurde für die Verbindung der Alwitra Evalon Bahnen mit der PE-HD Deponiebahn verwendet, da eine direkt Verschweißung oder Verklebung nicht gelang.

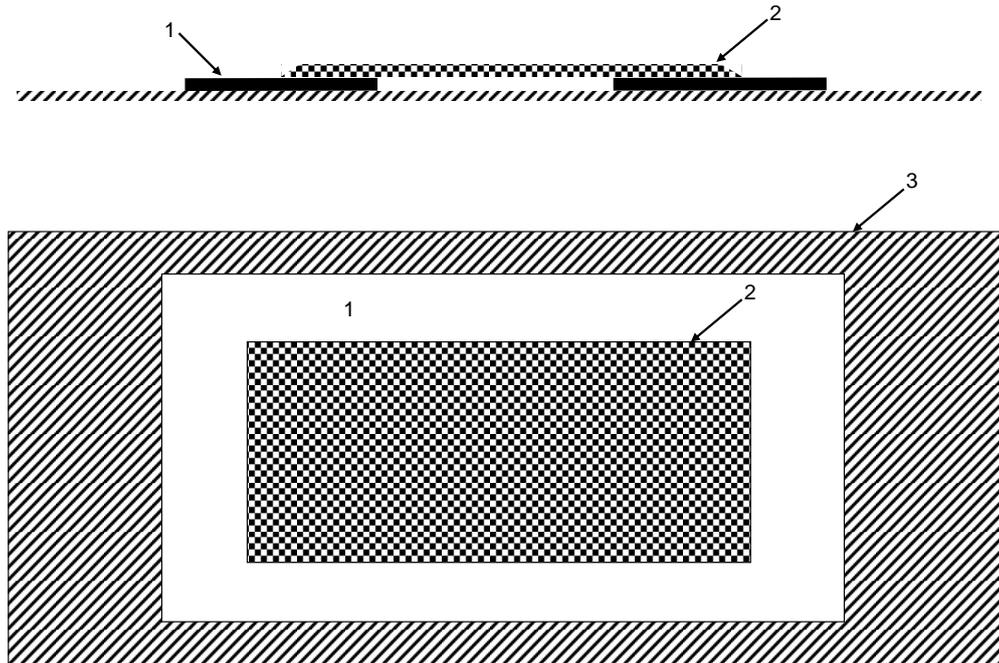


Abbildung 3-1 Adapter zur Nachrüstung von Dichtungsbahnen mit Solarmodulen

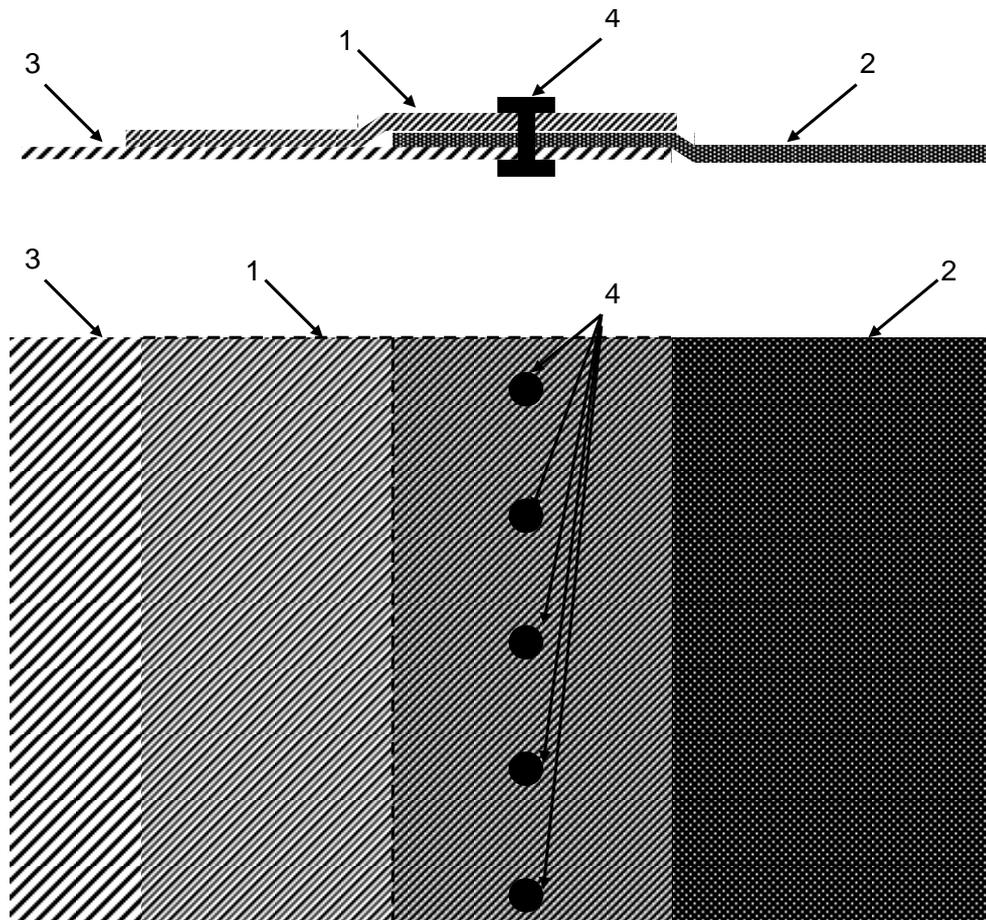


Abbildung 3-2 Adapter zur Nachrüstung von Dichtungsbahnen mit Solar-Dachbahnen

3.3. Verbindungsversuche und Einbau von KDB und Solarmodulen

3.3.1. Kaschierung von Kunststoffdichtungsbahn und UniSolar Modul

Bei der Kaschierung wird das Solarmodul während der Produktion der Kunststoffdichtungsbahn direkt in das noch heiße und zähe HDPE eingelassen. Bei der Abkühlung soll so ein Produkt mit einer festen Verbindung beider Komponenten entstehen.

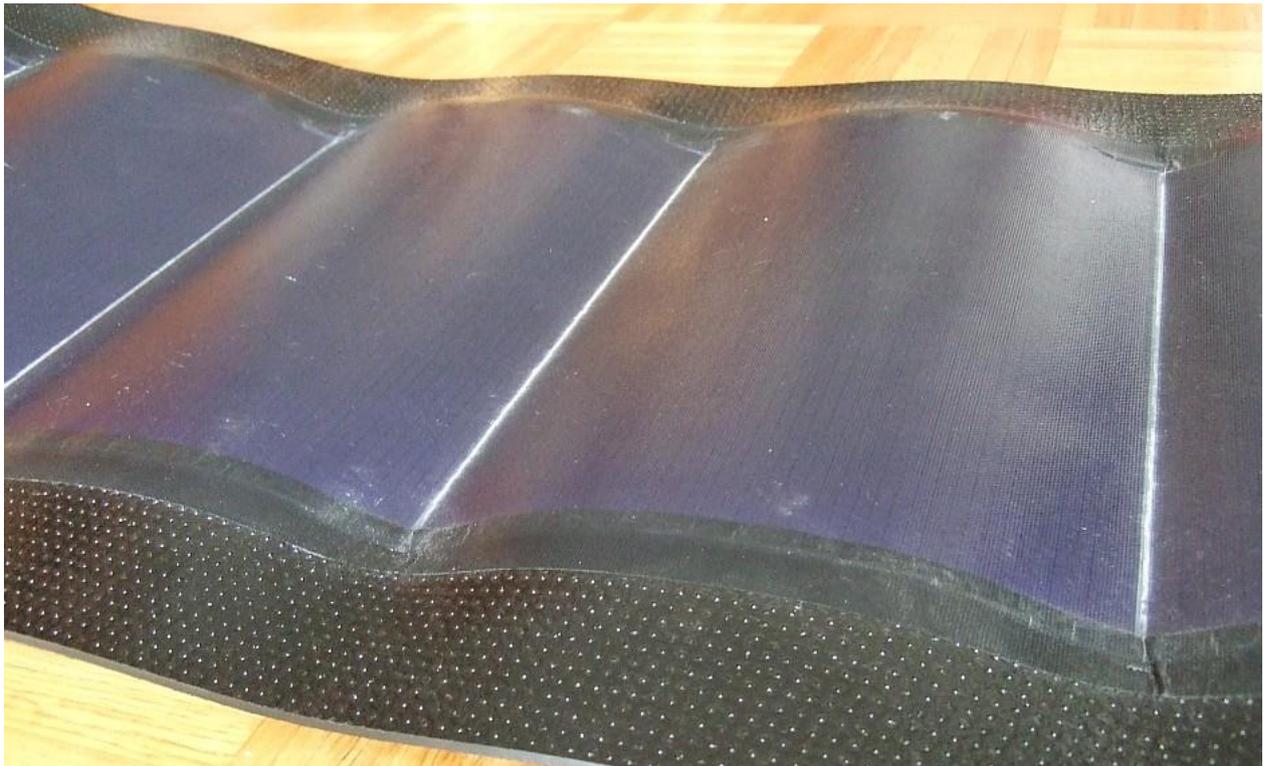


Abbildung 3-3 KDB mit aufkaschiertem Solarmodul

Wie Abbildung 3-3 zeigt, kam es durch die Kaschierung zu starken Verformungen des Solarmodulstreifens, der aus einem Verbund aus Silizium, Metallfolie und ETFE Kunststoffumhüllung besteht. Dieser ist weder für die hohen Temperaturen beim Kaschieren noch für das Durchfahren eines so großen Temperaturbereichs spezifiziert. Knicke bildeten sich jeweils im Randbereich zwischen den einzelnen Solarmodulen des Streifens aus. Als Grund hierfür sind die unterschiedlichen Ausdehnungskoeffizienten zu sehen.

Dieses Verfahren erwies sich somit als nicht geeignet zur Verbindung der Komponenten Kunststoffdichtungsbahn und Solarmodul. Neben der möglichen Zerstörung des Moduls besteht durch die Wellenbildung auch die Gefahr der Ablösung der Modulstreifen von der Kunststoffdichtungsbahn, vor allem in den Randbereichen. Zusätzlich wird durch die Wellenbildung eine optimale Ausrichtung der Module behindert, da der Einstrahlwinkel innerhalb der Solarzelle durch die Wölbung variiert, was Einbußen bei der Energieausbeute zur Folge hat.

3.3.2. Flächige Verklebung von Kunststoffdichtungsbahn und Modul

Eine flächige Verklebung bietet im Gegensatz zur umläufigen Randverklebung einen entscheidenden Stabilitätsvorteil, denn das Modul kann sich mit dem entsprechenden Klebemittel so nur schwer von der KDB lösen. Zudem wird die flächige Verbindung des Moduls mit einem Kunststoffträger als Voraussetzung für die Garantie durch den Modulhersteller gefordert.

