



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK

Bundesamt für Energie BFE
Sektion Energieforschung

März 2010

Forschungsprogramm

Photovoltaik

Synthesebericht 2009 des BFE-Programmleiters

Auftraggeber:

Bundesamt für Energie BFE

CH-3003 Bern

www.bfe.admin.ch

Autor:

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

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

Programmschwerpunkte und anvisierte Ziele

Das Forschungsprogramm *Photovoltaik* setzte im Jahr 2009 seine Ausrichtung auf die industrielle Umsetzung, die Qualitätssicherung und die internationale Wettbewerbsfähigkeit fort. Gleichzeitig wurden neue, mittel- und längerfristig aussichtsreiche Forschungsthemen verstärkt. Laufende Aktivitäten in Forschung und Entwicklung sowie Projekte im Bereich von Pilot- und Demonstrationsanlagen umfassen im Berichtsjahr 2009 rund 55 Projekte, wobei alle der Programmleitung bekannten Projekte mit einer Förderung der öffentlichen Hand berücksichtigt sind. Das Forschungsprogramm verfolgt in der Periode 2008–2011 die folgenden Ziele [32]:

- 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.

Dazu ist das Forschungsprogramm Photovoltaik in folgende fünf Bereiche aufgeteilt:

Solarzellen

Verschiedene materialspezifische Ansätze zu Dünnschichtsolarzellen stellen hier den wichtigsten Schwerpunkt dar (Silizium, Verbindungshalbleiter, Organische Materialien). Verstärkt wurden Heteroübergänge zwischen Dünnschicht- und kristallinen Schichten bearbeitet. Organische und Polymersolarzellen als mögliche langfristige Technologieoptionen gewinnen gesamthaft an Bedeutung. Neu findet Grundlagenforschung auch an elektrochemisch abgetrennten Schichten statt.

Module und Gebäudeintegration

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

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

Begleitende Themen

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

Institutionelle internationale Zusammenarbeit

Sie erfolgt einerseits projektbezogen auf allen Gebieten und andererseits im Rahmen des Photovoltaik-Programms (PVPS) der Internationalen Energieagentur (IEA), der Europäischen Photovoltaik-Technologieplattform (EU PV TP), der europäischen PV-ERA-Net-Kooperation (ERA: European Research Area) und der Normen und Standards festlegenden Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC).

Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse 2009

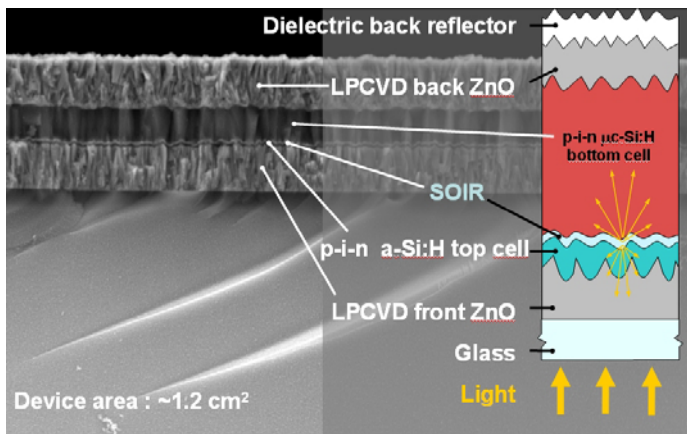
Solarzellen

Die grosse Vielfalt an Themen in der Schweizer Solarzellenforschung konnte im Berichtsjahr dank der breiten Abstützung dieser Forschung mit Erfolg fortgesetzt und ausgebaut werden. Nebst der Projektförderung durch das BFE erfolgen zahlreiche EU- und KTI-Projekte sowie Projekte im Rahmen des Competence Center Energy and Mobility (CCEM) des ETH-Bereichs, Swisselectric Re-

search und weiteren Förderstellen. Die wesentlichen Entwicklungen im Bereich des Dünnschichtsiliziums finden an der EPFL in Neuchâtel (IMT, vormals Universität Neuenburg), und Lausanne, sowie bei den Unternehmen Oerlikon

Dünnschichtsilizium

Die wesentlichen Entwicklungen im Bereich des Dünnschichtsiliziums finden an der EPFL in Neu-



Figur 1: Transmissionselektronenmikroskop-Bild und Schema einer mikromorphen Tandemsolarzelle mit einem SiO_x -Zwischenreflektor (Quelle: IMT).

châtel (IMT, vormals Universität Neuenburg), und Lausanne, sowie bei den Unternehmen Oerlikon Solar (Trübbach und Neuchâtel) und VHF-Technologies (Yverdon) statt. Diese Aktivitäten bilden nach wie vor den zentralen Schwerpunkt des Forschungsprogramms. Das Paul Scherrer Institut (PSI) und die EMPA Thun ergänzen diesen Themenbereich mit neuen Ansätzen.

Das IMT setzte im Berichtsjahr das Projekt zu *Silizium-Dünnschichtsolarzellen und -modulen* [1a] fort. Die Ziele dieses vierjährigen BFE-Projektes bestehen darin, die Kosten von Silizium-Dünnschichtsolarzellen weiter zu senken, wobei amorphes Silizium, SiGe-Verbindungen und mikrokristallines Silizium Gegenstand der Forschung sind. Es sollen diejenigen Fortschritte erzielt werden, welche Herstellungskosten $< 1 \text{ €/Wp}$ bei einem Wirkungsgrad von $> 10 \%$ erlauben. Die Zusammenarbeit mit der Industrie erfolgte primär mit den Unternehmen Oerlikon Solar und VHF-Technologies. Neu hinzugekommen ist die Firma Roth & Rau, welche mit dem IMT eine umfangreiche Forschungspartnerschaft eingegangen ist. Folgende Resultate aus dem Berichtsjahr seien hier erwähnt:

- **Materialien:** Im Berichtsjahr wurden die Materialeigenschaften von SiO_x -Schichten als optische Zwischenschichten analysiert (Fig. 1). Weiter erfolgten Arbeiten zu den transparenten und leitenden Oxidschichten (TCO), welche für die Lichtstreuung und -absorption in der Solarzelle und damit für den erzielbaren Strom von Bedeutung sind.
- **Prozesse:** Ein Schwerpunkt war die Herstellung von mikrokristallinem Silizium bei hohen Abscheideraten, wobei der Depositionsprozess und die Materialeigenschaften untersucht wurden. Es



Figur 2: Neue PECVD-Cluster-Depositionsanlage zur Entwicklung der Heteroübergangs-Solarzelle (Quelle: IMT).

wurde zudem ein neues Lasersystem für die Laserstrukturierung und -verschaltung der Solarzellen implementiert.

- **Komponenten:** Die erwähnten Schichten wurden auf verschiedenen Substraten für amorphe sowie mikromorphe Solarzellen optimiert. Dabei wurden kleine aber stetige Fortschritte im Wirkungsgrad der verschiedenen Material- und Substratkonfigurationen erzielt.
- **Zuverlässigkeit:** Es wurden Laminierungsversuche an einem Laborgerät und einem kommerziellen Gerät der Firma 3S Swiss Solar System durchgeführt.

Das KTI-Projekt *Flexible photovoltaics – next generation high efficiency and low cost thin film silicon modules* [1b] wurde im Berichtsjahr zwischen dem IMT und VHF-Technologies abgeschlossen. Durch Strukturierung der Kunststoffsubstrate wurde die Lichtabsorption erhöht und es wurden erste Module mit Tandemzellen realisiert. Ein weiteres KTI-Projekt des IMT befasst sich mit *transparenten leitenden Oxyden auf der Grundlage von ZnO* [1c].

