

Überblicksbericht 2011

Forschungsprogramm Photovoltaik



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Energie BFE
Office fédéral de l'énergie OFEN

Titelbild:**Vom Gebäude zum Kraftwerk: Photovoltaik auf Dach und Fassaden**

Der mit dem Solarpreis 2011 ausgezeichnete, neue solare PlusEnergieBau der Heizplan AG in Gams ist im wahrsten Sinne des Wortes ein Kraftwerk. Eine Photovoltaik-Anlage mit rund 61 kW Leistung (Dach: 37 kW monokristallin, Südfassade 13 kW monokristallin, Ostfassade 7 kW amorph, Tracker 4 kW multikristallin) liefert deutlich mehr elektrische Energie, als im Gebäude gebraucht wird. Thermische Solarkollektoren auf dem Dach und eine Luft-Wasser-Wärmepumpe sorgen für die nötige Heizenergie. Ein 2'000-Liter Solarspeicher steht in der Energiezentrale und komplettiert die Heizungsanlage (Bildquelle: Heizplan).

BFE Forschungsprogramm Photovoltaik

Überblicksbericht 2011

Auftraggeber:

Bundesamt für Energie BFE
CH-3003 Bern

Programmleiter BFE (Autor):

Dr. Stefan Nowak, NET Nowak Energie & Technologie AG (stefan.nowak@netenergy.ch)

Bereichsleiter BFE:

Dr. Stefan Oberholzer (stefan.oberholzer@bfe.admin.ch)

www.bfe.admin.ch/forschungphotovoltaik / www.photovoltaic.ch

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen ist ausschliesslich der Autor dieses Berichts verantwortlich.

Einleitung

Die Photovoltaik erfährt in aktuellen nationalen und internationalen Energieszenarien eine immer grössere Beachtung. Dabei wird diese sehr dynamische Energietechnologie sowohl aus wissenschaftlich-technischer Sicht, als auch industriell und marktbezogen viel diskutiert. Vor dem Hintergrund einer rasch wachsenden, global orientierten Industrie findet weltweit eine intensive Forschung statt, welche als Hauptziel eine weitere Kostenreduktion und die rasche Industrialisierung der Photovoltaik verfolgt. In den technologisch besonders wichtigen Ländern wie Deutschland, Japan und USA werden die Photovoltaikforschung intensiviert und ambitionöse Ziele formuliert [1,2]. Ähnlich ist Europa mit der Solar Europe Industry Initiative bestrebt, weiterhin eine führende Rolle auf diesem Gebiet zu spielen. Parallel dazu findet marktseitig eine rasante Kostenreduktion statt, welche einerseits die Wettbewerbsfähigkeit der Photovoltaik mit anderen Energieträgern laufend erhöht, andererseits innerhalb der Photovoltaikindustrie zu einem stark verschärften Wettbewerb führt.

In der Forschung geht es um die anhaltende Weiterentwicklung der bestehenden Photovoltaik-Technologien sowie die Entwicklung neuer Materialoptionen und Konzepte. Nebst dem Kerngebiet der verschiedenen Solarzellen-Technologien beinhaltet die Photovoltaikforschung auch technologiespezifische Themen auf der Systemebene, z. B. der Gebäudeintegration, der elektrischen Systemtechnik oder der Um-

weltindikatoren und des Recyclings. Mit der derzeit anhaltenden Kostenreduktion bilden System übergreifende Aspekte wie die Netzintegration, die Speicherung oder energetische Konzepte im Gebäude immer wichtigere Themen der Forschung. Neue Erkenntnisse und Resultate aus der Forschung werden möglichst rasch in die Industrie übergeführt.

Die Photovoltaik als möglicher wesentlicher Pfeiler einer nachhaltigen Stromversorgung hat in relevanten Szenarien weiter an Bedeutung gewonnen: Die im Jahr 2010 publizierte Photovoltaik-Roadmap der Internationalen Energie Agentur IEA [3] spricht bis 2050 von einem möglichen Beitrag von mehr als 10 % zur weltweiten Stromversorgung, ein Wert der von vielen Akteuren aus der Photovoltaik als untere Grenze angesehen wird. In aktuellen Schweizer Energieszenarien wird von der Photovoltaik bis 2050 ein Beitrag von mindestens 10 TWh Elektrizität als möglich erachtet [4].

In den letzten 25 Jahren hat sich eine starke Schweizer Position in verschiedenen Gebieten der Photovoltaikforschung herausgebildet: Im Vordergrund stehen die Entwicklungen von verschiedenen Dünnschicht-Technologien, welche schon immer den Schwerpunkt der Schweizer Photovoltaikforschung bildeten. Ausgehend von Arbeiten an neuen Solarzellen-Konzepten wurden diese sukzessiv in die industrielle Umsetzung übergeführt. Heute findet neben der Forschung an Instituten und Hochschulen auch seitens der Industrie

eine intensive Technologieentwicklung statt, welche mittlerweile zu einer entlang der ganzen Wertschöpfung der Photovoltaik bedeutenden Schweizer Industrie geführt hat.

Laufende Aktivitäten in Forschung und Entwicklung sowie Projekte im Bereich von Pilot- und Demonstrationsanlagen umfassen im Berichtsjahr 2011 rund 70 Projekte, wobei alle der Programmleitung bekannten Projekte mit einer Förderung der öffentlichen Hand berücksichtigt sind. Nebst den durch das Bundesamt für Energie (BFE) geförderten Projekten und den Schwerpunkten einzelner Hochschulen und Forschungsinstitute spielen KTI- und EU-Projekte im Forschungsprogramm Photovoltaik eine tragende Rolle.

Das Forschungsprogramm Photovoltaik des BFE verfolgte in der Periode 2008–2011 die folgenden Ziele [5,6]:

- Senkung der Kosten der Solarzellen und -module;
- Steigerung des Wirkungsgrades (Solarzellen);
- Senkung des Material- und Energieeinsatzes;
- Vereinfachung und Standardisierung der elektrischen Systemtechnik; Steigerung der Lebensdauer und Zuverlässigkeit von Wechselrichtern;
- Erhöhung der Verfügbarkeit und der Vielfalt industrieller Produkte.

IEA Klassifikation: 3.1.2 Photovoltaics

Schweizer Klassifikation: 2.1.2 Photovoltaik

Programmschwerpunkte

Das Forschungsprogramm Photovoltaik ist in folgende fünf Bereiche aufgeteilt (die in Klammern angegebene Klassifizierung bezieht sich auf die Liste der Projekte, Seite 11 ff.):

Solarzellen (1a-e)

Verschiedene materialspezifische Ansätze zu Dünnschicht solarzellen stellen hier den wichtigsten Schwerpunkt dar (Silizium, Verbindungshalbleiter, organische Materialien). Verstärkt werden Heteroübergänge zwischen Dünnschicht- und kristallinem Silizium untersucht. Organische und Polymer solarzellen als mögliche langfristige Technologieoptionen gewinnen an Bedeutung. Ausserdem findet Grundlagenforschung an elektrochemisch abgeschiedenen Schichten statt.

Module und Gebäudeintegration (2a-e)

Das Gebiet der Solarmodule ist im Forschungsprogramm Photovoltaik eng mit der Anwendung der Gebäudeintegration verbunden. Im Vordergrund stehen Modultechnologien, welche mit den in der Schweiz entwickelten Solarzellen einhergehen.

Elektrische Systemtechnik (3)

Bei der elektrischen Systemtechnik, insbesondere bei Wechselrichtern, steht die Qualitätssicherung im Vordergrund, einschliesslich entsprechender Normen. Ein in Zukunft wichtiger werdendes Thema ist die Wechselwirkung mit dem elektrischen Netz und die Integration der Photovoltaik ins Netz.

Begleitende Themen (4)

Zum einen geht es hier um relevante technische und nicht technische Themen zur Marktentwicklung (z. B. Hilfsmittel, Monitoring, Umweltaspekte). Andererseits sind hier auch auf andere Energiethemen übergreifende Projekte (z. B. Gebäude, Mobilität, Speicherung) angesiedelt.

Institutionelle internationale Zusammenarbeit (5)

Sie erfolgt einerseits projektbezogen auf allen Gebieten und andererseits im Rahmen des Implementing Agreements Photovoltaic Power System Programme (PVPS) der Internationalen Energieagentur (IEA), der Europäischen Photovoltaik-Technologieplattform, der europäischen PV-ERA-Net-Kooperation (ERA: European Research Area), der neuen Solar Europe Industry Initiative (SEII) im Rahmen des SET-Plans und der Normen festlegenden Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC).

Rückblick und Bewertung 2011

Gemessen an der Anzahl laufender Projekte mit öffentlicher Finanzierung und der gesamthaft gemeldeten Forschungsprojekte [7] kann eine Verstärkung der Photovoltaik-Forschungsaktivitäten beobachtet werden. Allerdings ist diese Erhöhung weiterhin in erster Linie auf Erfolge mit KTI- und EU-Projekten zurückzuführen. Die zur spezifischen Förderung der Photovoltaik verfügbaren Mittel des BFE sind im Jahr 2011 weiter zurückgegangen. Diese Entwicklung ist insofern Besorgnis erregend, als die BFE-Mittel primär zur Wahrung des Kompetenzvorsprungs der beteiligten Institute auf ihren Spezialgebieten eingesetzt werden. Ausserdem steht diese Entwicklung im Widerspruch zu den jüngsten energiepolitischen Signalen; sie ist damit für die Forschungsgemeinschaft schwierig nachvollziehbar.