Die Verbindungsversuche wurden in den Einrichtungen der Firma AGRU Kunststofftechnik durchgeführt. Agru ist Hersteller von Kunststoffdichtungsbahnen, die von der Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung für die Verwendung auf Deponien zertifiziert sind. Die Oberflächenabdichtung / Abdeckung der Deponie Leppe, auf der die Versuchsanlage errichtet wird, besteht aus Dichtungsbahnen der Fa. Agru. Da die Firma über eine umfangreiche Produktions- und Prüfungsausstattung verfügt, konnte eine Untersuchung auf hohem technischem Niveau mit umfangreichem personellem Fachwissen sichergestellt werden. Zusätzlich zur Untersuchung und Identifizierung der geeigneten Verbindung kann somit mit der Produktion von technisch einwandfreien Solarmodul-Kunststoffdichtungsbahn-Kombinationen begonnen werden.

Im Jahr 2008 wurden gemeinsam mit mehreren Anbietern von flexiblen Solarmodulen, technische Evaluierungen der technischen Umsetzbarkeit durchgeführt. Aufgrund der großen Nachfrage und des limitierten Angebotes von Modulherstellern, standen bis September 2008 nur Module von Unisolar zur Verfügung. Für die Versuche standen 3m lange Modulstreifen zur Verfügung (in den Testfeldern werden 6 m lange Module eingesetzt). Zur Prüfung der Verbindung wurden Temperaturwechselversuche bei -40 °C / $+85\text{ °C}$ in zwölfstündigen Zyklen durchgeführt. Bei diesen Prüfungen wurde keine Ablösung festgestellt. Abzugsversuche wurden ebenfalls durchgeführt.



Abbildung 3-4 KDB mit aufgeklebten UniSolar Modul (Länge 3 m)

Nach den erfolgversprechenden Laborversuchen stellte sich bei Freilandversuchen mit den nur beschaffbaren / beschafften 6 m Modulen heraus, dass die Verbindung mit dem modulherstellerseitig gelieferten Kleber den Beanspruchungen durch Temperaturwechsel nicht über längere Zeit gewachsen war. Hauptursachen dafür sind die schlechte Verklebbarkeit von PE-HD sowie dessen sehr hoher Wärmeausdehnungskoeffizient. Es liegen also ganz andere Bedingungen als bei aus anderen Kunststoffen hergestellten Dachbahnen vor.

Zur Lösung des Problems wurden zahlreiche Wege beschritten:

- Erprobung anderer Kleber
- Modifikation der Kunststoffzusammensetzung, Einsatz anderer Kunststoffe
- Bewehrung der Kunststoffbahn durch Einlegen von Gewebegittern und Metallfolien
- Fortgesetzte Suche nach lieferbaren flexiblen Solarmodulen anderer Hersteller

:Im Frühjahr 2009 wurden auf der Deponie dann zahlreiche Testbahnen eingebaut. Dabei handelte es sich u.a. um folgende Typen:

- HDPE Dichtungsbahn, coextrudiert (schwarz/weiß) - Oberfläche weiß, mit Gewebeeinlage. Vorteil: Wesentlich geringere Aufwärmung der Platte sowie eine geringere Ausdehnung und somit eine bessere Haltbarkeit der Module auf der Dichtungsbahn.
- TPO (thermoplast. Polyolefin) Dachbahn (Basis PP), coextrudiert (schwarz/hellgrau) - Oberfläche hellgrau, mit Gewebeeinlage. Aufgrund der PP-Basis geringere Ausdehnung der Gewebeeinlage. Diese Bahn dehnt sich wesentlich weniger aus als die PE-HD Bahn. Nachteil: Schwierig mit PE-HD zu verbinden
- HDPE Bahn mit Aluminium-Sperrschicht in der Mitte, schwarz. Auch bei dieser Bahn treten aufgrund der Alu-Sperrschicht sehr geringe Dehnungen auf. Hier ist die Haltbarkeit des Solarmoduls auf der Bahn wesentlich besser.

Weitere Varianten mit anderen Einlagen oder aus PP wurden ebenfalls erprobt. Ein vollständig zufriedenstellendes Ergebnis wurde jedoch mit keiner Variante erzielt (Abbildung 3-5).

3.3.3. Verbunde mit Fuji und Flexcell Modulen

Im Sommer 2009 waren nun auch Module von Fuji und von Flexcell verfügbar. Im Herbst 2009 wurden die ersten Testbahnen mit diesen Modulen eingebaut. Mit den Modulen von Fuji konnte bereits eine Verbesserung erzielt werden, aber es kam noch zu Randablösungen (Abbildung 3-6).

Mit den Modulen von Flexcell gelang es jedoch schließlich, einen tadellosen und haltbaren Verbund mit der PE-HD Bahn herzustellen (Abbildung 3-7). Im Winter 2009/2010 wurden von agru Optimierungen und Tests des Produktes durchgeführt. Anfang März lag dann das Angebot für die Lieferung der fertigen KDB-Modul Verbunde vor. Deren Bestellung und Einbau ist unmittelbar nach Bewilligung einer Vorhabensverlängerung vorgesehen.

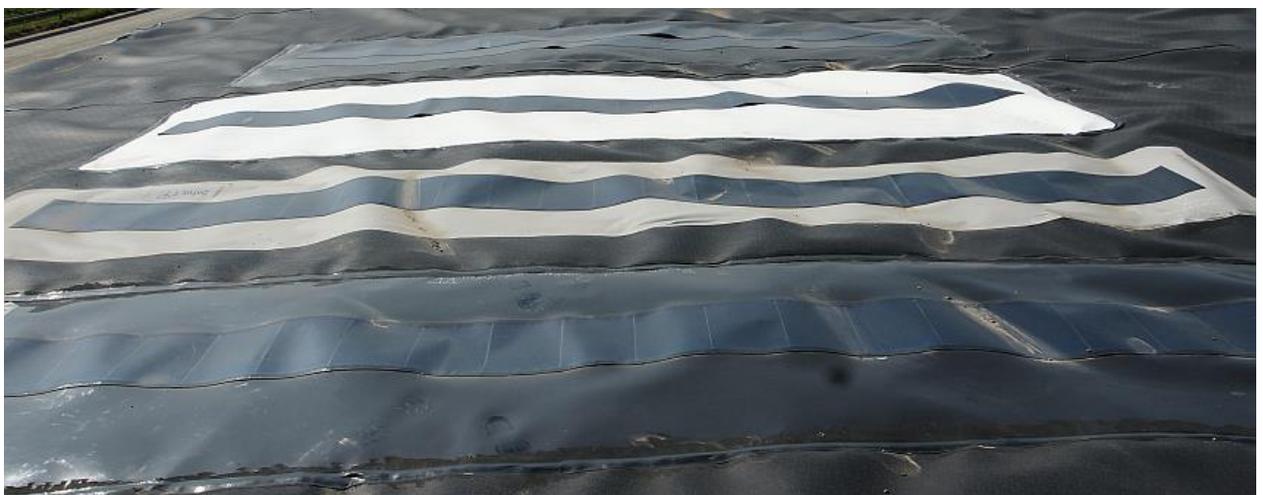
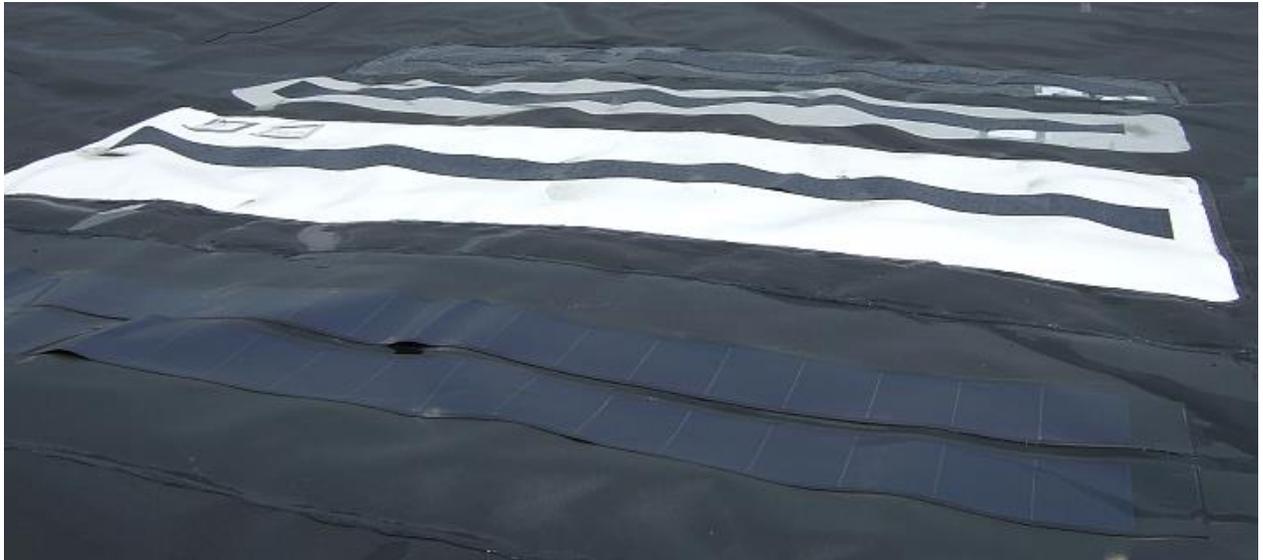