Das durch den Axpo-Naturstromfonds unterstützte Projekt *Thific – Thin film on crystalline silicon* [1d] wurde am IMT fortgesetzt. In diesem Vorhaben werden extrem effiziente Solarzellen mit 20–22 % Wirkungsgrad angestrebt. Dabei kommt das bekannte Konzept eines Heteroübergangs zwischen verschiedenen Schichten aus kristallinem und amorphem bzw. mikrokristallinem Silizium zur Anwendung (HIT-Zelle). Zusammen mit dem Forschungspartner Roth & Rau wurde in einer industriekompatiblen Anlage auf texturierten Wafern ein Wirkungsgrad von 18,5 % realisiert.

Im EU-Projekt *Hetsi: Heterojunction solar cells based on a-Si/c-Si* [1e] arbeitet das IMT auch international auf dem Thema der Heteroübergang-Solarzelle. Das Projekt konzentriert sich auf das Verständnis und die Prozessphysik dieser Hocheffizienz-Zelle. In Hinsicht auf die industrielle Nutzung der Projektergebnisse wurde am IMT ein neues automatisiertes grossflächiges Depositionssystem ($410 \times 520 \text{ mm}^2$) aufgebaut (Fig. 2). Ein neues KTI-Projekt *Ultra-high conductivity metallization pastes for heterojunction solar cells TCOC* [1f] hat im Berichtsjahr begonnen.

Das EU-Projekt *Athlet* [1g] wurde im Berichtsjahr abgeschlossen. Die Arbeiten des IMT konzentrierten sich hier ergänzend zum BFE-Projekt auf mikromorphe Solarzellen und deren Produktion in industriellen Anlagen von Oerlikon Solar. Mit der mikromorphen Solarzelle wurde dabei ein stabiler Wirkungsgrad von 10,2 % erzielt.

Die Industriepartner des IMT erzielten ihrerseits wichtige Technologiefortschritte. Als Beispiel sei der Wirkungsgrad von grossflächigen ($1,3 \times 1,4 \text{ m}^2$) mikromorphen Solarmodulen von Oerlikon Solar aufgeführt, welcher 2009 einen Anfangswert von 11 % erreichte und damit seit 2008 um rund 20 % erhöht werden konnte [33]. Roth & Rau weihte im Herbst 2009 ihr Schweizer Forschungslabor am IMT ein [34].

Ein KTI-Projekt am CRPP der EPFL befasst sich mit der Entwicklung eines neuen Reaktors für die Plasma-unterstützte chemische Gasphasenabscheidung (PECVD) von Dünnschicht-Solarzellen [2].

Ein weiteres BFE-Projekt am PSI geht der Frage nach optimalen Ansätzen für zweidimensionale optische Beugungsstrukturen auf Silizium-Dünnschicht-Solarzellen nach [3]. In einer ersten Phase werden diese numerisch modelliert. Später sollen solche Strukturen experimentell realisiert und ausgemessen werden. Im Berichtsjahr wurde die Entwicklung eines zwei-dimensionalen numerischen Modells vorangetrieben.

Die EMPA Thun arbeitet im EU-Projekt *High-Ef – Large grained, low stress multi-crystalline silicon thin film solar cells on glass by a novel combined diode laser and solid phase crystallization process* [4a] mit. Der neue Prozess verbindet eine durch Laserschmelzen verursachte Kristallisation einer amorphen Siliziumschicht mit dem Verfahren der Festphasenepitaxie. Daraus soll ein wettbewerbs-

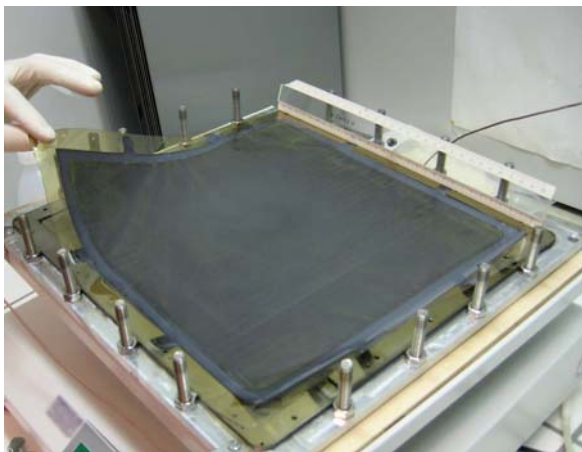
fähiger Prozess für Dünnschicht-Solarzellen mit einem Wirkungsgrad grösser 10 % erreicht werden. Die Technologie soll durch den deutschen Hersteller CSG Solar genutzt werden. Im Berichtsjahr wurden die Mikrostruktur und die mechanische Festigkeit der erzeugten Siliziumschichten charakterisiert.

II-VI Verbindungen (CIGS)

Die neu an der EMPA (vormals ETH Zürich) angesiedelte Forschungsgruppe zu Dünnschicht-Solarzellen auf der Basis von Verbindungshalbleitern (CIGS, CdTe) hat im Jahr 2009 ihr Labor an der EMPA neu aufgebaut. Das BFE-Projekt *Flexible CIGS solar cells on large area polymer foils* [5a] wurde im Berichtsjahr abgeschlossen (Fig. 3). Mit dem Ziel eines effizienten und gleichmässigen roll-to-roll-Prozesses zur Herstellung von flexiblen CIGS-Solarzellen wurden optimierte Eigenschaften der Verdampfungsprofile der einzelnen Schichtmaterialien sowie die Identifizierung geeigneter Materialien für die rückseitige Kontaktierung der Zellen angestrebt. Diese Arbeiten werden im neuen Projekt *Febulas* [5b] fortgesetzt, wobei das bisher verwendete Cadmium (Cd) durch Materialien mit ähnlichen Eigenschaften ersetzt und die Prozesstechnologie insgesamt verbessert werden soll.

Das neue BFE-Projekt *Impucis* [5c] befasst sich mit dem Einfluss von Verunreinigungen auf die Eigenschaften von CIGS Solarzellen. Ziel des Projektes ist es, die für gute Resultate notwendige Reinheit der Ausgangsmaterialien der CIGS Solarzellen, insbesondere von Indium, zu bestimmen. Im Rahmen dieses Projektes, welches in einer bilateralen Zusammenarbeit mit flämischen Partnern erfolgt, wird ein neues CIGS-Depositionssystem aufgebaut.

Im BFE-Projekt *Thin film CIGS solar cells with a novel low cost process* [5d] hat die EMPA die Grundlagen einer durch einen Vakuum freien Prozess hergestellten CIGS-Solarzelle entwickelt. Der Prozess wurde soweit konkretisiert, dass ausgehend von organischen Lösungen CIGS-Solarzellen mit 4 % Wirkungsgrad hergestellt werden konnten. Ein Thema ist dabei die Verhinderung einer unerwünschten organischen Zwischenschicht, welche die Eigenschaften der Solarzelle beeinträchtigt. Das Projekt wurde im Berichtsjahr abgeschlossen und soll in einem neuen EU-Projekt fortgesetzt werden.