Ausblick

Es zeichnet sich anfangs der Dekade 2011–2020 immer mehr ab, dass dieses Jahrzehnt für die Photovoltaik weltweit eine kritische Zeit ist, welche massgebend über den mittelfristigen Erfolg dieser jungen Energietechnologie bestimmen wird. Für die Photovoltaikindustrie hat der Wettbewerb im letzten Jahr deutlich zugenommen und erste Insolvenzen grösserer Unternehmen leiten eine Konsolidierungsphase in der Industrie ein. Dies mag aus Sicht des wachsenden Marktes mit der damit einhergehenden raschen Kostenreduktion eine willkommene Entwicklung sein. Sie stellt aber die Photovoltaikindustrie weltweit vor gewaltige Herausforderungen. Dazu kommt die schwierige globale Wirtschaftslage, welche zusätzliche Herausforderungen nach sich zieht.

Aus Schweizer Sicht gilt es deshalb umso mehr, diesen Zeitraum optimal zu nutzen, um die Photovoltaikforschung als innovative Kompetenz-Grundlage der Schweizer Photovoltaikindustrie zu positionieren und in dieser Hinsicht weiter zu verstärken. Optimal wird dies mittels einer Stärkung der Forschung und der institutionellen Kapazitäten zur raschen Umsetzung von Forschung in die Industrie erreicht. Dahingehende Initiativen sollten so rasch wie möglich konkretisiert und auf eine mittelfristig feste Grundlage gestellt werden. Eine starke Schweizer Photovoltaik braucht mehr denn je auch eine starke Photovoltaikforschung.

Highlights aus Forschung und Entwicklung

Seit vielen Jahren setzt sich das Forschungsprogramm Photovoltaik zum Ziel, zu den einzelnen Teilbereichen Kompetenzzentren mit nationaler und internationaler Ausstrahlung zu fördern. Im Jahr 2011 sind dies das Photovoltaik-Labor (PV-Lab) an der Eidgenössischen Technischen Hochschule Lausanne (EPFL) (Silizium-Dünnschicht-Solarzellen), das Institut of chemical sciences and engineering (ISIC) an der EPFL (Farbstoff-Solarzellen), die Empa (Verbindungshalbleiter- und organische Solarzellen), die Scuola universitaria professionale della Svizzera italiana (SUPSI, Solarmodule und Gebäudeintegration) und die Berner Fachhochschule HTI Burgdorf (elektrische Systemtechnik).

Forschung und Entwicklung auf kristallinen Solarzellen ist in der Schweiz weit gehend Sache der Industrie. Ein Grossteil der öffentlichen Photovoltaikforschung befasst sich mit neuen Solarzellen auf der Grundlage von Dünnschicht-Technologien. Die wesentlichen Technologieansätze betreffen Dünnschicht-Silizium (zur Hauptsache am PV-Lab der EPFL) sowie Dünnschicht-Verbindungshalbleiter CIGS und CdTe (Empa). Die rasche Kostenreduktion bei den kristallinen Solarzellen zwingt die Vertreter der Dünnschicht-Technologien, ihre Konzepte kosten- und effizienzmassig noch rascher weiter zu entwickeln.

Wachsende Tätigkeiten finden zudem auf dem Gebiet der organischen Solarzellen (Empa, ZHAW) statt. Auf der exploratorischen Ebene werden neue Solarzellen auf der Grundlage von elektrochemisch abgeschiedenen, sehr dünnen Absorberschichten erforscht.

Die Qualitätssicherung hat seit vielen Jahren ihren festen Stellenwert in der Photovoltaik Forschungslandschaft. Die Prüfung von Solarmodulen und deren Verhalten bei unterschiedlichen Betriebsbedingungen ist die Kernkompetenz des Istituto sostenibilità applicato all'ambiente costruito (ISAAC) an der SUPSI. Komplementär dazu wird an der Fachhochschule in Burgdorf das Verhalten von Wechselrichtern und Systemen untersucht. Beide Institute betreiben Prüflabors, in welchen Solarmodule oder Wechselrichter gemäss gängigen Normen geprüft werden können.



Figur 1: Neues PECVD Depositionssystem Octopus von Indeotec am PV-Lab des IMT mit automatischer Beladung von 10 Proben (Bildquelle: PV-Lab, IMT, EPFL).

Im Folgenden werden aktuelle Resultate aus den bedeutenden Arbeitsgebieten der Dünnschicht-Solarzellen vertieft.

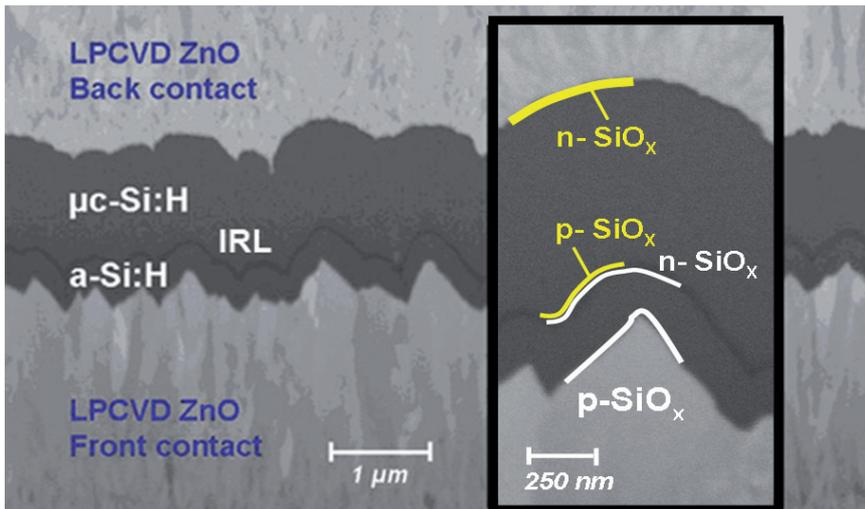
Dünnschicht Silizium – mit Nanostrukturen und neuen Materialkombinationen zu höchsten Wirkungsgraden

Auf dem Gebiet des Dünnschicht-Siliziums hat sich am PV-Lab der EPFL in Neuchâtel im Verlauf der Zeit ein Cluster von Projekten herausgebildet, welcher verschiedenste Materialvarianten und Prozessschritte beinhaltet: Zur Optimierung der Dünnschicht-Silizium-Solarzellen in ihren verschiedenen Ausprägungen stehen zahlreiche Parameter zur Verfügung. Neben Art, Anzahl und Umfang der aktiven Schichten, welche zur Hauptsache aus amorphem und mikrokristallinem Silizium bestehen, spielen Dotierung, Fenster- und Zwischenschichten, Art der Deposition, usw. wichtige Rollen. Ziel der laufenden Optimierung und neuer Ansätze ist es letztlich, den Wirkungsgrad der Solarzellen zu erhöhen. Eine wachsende Rolle spielen dabei kontrollierte Strukturen und Zwischenschichten im Nanometerbereich. Entsprechend komplex ist der Weg zu verbesserten Solarzeleigenschaften, welche auch noch den Anforderungen an grossflächige industrielle Prozesse gerecht werden müssen.

Am PV-Lab der EPFL finden eng verwandte Forschungsprojekte zu ver-

schiedenen Fragestellungen rund um die Dünnschicht-Silizium-Solarzellen auf den Substraten Glas und Kunststoff sowie in Kombination zu kristallinen Silizium-Solarzellen statt. Die zu beantwortenden Forschungsfragen beinhalten das grundlegende Verständnis einzelner Prozesse und Schichten ebenso wie den Aufbau ganzer Solarzellen und neuerdings auch von Kleinmodulen. Die Übertragbarkeit der Forschungsergebnisse auf den industriellen Massstab bildet eine zentrale Aufgabe, bei welcher eine zunehmende Anzahl von Industrieunternehmen mit dem PV-Lab zusammenarbeitet. Damit wachsen auch die Anforderungen an eine leistungsfähige Labor-Infrastruktur, welche in der Lage sein muss, rasch reproduzierbare Resultate zu liefern (Figur 1).

Wichtige Arbeiten im Sinn der Kernkompetenz am PV-Lab finden im BFE-Projekt Silizium-Dünnschicht-Solarzellen und -module zur weiteren Verbesserung der mikromorphen Solarzelle (Kombination aus amorphem und mikrokristallinem Silizium) statt. Die laufende Phase dieses Projektes wurde im Berichtsjahr abgeschlossen. Im vierten und letzten Projektjahr stand die Verwendung von fortgeschrittenen Materialien und optischen Nanostrukturen im Vordergrund. Die Struktur der nanokristallinen Siliziumoxid-Zwischenschichten, welche aufgrund ihrer positiven Eigenschaften inzwischen in den meisten Laborzellen eingesetzt werden, konnte analysiert und damit besser verstanden werden (Figur 2). Für die

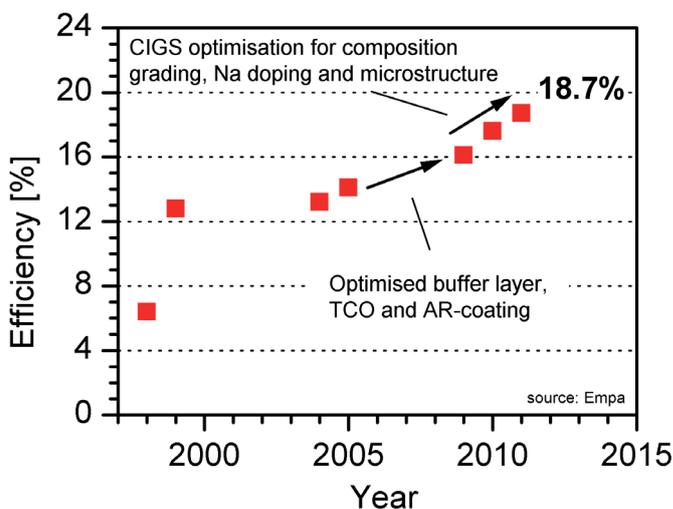


Figur 2: Elektronenmikroskopische Aufnahme von dotierten nanokristallinen SiO_x Schichten, welche bessere optische und elektrische Eigenschaften von mikromorphen Silizium-Dünnschichtsolarzellen ermöglichen (Bildquelle: PV-Lab, IMT, EPFL).

transparenten leitenden Oxidschichten wurde ein neuer Nanoprägeprozess von Zinkoxidschichten entwickelt. Damit gelingt es, das Zusammenspiel zwischen Oberflächenmorphologie, Lichteinfang und elektrischen Eigenschaften der Zelle gezielter zu beeinflussen. Durch die Kombination einer transparenten, nanogeprägten Textur aus Indiumoxid, einer dotierten Zinkoxidschicht mit kleinskaliger Textur konnte eine mikromorphe Laborzelle mit einem neuen Rekord-Anfangswirkungsgrad von 14,1 % erzeugt werden. Mit optimierten Schichten konnte zudem für eine Einfachzelle aus mikrokristallinem Silizium ein Laborrekord

von 10,9 % erreicht werden. Diese Arbeiten werden durch das neue anwendungsnahe EU-Projekt PEPPER ergänzt.