Abbildung 3-5 Teststreifen, die im Frühjahr 2009 eingebaut wurden

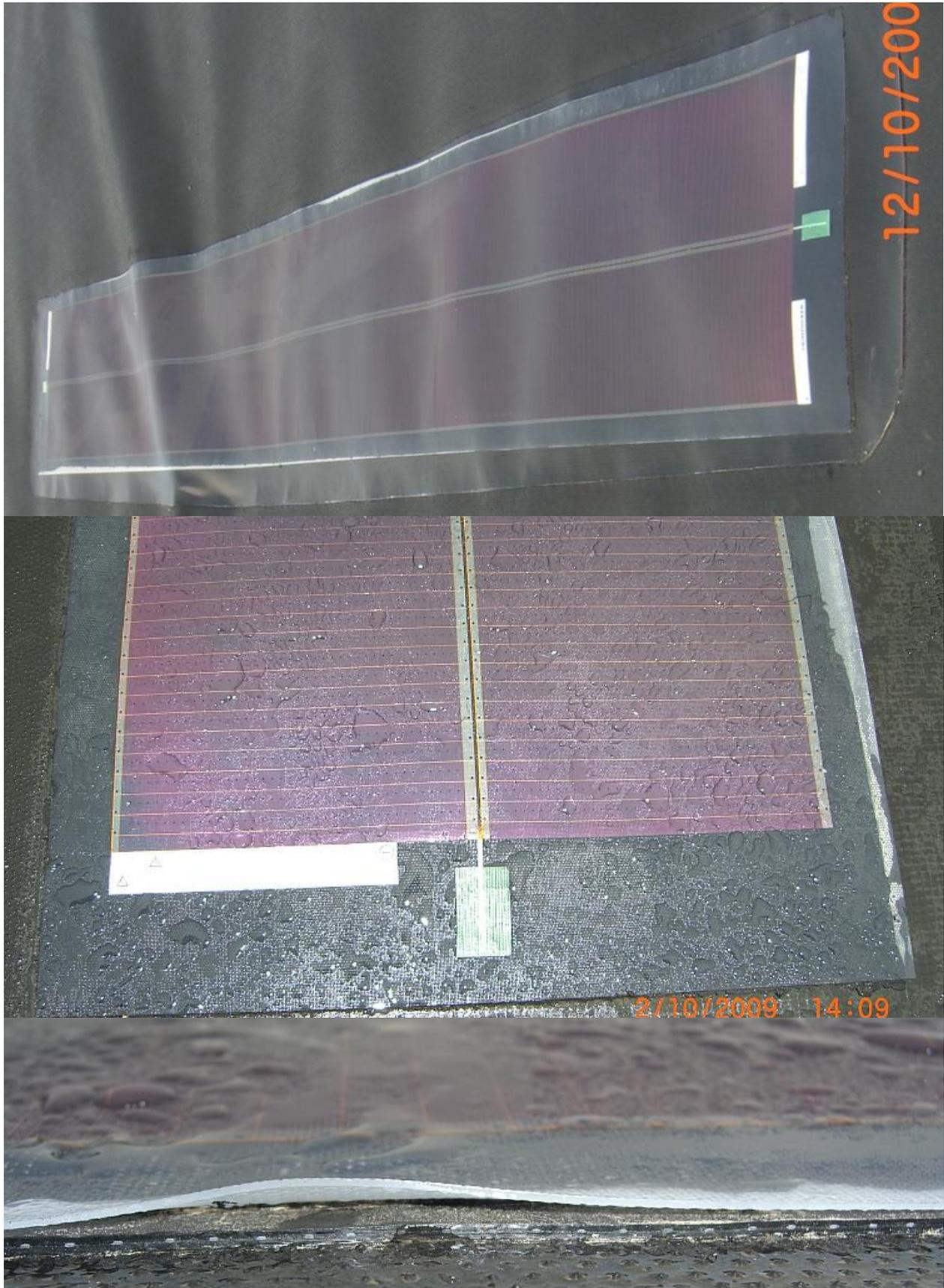


Abbildung 3-6 Randablösungen beim Verbund mit Fuji Modulen

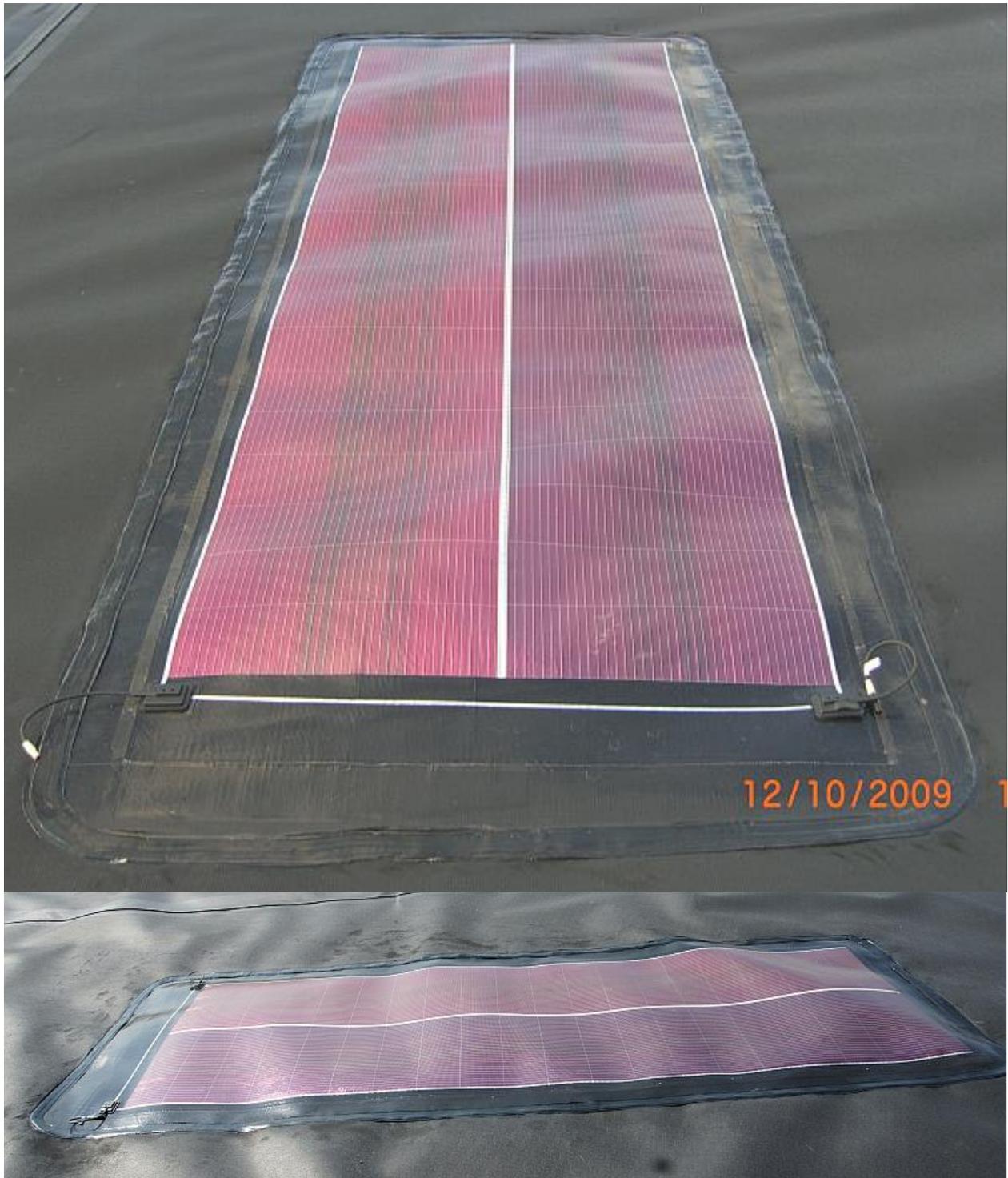


Abbildung 3-7 Verbund KDB mit Flexcell Modulen

3.4. Ergebnisse der Verbindungsversuche von KDB und Dachbahn

3.4.1. Bahnen von Solar Integrated / Sarnafil

3.4.1.1. Verschweißung von Dach- und Kunststoffdichtungsbahn

Das Extrusionsschweißen ist laut der DVS-Richtlinie 2225-1 wie folgt gekennzeichnet. Es wird mit einem Schweißzusatz (Extrudat) aus artgleichem Grundmaterial (in diesem Fall PEHD) geschweißt. Der Schweißzusatz wird in einer Plastifiziereinheit (in diesem Fall Extruder) plastifiziert und als Strang über einer Düse (Schweißschuh) auf die Fügefläche aufgebracht. Die Fügefläche wird vornehmlich durch Warmgas (z.B. Luft) oder Wärmestrahlung erwärmt und in den thermoplastischen Zustand überführt. Gefügt wird unter Anwendung von Kraft. Diese wird nach oder bei Ein- oder Aufbringen des Schweißzusatzes aufgebracht.

Vor der Verschweißung wurden die Bahnen von Staub und Schmutz befreit. Der Arbeitsablauf der Verschweißung war im Versuch durch zwei generelle Arbeitsschritte in Anlehnung an die DVS-Richtlinie gekennzeichnet.

1. Provisorische Verbindung von Dach- und Kunststoffdichtungsbahn durch Erhitzung der Kontaktflächen und nachfolgendem Zusammendrücken (Anleisten)
2. Aufbringung der extrudierten PEHD-Masse auf die Überlappungsfläche von KDB und Dachbahn

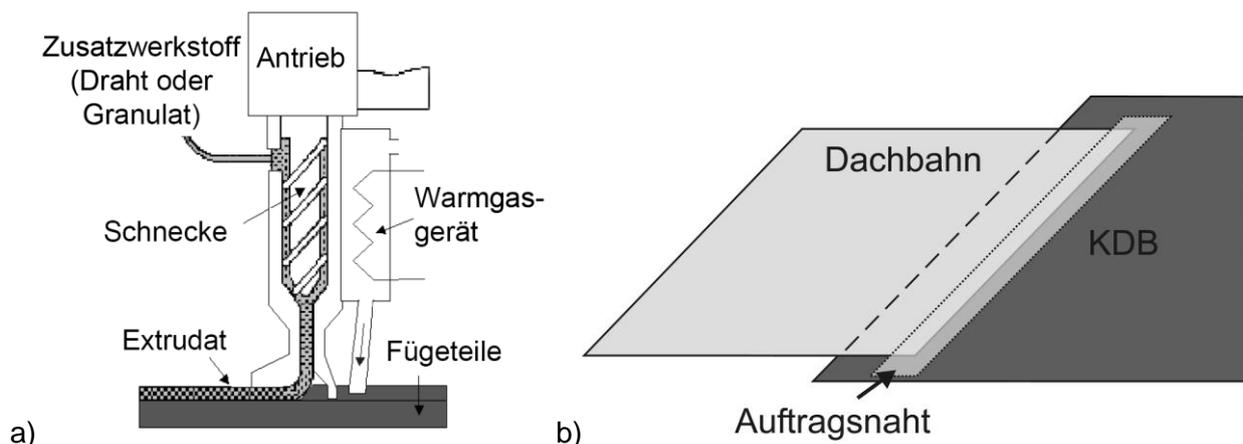


Abbildung 3-8 a) Schema des Extrusionsschweißens (Gehde und Tüchert, 2003), b) Schema der Nahtlage

Für den Schweißversuch wurden aus einer Sarnafil-Dachbahn Proben geschnitten (Abmessungen ca. 200*300mm). Nach Säuberung wurden diese auf der KDB fixiert. Mit Hilfe eines Winkelschleifers wurde die Fügefläche danach angeraut. Die Dachbahnprobe wurde sowohl mit der glatten Oberfläche, als auch mit der strukturierten Oberfläche der KDB mit Hilfe des Extrusionsschweißverfahrens verbunden. Abbildung 3-9 zeigt die Fixierung der Füge-teile sowie den Schweißvorgang während des Versuches.