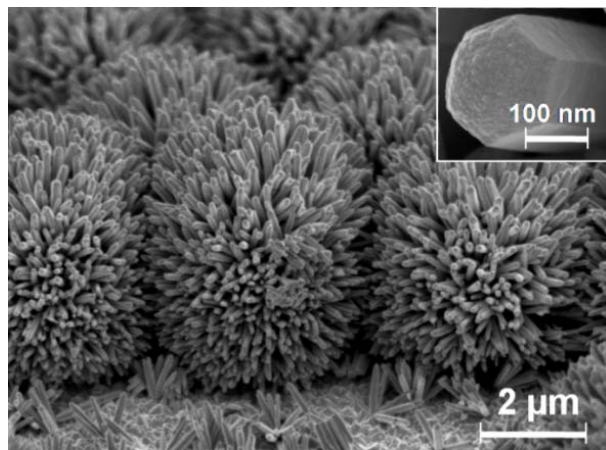
Figur 3: Grossflächige CIGS-Solarzelle auf einem Kunststoffsubstrat (Quelle: EMPA).

Das im Berichtsjahr abgeschlossene EU-Projekt *Larcis* [5e] befasste sich mit grossflächigen Prozessen zur industriellen Produktion von CIGS-Solarzellen. Dabei untersuchte die EMPA einerseits die Optimierung der Zellrückkontakte auf der Grundlage von Molybdän bzw. TiN und ZrN sowie andererseits den Einfluss einer Natrium-Behandlung auf die Eigenschaften der CIGS-Solarzellen. Im Berichtsjahr wurde der Bezug zwischen dem Schichtwachstum und der Stabilität der Solarzellen untersucht.

Im Ende 2009 abgeschlossenen EU-Projekt *Athlet* [5f] war die EMPA an zwei Arbeitspaketen zu CIGS-Solarzellen beteiligt. Im Berichtsjahr standen für dabei mittels Ultraschall Spray Pyrolyse (USP) hergestellte In_2S_3 -Schichten im Vordergrund. Damit konnten CIGS-Solarzellen mit 10,8 % Wirkungsgrad erzielt werden.

Das KTI-Projekt *Laser patterning of CIGS solar cells on flexible foils for monolithic integration* [5g] in Zusammenarbeit mit der Start-up Firma Flisom und der Berner Fachhochschule für Technik und Informatik (Institut für angewandte Laser Technologie) wurde im Berichtsjahr abgeschlossen. Dabei wurde die Laser-Strukturierung von flexiblen CIGS-Solarzellen für die monolithische Verschaltung zu Solarmodulen untersucht. In einem mit dieser Technik hergestellten Prototypmodul konnte ein Wirkungsgrad von 8,4 % erzielt werden.

Ein neues KTI-Projekt befasst sich mit multifunktionalen Rückkontakten für flexible Dünnschichtsolarzellen [5h].



Figur 4: Elektronenmikroskop-Aufnahme von Zinkoxid-Nanostrukturen, die durch elektrochemische Abscheidung hergestellt wurden (Quelle: EMPA).

Farbstoff und organische Solarzellen

Organische Solarzellen – Farbstoffsolarzellen und insbesondere neuartige Konzepte – gewinnen derzeit national und international rasch an Bedeutung. Auch in der Schweiz befasst sich eine Reihe von Forschungsinstituten und vermehrt auch die Industrie mit diesen Themen.

Die Entwicklung von farbstoffsensibilisierten, nanokristallinen Solarzellen [6a] wurde an der EPFL fortgesetzt. Wichtige Arbeiten dazu erfolgen auch im EU-Projekt *Robust DSC* [6b] mit dem Ziel, Materialien und Herstellungsprozesse für ein Solarmodul mit 7 % Wirkungsgrad zu entwickeln. Parallel dazu werden grundlegendere Untersuchungen durchgeführt, welche einen Laborwirkungsgrad von 14 % zum Ziel haben. Im Berichtsjahr wurde unter Verwendung neuer Farbstoffe ein Wirkungsgrad von 12 % erreicht.

Mit Unterstützung der Gebert-Rüf-Stiftung arbeitet das *Institute of Computational Physics* an der Zürcher Hochschule für angewandte Wissenschaften (ZHAW) mit der EPFL am neuen Projekt *ModSol – Modelling, simulation and loss analysis of dye sensitized solar cells* [7]. Mittels verschiedener Modelle soll hier das optische, physikalische und elektrochemische Verhalten der Farbstoffsolarzelle modelliert werden. Im Berichtsjahr wurde ein optisches Modell entwickelt, welches Lichteinkopplung, Absorption und Ladungserzeugung abbildet. Es konnte eine gute Übereinstimmung zwischen Messung und Simulation erreicht werden.

Im Vorhaben *Organic Photovoltaic Devices* [8a] befasst sich die EMPA im Labor für funktionale Polymere mit stark fluoreszierenden Squarain-Farbstoffen. Es konnten damit Farbstoffsolarzellen

mit einem Wirkungsgrad von 5,4 % erzielt werden. In einem neuen KTI-Projekt entwickelt die EMPA auf dieser Basis *neuartige Sensibilisatoren für Farbstoffsolarzellen* [8b].

Die EMPA Dübendorf baut ihre Kompetenz auf dem Gebiet der organischen Solarzellen weiter aus. Das neue BFE-Projekt *HIOS-Cell* [8c], welches als europäische Zusammenarbeit im Rahmen des PV-ERA-NET Netzwerkes stattfindet, verwendet Heteroübergänge zwischen Cyanin und PCBM Blends zur Erzeugung neuer Nanostrukturen. Im Berichtsjahr wurde die Dynamik des unterliegenden Prozesses untersucht. Ein neues KTI-Projekt *FABRI-PV Transparent fabric electrodes for organic photovoltaics* [8d] findet in Zusammenarbeit mit Sefar statt und befasst sich mit elektrisch leitenden Polymer Fasern als Ersatz für TCO als Elektrodenmaterial.

Das BFE-Projekt *Apollo* [9] verbindet europäische Kompetenzen auf dem Gebiet der Plastikelektronik, um dadurch einfach herstellbare organische Solarzellen zu entwickeln. Aus der Schweiz beteiligen sich nebst der ZHAW, welche das Projekt leitet, das Chemieunternehmen Ciba und das Centre Suisse d'Electronique et de Microtechnique (CSEM). Im Berichtsjahr konnten auf der Grundlage neuer Polymere der Ciba rasche Projektfortschritte erzielt werden, welche bereits zu einem Wirkungsgrad von 6 % geführt haben. Mit einem Tintenstrahldrucker erzeugte organische Zellen erreichten mehr als 4 % Wirkungsgrad.

Das EU-Netzwerkprojekt *OrgaPvNet* [10a], welches europäische Akteure auf dem Gebiet der organischen Solarzellen zusammenführt, wurde im Berichtsjahr abgeschlossen. Die Firma Solaronix beteiligte sich als eines von insgesamt vier KMUs an diesem Projekt. Die Aktivitäten konzentrierten sich auf Workshops und Praktika, in denen organische Solarzellen sowohl wissenschaftlich-technisch wie marktbezogen thematisiert wurden. Das im Berichtsjahr abgeschlossene EU-Projekt *Napolyde* [10b] steht für interdisziplinäre Forschungsaktivitäten auf dem Gebiet der nanostrukturierten Polymer-Deposition mit Anwendungen allgemein im Energiebereich und «smart devices», inklusive der Photovoltaik. Auf Laborgrössen von 0,6 cm² wurde ein Wirkungsgrad von 5,9 % erreicht während monolithisch verschaltete Farbstoffzellen-Kleinmodule (10 × 10 cm²) einen Wirkungsgrad von 4,8 % erreichten. Solaronix beteiligt sich am neuen EU-Pro-

jekt *Innovasol – Innovative materials for future excitonic solar cells* [10c].