Die nachgewiesenen Optimierungsmöglichkeiten durch die Erzeugung von Strukturen im Nanometerbereich stellen nicht triviale Anforderungen für deren Umsetzung im industriellen Massstab. Das EU-Projekt N2P (Nano to Production) befasst sich mit dieser Fragestellung und untersucht insbesondere die Möglichkeiten von Plasmaprozessen bei Atmosphärendruck. Im Vordergrund steht für das PV-Lab das Wachstum von strukturierten Zinkoxid-Schichten als leitende Oxidschicht (TCO).



Figur 3: Hocheffiziente flexible CIGS Dünnschichtsolarzellen: Entwicklung des Wirkungsgrades, neuer Weltrekord 18,74 % (Bildquelle: Empa).

Dünnschicht-Siliziumsolarzellen auf Kunststoffsubstraten bilden weiterhin ein Thema am PV-Lab. Auch hier sind Materialeigenschaften und Lichteinfang die zentralen Fragestellungen, welche im EU-Projekt Si-LIGHT untersucht werden. Mikromorphe Tandemsolarzellen erreichten 11,8 % stabilisierten Wirkungsgrad.

Als weitere Stossrichtung der Solarzellenforschung am PV-Lab kommt das bekannte Konzept eines Heteroübergangs zwischen verschiedenen Schichten aus kristallinem und amorphem bzw. mikrokristallinem Silizium zur Anwendung (HIT-Zelle). Mit diesem Ansatz lassen sich hoch effiziente Solarzellen herstellen. Im EU-Projekt 20PLUS erreichte das PV-Lab hierzu einen Wirkungsgrad von 21,2 %.

CIGS Solarzellen – neuer Wirkungsgrad-Weltrekord für flexible Solarzellen

Die derzeit wichtigsten Vertreter der Verbindungshalbleiter-Solarzellen sind CIGS und CdTe. Letztgenannte Technologie hat sich in den vergangenen Jahren als weltweit führende Dünnschichttechnologie etabliert mit einer Produktion im GW-Massstab (First Solar) und ist der Referenzwert für die Wettbewerbsfähigkeit von Dünnschicht-Solarzellen. CIGS-Solarzellen werden erst in kleinerem Umfang produziert, bergen aber ein grosses Effizienzpotenzial. Neben diesen Hauptvertretern der Verbindungshalbleiter-Solarzellen werden weltweit neue Materialvarianten erforscht, insbesondere in der Materialklasse der Kesteriten.

In der Schweiz hat sich auf diesem Gebiet das Labor für Dünne Schichten und Photovoltaik an der Empa als leistungsfähige Forschungseinheit etabliert. Das Labor arbeitet im Rahmen von BFE-, EU-, KTI- und weiteren Projekten an unterschiedlichen Fragestellungen zu CIGS-Solarzellen. Dabei interessieren auch bei dieser Technologie die Materialeigenschaften, Depositionsprozesse und -temperaturen (sowohl unter Vakuum, als auch bei Atmosphärendruck), die notwendigen Pufferschichten und die Substratwahl. Von besonderem Interesse sind flexible

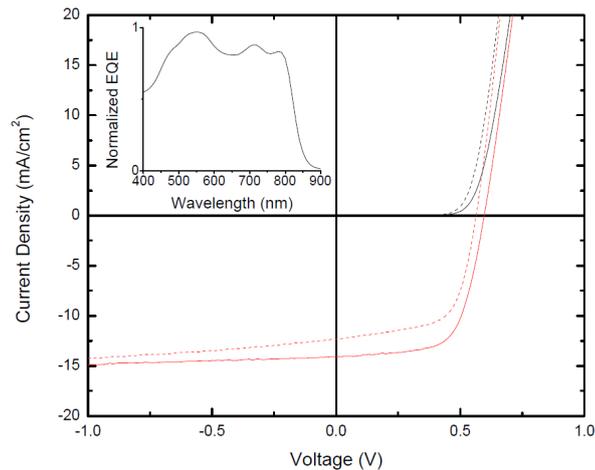
Solarzellen auf Kunststoffsubstraten. Hier erfolgt eine intensive Zusammenarbeit mit dem Empa-Spin-off-Unternehmen FLISOM.

Im BFE-Projekt FEBULAS werden mit dem Ziel Cd-freier Solarzellen die Möglichkeiten von und die Solarzeleigenschaften mit alternativen Pufferschichten zu CdS untersucht. Mit einer Pufferschicht auf der Grundlage von In_2S_3 wurde bisher ein Wirkungsgrad von 12,6 % erreicht. Dieser reicht allerdings noch nicht an die Eigenschaften der mit CdS Schichten realisierten Solarzellen, für welche Mini-Module mit 13,3 % Wirkungsgrad erreicht wurden. Dieses Resultat steht stellvertretend für die Forschung an Cd-freien CIGS-Solarzellen.

Im EU-Projekt HIPO-CIGS wurde mit CdS ein neuer Rekordwirkungsgrad für flexible Solarzellen von 18,7 % (Figur 3) erzielt. Damit konnte gezeigt werden, dass für flexible Solarzellen hohe Wirkungsgrade möglich sind und der Höchstwert wohl noch nicht erreicht ist.

Als kostentreibender Faktor gelten die bei CIGS Solarzellen notwendigen Ausgangsmaterialien und deren Depositionsprozesse (z. B. Verdampfen, Molekularstrahlepitaxie MBE). Im BFE-Projekt IMPUCIS wird in Zusammenarbeit mit dem belgischen Industriepartner Umicore der Einfluss von unterschiedlichen Materialreinheiten erforscht. Im Berichtsjahr wurde der Einfluss von Eisenverunreinigungen untersucht, welche einen besonders starken Einfluss auf die Solarzellen-Eigenschaften haben. Die bisherigen Resultate von hohen Wirkungsgraden mit Ausgangsmaterialien geringerer Reinheit konnten bestätigt werden. Mit der neuen Molekularstrahlepitaxie-Anlage wurden CIGS Solarzellen bei unterschiedlichen Temperaturen (450 und 600 °C) abgeschieden. Es konnte gezeigt werden, dass auch bei der tieferen Temperatur mit geeigneten Prozessen hohe Wirkungsgrade möglich sind.

Als Alternative zu den aufwändigen, vakuumbasierten Verfahren zur Herstellung von CIGS Solarzellen werden vermehrt die Möglichkeiten von vakuumfreien Prozessen untersucht. Das EU-Projekt NOVA-CI(G)S befasst sich mit dieser Fragestellung. Im Berichtsjahr wurden mit ersten CIGS



Figur 4: Stromspannungskennlinien von Polymer-Solarzellen durch Spin Coating (ausgezogene rote Linie, Wirkungsgrad 5,5 %) und Inkjet Druckverfahren (unterbrochene Linie, Wirkungsgrad 4,4 %) (Bildquelle: ZHAW).

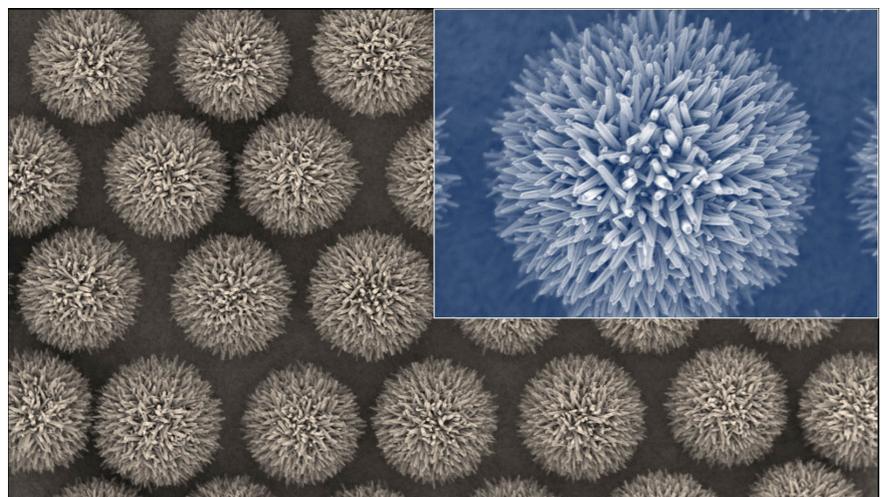
Solarzellen auf der Grundlage von Nanopartikel-Precursor-Dispersionen ein Wirkungsgrad von 4,8 % erreicht.