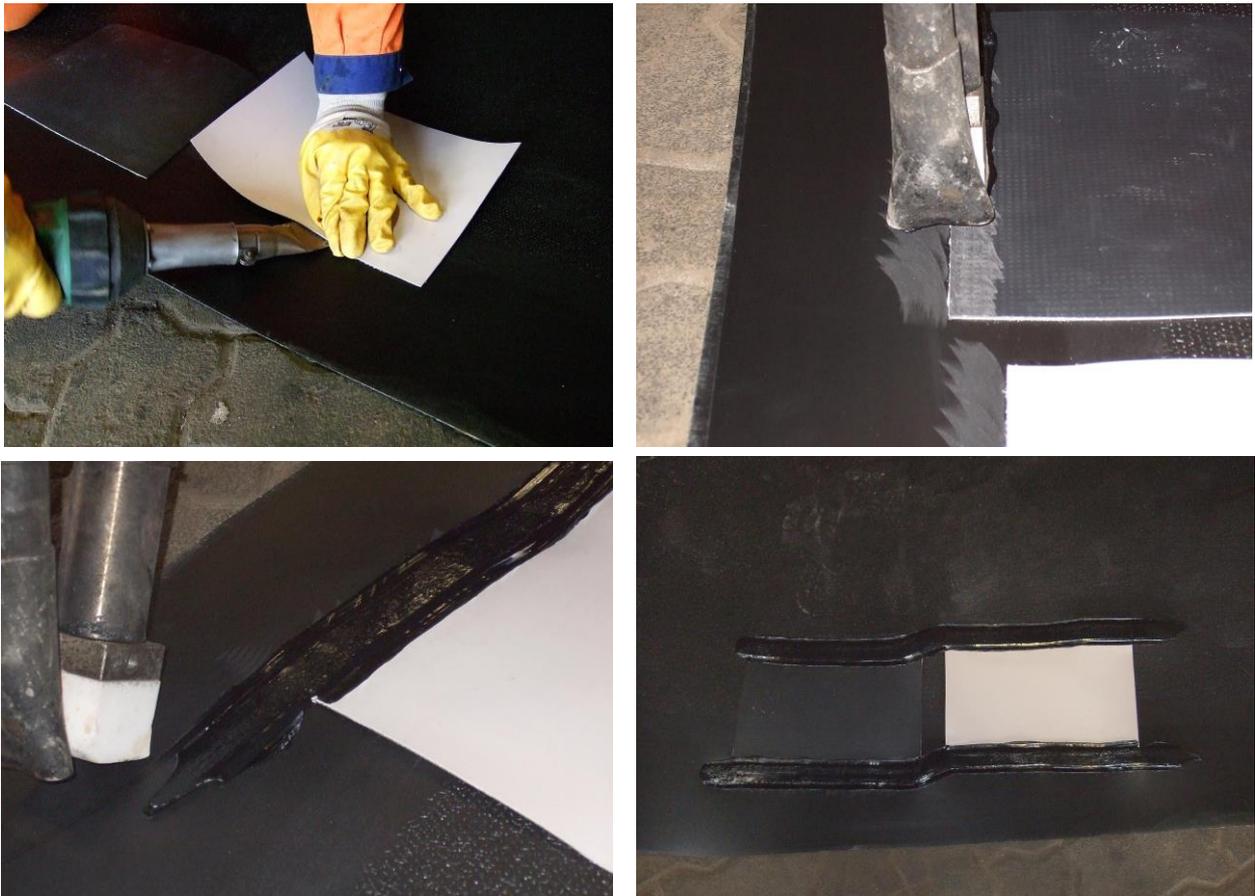


Abbildung 3-9 Fixierung der Fügeteile und Aufbringen des Extrudats auf die Fügefläche



Abbildung 3-10 Aus dem Schweißgefüge geschnittene Probe

Nach Abkühlung des Extrudats wurden Proben aus dem Schweißgefüge für eine erste optische Beurteilung herausgeschnitten (Abbildung 3-10). Untersucht wurde die Gefügefläche, bzw. die Grenzfläche zwischen Dachbahn/KDB und Dachbahn/Extrudat.

Trotz eines optisch stabilen Eindruckes löste sich die Dachbahn schon bei relativ geringer Belastung (manuelles Ziehen) vom Extrudat. Die Verbindung der Dachbahn mit der KDB wirkte wie eine mechanische „Einspannung“ zwischen Extrudat und KDB (Abbildung 3-11).



Abbildung 3-11 Querschnitt Dachbahn-KDB-Verschweißung mit abgelöstem Extrudat

Durch Extrusionsschweißen ließ sich also keine geeignete Verbindung zwischen PE-HD KDB und Dachbahn herstellen.

3.4.1.2. Verklebung von Dach- und Kunststoffdichtungsbahn

Für die Klebeversuche standen drei verschiedene Kleb- und Dichtstoffe der Firma Sika Deutschland zur Verfügung.

1. Sikaflex®-221 (Dichtstoff)
2. Sikaflex®-222UV (UV-beständiger Dicht- und Klebstoff)
3. Sikaflex®-521UV (UV- und witterungsbeständiger Dichtstoff)

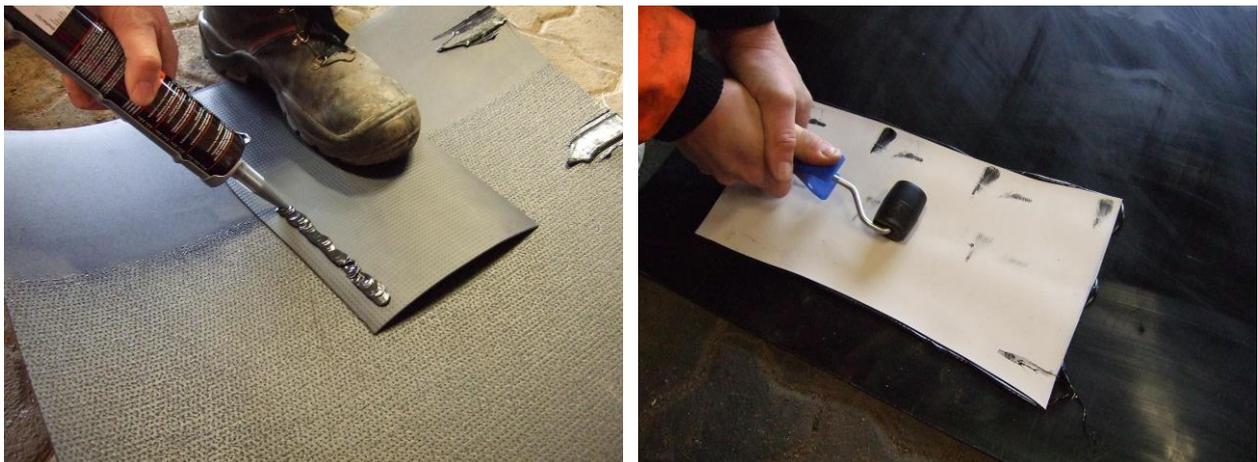


Abbildung 3-12 Verklebung von Dachbahn und KDB

Die Verbindung mit Dachbahnen wurde an strukturierten und glatten KDB vorgenommen. Hierfür wurden Dachbahnproben (Abmessungen ca. 200*300mm) mit dem jeweiligen Dicht- bzw. Klebstoff versehen und auf die KDB aufgedrückt. Mit einem Handroller wurde die Dachbahn im Bereich des Klebemittels auf die KDB aufgedrückt (Abbildung 3-12).

Anschließend wurden die verklebten Bahnstücke ausgeschnitten. Eine Aushärtezeit von einem

Tag (bei 10°C) musste abgewartet werden. Bei der anschließenden Betrachtung konnte qualitativ festgestellt werden, dass die Klebeverbindungen mit dem Dichtstoff Sikaflex®-221 und dem UV-beständigen Dicht- und Klebstoff Sikaflex®-222UV leicht zu lösen sind und somit keine ausreichend zuverlässige Bindung zwischen den Komponenten Kunststoffdichtungsbahn und Dachbahn bieten. Das Produkt Sikaflex®-521UV (UV- und witterungsbeständiger Dichtstoff) härtete langsamer aus und führte zu einer etwas festen, aber immer noch leicht manuell zu lösenden Verbindung. Die erprobten Kleber bzw. Dichtmassen sind somit nicht für die Verbindung von KDB und Dachbahn geeignet.

3.4.1.3. Vernietung von Dach- und Kunststoffdichtungsbahn

Zur Vernietung von Dachbahn und HDPE-Adapter wurden Blindnieten (\varnothing Nietkopf = 14mm, \varnothing Nietschaft = 5mm. Länge Nietschaft = 10mm) und M5-Unterlegscheiben (\varnothing innen = 5,3mm, \varnothing außen = 11mm, Dicke = 1,2mm) zur Vermeidung der Durchdrückung verwendet.

Die Dachbahn wurde auf die KDB gelegt und beide wurden durchbohrt (\varnothing = 5mm). Die Blindniete wurde mit dem Dorn nach oben durch das Bohrloch auf die Dachbahn gesteckt. Von unten (d.h. auf die KDB-Rückseite) wurde die Unterlegscheibe auf den Nietschaft gesteckt (. Dies wurde erfolgreich vernietet. Eine Durchdrückung konnte nicht festgestellt werden. Manuell konnte die Verbindung nicht gelöst werden.

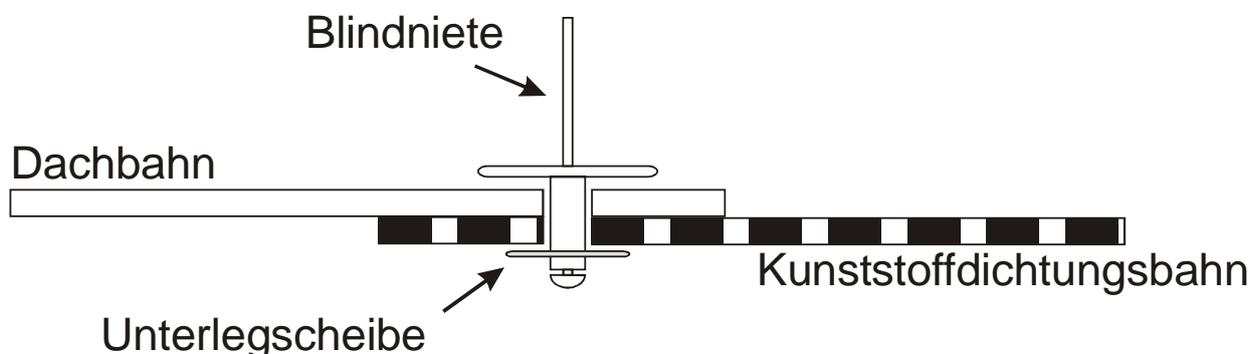


Abbildung 3-13 Vernietungs-Schema

3.4.1.4. Einsatz eines Sarnafil Adapterstreifens

Von Solar Integrated wurde ein Adapterstreifen aus einem zweischichtigen Kunststoffkomposit geliefert. Es handelte sich um einen Restbestand, der ursprünglich zur Verbindung eines älteren und des aktuellen Typs der Sarnafil Dachbahnen genutzt worden ist. Dieser ließ sich auf der einen Seite mit der Solar Integrated Bahn und auf der anderen Seite mit der PE-HD Deponieabdichtung verschweißen. Dies ergab eine zuverlässige und leicht herzustellende Verbindung, so dass die Bahnen von Solar Integrated so eingebaut wurden.