Das KTI-Projekt *Development of efficient luminescent concentrators based on inorganic/organic nanomaterials for applications in solar energy conversion* [11] wird durch das Institut für anorganische Chemie der Universität Zürich in Zusammenarbeit mit der Firma Optical Additives durchgeführt. In diesem Projekt werden Farbstoff-Zeolithen eingesetzt, welche durch ihre supramolekulare Organisation eine effiziente Konzentration sicherstellen sollen.

Im neuen BFE-Projekt *Eta Solar Cell* [4b] untersucht die EMPA Thun extrem dünne Absorber (ETA) auf der Basis von Zinkoxid-Nanostrukturen durch elektrochemische Deposition (Fig. 4). Es konnten geordnete, Igel-ähnliche Nanodrähte erzeugt werden, welche eine hohe optische Reflexion vorweisen und damit als Bausteine für künftige Solarzellen in Frage kommen.

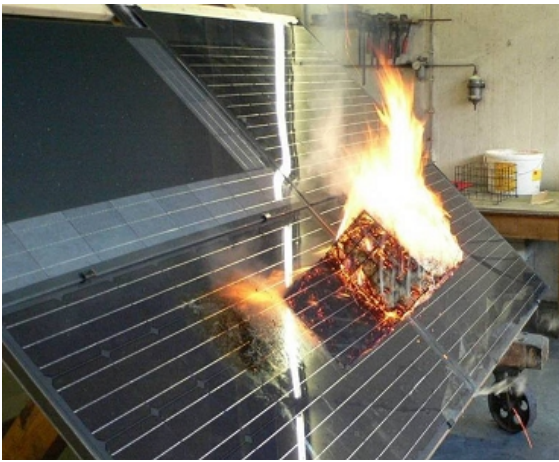
Übergreifende Projekte

Das durch die EMPA Dübendorf koordinierte CCEM-Projekt *ThinPV* [8e], welches auch durch Swisselectric Research unterstützt wird, führt die verschiedenen Akteure der Schweizer Dünnschichtsolarzellen-Forschung in einem Projekt zusammen. Die Projektarbeiten betrafen im Berichtsjahr die schnelle Deposition von Siliziumschichten, neue Tandemzellen auf der Grundlage von CIGS- und Farbstoffsolarzellen sowie die optische Modellierung dieser Zellen. Eine wichtige Aufgabe erfüllt das Projekt auch hinsichtlich des wissenschaftlichen Austauschs, insbesondere für junge Nachwuchswissenschaftler, wozu verschiedene internationale Workshops stattgefunden haben.

Solarmodule und Gebäudeintegration

Gebäudeintegrierte Anlagen stellen nach wie vor das aus Sicht der Entwicklung primär angestrebte Anwendungsgebiet der Photovoltaik in der Schweiz dar.

Swiss Solar Systems (3S) hat das BFE-Projekt *Smarttile* [12] eines neuen photovoltaischen Dachelements weiter verfolgt. Die Projektziele wurden im Berichtsjahr angepasst und verfolgen die Weiterentwicklung des MegaSlate-Systems, insbesondere die Sicherstellung der Kompatibilität mit den relevanten Normen, sowie die Ergänzung mit gut integrierten thermischen Kollektoren und Dachfenstern. Dabei fliessen die Erkenntnisse aus dem bisherigen Projekt ein (Fig. 5).



Figur 5: Brandschutztest am Modul MegaSlate II (Quelle: 3S).



Figur 6: Mechanische Belastungstests für Modulprüfungen für IEC-Tests (Quelle: SUPSI).

An der EPFL begann im Berichtsjahr in Zusammenarbeit mit Flexcell das materialorientierte KTI-Projekt *Profiled photovoltaic modules* [13]. Dabei sollen einerseits durch neuartige texturierte Nanokomposit-Beschichtungen der Wirkungsgrad erhöht und andererseits leichte Polymer-Kompositstrukturen zur mechanischen Befestigung der Module entwickelt werden.

Ergänzend zu diesen Entwicklungsprojekten verfolgt das neue Projekt *Bisol* [14a] an der Tessiner Fachhochschule SUPSI in Lugano eine stärkere Vernetzung mit Baufachleuten, um das Thema der gebäudeintegrierten Photovoltaik zusammen mit Baufachkreisen zu vertiefen und so die vorhandenen Lücken zwischen diesen Fachgebieten zu schliessen. Dazu erfolgten im Berichtsjahr in Zusammenarbeit mit Swissolar zwei Workshops. Vereinzelt neue Konzepte und Produkte zur Photovoltaik-Gebäudeintegration wurden im Rahmen von Pilot- und Demonstrations-Projekten erprobt (siehe entsprechendes Kapitel).

Elektrische Systemtechnik

Das Schwergewicht in der Systemtechnik liegt auf der Qualitätssicherung von Komponenten (Module, Wechselrichter), Systemen (Auslegung, Energieertrag) und Anlagen (Langzeitbeobachtungen).

Das am SUPSI angesiedelte Photovoltaik-Forschungs- und Testlabor ISAAC hat im Berichtsjahr seine Infrastruktur deutlich ausgebaut [14b]. Das gemäss der ISO-Norm 17025 für Messungen zertifizierte Labor konnte im November 2009 die Akkreditierung verlängern. Die Anzahl der als Dienstleistung für Dritte ausgeführten Messungen nahm deutlich zu. Der 11. Testzyklus der Aussenmessungen an 13 kommerziellen Modulen mit unterschiedlichen Technologien wurde fortgesetzt. Die

Leistungen verschiedener kristalliner Module lagen (bis auf eine Ausnahme) unter Berücksichtigung der Anfangsdegradation nach zehn Monaten Messzeit innerhalb der spezifizierten Toleranzen von $\pm 2,5\%$. Von den Modulen mit Dünnschichttechnologien liegen noch nicht alle Auswertungen vor.

Das EU-Projekt *Performance* [14c] wurde im Berichtsjahr abgeschlossen. Dieses vom *Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme* in Freiburg koordinierte vierjährige Projekt befasste sich in Momentanmessungen und Langzeitanalysen mit allen pränormativen Arbeiten im Bereich Solarzelle bis Gesamtsysteme. Das ISAAC war an der Bestimmung der Leistungscharakteristik und Energieproduktion von Photovoltaik-Modulen auf der Grundlage von Innen- und Aussenmessungen sowie deren Modellierung beteiligt.

Im Berichtsjahr hat das ISAAC ein neues Labor zur Ausführung von *zertifizierten Messungen von Solarmodulen gemäss IEC-Normen* aufgebaut [14d]. Die erforderliche Infrastruktur umfasst Kammern für Temperatur- und Klimaprüfungen, die Geräte für statische mechanische Belastungen (Fig. 6), Hagelprüfungen, UV-Festigkeit und die elektrische Charakterisierung sowie die notwendigen Sonnensimulatoren. Sämtliche Einrichtungen wurden installiert und befinden sich in der Vorbereitung zur Akkreditierung.