Organische und andere neue Materialansätze – Neuste Grundlagenresultate

Während sich die bekannten Solarzellentechnologien immer stärker in Richtung industrielle Prozesse und Umsetzung bewegen, entwickeln sich in der Grundlagenforschung neue Materialansätze, welche das Spektrum der künftigen Photovoltaiktechnologien ergänzen können. Auch wenn diese Ansätze die Photovoltaikanwendun-

gen der nächsten Jahre noch nicht unmittelbar beeinflussen werden, ist die Erforschung neuer Lösungen mittel- und langfristig dennoch wichtig. Die folgenden Beispiele zeigen neue Forschungsergebnisse, welche in den mehr grundlagenorientierten Gebieten der organischen Solarzellen und der elektrochemisch abgeschiedenen ETA-Solarzellen erzielt wurden. Mehrere Projekte kamen in diesem Bereich im Berichtsjahr zum Abschluss:

Die Abteilung Funktionspolymere an der Empa entwickelte im BFE-Projekt HIOS-CELL im Rahmen der europäischen PV-ERA-NET Zusammenarbeit eine neue Bulk-Heterojunction zwischen Cyanin-Farbstoffen und PCBM Fullerenen. Als Resultate der grund-



Figur 5: Elektronenmikroskopische Aufnahmen von elektrochemisch abgeschiedenen Zinkoxid-Nanostrukturen als Grundlage für ETA (extremely thin absorber) Solarzellen (Bildquelle: Empa).

legenden Arbeiten konnten Morphologie, Ionenlöslichkeit und ein Modell des neuen Systems erarbeitet werden. Erste Solarzellen mit tiefen Wirkungsgraden von $< 1\%$ wurden ebenfalls hergestellt, wobei das vorliegende System materialspezifisch weiter entwickelt werden muss.

Näher an den bereits erprobten Ansätzen der organischen Solarzellen war das BFE-Projekt Apollo an der ZHAW, in welchem ebenfalls im internationalen PV-ERA-NET Kontext aufgrund von Erfahrungen aus der Kunststoff-

elektronik neue Ansätze für druckbare organische Solarzellen mittels Tintenstrahldrucker entwickelt wurden. Durch Spin-Coating abgeschiedene Solarzellen erreichten Wirkungsgrade von 6% , die gedruckten organischen Solarzellen zeigten beachtliche Wirkungsgrade bis zu $4,5\%$ (Figur 4). Zudem konnten Tandemzellen mit bis bis zu 6% Wirkungsgrad erreicht werden.

Ein grundlegend anderer Ansatz wurde im BFE-Projekt ETA Solar Cell an der Abteilung Werkstoff- und Nanomechanik der Empa verfolgt. Hier wurden auf

Polystyrol-Kugeln durch Atomic Layer Deposition ZnO-Nanoschichten und anschliessend elektrochemisch Nano-drähte abgeschieden. Dadurch wurden hohe spezifische, igelartige Oberflächen erzielt (Figur 5). Als Lichtabsorber wurden darauf CdSe Schichten und anschliessend CuSCN abgeschieden. Die optischen Eigenschaften dieses Materialsystems wurden bestimmt und erste Solarzellen gebaut. Dabei wurde ein Wirkungsgrad von $1,3\%$ erreicht.

Pilot- und Demonstrationsprojekte

Als Schwerpunkt stehen neue Ansätze im Bereich der Photovoltaik Gebäudeintegration im Vordergrund. Typische Themen sind hier der Unterbau und das Montagesystem, der Aufbau des Solarmoduls, ein hoher Integrationsgrad oder Zusatzfunktionen am Bau. Photovoltaik-Indachsysteme übernehmen neben der Stromproduktion die Funktion der Wasser führenden Dachhaut.

Das ISAAC an der SUPSI hat zum Thema der Photovoltaik-Gebäudeintegration einen Schwerpunkt gesetzt und erarbeitet in mehreren übergreifenden Projekten umfassende Analysen und Lösungsansätze. Dieses Wissen wird im BRENET-Netzwerk weiter entwickelt (www.bipv.ch).

Photovoltaik Gebäudeintegration – ästhetische und funktionale Integration

2011 schloss 3S Swiss Solar Systems das BFE-Projekt SmartTile eines neuen Photovoltaik-Indachsystems mit den Messungen eines ganzen Betriebsjahrs einer Pilotanlage ab (Figur 6). Mit diesem Ansatz können Photovoltaik und Solarthermie in einem System vereint werden. Für die Photovoltaik-Anlage von $9,6\text{ kW}_p$ Leistung konnte ein jährlicher Energieertrag von $11'225\text{ kWh}$ ermittelt werden, was einem spezifischen Ertrag von $1'169\text{ kWh/kW}_p$ entspricht.

Im neuen BFE-Projekt PV Foamglas sollen die Photovoltaikmodule neben der Stromproduktion und der Funktion der Dachhaut auch die Wärme- und Schalldämmung übernehmen. Dieser Ansatz stellt insbesondere in Bezug auf das thermische Verhalten der Photovoltaikanlage eine Herausforderung dar. Hierzu erarbeiten die Partner Basler & Hofmann und Pittsburgh Corning Schweiz geeignete Lösungen, welche anschliessend in einer Demonstrationsanlage realisiert werden sollen.

Einen grundlegenden Ansatz verfolgt das P+D-Projekt Archinsolar, welches

verschiedene Partner und Förderorganisationen (BFE, swisselectric research, SIG, CCEM) vereint. Es geht darum, Silizium-Dünnschichtsolarmodule mittels kolorierten Interferenzfiltern so zu gestalten, dass unterschiedliche Farben möglich werden. Damit soll eine neue und energetisch effizientere Art der Farbgebung von Solarmodulen erzielt werden. Im Berichtsjahr konnte ein erstes Terra-Cotta-farbiges Demonstrationsmodul realisiert werden. Neben der ästhetischen Funktion werden auch die Aspekte der Zuverlässigkeit und der Lebensdauer des neuen Ansatzes untersucht.



Figur 6: Gebäudeintegrierte Photovoltaik-Pilotanlage ($9,6\text{ kW}_p$) mit dem neuen Smart-Tile System (Bildquelle: 3S Swiss Solar Systems).

Nationale Zusammenarbeit

Im Berichtsjahr wurde die vielfältige nationale Zusammenarbeit in verschiedenen, zum Teil übergreifenden Projekten weiter gepflegt. Damit findet innerhalb der Schweizer Photovoltaik-Gemeinschaft aus Forschung, Industrie und Anwendung ein reger Austausch statt. Die Zusammenarbeit mit Industrieunternehmen konnte weiter intensiviert werden, sowohl in neuen Projekten mit der KTI, als auch in der Form von direkten Mandaten der Industrie an ausgewählte Forschungsinstitute. Auf Programmebene wurde die Zusammenarbeit mit vielen Stellen des Bundes, der Kantone und der Elektrizitätswirtschaft weiter gepflegt.

Die weltweit sehr dynamische Entwicklung der Photovoltaik, die jüngsten energiepolitischen Entwicklungen im

Zusammenhang mit der Fukushima-Katastrophe sowie die KTI-Sondermassnahmen Starker Franken haben für die Schweizer Photovoltaik für viel Hektik gesorgt und zahlreiche Diskussionen sowie neue Projekte ausgelöst.

Eine Arbeitsgruppe mit Vertretern der führenden Forschungsinstitute und der Industrie hat sich intensiv mit dem Masterplan Photovoltaik 2020, welcher auf der Grundlage des Masterplans Cleantech erarbeitet werden soll, befasst. Aufgrund der raschen Änderung der Randbedingungen auf allen Ebenen konnte dieses Strategiepapier noch nicht abgeschlossen werden. Es soll im ersten Halbjahr 2012 weiter konkretisiert und einer breiten Vernehmlassung unterzogen werden.

Internationale Zusammenarbeit

Die institutionelle Zusammenarbeit innerhalb der IEA, der IEC und der europäischen Netzwerkprojekte wurde im Berichtsjahr kontinuierlich fortgesetzt. Auf der Projektebene konnte die Zusammenarbeit innerhalb der EU in bestehenden und neuen Projekten sehr erfolgreich fortgesetzt werden. Im Jahr 2011 waren es 23 Projekte im 7. Rahmenforschungsprogramm der EU.

Die Beteiligung am Photovoltaikprogramm der IEA (IEA PVPS) wurde im Berichtsjahr fortgesetzt, sowohl auf der Projektebene als auch im Executive Committee (ExCo).

Die Firma Nova Energie vertritt die Schweiz in Task 1 des Implementing Agreements (IA) PVPS der IEA, welcher allgemeine Informationsaktivitäten zur Aufgabe hat. Im Berichtsjahr wurde ein weiterer nationaler Bericht über die Photovoltaik in der Schweiz bis 2010 [8] ausgearbeitet. Auf dieser Grundlage wurde die 16. Ausgabe des jährlichen internationalen Berichtes (Trends Report) über die Marktentwicklung der Photovoltaik in den IEA-Ländern erstellt [9].

Im Rahmen der interdepartementalen (SECO, DEZA, BAFU, BFE) Plattform REPIC zur Förderung der erneuerbaren Energien und der Energieeffizienz in der internationalen Zusammenarbeit [10] leistet das Beratungsunternehmen Entec den Schweizer Beitrag zum IA PVPS Task 9 über die Photovoltaik-Entwicklungszusammenarbeit. Dieses Projekt befasst sich mit der nachhaltigen Verbreitung der Photovoltaik in Entwicklungsländern und thematisiert auch Aspekte der solaren Wasserversorgung.

ESU Services vertritt die Schweiz im IA PVPS Task 12 zu Umwelt-, Sicherheits- und Gesundheitsaspekten der Photovoltaik. In diesem Projekt sollen industriell möglichst aktuelle, relevante und international abgeglichene Informationen zu diesem bedeutenden Thema aufgear-

beitet und publiziert werden. Im Berichtsjahr erschien eine neue Publikation zu Lebenszyklusanalysen (LCA) der Photovoltaik [11].

TNC vertritt die Schweiz im neuen IA PVPS Task 13 zu Performance und Zuverlässigkeit von Photovoltaikanlagen. Eine Arbeitsgruppe unter Leitung von Planair vertritt die Schweiz im neuen IA PVPS Task 14 zur hohen Penetration von PV-Anlagen in elektrischen Netzen.