Abbildung 3-14 Solar Integrated Testfeld im Steilbereich

3.4.2. Dachbahnen der Fa. Alwitra

Der Kunststoff der Alwitra Evalon Solar Bahnen ließ sich nicht haltbar mit PE-HD verschweißen. Gleiches gilt für die Evalastic Bahn von Alwitra (Abbildung 3-15).

Daraufhin wurde eine Adapterlösung für die Alwitra Bahn entwickelt. Sie besteht aus einer agru PE Tunnelbahn, die einseitig mit einem Schutzfließ beschichtet ist. Dieses Schutzfließ wurde mit Kemperol 2K-pur Kleber getränkt und mit dem an der Unterseite der Evalon Bahn befindlichen Gewebeschicht verklebt (Abbildung 3-16). Unter Laborbedingungen konnte Damit eine gute Festigkeit der Verbindung erzielt werden. Die Tunnelbahn wiederum konnte mit der PE-HD Deponieabdichtungsbahn direkt verschweißt werden.

Im großflächigen Einsatz kam es jedoch örtlich zu Ablösungen der verklebten Fliese von der Tunnelbahn (Abbildung 3-18) die abgesehen von mechanischer Überlastung möglicherweise durch eine ungenügende Trocknung des Kleber bedingt sein könnten. Um die nötige mechanische Stabilität zu erreichen, wurde die Evalon Bahn zusätzlich vernietet (Abbildung 3-19). Auf Vorschlag von Alwitra wurde die Vernietung bei einem Bild noch durch Metallschienen verstärkt
Abbildung 3-20

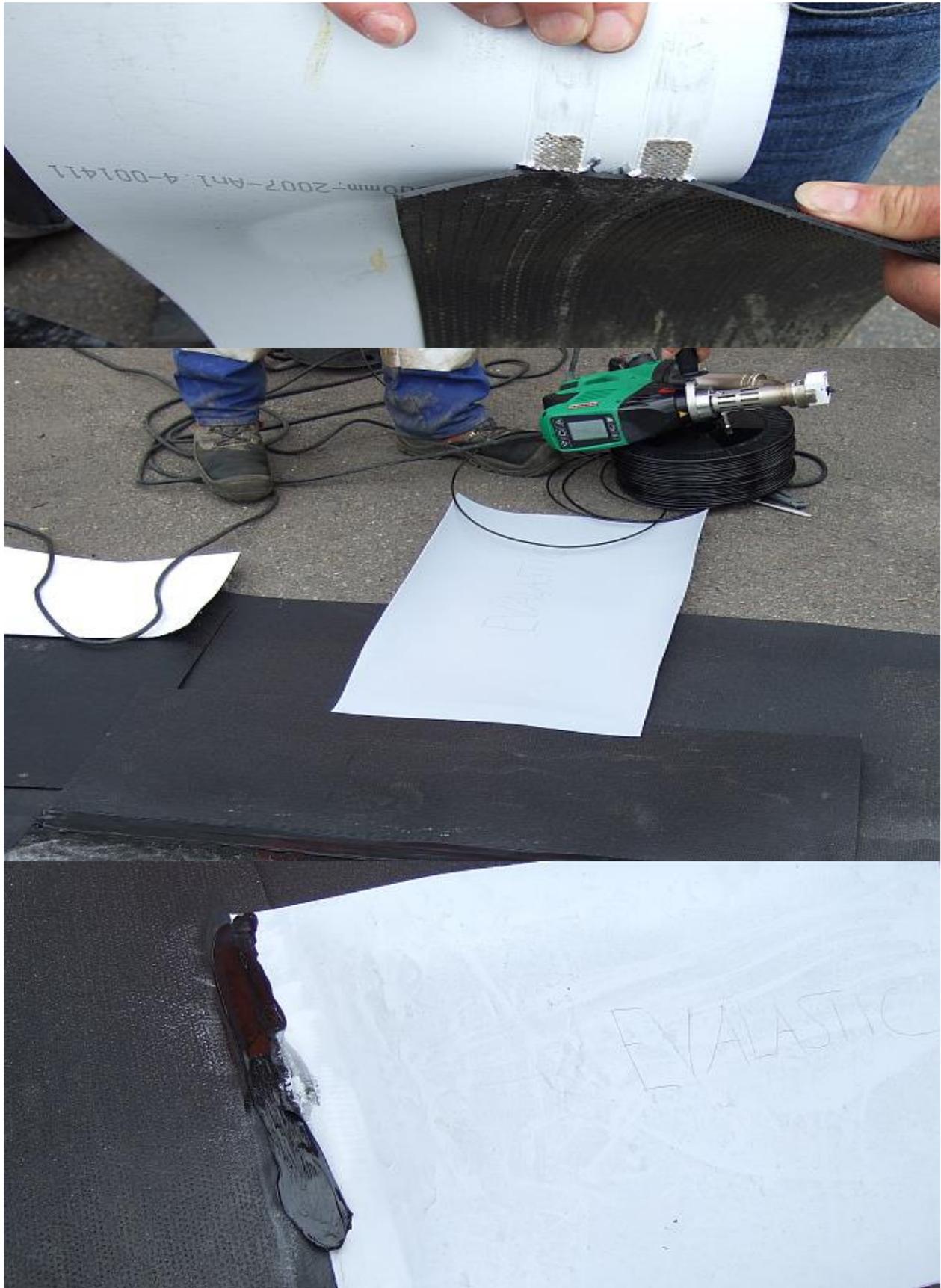


Abbildung 3-15 Schweißversuche mit Alwitra Evalon und Evalastic Bahnen



Abbildung 3-16 Fertigung eines Adapterstreifens für die Alwitra Testfelder



Abbildung 3-17 Ausrichten eines Alwitra Testfeldes vor dem Verschweißen am Steilhang



Abbildung 3-18 Ablösungen am Adapterstreifen



Abbildung 3-19 Zusätzliche Vernietung zur Vermeidung von Ablösungen



Abbildung 3-20 Durch Metallprofile unterstützte Vernietung

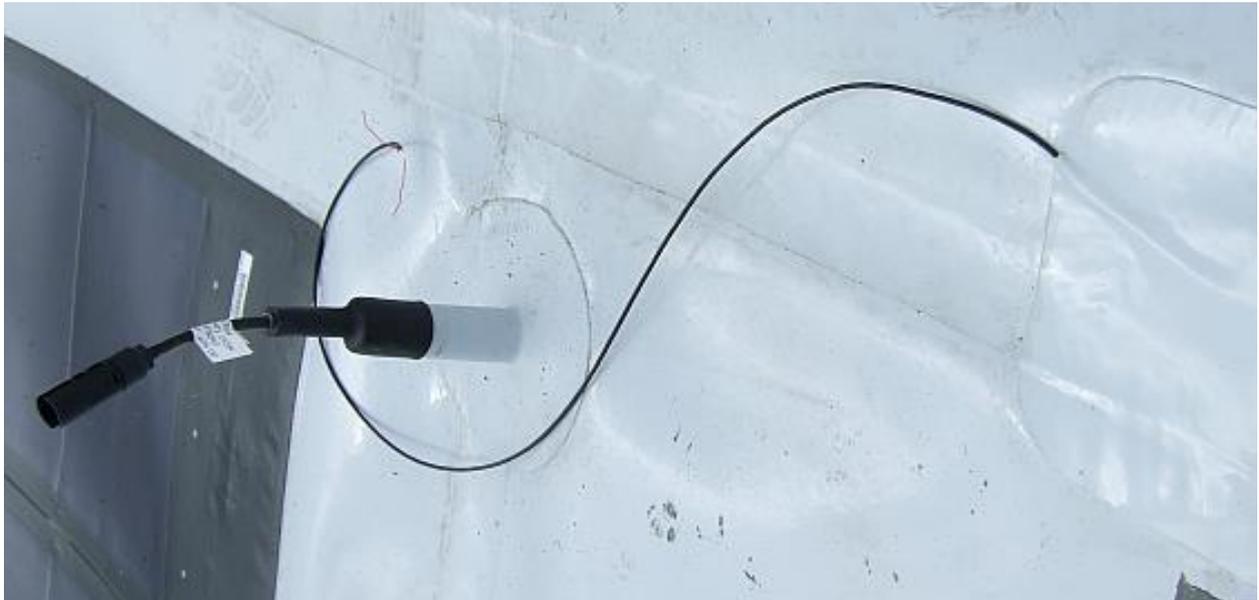


Abbildung 3-21 Kabeldurchführung

4. Kristalline Referenzfelder

Die Metallrahmen der Referenzfelder wurden über Gewindestangen mit auf der KDB verschweißten PE-HD Platten verschraubt und im Steilbereich durch Stahlseile zugentlastet. .



Abbildung 4-1 Kristalline Referenzfelder im Steilbereich



Abbildung 4-2 Kristalline Referenzfelder im Flachbereich

5. Ableitungen, Messtechnik und Wechselrichterstation

Die folgenden Bilder zeigen die elektrischen Installationen:



Abbildung 5-1 Strahlungssensor

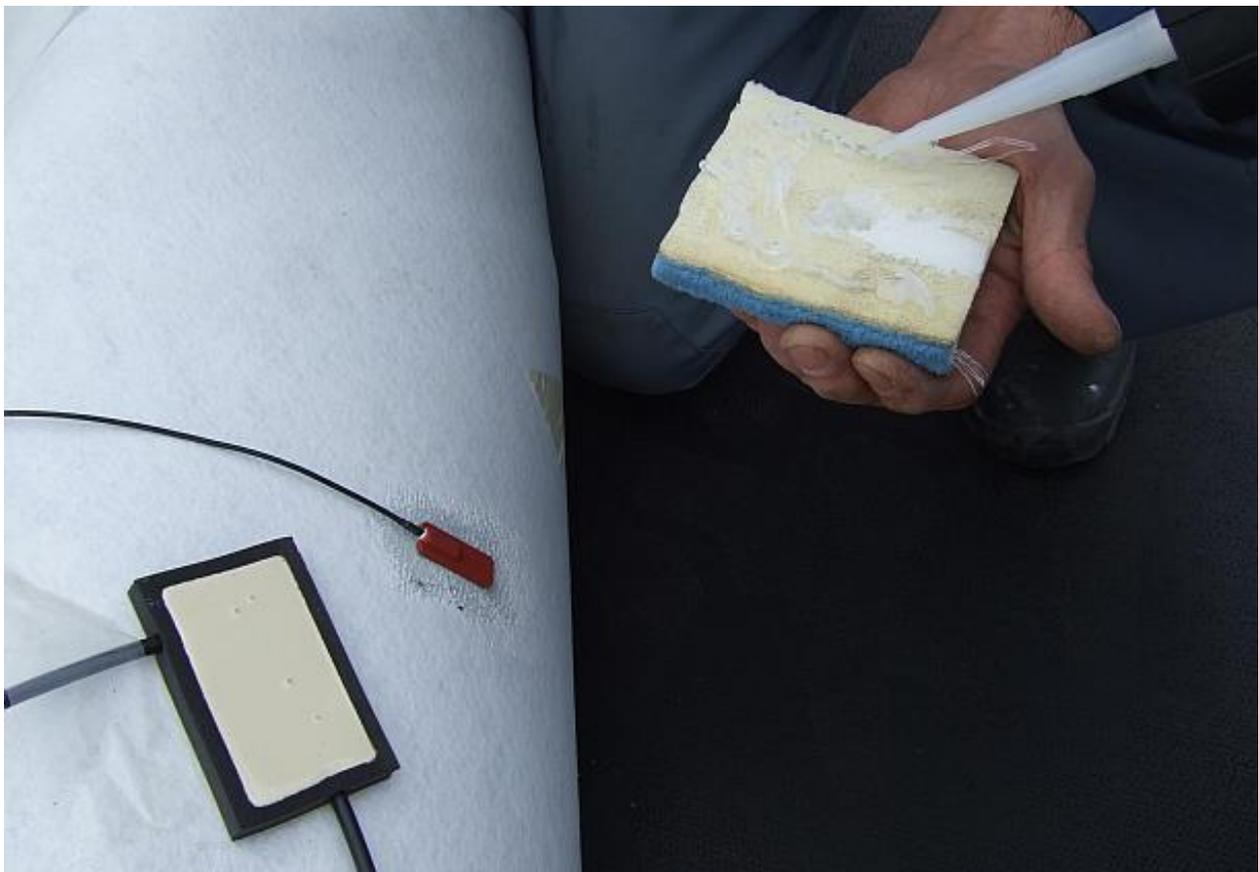


Abbildung 5-2 Einbau Temperatursensor an der Bahnunterseite

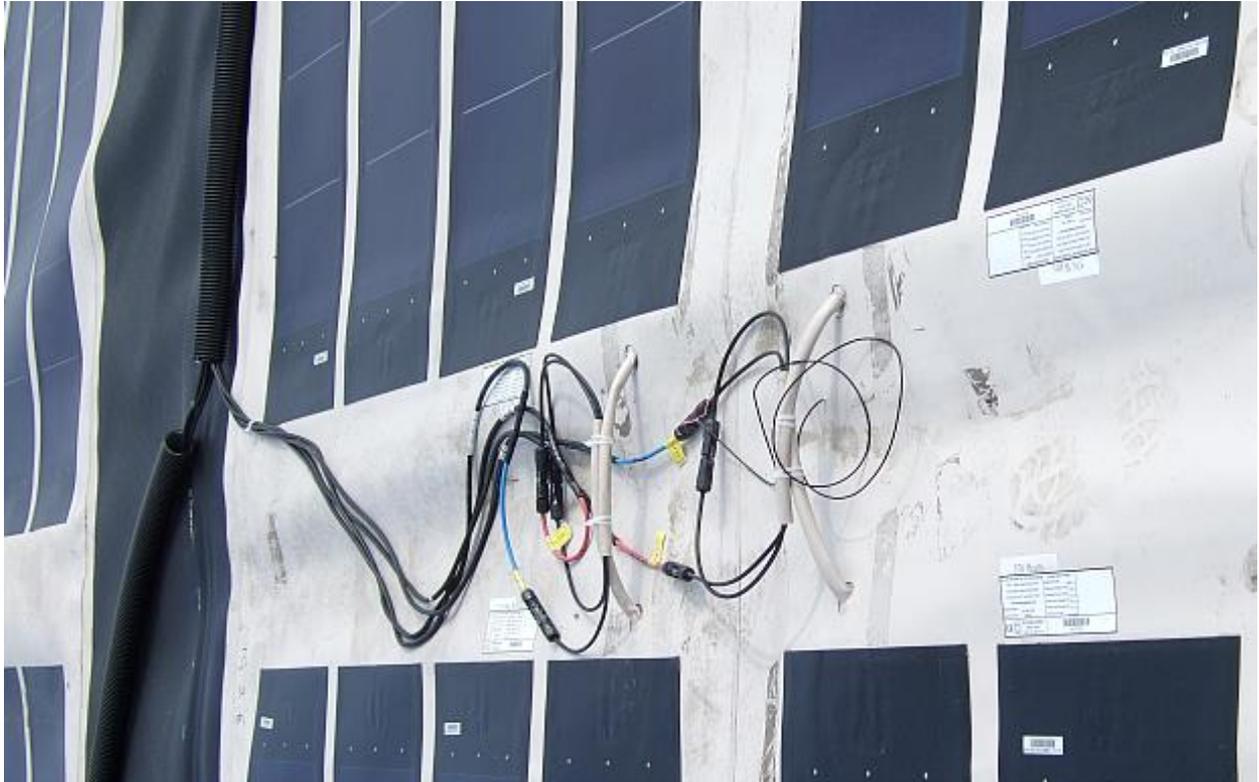


Abbildung 5-3 Herstellung der Anschlüsse an den Solar Integrated Bahnen



Abbildung 5-4 Anschluss der Alwitra Bahnen



Abbildung 5-5 Kabelleerrohre zur Wechselrichterstation



Abbildung 5-6 Wechselrichterstation

6. Bildüberblick der Testfelder





7. Elektrotechnische Ausstattung und Untersuchungen

7.1. Beschreibung des Gesamtaufbaus

Auf der Deponie Leppe wurden unterschiedliche PV-Systeme inklusive der notwendigen messtechnischen Einrichtungen installiert. Um eine Vergleichbarkeit der Systeme zu ermöglichen, wurden ein Teil auf einem Deponiehang mit einer Neigung von 30° und der andere Teil mit 5°. Untersucht werden PV-Module der Firmen Alwitra, SIT, Unisolar und als Referenzanlage zwei Systeme mit polykristallinen Standardmodulen.

Alle PV-Systeme haben eine Leistung von ca. 2,2 kWp und sind alle mit einem Wechselrichter Fronius IG20 verbunden. Alle Wechselrichter und die Datenerfassung sind in einem separaten Gebäude am Fußpunkt des Deponiehanges untergebracht. Die DC-Verkabelung und auch die Messleitungen wurden in einem vorhanden Leerrohr zum Fußpunkt der Deponie und unter der Deponiestraße zum Technikgebäude geführt.

Die Gesamtanlage inklusive der Messtechnik ist im Blockschaltbild dargestellt (siehe Anhang). Die Lage der PV-Teilanlagen ist im Lageplan dokumentiert.

7.2. Beschreibung der PV-Systemtechnik

In der folgenden Tabelle sind die Teilanlagen mit den jeweils eingesetzten PV-Modulen aufgeführt. Der jeweilige Installations- bzw. Fertigstellungstermin ist für jede Teilanlage genannt.

Teil-anlage	PV-Leistung	Neigung	PV-Module
1.1	2,30 kWp	30°	16 Stk. Unisolar PVL 144 mit je 144 Wp auf KDB; quer zum Hang montiert Fertigstellung: NN
1.2	2,30 kWp	30°	16 Stk. Unisolar PVL 144 mit je 144 Wp auf KDB; längs zum Hang montiert Fertigstellung: NN
1.3	2,30 kWp	30°	16 Stk. Unisolar PVL 144 mit je 144 Wp auf KDB; längs zum Hang montiert Fertigstellung: NN
1.4	2,18 kWp	30°	8 Stk. Alwitra Evalon 272 mit je 272 Wp ohne KDB; längs zum Hang montiert Fertigstellung: Juli 2009
1.5	2,30 kWp	30°	4 Stk. SIT SI-T2-576 mit je 576 Wp ohne KDB; längs zum Hang montiert Fertigstellung: Juli 2009
1.6	2,30 kWp	30°	4 Stk. SIT SI-T2-576 mit je 576 Wp ohne KDB; längs zum Hang montiert Fertigstellung: April 2009
1.7	2,30 kWp	30°	4 Stk. SIT SI-T2-576 mit je 576 Wp auf KDB; längs zum Hang montiert Fertigstellung: April 2009
1.8	2,18 kWp	30°	8 Stk. Alwitra Evalon 272 mit je 272 Wp auf KDB; längs zum Hang montiert Fertigstellung: April 2009
1.9	2,10 kWp	5°	12 Stk. Schott Solar Poly 175 mit je 175 Wp auf Aluminium Unterkonstruktion; längs zum Hang montiert Fertigstellung: April 2009
2.1	2,30 kWp	5°	16 Stk. Unisolar PVL 144 mit je 144 Wp auf KDB; quer zum Hang montiert Fertigstellung: NN
2.2	2,30 kWp	5°	16 Stk. Unisolar PVL 144 mit je 144 Wp auf KDB; längs zum Hang montiert Fertigstellung: NN
2.3	2,30 kWp	5°	16 Stk. Unisolar PVL 144 mit je 144 Wp auf KDB; längs zum Hang montiert Fertigstellung: NN
2.4	2,18 kWp	5°	8 Stk. Alwitra Evalon 272 mit je 272 Wp ohne KDB; längs zum Hang montiert Fertigstellung: April 2009

2.5	2,30 kWp	5°	4 Stk. SIT SI-T2-576 mit je 576 Wp ohne KDB; längs zum Hang montiert Fertigstellung: April 2009
2.6	2,30 kWp	5°	4 Stk. SIT SI-T2-576 mit je 576 Wp ohne KDB; längs zum Hang montiert Fertigstellung: April 2009
2.7	2,30 kWp	5°	4 Stk. SIT SI-T2-576 mit je 576 Wp auf KDB; längs zum Hang montiert Fertigstellung: April 2009
2.8	2,18 kWp	5°	8 Stk. Alwitra Evalon 272 mit je 272 Wp auf KDB; längs zum Hang montiert Fertigstellung: April 2009
2.9	2,10 kWp	5°	12 Stk. Schott Solar Poly 175 mit je 175 Wp auf Aluminium Unterkonstruktion; längs zum Hang montiert Fertigstellung: April 2009

Tabelle 7-1: PV-Systeme

7.3. Messtechnik

Von allen PV-Teilanlagen werden die folgenden Messgrößen aufgezeichnet:

- Modultemperatur über einen Pt100 auf der Rückseite der Module und einen Messumformer
- AC-Leistung bzw. -Energie über einen elektronischen Zähler.

An der Unterkonstruktion der Referenzanlagen ist jeweils ein Silizium-Solarstrahlungssensor zur Erfassung der solaren Einstrahlung in der jeweiligen Neigung installiert.

Die Datenerfassung erfolgt über eine Siemens S7 SPS, die über einen Feldbus an die zentrale Überwachungseinheit der Deponie für z.B. Deponiegas usw. angeschlossen ist. Somit ist eine direkte Weiterleitung an die Leitwarte der Deponie gewährleistet.

Die Bestrahlungsstärken und die Temperaturen werden über analoge Eingangskanäle erfasst und die AC-Leistungen über digitale Eingänge und entsprechende Impulzzähler. Die Impulzzähler geben einen Impuls je Wh. In 2009 wurden alle Werte als 5-Minuten Werte abgespeichert.