Einen anderen, ergänzenden Ansatz zur Prüfung von Solarmodulen verfolgt die ZHAW in Winterthur. Mit Unterstützung der Elektrizitätswerke des Kantons Zürich wurde hier ein *mobiles Solarlabor* [15a] in einem Kleinbus gebaut (Fig. 7). Die Messeinrichtung besteht aus einem PASAN-Sonnensimulator, einem 5,5 m langen Lichttunnel und dem Modulhalter am Ende des Fahrzeugs. Mit dieser



Figur 7: Mobiles Messlabor für Solarmodule (Quelle: EKZ).

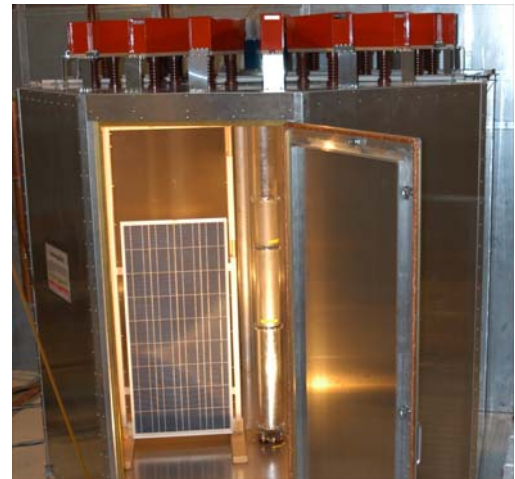
Anordnung ist es möglich, Module bis zu einer Grösse von $2 \times 2 \text{ m}^2$ zu vermessen.

In Zusammenarbeit mit der Firma PASAN verfolgt ein neues KTI-Projekt am ISAAC die Entwicklung eines *Multipurpose PV Module Testers* [14e]. Damit sollen flexible Testbedingungen möglich werden, welche sowohl unterschiedlichen Solarmodulen wie vermehrt den realen Betriebsbedingungen gerecht werden sollen. Ein weiteres KTI-Projekt *Inspect* [16] an der EPFL untersucht die Machbarkeit eines inline-Kontrollsystems für Solarmodulhersteller.

Am Photovoltaiklabor an der FH Burgdorf wurde das Projekt *Photovoltaik-Systemtechnik PVSYSSTE 2007–2010* [17a] fortgesetzt. Seit 1992 werden von diesem Labor Langzeitmessungen – teilweise ohne Unterbrechung – an rund 70 Photovoltaikanlagen durchgeführt. Im Berichtsjahr wurde die Entwicklung des 100-kW-Simulators eines Solargenerators abgeschlossen und erste Tests durchgeführt. Das Labor beteiligte sich an den Arbeiten zu der Prüfnorm für Wechselrichter prEN50530,

Nationale Zusammenarbeit

Im Berichtsjahr wurde die vielfältige nationale Zusammenarbeit anlässlich von verschiedenen Projekten weiter gepflegt; daran beteiligt waren Hochschulen, Fachhochschulen, Forschungsinstitute und die Privatwirtschaft. Die Zusammenarbeit mit Industrieunternehmen konnte deutlich intensiviert werden, sowohl in neuen Projekten mit der KTI als



Figur 8: Stossstromgenerator für Spannungsprüfungen (Quelle: HTI Burgdorf).

welche nun im Wesentlichen akzeptiert ist. Die Untersuchungen bezüglich Blitzstromverhalten von Bypassdioden wurden weitergeführt, und es wurden hierzu für einige Hersteller Testmessungen durchgeführt (Fig. 8). Eine europäische Zusammenarbeit findet im neuen EU-Projekt *PV-Servitor* [17b] statt. Dabei geht es um die Entwicklung eines automatischen Reinigungsroboters für Solarkraftwerke.

Begleitende Themen

Das symbolträchtige Projekt *Solarimpulse* [18] wurde im Berichtsjahr fortgesetzt. Ziel dieses Projektes ist die Weltumrundung mit einem photovoltaisch angetriebenen Flugzeug. Es fanden dazu im Berichtsjahr erste Flugversuche statt. Ein ähnliches Projekt ist *PlanetSolar* [19], welches die Erde als solarangetriebenes Boot umrunden wird. Der Bau von PlanetSolar war Ende 2009 weit fortgeschritten. Beide Projekte stellen primär private Initiativen dar, wobei in konkreten Technologiefragen eine Zusammenarbeit mit Hochschulen erfolgt.

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. Diese vielfältigen Kontakte erlauben die anhaltend wichtige breite Abstützung des Forschungsprogramms.

Internationale Zusammenarbeit

Die traditionsreiche internationale Zusammenarbeit wurde auch im Berichtsjahr fortgesetzt, sowohl auf der Projektebene wie im Rahmen der institutionellen Zusammenarbeit innerhalb der IEA, der IEC und den Europäischen Netzwerkprojekten. Auf der Projektebene konnte die erfolgreiche Zusammenarbeit innerhalb der EU in bestehenden und neuen Projekten fortgesetzt werden. Im Jahr 2009 waren es zehn Projekte im 6. bzw. 7. Rahmenforschungsprogramm der EU.

Die Beteiligung am Photovoltaikprogramm der IEA (IEA PVPS) wurde im Berichtsjahr mit Kontinuität fortgesetzt, sowohl auf der Projektebene als auch im *Executive Committee* (ExCo) [35].

Die Firma *Nova Energie* vertritt die Schweiz in Task 1 von IEA PVPS, welcher allgemeine *Informationsaktivitäten* [20] zur Aufgabe hat. Im Berichtsjahr wurde ein weiterer nationaler Bericht über die Photovoltaik in der Schweiz bis 2008 [36] ausgearbeitet. Auf dieser Grundlage wurde die 14. Ausgabe des jährlichen internationalen Berichtes (*Trends Report*) über die Marktentwicklung der Photovoltaik in den IEA-Ländern erstellt [37].

Im Rahmen der interdepartementalen (SECO, DEZA, BAFU, BFE) Plattform REPIC zur Förderung der erneuerbaren Energien und der Energieeffizienz in der internationalen Zusammenarbeit [39] leistet das Büro *Entec* den Schweizer Beitrag zu IEA PVPS Task 9 über die *Photovoltaik-Entwicklungszusammenarbeit* [21a]. Dieses Projekt befasst sich mit der nachhaltigen Verbreitung der Photovoltaik in Entwicklungsländern [39] und thematisiert auch Aspekte der solaren Wasserversorgung.

Das Ingenieurbüro *Planair* arbeitete in IEA PVPS Task 10 zur *Photovoltaik im urbanen Raum* [22] mit, welcher im Berichtsjahr mit verschiedenen Berichten [40–43] abgeschlossen wurde. Das Unternehmen *Sputnik* beteiligt sich an IEA PVPS Task 11 zu *hybriden Photovoltaik-Systemen in Mininetzen* [23]. *ESU Services* vertritt die Schweiz im IEA PVPS Task 12 zu *Umwelt-, Sicherheits- und Gesundheitsaspekten* [24] der Photovoltaik. In diesem Projekt sollen industriell möglichst aktuelle, relevante und international abgeglichene Informa-

tionen zu diesem bedeutenden Thema aufgearbeitet und publiziert werden. Die Schweiz war führend am ersten Bericht zu Lebenszyklus-Analysen [44] beteiligt.