Das Unternehmen Meteotest und die Groupe Energie an der Universität Genf erbringen zusammen den Schweizer Beitrag zum Task 36 Solar resource knowledge management. Task 36 ist Bestandteil des IA Solare Wärme und Kälte (SHC) der IEA, inhaltlich ist es jedoch für alle Solartechnologien relevant. Dementsprechend erfolgt eine Zusammenarbeit mit den weiteren IA zur Solarenergie (IA PVPS und IA SolarPACES). In diesem Projekt wird die Qualität verschiedener Strahlungsmodelle und daraus abgeleiteter Produkte verglichen und optimiert.

Ähnlich erfolgt im Task 41 Solar Energy and Architecture des IA SHC eine Mitwirkung der Schweiz durch die HSLU (CCTP) und das ISAAC an der SUPSI. Auch hier finden Photovoltaik-relevante Aktivitäten statt.

Basler & Hofmann vertritt die Schweiz im Auftrag von Swissolar im TC 82 der IEC zu Photovoltaik-Normen.

Die Beteiligung am EU-Projekt PV-ERA-Net, welches Programmkoordinationsstellen und verantwortliche Ministerien unter dem ERA-Net-Schema zusammengeführt hatte, wurde im Berichtsjahr von den beteiligten Ländern als selbst getragenes Netzwerk weiter verfolgt [12]. Das Sekretariat ist bei der Programmleitung Photovoltaik angesiedelt.

Die Schweiz ist in der Europäischen Photovoltaik-Technologie-Plattform sowohl im Steuerungsausschuss, als auch in der Mirror Group vertreten [13]. Die von der Europäischen Kommission lancierte Solar Europe Industry Initiative soll im Rahmen eines neuen Solar ERA-Net-

Projektes konkretisiert werden. Die Programmleitung Photovoltaik koordiniert dieses Vorhaben, welches im Februar 2012 bei der Europäischen Kommission eingereicht wird.

Referenzen

[1] *Forschung für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung, Das 6. Energieforschungsprogramm der Bundesregierung, BMWi (2011).*

[2] *SunShot Vision Study, US DOE (2012).*

[3] *IEA Technology Roadmap Solar photovoltaic energy, OECD/IEA, (www.iea.org/papers/2010/pv_roadmap.pdf) (2010).*

[4] *Grundlagen für die Energiestrategie des Bundesrates, BFE (2011).*

[5] *Konzept der Energieforschung des Bundes 2008 bis 2011, CORE/BFE (2007).*

[6] *Energieforschungsprogramm Photovoltaik für die Jahre 2008–2011, BFE (2008).*

[7] *Projektliste der Energieforschung des Bundes 2008–2009, BFE (2011).*

[8] *National Survey Report of PV Power Applications in Switzerland 2010, BFE (2011).*

[9] *Trends in Photovoltaic Applications, Survey Report of selected IEA countries between 1992 and 2010, IEA-PVPS T1–20 (2011).*

[10] *Interdepartementale Plattform zur Förderung der erneuerbaren Energien und der Energieeffizienz in der internationalen Zusammenarbeit, REPIC (www.repic.ch).*

[11] *Life Cycle Inventories and Life Cycle Assessments of Photovoltaic Systems, IEA-PVPS T12-02 (2011).*

[12] *The Photovoltaic European Research Area Network, PV-ERA-Net (www.pv-era.net).*

[13] *European Photovoltaic Technology Platform (www.eupvplatform.org).*

Laufende und im Berichtsjahr abgeschlossene Projekte

(* IEA-Klassifikation)

- NEW PROCESSES AND DEVICE STRUCTURES FOR THE FABRICATION OF HIGH EFFICIENCY THIN FILM SILICON PHOTOVOLTAIC MODULES** R+D (1a) 3.1.2*

Lead: EPFL STI IMT-NE PV-LAB	Funding: BFE
Contact: Ballif Christophe christophe.ballif@epfl.ch	Period: 2007–2011

Abstract: New processes and device structures for the fabrication of high efficiency thin film silicon photovoltaic modules. Focus is on layers with new or better properties, on improved processes, on improved devices and on enhanced cells and modules reliability.
- PEPPER – PROCESSES AND EQUIPMENTS FOR THIN FILM SILICON PV MODULES PRODUCED WITH LOWER ENVIRONMENTAL IMPACT AND REDUCED COST AND MATERIAL USE** R+D (1a) 3.1.2

Lead: EPFL STI IMT-NE PV-LAB	Funding: SBF/EU
Contact: Ballif Christophe christophe.ballif@epfl.ch	Period: 2010–2013

Abstract: The FP7 EU PEPPER project aims at achieving high efficiency (11%) micromorph (amorphous/microcrystalline silicon tandem) modules at low cost (CoO ≤ 0.5 €/Wp) while reducing the environmental impact of fabrication processes.
- FLEXIBLE PRODUCTION TECHNOLOGIES AND EQUIPMENT BASED ON ATMOSPHERIC PRESSURE PLASMA PROCESSING FOR 3D NANO STRUCTURED SURFACES (N2P)** R+D (1a) 3.1.2

Lead: EPFL STI IMT-NE PV-LAB	Funding: SBF/EU
Contact: Ballif Christophe christophe.ballif@epfl.ch	Period: 2008–2012

Abstract: The overall objective of the project "N2P" (Nano to Production) is to develop and substantially enhance the position of Europe in the science, application and production technologies of surface 3D nano-structuring.
- IMPROVED MATERIAL QUALITY AND LIGHT TRAPPING IN THIN FILM SILICON SOLAR CELLS (SILOCON_LIGHT)** R+D (1a) 3.1.2

Lead: EPFL STI IMT-NE PV-LAB	Funding: SBF/EU
Contact: Ballif Christophe christophe.ballif@epfl.ch	Period: 2010–2012

Abstract: The project Si-Light is devoted to the investigation of n-i-p solar cells on flexible substrates with focus on material quality, interface properties, and light management.
- INTERFACE TEXTURING FOR LIGHT TRAPPING IN SOLAR CELLS** R+D (1a) 3.1.2

Lead: EPFL STI IMT-NE PV-LAB	Funding: SNF
Contact: Ballif Christophe christophe.ballif@epfl.ch	Period: 2009–2011

Abstract: The project is devoted to a fundamental understanding of the light trapping process in solar cells.
- A NEW LOW ION ENERGY BOMBARDMENT PECVD REACTOR FOR THE DEPOSITION OF THIN FILM SILICON FOR SOLAR CELL APPLICATIONS.** R+D (1a) 3.1.2

Lead: EPFL CRPP	Funding: KTI
Contact: Hollenstein Christoph christophe.hollenstein@epfl.ch	Period: 2008–2012

Abstract: A novel electrode configuration is proposed for improved plasma-enhanced chemical vapour deposition of films such as amorphous silicon and micro-crystalline silicon.
- ZWEIDIMENSIONALE NANOSTRUKTUREN FÜR SILIZIUM-SOLARZELLEN** R+D (1a) 3.1.2

Lead: PSI Paul Scherrer Institut	Funding: BFE
Contact: Gobrecht Jens jens.gobrecht@psi.ch	Period: 2008–2012

Abstract: Numerische Simulation von zweidimensionalen Nanostrukturen für Silizium-Solarzellen.

- **ALL-INORGANIC NANO-ROD BASED THIN-FILM SOLARCELLS ON GLASS (ROD-SOL)** R+D (1a) 3.1.2
- Lead: EMPA Thun Funding: SBF/EU
 Contact: Michler Johann johann.michler@empa.ch Period: 2009–2011
 Abstract: The ROD-SOL project aims at the synthesis of Si nano-rods, densely packed at sufficiently large diameters (few 100 nm's) and lengths (>1µm) directly on cheap substrates like glass or flexible metal foils.
- **HIGH EFFICIENCY THIN-FILM PASSIVATED SILICON SOLAR CELLS AND MODULES – THIFIC: THIN FILM ON CRYSTALLINE SI** R+D (1b) 3.1.2
- Lead: EPFL STI IMT-NE PV-LAB Funding: Axpo Naturstrom
 Contact: Ballif Christophe christophe.ballif@epfl.ch Period: 2007–2011
 Abstract: The THIFIC project aims at developing a new kind of ultra-high efficiency (20-22%) solar cells by depositing very thin silicon layers of amorphous and/or microcrystalline silicon on top of silicon wafers.
- **20 PERCENT EFFICIENCY ON LESS THAN 100 µM THICK INDUSTRIALLY FEASIBLE C-SI SOLAR CELLS (20PLµS)** R+D (1b) 3.1.2
- Lead: EPFL STI IMT-NE PV-LAB Funding: SBF/EU
 Contact: Ballif Christophe christophe.ballif@epfl.ch Period: 2010–2013
 Abstract: The guiding principle of the 20PLµS project is to develop new and innovative process steps for wafer fabrication and solar cell and module manufacturing, taking into consideration the transfer of the processes to a pilot production line.
- **ULTRA-HIGH CONDUCTIVITY METALLIZATION PASTES FOR HETEROJUNCTION SOLAR CELLS (TCOC)** R+D (1b) 3.1.2
- Lead: EPFL STI IMT-NE PV-LAB Funding: KTI
 Contact: Ballif Christophe christophe.ballif@epfl.ch Period: 2009–2011
 Abstract: The TCOC project aims at developing nano-enabled low temperature curable silver pastes exhibiting very low resistivity compatible with high efficiency heterojunction solar cells (HJC).
- **FEBULAS** R+D (1c) 3.1.2
- Lead: EMPA Dübendorf Funding: BFE
 Contact: Tiwari Ayodhya N. ayodhya.tiwari@empa.ch Period: 2009–2011
 Abstract: FEBULAS – Flexible CIGS Solar Cells and Mini-Modules on polymer without – or with alternative buffer layer. Focus is on Cd-free buffer layers.
- **IMPUCIS** R+D (1c) 3.1.2
- Lead: EMPA Dübendorf Funding: BFE
 Contact: Tiwari Ayodhya N. ayodhya.tiwari@empa.ch Period: 2009–2012
 Abstract: Influence of impurities on the performance of CIGS thin film solar cells. Focus is on achieving good performance CIGS solar cells with reduced material quality.
- **HIPOCIGS – NEW CONCEPTS FOR HIGH EFFICIENCY AND LOW COST IN-LINE MANUFACTURED FLEXIBLE CIGS SOLAR CELLS** R+D (1c) 3.1.2
- Lead: EMPA Dübendorf Funding: SBF/EU
 Contact: Tiwari Ayodhya N. ayodhya.tiwari@empa.ch Period: 2010–2012
 Abstract: The HIPO-CIGS project aims at the development of cost efficient flexible solar cells and modules based on the compound semiconductor CIGS.