8. Betriebserfahrungen und Messergebnisse

8.1. Setzungen

Die im Bereich der Versuchsanlage aufgetretenen Setzungen führten zu keinen Schäden an der Anlage. Wie Tabelle 8-1 zeigt, waren die Setzungen allerdings auch moderat und lagen nur zwischen 0 und ca. 10,5 cm im Jahr.

Tabelle 8-1 Setzungshöhen an de Testfeldern

Setzungsmesspunkt	Setzung 1.7.2009-4.3.2010 [cm]	Setzung auf 1 Jahr hochgerechnet [cm]
PV-01	3	4,5
PV-02	0	0,0
PV-03	1	1,5
PV-04	1*	1,5
PV-05	5	7,5
PV-06	3	4,5
PV-07	7	10,5
PV-08	4	6,0
PV-09	4	6,0
PV-10	7	10,5
PV-11	6	9,0

*Pegel ab Oktober 2010 zerstört

8.2. Verformungen und Schmutzablagerungen auf den Testfeldern

Im Steilhangbereich waren im Bereich der Module keine Verformungen oder Schmutzablagerungen festzustellen. Wellen bildeten sich nur in dem absichtlich nicht genutzten Bereich in Richtung Hangfuß unterhalb der Felder.

Im Flachbereich kam es aber zu temperatúrausdehnungsbedingter Wellenbildung, zu der ggf. auch Verformungen durch Setzungen hinzukamen. Die Wellenhöhe im unmodifizierten PE-HD PE-HD betrug maximal ca. 20 cm, üblicherweise jedoch 5-10 cm. Diesen Verformungen wurden

durch die mechanische Verbindung zwangsläufig auch in die Testfelder eingetragen, die aus Materialien mit wesentlich geringerem Ausdehnungskoeffizient bestanden. In einigen Wellentälern des Flachbereichs lagerte sich Staub auf den Modulen ab. Diese Bereiche waren jedoch örtlich sehr begrenzt. In dem Testfeld, dessen Module quer zum Gefälle angeordnet waren, kam es zu keinen Schmutzansammlungen auf den Modulen. Quelle des abgelagerten Staubes war en offenbar eine offene Einbaufläche (feine Schlacken und mineralische Materialien) neben den Testfeldern und ggf. auch die unweit auf dem Deponiekörper platziere Schlackeaufbereitung.



Abbildung 8-1 Schmutzablagerung auf nicht angeschlossenen Prototypen der PE-HD Verbunde



Abbildung 8-2 Vereinzelte Schmutzablagerungen im Flachbereich auf den Dachbahnfeldern

8.3. Haltbarkeit des Verbunds zwischen Modulen und Dichtungsbahn

An den abschließend entwickelten PE-HD Modulverbunden, die im Herbst 2009 als mechanisches Muster eingebaut wurden (Abbildung 3-7) kam es zu keinen Schäden am Modulverbund. Die Entwicklung dieser Verbunde ist damit zu einem erfolgreichen Abschluss gekommen.

Die Verbunde mit Dachbahnen, die eigentlich nicht für Deponien vorgesehen sind, haben sich auch weitgehend bewährt. Bei den Verbunden von Alwitra kam es zu keinen Schäden. Bei den Verbunden von Solarintegrated handelte es sich offenbar um eine Fehlcharge. Bereits im Lieferzustand lösten sich an etlichen Bahnen die Module an den Ecken ab. Diese Bahnen wurden umgetauscht. Es kam aber auch an den Bahnen der gleichen Lieferung, die zunächst nicht mangelhaft zu sein schienen, nach einigen Wochen im eingebauten Zustand zu Eckablösungen (Abbildung 8-3). Diese wurden nach Fehlversuchen schließlich erfolgreich durch den Hersteller repariert.



Abbildung 8-3 Eckablösung eines Dachbahnverbundes mit Produktionsfehler

8.4. Haltbarkeit des Gesamtsystems

Alle installierten Testfelder haben in der beschriebenen Ausführung bisher den Belastungen standgehalten.

8.5. Elektrischer Ertrag der Versuchsfelder

Aufgrund von Rechnerproblemen und zerstörten Festplatten liegen nur lückenhaft Daten vor. Für den gesamten Zeitraum liegen keine Werte für die Modultemperaturen vor.

Für den Zeitraum 2009 wurden erhebliche Unterschiede bei der Summenbildung aus den 5-Minuten-Mittelwerten und den Monatssummen der Energieerträge festgestellt und daher wurde bei der Auswertung der Daten für die Teilanlagen auf die Monatswerte zurückgegriffen.

Die Aufzeichnung der Messwerte für die PV-Anlagen 1.4 und 1.5 liegen nicht als 5-Minuten-Werte vor, obwohl diese Anlagen installiert sind. Allerdings werden diese beiden Anlagen in den Monatsberichten ab Juli 2009 mit abgespeichert. Diese beiden Anlagen werden nicht ausgewertet. Ein Abgleich der Monatssummen aus den 5-Minuten-Werten und den Monatsberichten zeigt bei den Summen für die Energieerzeugung erhebliche Unterschiede, so dass eine Kontrolle der Messdaten unbedingt erforderlich ist. Diese Kontrolle ist bisher nur eingeschränkt erfolgt. In den Monatsberichten wird bis zum August 2009 der Summenwert für die Anlage 2.9 und bis Dezember für die Referenzanlage 2.9 nicht korrekt abgespeichert.

Zur Plausibilitätskontrolle wurden die Werte für die solare Einstrahlung mit den Werten des DWD für den Standort Köln (horizontale Einstrahlung) verglichen. Die festgestellten Abweichungen können mit den Besonderheiten des Standortes Deponie Leppe erklärt werden.

In den Jahren 2010 und 2011 liegen keine Werte für die solare Bestrahlungsstärke und Modultemperaturen sowie für die Energieerträge der PV-Anlage 1.9 (Referenzanlage) vor. Die Summierung der Werte ergibt keine plausiblen Werte und für die Auswertung konnte nicht auf Monatssummen zurückgegriffen werden. Daher bleibt hier nur ein qualitativer Vergleich zwischen den PV-Teilanlagen. Im Zeitraum 12.05 und 28.07.2010 sind alle Messdaten verloren gegangen, weil im entsprechenden Rechner ein Festplattenfehler aufgetreten ist und auch die Datensicherung nicht ordnungsgemäß funktioniert hat. Insofern stehen die entscheidenden Daten des Sommers mit hohen Erträgen, Bestrahlungsstärken und Temperaturen nicht zur Verfügung.

Die Qualität und Verfügbarkeit der Messdaten konnte auch durch externe Dienstleister nicht verbessert werden, so dass eine detaillierte Auswertung nicht möglich war.

In der folgenden Tabelle werden die Zeiträume und die Qualität der Daten aufgelistet.

Tabelle 8-2 Verfügbarkeit Meßdaten

Zeitraum	Art der Daten	Bemerkung
05.05. bis 31.12.2009	5-Minuten Mittelwerte	Keine Temperaturwerte; keine Ertragswerte für PV-Anlagen 1.4 und 1.5
05.05. bis 31.12.2009	Monatswerte	PV-Anlagen 1.4 und 1.5 ab Juli
01.01. bis 06.05.2010	5-Minuten Mittelwerte	Keine Bestrahlungsstärke- und Temperaturwerte; keine Ertragswerte für PV-Anlage 1.9

12.05 und 28.07.2010		Keinerlei Messwerte vorhanden
28.07. bis 31.12.2010	5-Minuten Mittelwerte	Keine Bestrahlungsstärke- und Temperaturwerte; keine Ertragswerte für PV-Anlage 1.9
01.01. bis 30.06.2011	5-Minuten Mittelwerte	Keine Bestrahlungsstärke- und Temperaturwerte; keine Ertragswerte für PV-Anlage 1.9

Aus den Werten für den PR in 2009 ist deutlich zu erkennen, dass der PR ab September auf einen zu kleinen Wert abfällt. Diese Reduktion ist entweder auf eine erhebliche Verschmutzung der PV-Anlagen durch eine erhöhte Deponieeinlagerung oder aber durch gravierende Ausfälle bei der Messung der Energieerträge zurückzuführen. Für die erste Annahme spricht, dass alle Anlagen gleichmäßig betroffen sind und weiterhin oberhalb der PV-Anlagen ab September eine verstärkte Anlieferung von Deponiematerial erfolgt ist. Die zweite Annahme mit Problemen bei der Aufzeichnung der Energie kann durch den Vergleich der 5-Minuten-Werte mit den Monatsberichten unterstützt werden.

Monat	Einstrahlung [kWh/qm]			Monatliche Energieerzeugung der PV-Teilanlagen [kWh]									
	H	H_1	H_2	E1.6	E1.7	E1.8	E1.9	E2.4	E2.5	E2.6	E2.7	E2.8	E2.9
Mai	159	105	104	221	224	220	216	224	233	233	222	216	225
Juni	157	136	141	233	243	232	234	247	263	256	245	239	250
Juli	161	144	146	260	262	256	249	266	275	274	267	255	265
August	151	149	143	274	276	268	260	260	269	271	262	250	257
Sept.	95	102	90	174	179	164	174	153	160	122	151	139	159
Okt.	53	62	53	71	83	73	92	58	71	37	57	56	76
Nov.	25	24	19	21	28	25	28	16	21	21	17	15	25
Dez.	18	27	19	27	29	30	33	21	22	22	20	18	25
Gesamt	819	747	714	1.281	1.323	1.268	1.285	1.243	1.314	1.236	1.242	1.190	1.281
Performance Ratio													
Juni				75%	78%	79%	82%	81%	81%	79%	76%	78%	85%
Juli				79%	79%	82%	83%	84%	82%	82%	80%	81%	87%
August				80%	80%	83%	83%	83%	81%	82%	79%	80%	85%
Sept.				74%	76%	74%	81%	78%	77%	59%	73%	71%	84%
Okt.				50%	59%	55%	71%	50%	58%	31%	47%	49%	69%
Nov.				37%	51%	47%	56%	39%	49%	47%	40%	37%	63%
Dez.				44%	47%	51%	58%	49%	49%	49%	45%	44%	62%

Tabelle 8-3: Monatswerte 2009 der Energieerzeugung PV-Teilanlagen)

Monat	Einstrahlung [kWh/qm]			Monatliche Energieerzeugung der PV-Teilanlagen [kWh]									
	H	H_1	H_2	E1.6	E1.7	E1.8	E1.9	E2.4	E2.5	E2.6	E2.7	E2.8	E2.9
Mai	159	105	104	221	224	220	216	224	233	233	222	216	225
Juni	157	136	141	233	243	232	234	247	263	256	245	239	250
Juli	161	144	146	260	262	256	249	266	275	274	267	255	265
August	151	149	143	274	276	268	260	260	269	271	262	250	257
Sept.	95	102	90	174	179	164	174	153	160	122	151	139	159
Okt.	53	62	53	71	83	73	92	58	71	37	57	56	76
Nov.	25	24	19	21	28	25	28	16	21	21	17	15	25
Dez.	18	27	19	27	29	30	33	21	22	22	20	18	25
Gesamt	819	747	714	1.281	1.323	1.268	1.285	1.243	1.314	1.236	1.242	1.190	1.281
Performance Ratio													
Juni				75%	78%	79%	82%	81%	81%	79%	76%	78%	85%
Juli				79%	79%	82%	83%	84%	82%	82%	80%	81%	87%
August				80%	80%	83%	83%	83%	81%	82%	79%	80%	85%
Sept.				74%	76%	74%	81%	78%	77%	59%	73%	71%	84%
Okt.				50%	59%	55%	71%	50%	58%	31%	47%	49%	69%
Nov.				37%	51%	47%	56%	39%	49%	47%	40%	37%	63%
Dez.				44%	47%	51%	58%	49%	49%	49%	45%	44%	62%

Tabelle 8-3: Monatswerte 2009 der Energieerzeugung PV-Teilanlagen (Basis 5-Minuten-Werte)

In der folgenden Tabelle werden noch einmal die Monatswerte 2009 auf Basis der Monatsberichte dargestellt. Dabei werden die Einstrahlungswerte aus den 5-Minuten-Werten zur Berechnung des PR herangezogen. Es ist tendenziell zu erkennen, dass die PR Werte auf Basis der Monatsberichte zum Ende des Jahres niedriger liegen.