Das Unternehmen *Meteotest* [25] und die *Groupe Energie* an der Universität Genf [26] erbringen zusammen den Schweizer Beitrag zum Task 36 *Solar resource knowledge management*. Task 36 ist Bestandteil des Programms *Solare Wärme und Kälte* (SHC) der IHEA, inhaltlich ist es jedoch für alle Solartechnologien relevant. Dementsprechend erfolgt eine Zusammenarbeit mit den weiteren IEA-Programmen zur Solarenergie (IEA PVPS und IEA SolarPACES). Im Projekt wird die Qualität verschiedener Strahlungsmodelle und daraus abgeleiteter Produkte verglichen und optimiert.

Im Berichtsjahr wurden zwei neue IEA PVPS Tasks beschlossen: Task 13 zu *Performance und Zuverlässigkeit von PV Anlagen* [27a] sowie Task 14 zur *hohen Penetration von PV Anlagen in elektrischen Netzen*. Diese Projekte werden 2010 ihre Arbeit aufnehmen.

Swissolar vertritt die Schweiz im TC 82 der IEC zu *Photovoltaik Normen* [28a].

Die Beteiligung am EU-Projekt *PV-ERA-Net* [21b], welches Programmkoordinationsstellen und verantwortliche Ministerien aus 13 Ländern unter dem ERA-Net-Schema zusammenführt, wurde im Berichtsjahr als EU-Projekt abgeschlossen. Es soll in reduziertem Umfang als von den beteiligten Ländern getragenes Netzwerk weiterverfolgt werden [45].

Die Europäische Photovoltaik-Technologie-Plattform publizierte im Berichtsjahr den *Implementation Plan* [46], welcher die zur Erreichung der Forschungsziele notwendigen Projekte und Mittel zusammenstellt. Die Schweiz ist in der Europäischen *Photovoltaik-Technologie-Plattform* [47] sowohl im Steuerungsausschuss als auch in einzelnen Arbeitsgruppen vertreten. Im Rahmen des von der Europäischen Kommission vorgeschlagenen *Strategic Energy Technology Plan (SET Plan)* [48] wurde die *Solar Europe Industrial Initiative* vorangetrieben.



Figur 9: 12,5-kW-P&D-Anlage mit fünf verschiedenen Modultechnologien (Quelle: EKZ).



Figur 10: 86-kW-P&D-Anlage von Flexcell (Quelle: VHF Technologies).

Pilot- und Demonstrationsprojekte

Laufende Projekte

Im Berichtsjahr begann ein neues Projekt mit flexiblen Photovoltaik-Gebäudeelementen von *VHF-Technologies* [29a] mit einer Gesamtleistung von 142 kW. Es bietet die Möglichkeit, Bau und Betrieb verschiedener, neu entwickelter flexibler Photovoltaik-Dachelemente auf amorpher Basis pilotmässig zu testen, die Produktionswerte im Detail zu untersuchen und zu vergleichen sowie die Kosten zu optimieren (Fig. 9).

Anlagen

Praxistest Backup-Wechselrichter: Verhalten eines netzgekoppelten Wechselrichters mit unterbrechungsfreier Stromversorgung bei Stromausfall im Praxistest; Leitung: Basler & Hofmann [28b].

EKZ-Solarstromdach (Fig. 10): Fünf verschiedene Modultechnologien mit einer Gesamtleistung von 12,5 kW; Leitung: ZHAW [15b].

Messkampagnen

Degradations- und Annealing-Verhalten von Modulen mit amorphen Zellen: Messungen und Analysen auf der Basis der Flachdachintegration CPT Solar; Leitung: ISAAC [14f].

Photovoltaik-Lärmschutzanlage Bahnhof Münsingen: Bifaciale Photovoltaik-Lärmschutzanlage mit einer Nennleistung von 6,5 kW (Frontseite) bzw. knapp 5 kW (Rückseite); Leitung: TNC [27b].

Studien – Hilfsmittel – diverse Projekte

Photovoltaikstatistik der Schweiz 2008; Leitung: Ingenieurbüro Hostettler [30a]

Im Jahr 2009 abgeschlossene Projekte

2-kW-Flexcell-Experimentaldach mit flexiblen amorphen Solarzellen in einem Dachelement aus einer Thermoform; Leitung: VHF-Technologies [29b].

Messkampagne Wittigkofen: Detaillierte Messungen und Auswertungen mit Visualisierung der Daten zur 80-kW-Fassade Wittigkofen; Leitung: Ingenieurbüro Hostettler [30b].

PV-Anlage «Nullenergieschulhaus Ekkharthof», Kreuzlingen: Einbindung einer PV-Anlage ins Energiekonzept eines Nullenergieschulhauses; Leitung: Böhni Energie & Umwelt [31].

Bewertung 2009 und Ausblick 2010

2009 war für das Forschungsprogramm *Photovoltaik* in verschiedener Hinsicht ein besonderes Jahr. Aus Sicht der Forschungsinhalte wurden mit den Projekten zu organischen Solarzellen und den ETA-Solarzellen Themen verstärkt bzw. neu angefangen, wie es im aktuellen Forschungskonzept [32] vorgesehen ist. Nanostrukturen und -prozesse sind immer häufiger Bestandteil der Forschungsansätze. Aus Prozesssicht bilden Nicht-Vakuumprozesse sowie Cadmium-freie Schichten potenziell wichtige Entwicklungen. Parallel zu diesen inhaltlich neuen Ansätzen wurde die Laborinfrastruktur an verschiedenen Forschungsstätten zum Teil bedeutend ausgebaut (IMT, EMPA, ISAAC, HTI Burgdorf).

Durch das wachsende Interesse der Industrie finden vermehrt direkte Forschungskooperationen zwischen Industrie und Hochschulen statt (Bsp. Roth & Rau mit dem IMT). Seitens der Industrie ist trotz der Wirtschaftskrise eine Erweiterung der Industriebasis festzustellen, auch dies eine erfreuliche Entwicklung, welche den Zielen des Programmkonzeptes entspricht. Dies wird untermauert durch eine wachsende Anzahl von KTI-Projekten. Das Exportvolumen der Schweizer Photovoltaik-Industrie dürfte sich auch 2009 auf mindestens 1,5 Mrd. CHF belaufen.

In dem Mass, wie Industrie und Markt wachsen, gewinnen Qualitätssicherungsfragen laufend an Bedeutung. Auch in diesem Bereich haben neue Projekte begonnen. Für die Praxis von besonderer Bedeutung sind die neuen Messmöglichkeiten an den Fachhochschulen in Lugano und Burgdorf, welche zunehmend in Richtung zertifizierte Messungen gehen, die auch als Dienstleistung für Dritte ausgeführt werden.

Nicht zuletzt hat auch die Anfang 2009 eingeführte kostendeckende Einspeisevergütung ihre Wirkung bis in die Forschung, indem einerseits das Interesse verschiedenster Akteure, aber auch der Medien, an der Photovoltaik laufend wächst, und andererseits, indem Fragen aus der Praxis häufiger zu neuen Forschungsfragen führen (Bsp. Gebäudeintegration der Photovoltaik). Seitens des Marktes konnte eine grosse Dynamik beobachtet werden, die 2009 durch deutliche Preissenkungen begleitet war.

Zusammenfassend kann das Jahr 2009 für das Forschungsprogramm *Photovoltaik* als besonders aktiv beurteilt werden mit vielen neuen Entwicklungen in Forschung, Industrie und Anwendung. Damit wächst die Erkenntnis der Bedeutung der Photovoltaik für die künftige Energieversorgung.