- **NOVA-CI(G)S – NON-VACUUM PROCESSES FOR DEPOSITION OF CI(G)S ACTIVE LAYER IN PV CELLS** R+D (1c) 3.1.2
- | | | | |
|----------|--|----------|-----------|
| Lead: | EMPA Dübendorf | Funding: | SBF/EU |
| Contact: | Tiwari Ayodhya N. ayodhya.tiwari@empa.ch | Period: | 2010–2013 |
- Abstract: NOVA-CI(G)S proposes alternative, non-vacuum deposition processes for thin film CI(G)S photovoltaic cells. The low capital intensive, high throughput, high material yield processes are expected to deliver large area uniformity and optimum composition of cells.
- **MULTIFUNCTIONAL BACK ELECTRICAL CONTACT FOR FLEXIBLE THIN FILM SOLAR CELLS** R+D (1c) 3.1.2
- | | | | |
|----------|--|----------|-----------|
| Lead: | EMPA Dübendorf | Funding: | KTI |
| Contact: | Tiwari Ayodhya Nath ayodhya.tiwari@empa.ch | Period: | 2009–2011 |
- Abstract: The project will demonstrate development of next generation of high efficiency CIGS flexible thin film solar cells and monolithically interconnected modules based on 'alternative multilayer electrical back contact' that provides multi-functionality and overcomes the problems of conventionally used electrical back contact.
- **ALL LASER SCRIBING OF CIGS PHOTOVOLTAIC PANELS ON RIGID SUBSTRATES: FEASIBILITY STUDY** R+D (1c) 3.1.2
- | | | | |
|----------|-----------------------------------|----------|------|
| Lead: | BFH | Funding: | KTI |
| Contact: | Romano Valerio valerio.romano@bfh | Period: | 2011 |
- Abstract: All laser based scribing of thin film photovoltaics such as CIGS or CdTe would represent an enormous step forward from the cost and technological points of view. This study should demonstrate the feasibility of all laser CIGS scribing as a first step for an efficient all laser scribing machine.
- **APOLLO – EFFICIENT AREAL ORGANIC SOLAR CELLS VIA PRINTING** R+D (1d) 3.1.2
- | | | | |
|----------|---|----------|-----------|
| Lead: | ZHAW ICP | Funding: | BFE |
| Contact: | Ruhstaller Beat beat.ruhstaller@zhaw.ch | Period: | 2008–2011 |
- Abstract: This project aims to combine plastic electronics expertise in Europe for realizing organic solar cells for empowering printed electronics applications.
- **HIOS-CELL** R+D (1d) 3.1.2
- | | | | |
|----------|---------------------------------|----------|-----------|
| Lead: | EMPA Dübendorf | Funding: | BFE |
| Contact: | Heier Jakob jakob.heier@empa.ch | Period: | 2009–2011 |
- Abstract: The project explores nanoscale structuring of heterojunction ionic organic solar cells by liquid-liquid dewetting.
- **FABRI-PV -TRANSPARENT FABRIC ELECTRODES FOR ORGANIC PHOTOVOLTAICS** R+D (1d) 3.1.2
- | | | | |
|----------|-----------------------------------|----------|-----------|
| Lead: | EMPA Dübendorf | Funding: | KTI |
| Contact: | Nüesch Frank frank.nuesch@empa.ch | Period: | 2009–2011 |
- Abstract: Solar cells require at least one transparent electrode which are commonly made of transparent conducting metal-oxide films (TCOs) since they ally excellent conductivity and high optical transmission in the visible domain. The project explores transparent fabric electrodes for organic photovoltaics (FABRI-PV).
- **NEUARTIGE SENSIBILISATOREN FÜR FARBSTOFFSOLARZELLEN: SQUARAIN- UND HEPTAMETHINFARBSTOFFE MIT EINER GROSSEN SPEKTRALEN VIELFALT OBERHALB 700 NM.** R+D (1d) 3.1.2
- | | | | |
|----------|-----------------------------------|----------|-----------|
| Lead: | EMPA Dübendorf | Funding: | KTI |
| Contact: | Nüesch Frank frank.nuesch@empa.ch | Period: | 2009–2012 |
- Abstract: Was für die Pflanzen bzw. für die Photosynthese die komplexen Chlorophyllmoleküle sind, sind für Solarzellen heutzutage photosensitive anorganische und organische Materialien, die in gleicher Weise wie das Chlorophyll effizient Licht absorbieren und in Energie umwandeln können. Die Entwicklung solcher organischer Materialien für Farbstoffsolarzellen ist das Ziel des Projektes.

- **ESCORT – EFFICIENT SOLAR CELLS BASED ON ORGANIC AND HYBRID TECHNOLOGY** R+D (1d) 3.1.2
- | | | | |
|----------|--|----------|-----------|
| Lead: | EPFL ISIC-LPI | Funding: | SBF/EU |
| Contact: | Graetzel Michael
michael.graetzel@epfl.ch | Period: | 2010–2013 |
- Abstract: The project's objectives are to exploit the joint leadership of the top European and Indian academic and industrial Institutions to foster the wide-spread uptake of Dye-Sensitized Solar Cells technology, by improving over the current state of the art by innovative materials and processes.
- **MOLESOL – ALL-CARBON PLATFORMS FOR HIGHLY EFFICIENT MOLECULAR WIRE-COUPLED DYE-SENSITIZED SOLAR CELLS** R+D (1d) 3.1.2
- | | | | |
|----------|--|----------|-----------|
| Lead: | EPFL ISIC-LPI | Funding: | SBF/EU |
| Contact: | Graetzel Michael
michael.graetzel@epfl.ch | Period: | 2010–2013 |
- Abstract: The proposed project comes with a visionary approach, aiming at development of highly efficient molecular-wire charge transfer platform to be used in a novel generation thin film dye-sensitized solar cells fabricated via organic chemistry routes. The proposed technology combines the assembled dye monolayer's, linked with organic molecular wires to semiconducting thin film deposited on optically transparent substrates.
- **ORDERED INORGANIC-ORGANIC HYBRIDS USING IONIC LIQUIDS FOR EMERGING APPLICATIONS (ORION)** R+D (1d) 3.1.2
- | | | | |
|----------|--|----------|-----------|
| Lead: | Solaronix SA | Funding: | SBF/EU |
| Contact: | Meyer Toby
toby.meyer@solaronix.com | Period: | 2009–2013 |
- Abstract: The ORION project puts together a multidisciplinary consortium of leading European universities, research institutes and industries with the overall goal of developing new knowledge on the fabrication of inorganic-organic hybrid materials using ionic liquids.
- **DURSOL – EXPLORING AND IMPROVING DURABILITY OF THIN FILM SOLAR CELLS** R+D (1d) 3.1.2
- | | | | |
|----------|--------------------------------------|----------|-----------|
| Lead: | EMPA | Funding: | diverse |
| Contact: | Nüesch Frank
frank.nuesch@empa.ch | Period: | 2011–2013 |
- Abstract: The project's objectives are focused towards the understanding of fundamental degradation phenomena in thin film solar cells and enhancement of lifetime.
- **NUMERICAL SIMULATION, DESIGN AND FABRICATION OF EXTREMELY THIN ABSORBER SOLAR CELLS** R+D (1d) 3.1.2
- | | | | |
|----------|-------------------------------|----------|-----------|
| Lead: | ZHAW EMPA Thun | Funding: | BFE |
| Contact: | Loeser Martin
loma@zhaw.ch | Period: | 2011–2012 |
- Abstract: This joint research focuses on combining both numerical and experimental methods to analyze and improve the optical efficiency of extremely thin absorber (ETA) solar cells.
- **UPCON – ULTRA-PURE NANOWIRE HETEROSTRUCTURES AND ENERGY CONVERSION** R+D (1d) 3.1.2
- | | | | |
|----------|--|----------|-----------|
| Lead: | EPFL | Funding: | SBF/EU |
| Contact: | Vaccaro Luciana
luciana.vaccaro@epfl.ch | Period: | 2010–2014 |
- Abstract: This proposal is devoted to the synthesis of ultra pure semiconductor nanowire heterostructures for energy conversion applications in the photovoltaic domain.
- **SANS – SENSITIZER ACTIVATED NANOSTRUCTURED SOLAR CELLS** R+D (1d) 3.1.2
- | | | | |
|----------|--|----------|-----------|
| Lead: | EPFL ISIC-LPI | Funding: | SBF/EU |
| Contact: | Graetzel Michael
michael.graetzel@epfl.ch | Period: | 2011–2013 |
- Abstract: Plastic electronics and solution-processable inorganic semiconductors can revolutionise the photovoltaic industry due to their relatively easy and low cost processability (low embodied energy). The project aims at achieving significant progress in the materials for this type of solar cells.