Monat	Einstrahlung [kWh/qm]			Monatliche Energieerzeugung der PV-Teilanlagen [kWh]									
	H	H_1	H_2	E1.6	E1.7	E1.8	E1.9	E2.4	E2.5	E2.6	E2.7	E2.8	E2.9
Mai	159	105	104	256	257	256	248	258	266	270	257		
Juni	157	136	141	233	243	232	234	247	263	256	245		
Juli	161	144	146	260	262	256	249	266	275	274	267		
August	151	149	143	274	276	268	260	260	269	271	262		
Sept.	95	102	90	173	178	163	173	152	159	121	151		
Okt.	53	62	53	71	84	74	92	58	71	37	57		
Nov.	25	24	19	21	28	25	28	16	21	21	17		
Dez.	18	27	19	25	27	28	30	19	20	20	19		
Gesamt	819	747	714	1.313	1.354	1.301	1.314	1.276	1.345	1.270	1.274		
Juni				75%	78%	79%	82%	81%	81%	79%	76%		
Juli				79%	79%	82%	83%	84%	82%	82%	80%		
August				80%	80%	83%	83%	83%	81%	82%	79%		
Sept.				74%	76%	74%	81%	78%	77%	59%	73%		
Okt.				50%	59%	55%	71%	50%	58%	31%	47%		
Nov.				37%	50%	47%	56%	39%	49%	47%	40%		
Dez.				41%	44%	48%	54%	45%	46%	46%	41%		

Tabelle 8-4: Monatswerte 2009 Energieerzeugung der PV-Teilanlagen (Basis Monatsberichte)

Für die Jahre 2010 und 2011 ist eine detaillierte Auswertung nicht möglich, weil die Daten nicht in der erforderlichen Qualität vorliegen. Es wurden hier exemplarisch für bestimmte Tage die Energieerträge der PV-Teilanlagen verglichen.

Bei dieser Bewertung konnten keine signifikanten Ertragsunterschiede für die unterschiedlichen Einbauarten festgestellt werden.

Auf Basis dieser Auswertung ist keine Präferenz bei der Art der Montage der PV-Module er-

kennbar. Es zeichnet sich daher ab, dass die Art der Montage der flexiblen PV-Module (mit oder ohne Deponiebahn) keinen signifikanten Einfluss auf die Energieerzeugung hat.

Die Wahl der Einbauart wird daher eher durch die folgenden Faktoren bestimmt:

- Kostenvorteile,
- Genehmigungsverfahren (Klärung ob Deponiebahn durch „normale“ PV-Dachbahnen ersetzt werden dürfen,
- Arbeitsablauf bei der Verlegung der Bahnen.

9. Zusammenfassung

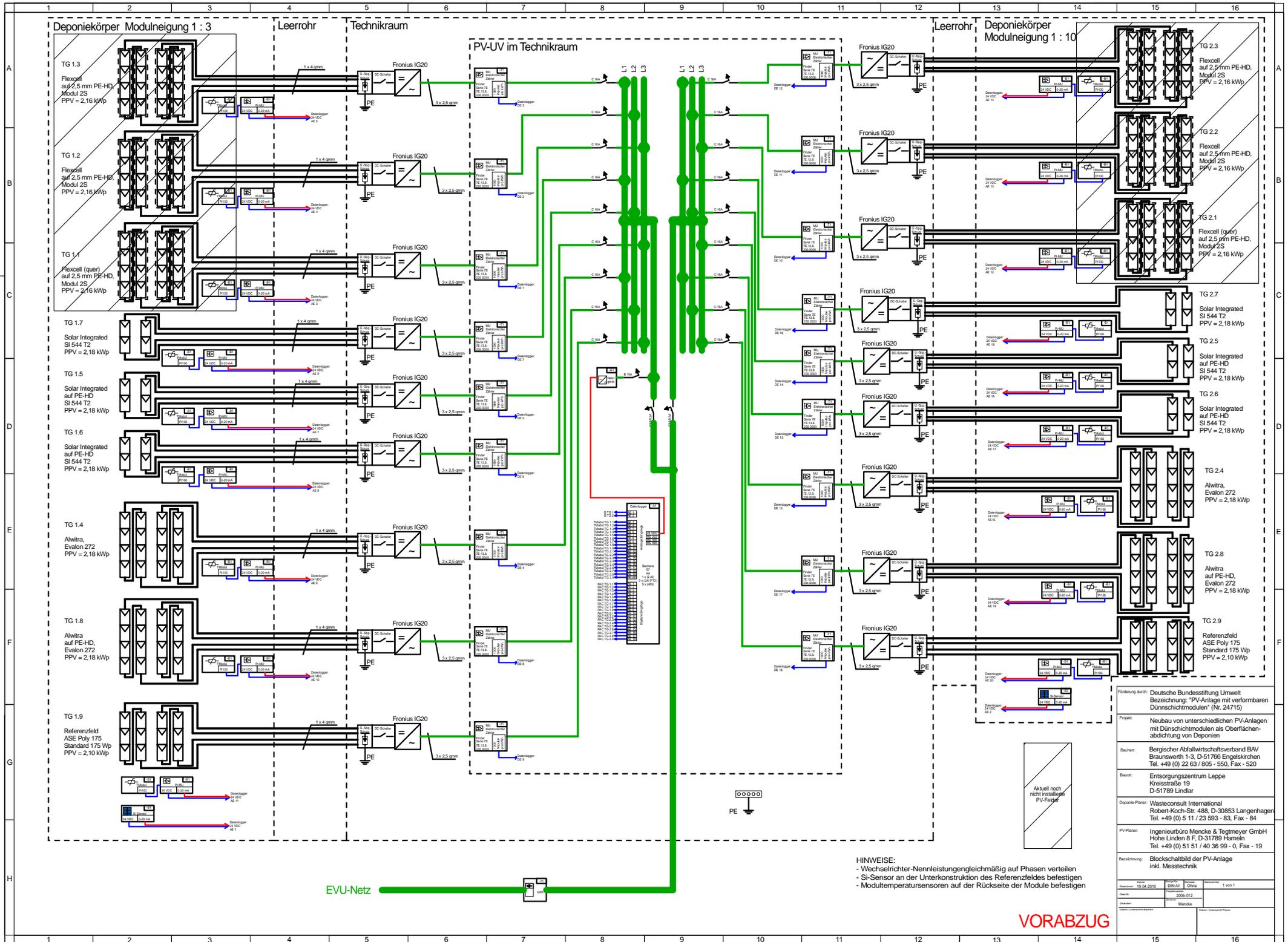
Mit erheblich größerem als dem erwarteten Zeitaufwand konnte die geplanten Versuchsfelder weitgehend realisiert werden und auch das Hauptziel der Entwicklung einer Verbundbahn aus PE-HD Deponiedichtungsbahn und flexiblen Solarmodulen erreicht werden. Die Errichtung von elektrisch angeschlossenen Versuchsfeldern mit den PE-HD war innerhalb der Projektlaufzeit jedoch nicht mehr möglich. Die vor allem durch Beschaffungsprobleme bei den Solarmodulen und durch unerwartet große technische Schwierigkeiten bei der Entwicklung der PEHD Verbundbahnen entstandenen Verzögerungen haben jedoch dazu geführt, dass trotz mehrmaliger Verlängerung des Vorhabens bisher erst die dachbahnbasierten Varianten in Form von vollständigen, elektrisch angeschlossenen Testfeldern umgesetzt werden konnten. Beim Vergleich der Energieerträge der vorhandenen Einbauvarianten konnten keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden, so dass die Einbauart auf Basis genehmigungstechnischen und finanziellen Randbedingungen festgelegt werden muss.

Gez. Dr. Matthias Kühle-Weidemeier

Gez. Detlef Mencke

Anlagen:

Schaltplan PV-Anlage



Risikoprüfung durch: Deutsche Bundesstiftung Umwelt
 Bezeichnung: "PV-Anlage mit verformbaren
 Dünnschichtmodulen" (Nr. 24715)

Projekt: Neubau von unterschiedlichen PV-Anlagen
 mit Dünnschichtmodulen als Oberflächen-
 abdeckung von Deponien

Bauherr: Bergischer Abfallwirtschaftsverband BAV
 Braunsweh 1-3, D-51766 Engelskirchen
 Tel. +49 (0) 22 63 / 805 - 550, Fax - 520

Baubüro: Entsorgungszentrum Leppe
 Kreisstraße 19
 D-51789 Lindlar

Deponie-Planer: Wasteconsult International
 Robert-Koch-Str. 488, D-30853 Langenhagen
 Tel. +49 (0) 5 11 / 23 593 - 83, Fax - 84

PV-Planer: Ingenieurbüro Menske & Tegtmeyer GmbH
 Hölle Linden 9 F, D-51789 Harmeln
 Tel. +49 (0) 51 51 / 40 36 99 - 0, Fax - 19

Bezeichnung: Blockschaltbild der PV-Anlage
 inkl. Messtechnik

Datum:	19.06.2010	DIN A1	Blatt:	1 von 1
Version:			Datum:	2008-01-2
Gezeichnet:			Geprüft:	
Gezeichnet:			Geprüft:	

- HINWEISE:
- Wechselrichter-Nennleistungsgleichmäßig auf Phasen verteilen
 - Si-Sensor an der Unterkonstruktion des Referenzfeldes befestigen
 - Modultemperatursensoren auf der Rückseite der Module befestigen



VORABZUG