Das Forschungsprogramm *Photovoltaik* wird weiter bestrebt sein, durch die breite Abstützung eine kritische Grösse zu bewahren und eine bedeutende Marktwirkung zu erzielen. Dazu soll von allen möglichen Fördermechanismen Gebrauch gemacht werden und diese gleichzeitig optimal koordiniert und zielführend eingesetzt werden.

Der nationale Informations- und Erfahrungsaustausch bleibt in der Schweiz weiterhin ein wichtiges Thema. Die Photovoltaik-Webseite beinhaltet alle wesentlichen Informationen sowie Berichte und dient damit als wichtiges Informationsinstrument, das laufend unterhalten wird (www.photovoltai.ch). Die Schweizer Photovoltaik war an der 24. Europäischen Photovoltaik-Konferenz im September in Hamburg mit ihren Beiträgen gut vertreten [49]. Anfang 2010 findet die 8. Nationale Photovoltaik-Tagung in Winterthur statt.

Liste der Projekte

(JB) Jahresbericht

(SB) Schlussbericht

- [1] C. Ballif et al. (christophe.ballif@epfl.ch), IMT-PVLAB/-EPFL, Neuchâtel: a) New processes and device structures for the fabrication of high efficiency thin film silicon photovoltaic modules (JB) b) Flexible photovoltaics – next generation high efficiency and low cost thin film silicon modules (JB) c) Development of a novel surface treatment of LP-CVD ZnO layers used as Transparent Conductive Oxide for thin film silicon solar cells d) THIFIC: Thin film

on crystalline Si (JB) e) HETSI: Heterojunction Solar Cells based on a-Si / c-Si (JB) f) Ultra-high conductivity metallization pastes for heterojunction solar cells TCOC g) ATH-LET: Advanced Thin Film Technologies for Cost Effective Photovoltaics (JB) pvlab.epfl.ch.

- [2] Ch. Hollenstein (christophe.hollenstein@epfl.ch), EPFL - CRPP, Lausanne: A new low ion energy bombardment PECVD reactor for the deposition of thin film silicon for solar cell applications (JB) crppwww.epfl.ch.
[3] D. Gablinger und R. Morf (david.gablinger@psi.ch), PSI, Villigen: Zweidimensionale Nanostrukturen für Silizium-Solarzellen (JB) www.psi.ch.

- [4] X. Maeder und J. Michler (Xavier.Maeder@empa.ch), Empa, Thun: a) HIGH-EF – Large grained, low stress multi-crystalline silicon thin film solar cells on glass by a novel combined diode laser and solid phase crystallization process (JB) www.high-ef.eu b) J. Elias et al. (jamil.elias@empa.ch), Empa, Thun: ETA Solar Cell: Extremely thin absorber solar cell based on electrodeposited ZnO nanostructures (JB) www.empathun.ch.
- [5] A. N. Tiwari et al. (ayodhya.tiwari@empa.ch), Empa, Laboratory for Thin Films and Photovoltaics, Dübendorf: a) Flexible CIGS solar cells on large area polymer foils with in-line deposition methods and application of alternative back contacts (SB Projekt 100964) b) Febulas: Flexible CIGS solar cells and mini-modules on polymer without – or with alternative buffer layer (JB) c) IMPUCIS: Influence of impurities on the performance of CIGS thin film solar cells (JB) d) Thin film CIGS solar cells with a novel low cost process (JB, SB Projekt 100964) e) LARCIS: Large-Area CIS Based Solar Modules for Highly Productive Manufacturing (JB) f) ATHLET: Advanced Thin-Film Technologies for Cost Effective Photovoltaics (JB) g) Laser patterning of Cu(In,Ga)Se₂ solar cells on flexible foils for monolithic integration (JB) h) Multifunctional back electrical contact for flexible thin film solar cells (JB) www.empa.ch/tpv.
- [6] M. Grätzel (michael.graetzel@epfl.ch), EPFL SB ISIC LPI, Lausanne: a) Dye-sensitized nanocrystalline solar cells (JB) b) Robust DSC: Efficient and Robust Dye Sensitized Solar Cells and Modules (JB) <http://isic2.epfl.ch/page58671-en.html>
- [7] J.O. Schumacher und M. Schmid, G. Rothenberger und S. Wenger, (juergen.schumacher@zhaw.ch), Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften ZHAW - ICP, Winterthur EPFL – LPI, Lausanne: ModSol: Modeling, simulation and analysis of dye-sensitized solar cells (JB) www.zhaw.ch.
- [8] F. Nüesch et al. (frank.nuesch@empa.ch), EMPA, Dübendorf: a) Organic photovoltaic devices Unsymmetrical squaraine dyes for efficient conversion of low energy photons (JB) b) Neuartige Sensibilisatoren für Farbstoffsolarellen: Squarain- und Heptamethinfarbstoffe mit einer grossen spektralen Vielfalt oberhalb 700nm c) J. Heier et al., R. Brönnimann, J. Groenewold (Jakob.Heier@empa.ch), EMPA, Laboratory for Functional Polymers Dübendorf, EMPA, Electronics, Metrology and Reliability, Physical and Colloid Chemistry, Utrecht University: HIOS-Cell: Nanoscale structuring of heterojunction ionic organic cells by liquid-liquid dewetting (JB) d) FABRI-PV – Transparent fabric electrodes for organic photovoltaics (JB) e) ThinPV - Cost efficient thin film photovoltaics for future electricity generation (JB) www.empa.ch.
- [9] B. Ruhstaller et al., C. Winnewisser und T. Offermans, M. Turbiez und M. Dügge, M. Wienk und R. Janssen, G. Garcia-Belmonte und J. Bisquert, (beat.ruhstaller@zhaw.ch), ZHAW, Winterthur, CSEM, Basel, Ciba Inc., Basel, TU Eindhoven, Netherlands, Universitat Jaume I, Spain: Apollo: Efficient areal organic solar cells via printing (JB) www.zhaw.ch.
- [10] T. Meyer et al. (toby.meyer@solaronix.com), Solaronix, Aubonne: a) OrgaPvNet: Coordination Action towards stable and low-cost organic solar cell technologies and their application (JB) b) Napolyde: Nano structured polymer deposition processes for mass production of innovative systems for energy production & control and for smart devices (JB) c) Innovasol: Innovative Materials for Future Generation Excitonic Solar Cells (JB) www.solaronix.com.
- [11] D. Brühwiler (bruehwi@aci.uzh.ch), ACI – University of Zurich, Zurich: Development of efficient luminescent concentrators based on inorganic/organic nanomaterials for applications in solar energy conversion (JB) www.aci.uzh.ch.
- [12] T. Szacsavay (sz@3-s.ch), 3S, Lyss: Smarttile: Innovative Photovoltaik-Indachlösung (JB) www.3-s.ch.
- [13] Y. Leterrier, A. Hessler, D. Fischer, (yves.leterrier@epfl.ch), LTC-IMX-EPFL, Lausanne CIME-EPFL, Lausanne VHF-Technologies, Yverdon les Bains: Profiled photovoltaic modules (JB) <http://lhc.epfl.ch>.
- [14] R. Rudel et al. (roman.rudel@supsi.ch), ISAAC-DACD-SUPSI, Canobbio: a) BiSOL Building Integrated Solar Network – Brenet (JB) www.bisolnet.ch b) Centrale di test ISAAC-TISO: Qualità e resa energetica di moduli fotovoltaici (JB) c) Performance – ISAAC Activities (JB) d) Lifetime, mechanical and security testing for PV module certification (JB) e) MPVT: Multi-Purpose PV Module Tester (JB) f) Analysis of Degradation and annealing effects on a-Si PV Modules (JB) g) BiPV Tools (JB) www.bipv.ch www.isaac.supsi.ch.
- [15] F. Baumgartner et al., B. Aeschbach und M. Pezzotti (bauf@zhaw.ch), ZHAW, Winterthur EKZ Zürich: a) Mobiles Solarlabor der EKZ (JB) b) F. Baumgartner und N. Allet, B. Aeschbach und M. Pezzotti, J. Sutterlütli (bauf@zhaw.ch), ZHAW, Winterthur EKZ, Zürich Oerlikon Solar, Trübbach: EKZ Solarstromdach (JB) home.zhaw.ch/~bauf.
- [16] J. Jacot (jacques.jacot@epfl.ch), EPFL IMT LPM, Lausanne: Feasibility Study CTI INSPECT: Inline control systems for PV manufacturers lpm.epfl.ch.
- [17] H. Häberlin et al. (heinrich.haeberlin@bfh.ch), Berner Fachhochschule, Technik und Informatik, Burgdorf: a) Photovoltaik Systemtechnik 2007-2010 (PVSYSTE 07-10) (JB) www.pvtest.ch b) PV-Servitor <http://de.pv-servitor.eu>
- [18] A. Borschberg, (andre.borschberg@solarimpulse.com), Solar Impulse, Lausanne: Solarimpulse www.solar-impulse.com.
- [19] R. Domjan, (info@planetsolar.org), PlanetSolar, Yverdon-les-Bains: PlanetSolar www.planetsolar.org.
- [20] P. Hüsler (pius.huessler@novaenergie.ch), Nova Energie, Aarau: Schweizer Beitrag zum IEA PVPS Programm - Task 1 (JB) www.iea-pvps.org, www.novaenergie.ch.
- [21] S. Nowak et al. (info@repic.ch), NET, St. Ursen: a) RE-PIC: Interdepartementale Plattform zur Förderung der erneuerbaren Energien und der Energieeffizienz in der internationalen Zusammenarbeit (JB) www.repic.ch b) PV-ERA-NET: Networking and Integration of National and Regional Programmes in the Field of Photovoltaic (PV) Solar Energy Research and Technological Development (RTD) in the European Research Area (ERA) (JB) www.pv-era.net / www.netenergy.ch.
- [22] P. Renaud und L. Perret (pierre.renaud@planair.ch), Planair, La Sagne: IEA PVPS Task 10 – Swiss contribution (JB, SB Projekt 101562) www.planair.ch.
- [23] M. Ryser, (michel.ryser@solarmax.com), Sputnik, Biel: IEA PVPS Task 11: Hybride Photovoltaik Systemen in Mininetzen.
- [24] R. Frischknecht et al. (frischknecht@esu-services.ch), ESU-services, Uster: IEA-PVPS Task 12: Swiss activities in 2009 – Ökobilanzen von PV Freiflächen- und Grossanlagen (JB) www.esu-services.ch.
- [25] J. Remund (jan.remund@meteotest.ch), Meteotest, Bern: IEA SHC Task 36: Solar resource knowledge management (JB) www.meteotest.ch.
- [26] P. Ineichen, (pierre.ineichen@unige.ch), UNIGE Groupe Energie, Genève: IEA SHC Task 36: Solar resource knowledge management www.unige.ch/energie.
- [27] Th. Nordmann et al. (mail@tnc.ch), TNC Consulting, Erlenbach: a) Schweizer Beitrag zum IEA PVPS Programm, Vorbereitung Arbeitsplan IEA PVPS Task 13 (JB) b) Messkampagne Photovoltaik Schallschutzanlage Münsingen (JB) www.tnc.ch.
- [28] P. Toggweiler und Ch. Bucher, Th. Hostettler (peter.toggweiler@baslerhofmann.ch), Basler & Hofmann, Zürich, Swissolar, Zürich: a) Normierung für PV-Systeme (JB) www.swissolar.ch. b) Ch. Bucher et al. (christof.bucher@bhzh.ch), Basler & Hofmann, Zürich: Praxistest Backup Wechselrichter (JB) www.bhzh.ch.
- [29] P. Goulpié (pascal.goulpie@flexcell.com), VHF Technologie, Yverdon-les-Bains: a) Application de modules PV flexibles sur le site de production Flexcell (JB) b) Toiture expérimentale 2kW Flexcell www.flexcell.com.
- [30] Th. Hostettler (Hostettler.Engineering@Compuserve.com), Ingenieurbüro Hostettler, Bern: a) Photovoltaik