- **DEPHOTEX – DEVELOPMENT OF PHOTOVOLTAIC TEXTILES BASED ON NOVEL FIBRES** R+D (1d) 3.1.2
- Lead: Greatcell solar AG Funding: SBF/EU
 Contact: Brooks Keith Period: 2008–2011
 Abstract: The goal of the project is to research and develop photovoltaic cells in order to get flexible photovoltaic textiles based on novel fibres allowing taking benefit from the solar radiation so as to turn it into energy.
- **MESOLIGHT – MESOSCOPIC JUNCTIONS FOR LIGHT ENERGY HARVESTING AND CONVERSION** R+D (1d) 3.1.2
- Lead: EPFL Funding: SBF/EU
 Contact: Vaccaro Luciana luciana.vaccaro@epfl.ch Period: 2010–2015
 Abstract: Research will focus on the generation of electric power by mesoscopic solar cells. The target is to increase the photovoltaic conversion efficiency from currently 11 to over 15 percent rendering these new solar cells very attractive for applications in large areas of photovoltaic electricity production.
- **ETA SOLAR CELL – EXTREMELY THIN ABSORBER SOLAR CELLS BASED ON ELECTRODEPOSITED ZNO NANOSTRUCTURES** R+D (1e) 3.1.2
- Lead: EMPA Thun Funding: BFE
 Contact: Laetitia Philippe laetitia.philippe@empa.ch Period: 2009–2011
 Abstract: The aim of the "ETA solar cells" project is to study separately the different materials used for the fabrication of this kind of photovoltaic device in order to improve the solar efficiency.
- **NANOSPEC – NANOMATERIALS FOR HARVESTING SUB-BAND-GAP PHOTONS VIA UPCONVERSION TO INCREASE SOLAR CELL EFFICIENCIES** R+D (1e) 3.1.2
- Lead: Universität Bern, Dep. Chemie & Biologie Funding: SBF/EU
 Contact: Krämer Karl karl.kraemer@iac.unibe.ch Period: 2010–2013
 Abstract: Fundamental loss mechanisms limit the maximum achievable efficiency: around 20% of the incident power is lost, because photons with energies below the band-gap are transmitted. Upconversion of two low energy photons into one usable photon reduces these losses. In this project we will realize upconversion with the help of nanostructures and nanotechnology-based materials and show a significant improvement in solar cell efficiency.
- **INNOVATIVE MATERIALS FOR FUTURE GENERATION EXCITONIC SOLAR CELLS** R+D (1e) 3.1.2
- Lead: Solaronix SA Funding: SBF/EU
 Contact: Meyer Andreas andreas.meyer@solaronix.com Period: 2009–2012
 Abstract: The main objective is to leapfrog current limitations of third-generation PV devices through a drastic improvement of the materials used for assembling excitonic solar cells.
- **PLASMONS GENERATING NANOCOMPOSITE MATERIALS (PGNM) FOR 3RD GENERATION THIN FILM SOLAR CELLS (SOLAMON)** R+D (1e) 3.1.2
- Lead: Solaronix SA Funding: SBF/EU
 Contact: Meyer Toby toby.meyer@solaronix.com Period: 2009–2011
 Abstract: The objective of the SOLAMON project is to develop high potential Plasmon Generating Nanocomposite Materials (PGNM) which will pave the way to the generation III solar cells (high efficiency & low cost).
- **ADVANCED LASERS FOR PHOTOVOLTAIC INDUSTRIAL PROCESSING ENHANCEMENT (ALPINE)** R+D (1e) 3.1.2
- Lead: Oclaro (Switzerland) AG Funding: SBF/EU
 Contact: Schmid Manuel www.oclaro.com Period: 2009–2012
 Abstract: ALPINE aims to push forward the European research and development of fiber laser systems for the scribing of photovoltaic modules, joining together two exciting challenges: the fiber laser development for advanced industrial processing and the solar energy exploitation.

- SOLARGLAS PV**

Lead: **SPF / HSR**

Contact: **Stefan Brunold** stefan.brunold@solarenergy.ch

Abstract: In this project the existing certificate for "solar glass", originally developed for solar thermal collectors, is adapted to the special properties of crystalline solar cells, which are directly laminated onto the tested glass. For the certification different factors are defined in order to classify the tested glasses in several performance groups.

R+D (2a) 3.1.2

Funding: **BFE**

Period: **2011–2012**
- SMARTTILE: INNOVATIVE PHOTOVOLTAIK INDACHLÖSUNG**

Lead: **3S Swiss Solar Systems AG**

Contact: **Szacsvey Tamás** tamas.szacsvey@3-s.ch

Abstract: Die zunehmende Industrialisierung der Fertigungsprozesse von Photovoltaik (PV) Modulen eröffnet neue Möglichkeiten für die Massenfertigung. Im Projekt SmartTile wird ein neues Solardachelement nach neusten Erkenntnissen entwickelt.

P+D (2a) 3.1.2

Funding: **BFE**

Period: **2008–2011**
- UNIQUE AND INNOVATIVE SOLUTION OF THIN SILICON FILMS MODULES BUILDING INTEGRATION**

Lead: **EPFL STI IMT-NE PV-LAB**

Contact: **Ballif Christophe** christophe.ballif@epfl.ch

Abstract: This project aims to develop and test a new generation of photovoltaic building elements based on thin film silicon technology (single amorphous and tandem amorph/microcrystalline cells).

P+D (2a) 3.1.2

Funding: **BFE**

Period: **2010–2013**
- PROFILED PHOTOVOLTAIC MODULES**

Lead: **EPFL-STI-IMX-LTC**

Contact: **Leterrier Yves** yves.leterrier@epfl.ch

Abstract: The objective of this collaboration is to develop a materials system and process for profiled encapsulation of thin film silicon photovoltaic devices with improved efficiency for structured roofing elements.

R+D (2a) 3.1.2

Funding: **KTI**

Period: **2009–2012**
- TECHNOLOGIES AND EQUIPMENT FOR LOW-COST PV BITUMINOUS-MODIFIED ROOFING MEMBRANE WITH INTEGRATION OF FLEXIBLE THIN-FILM SILICON PV MODULES (PV-GUM)**

Lead: **VHF Technologies SA**

Contact: **Fischer Diego** diego.fischer@flexcell.com

Abstract: The PV-GUM project aims at developing new manufacturing technologies and equipments which will produce a low cost highly efficient flexible BiPV solar cell on a bituminous roofing membrane.

R+D (2a) 3.1.2

Funding: **SBF/EU**

Period: **2010–2013**
- BUILDING INTEGRATED PHOTOVOLTAICS THERMAL ASPECTS**

Lead: **SUPSI ISAAC**

Contact: **Frontini Francesco** francesco.frontini@supsi.ch

Abstract: PV industries offering products that can be integrated as building materials represent so far a niche but promising market. The intentions of this project are to: Analyze building integrated PV products in order to define their electrical and thermal characteristics. Analyze the interaction between these materials and the building. Demonstrate what BiPV modules look like and how to integrate them into the building concept.

R+D (2a) 3.1.2

Funding: **BFE**

Period: **2009–2011**
- LARGE AREA SOLAR SIMULATOR INTEGRATING POWER LIGHT EMITTING DIODES FOR PERFORMANCE MEASUREMENT OF NEW GENERATIONS OF PHOTOVOLTAIC MODULES (SUNSIM)**

Lead: **EPFL STI IMT-NE PV-LAB**

Contact: **Ballif Christophe** christophe.ballif@epfl.ch

Abstract: High precision solar simulators will become crucial to characterize the next generation of low cost PV modules. In this project, a new large area characterization tool, satisfying criteria on homogeneity, spectrum, and temporal stability will be developed, prototyped and tested.

R+D (2b) 3.1.2

Funding: **KTI**

Period: **2009–2011**

- **OPTIMIZATION OF THIN FILM MODULE TESTING AND PV MODULE ENERGY RATING AT SUPSI** R+D (2c) 3.1.2

Lead: SUPSI ISAAC	Funding: BFE
Contact: Friesen Gabi gabi.friesen@supsi.ch	Period: 2011–2014

Abstract: This project aims to improve the measurement accuracy for thin film technologies through the definition of new test procedures and the up-grade of the test equipment.
- **MOBILES PV MESSSYSTEM** P+D (2c) 3.1.2

Lead: ZHAW IEFE	Funding: diverse
Contact: Baumgartner Franz franz.baumgartner@zhaw.ch	Period: 0

Abstract: Ein Messsystem für PV-Module ist auf einem Kleinbus montiert und erlaubt so Messungen von PV-Modulen an einem beliebigen Ort. Damit können langwierige Transporte von grösseren Mengen von zu testenden Modulen vermieden werden.
- **PHOTOVOLTAIK IM VERBUND MIT DÄMMSTOFF FOAMGLAS** P+D (2d) 3.1.2

Lead: Basler & Hofmann AG	Funding: BFE
Contact: Bucher Christof christof.bucher@baslerhofmann.ch	Period: 2010–2013

Abstract: In diesem Projekt soll mindestens ein Produkt aus PV und FOAMGLAS entwickelt werden.
- **APPLICATION DE MODULES PV FLEXIBLES SUR LE SITE DE PRODUCTION FLEXCELL** P+D (2d) 3.1.2

Lead: VHF Technologies SA	Funding: BFE
Contact: Fischer Diego diego.fischer@flexcell.com	Period: 2009–2012

Abstract: The goal of this project is to develop, install and monitor various building integrated PV products and installation solutions based on Flexcell's technology on buildings of Flexcell's production site in Yverdon.
- **PHOTOVOLTAÏQUE ET NEIGE: HORIZON DES SOLUTIONS POUR L'INSTALLATION SUR LES TOITS DANS LES RÉGIONS ENNEIGÉES** P+D (2d) 3.1.2

Lead: Planair SA	Funding: BFE
Contact: Perret Lionel lionel.perret@planair.ch	Period: 2011–2014

Abstract: Seven different photovoltaic fields and three snow clearing solutions were implemented. Measures on different parameters such as production and consumption of each field will occur during the winters of 2012, 2013 and 2014. The evaluation of the measures will enable to determine snow impact and compare different photovoltaic technologies and snow clearing solutions.
- **BISOL – BUILDING INTEGRATED SOLAR NETWORK – BRENET** R+D (2e) 3.1.2

Lead: SUPSI ISAAC	Funding: BFE
Contact: Rudel Roman roman.rudel@supsi.ch	Period: 2008–2011

Abstract: The aim of the BiSol project is to create a competence network between specialists from various stakeholders so as to maximize solar energy integration into the built environment and overcome the related technical and non technical issues.
- **BIPV TOOLS** WTT (2e) 3.1.2

Lead: SUPSI ISAAC	Funding: BFE
Contact: Frontini Francesco francesco.frontini@supsi.ch	Period: 2009–2011

Abstract: The BiPV Tools project is addressed specifically to architects. Its aim is to provide information and tools which will allow a correct and appropriate integration of photovoltaics into the building design concept.

- **TEXTILE PHOTOVOLTAICS: INTEGRATION OF MINIATURIZED SOLAR MODULES ON TEXTILES BY EMBROIDERY TECHNIQUES** R+D (2e) 3.1.2

Lead:	NTB	Funding:	KTI
Contact:	Gutsche Martin martin.gutsche@ntb.ch	Period:	2010–2012

Abstract: Im Projekt Textile Photovoltaik werden durch die Kombination von bestehenden Techniken miniaturisierte Solarmodule hergestellt und mittels Sticktechnik zu einem neuen Gewebeverbund verarbeitet. Die erarbeiteten Techniken erlauben es zum ersten Mal, vollflexible Flächengebilde mit photovoltaischer Funktion zu erzeugen.
- **PHOTOVOLTAIK SYSTEMTECHNIK 2007 – 2010** R+D (3) 3.1.2

Lead:	HTI Burgdorf	Funding:	BFE
Contact:	Häberlin Heinrich heinrich.haeberlin@bfh.ch	Period:	2007–2011

Abstract: Bau eines neuen Solargenerator-Simulators von 100 kW zusätzlich zu den bisherigen Geräten von 20 kW und 25 kW. Wartung und laufende Weiterentwicklung der Mess-Software der vorhandenen Solargenerator-Simulatoren.
- **SOLAR WINGS: SEIL-BASIERTES PHOTOVOLTAIK-NACHFÜHRSYSTEM 2-ACHSIG** P+D (3) 3.1.2

Lead:	PAMAG Engineering	Funding:	BFE
Contact:	Kessler Hugo hke.pamag@flumroc.ch	Period:	2009–2011

Abstract: Im Pilotprojekt Solar Wings wird erstmalig das Verhalten eines Seil-basierten 2-achsig nachgeführten Photovoltaiksystems erprobt und mit einer fix installierten Anlage verglichen.
- **AUTONOMOUS CLEANING ROBOT FOR LARGE SCALE PHOTOVOLTAIC POWER PLANTS IN EUROPE RESULTING IN 5% COST REDUCTION OF ELECTRICITY (PV-SERVITOR)** R+D (3) 3.1.2

Lead:	HTI Burgdorf	Funding:	SBF/EU
Contact:	Häberlin Heinrich heinrich.haeberlin@bfh.ch	Period:	2009–2011

Abstract: The PV-Servitor project focuses on concepts for a fully autonomous cleaning robot for ground mounted large scale photovoltaic power plants consisting of several 100 kW units. The PV-Servitor shall be able to automatically clean glass surfaces of solar modules in several areas of up to 2,500 square meters in an unrestricted way.
- **PV TESTANLAGE DIETIKON** P+D (3) 3.1.2

Lead:	ZHAW IEFÉ	Funding:	diverse
Contact:	Baumgartner Franz franz.baumgartner@zhaw.ch	Period:	

Abstract: In einer Testanlage werden verschiedene Photovoltaik-Modultechnologien erprobt und miteinander verglichen.
- **SIMULATION APPROACH TO INVESTIGATE THE IMPACT OF DISTRIBUTED POWER GENERATION WITH PHOTOVOLTAICS ON A POWER GRID (PV ERA NET PROJECT PV+GRID_06_DPVG)** R+D (3) 3.1.2

Lead:	Basler & Hofmann AG	Funding:	BFE
Contact:	Bucher Christof christof.bucher@baslerhofmann.ch	Period:	2010–2012

Abstract: Simulation Approach to Investigate the Impact of Distributed Power Generation with Photovoltaics on a Power Grid. The project addresses the important topic of grid integration of variable production from photovoltaics.
- **MESSKAMPAGNE PHOTOVOLTAIK SCHALLSCHUTZANLAGE MÜNSINGEN** P+D (4) 3.1.2

Lead:	TNC Consulting AG	Funding:	BFE
Contact:	Nordmann Thomas nordmann@tnc.ch	Period:	2009–2011

Abstract: In dieser Messkampagne wird das Verhalten der bifacialen Photovoltaik Schallschutzanlage beim Bahnhof Münsingen (Kt. BE) analysiert.

- RESOURCE- AND COST-EFFECTIVE INTEGRATION OF RENEWABLES IN EXISTING HIGH-RISE BUILDINGS (COST-EFFECTIVE)** R+D (4) 3.1.2

Lead:	Emmer Pfenninger Partner AG	Funding:	SBF/EU
Contact:	andreas.emmer@eppag.ch	Period:	2008–2012

Abstract: The main focus of the project is to convert facades of existing “high-rise buildings” into multifunctional, energy gaining components. This goal will be achieved by: development of integrated building concepts, development of new multi-functional façade components and development of new business and cost models.
- NORMENARBEIT FÜR PV SYSTEME** WTT (4) 3.1.2

Lead:	Basler & Hofmann AG	Funding:	Swissolar
Contact:	peter.toggweiler@baslerhofmann.ch	Period:	2007-

Abstract: Normen sind ein wichtiges Instrument zur Qualitätssicherung sowie zum sicheren und zuverlässigen Betrieb von PV-Anlagen. Das Projekt umfasst den Schweizer Beitrag zu den entsprechenden Arbeiten im IEC Technischen Komitee 82.
- SCHWEIZER BEITRAG IEA PVPS TASK 1 – EXCHANGE AND DISSEMINATION OF INFORMATION ON PHOTOVOLTAIC POWER SYSTEMS** R+D (5) 3.1.2

Lead:	Nova Energie GmbH	Funding:	BFE
Contact:	pius.huesser@novaenergie.ch	Period:	2011

Abstract: IEA PVPS Task 1 befasst sich mit Informationsaufgaben zum Stand der Photovoltaik in den Mitgliedsländern des IEA PVPS Programms. Dazu leistet dieses Projekt den Schweizer Beitrag, insbesondere zur Entwicklung von Industrie und Markt sowie des regulatorischen Kontextes.
- SCHWEIZER BEITRAG IM IEA PVPS PROJEKT TASK 9 „PHOTOVOLTAIC SERVICES FOR DEVELOPING COUNTRIES“** R+D (5) 3.1.2

Lead:	Entec	Funding:	REPIC
Contact:	alex.arter@entec.ch	Period:	1999–2012

Abstract: Gestützt auf die umfangreichen weltweiten Erfahrungen mit Photovoltaik Anlagen in Entwicklungsländern, strebt dieses Projekt die Erhöhung von erfolgreich und nachhaltig betriebenen Anlagen dieser Art für unterschiedliche Zwecke an. Die internationale Expertengruppe umfasst auf diesem Gebiet eine breite Projekterfahrung und konzentriert ihre Arbeit insbesondere auf die nicht-technischen Aspekte dieser Anwendungen.
- SCHWEIZER BEITRAG IEA PVPS TASK 12 – PV ENVIRONMENTAL HEALTH & SAFETY ISSUES** R+D (5) 3.1.2

Lead:	ESU-Services AG	Funding:	BFE
Contact:	frischknecht@esu-services.ch	Period:	2011

Abstract: IEA PVPS Task 12 befasst sich mit Umweltaspekten der Photovoltaik ausgehend von Analysen in den Mitgliedsländern des IEA PVPS Programms. Dazu leistet dieses Projekt den Schweizer Beitrag, insbesondere zur Lebenszyklusanalyse (LCA) von PV-Systemen.
- SCHWEIZER BEITRAG IEA PVPS TASK 13 – PERFORMANCE AND RELIABILITY OF PV SYSTEMS** R+D (5) 3.1.2

Lead:	TNC Consulting AG	Funding:	IEA PVPS Pool
Contact:	nordmann@tnc.ch	Period:	2011–2012

Abstract: IEA PVPS Task 13 befasst sich mit Performance und Zuverlässigkeit von PV-Komponenten und PV-Anlagen in den Mitgliedsländern des IEA PVPS Programms. Mit diesem Projekt wird der Schweizer Beitrag zu diesem neuen internationalen Vorhaben vorbereitet.
- SCHWEIZER BEITRAG IEA PVPS TASK 14 – HIGH PENETRATION OF PV SYSTEMS IN ELECTRICITY GRIDS (SWISS CONTRIBUTION)** R+D (5) 3.1.2

Lead:	Planair	Funding:	IEA PVPS Pool
Contact:	pierre.renaud@planair.ch	Period:	2010–2014

Abstract: The main purpose of Task 14 is to analyze the role of grid connected PV as an important source in electric power systems on a high penetration level where additional efforts may be necessary to integrate the dispersed generation in an optimum manner. The aim of these efforts is to reduce the technical barriers to achieve high penetration levels of distributed renewable systems on the electric power system.