Referenzen

- [32] Konzept des Energieforschungsprogramms Photovoltaik für die Jahre 2008 - 2011, Bundesamt für Energie, 2008, www.bfe.admin.ch.
- [33] High efficiency micromorph tandem development in KAI-M PECVD reactors, J. Meier et al., Proc. 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference, 21-25 September 2009, Hamburg, p. 2398.
- [34] Roth & Rau, www.roth-rau.de.
- [35] IEA PVPS Annual Report 2009, IEA PVPS, 2010, www.iea-pvps.org.
- [36] National Survey Report on PV Power Applications in Switzerland 2008, P. Hüscher, (pius.huesser@novaenergie.ch), Nova Energie, September 2009.
- [37] Trends in Photovoltaic Applications in selected IEA countries between 1992 and 2008, IEA PVPS Task T1-18:2009, www.iea-pvps.org.
- [38] IEA PVPS Newsletter, zu beziehen bei Nova Energie, Schachenallee 29, 5000 Aarau, Fax 062 834 03 23, (pius.huesser@novaenergie.ch).
- [31] Th. Böhni et al. (info@euu.ch), Böhni Energie und Umwelt, Frauenfeld: Photovoltaik Anlage Nullenergieschulhaus Ekkharthof Kreuzlingen (JB) www.euu.ch.
- [39] 10 years IEA PVPS Task 9, IEA PVPS Task T9-10:2009, www.iea-pvps.org.
- [40] Promotional Drivers for Grid-Connected PV, Report IEA-PVPS T10-05-2009.
- [41] Overcoming PV grid issues in the urban areas, Report IEA-PVPS T10-06-2009.
- [42] Urban Photovoltaic Electricity Policies, Report IEA-PVPS T10-07-2009.
- [43] Photovoltaics in the Urban Environment, Ed. Bruno Gaidon, Henk Kaan, Donna Munro, earthscan, 2009, ISBN 978-1-84407-771-7.
- [44] Methodology Guidelines on Life Cycle Assessment of Photovoltaic Electricity, Report IEA-PVPS T12-01-2009.
- [45] The Photovoltaic European Research Area Network www.pv-era.net.
- [46] Implementation Plan for the Strategic Research Agenda of the European Photovoltaic Technology Platform, 2009, www.eupvplatform.org.
- [47] European Photovoltaic Technology Platform www.eupvplatform.org.
- [48] Solar Europe Industry Initiative (SEII).
- [49] Die 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference & Exhibition Hamburg 21. – 25.09.2009 aus Schweizer Sicht, zu beziehen bei der Programmleitung Photovoltaik, c/o NET, Waldweg 8, 1717 St. Ursen, info@netenergy.ch, www.photovoltaic.ch