



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Energie BFE

April 2006

Programm Photovoltaik Ausgabe 2006

Überblicksbericht 2005

ausgearbeitet durch:
NET Nowak Energie & Technologie AG

Titelbild:

(Bildquelle: NET)

ausgearbeitet durch:

NET Nowak Energie & Technologie AG

Waldweg 8, CH - 1717 St. Ursen (Schweiz)

Tel. +41 (0) 26 494 00 30, Fax. +41 (0) 26 494 00 34, info@netenergy.ch

im Auftrag des:

Bundesamt für Energie BFE

Mühlestrasse 4, CH - 3063 Ittigen Postadresse: CH- 3003 Bern

Tel. 031 322 56 11, Fax. 031 323 25 00 office@bfe.admin.ch www.bfe.admin.ch



PROGRAMM PHOTOVOLTAIK

Überblicksbericht zum Forschungsprogramm 2005

Stefan Nowak

stefan.nowak@netenergy.ch



Photovoltaik Made in Switzerland: vom Labor in die Industrie

Die industrielle Umsetzung von Dünnschicht Solarzellen macht Fortschritte:

- a) Labor Depositionssystem am Institut de Microtechnique, Uni Neuchâtel (Bildquelle IMT)
- b) 100 kWp Pilotproduktion von flexiblen Silizium Solarzellen auf Kunststoff bei VHF-Technologies (Bildquelle VHF-Technologies)
- c) Unaxis Solar KAI 1200 Produktionsanlage zur Massenfertigung von Silizium Dünnschicht Solarmodulen (Fläche 1.4 m², Durchsatz 550 Module/Tag, Bildquelle Unaxis)

Inhaltsverzeichnis

1.	Programmschwerpunkte und anvisierte Ziele	3
2.	Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse 2005	4
	Zell-Technologie.....	4
	Solarmodule und Gebäudeintegration	6
	Elektrische Systemtechnik	7
	Ergänzende Projekte und Studien	9
	Internationale Zusammenarbeit IEA, IEC, PV-GAP	10
3.	Nationale Zusammenarbeit	11
4.	Internationale Zusammenarbeit.....	11
5.	Pilot- und Demonstrationsprojekte	11
	Einige P+D Erfolge der letzten Jahre im Überblick.....	12
	Laufende P+D Projekte	13
	Im Jahr 2005 abgeschlossene Projekte	14
6.	Bewertung 2005 und Ausblick 2006	16
7.	Liste der F+E - Projekte	17
8.	Liste der P+D - Projekte.....	18
9.	Referenzen	19
10.	Für weitere Informationen	19
11.	Verwendete Abkürzungen (inkl. Internetlinks).....	19
12.	Weiterführende Internetlinks.....	20

1. Programmschwerpunkte und anvisierte Ziele

Im Jahr 2005 war das Programm Photovoltaik (PV), insbesondere im Bereich der P+D-Projekte, weiterhin durch die im Entlastungsprogramm 2003 des Bundes beschlossenen Sparmassnahmen gekennzeichnet. Im Bereich der Forschung konnte das Niveau durch eine breite Programmabstützung weitgehend gehalten werden. Die industrielle Umsetzung der bisherigen Forschungsergebnisse behält hohe Priorität. Das anhaltende Wachstum des internationalen Photovoltaik Marktes bildet – trotz stagnierendem nationalen Markt – eine wichtige Grundlage für den derzeit erfolgenden, deutlichen Ausbau der Photovoltaik Industriebasis in der Schweiz.

Das Programm Photovoltaik verfolgt damit eine ausgeprägte Ausrichtung auf die industrielle Umsetzung und die internationale Wettbewerbsfähigkeit, sowohl für Produkte wie auch für die vorgelagerte Forschung. Laufende Aktivitäten in Forschung und Entwicklung sowie noch bestehende Projekte im Bereich von Pilot- und Demonstrationsanlagen umfassen im Berichtsjahr 2005 ca. 65 Projekte, wobei alle bekannten Projekte mit einer Förderung der öffentlichen Hand berücksichtigt sind.

Gestützt auf das Energieforschungskonzept der Eidgenössischen Energieforschungskommission CORE [70] verfolgt das Schweizer Photovoltaik Programm in der Periode 2004 – 2007 die folgenden wesentlichen Ziele [71]:

- Es soll eine weitere Kostenreduktion des Energiesystems Photovoltaik erreicht werden (typische Werte 2007: Modul 2.5 CHF/Wp; System 5 CHF/Wp) und entsprechende Verbesserungen der einzelnen Komponenten in Bezug auf elektrische Eigenschaften (2007: Dünnschichtmodule mit >12% Wirkungsgrad), Herstellungskosten und industrielle Fertigung;
- Etablierung bzw. Konsolidierung der industriellen Basis für Produkte der Photovoltaik, einschliesslich Solarzellen und Module in ausgewählten Technologieansätzen;
- Hohe Integration und Standardisierung der Produkte und Systeme für Massenmärkte.

Dazu ist das Programm Photovoltaik in folgende Bereiche aufgeteilt:

Solarzellen der Zukunft

Die Arbeiten zu **Dünnschicht Solarzellen** waren im Berichtsjahr weiterhin fokussiert auf die Schwerpunkte **Silizium** (amorph, mikrokristallin), Zellen auf der Basis von **Verbindungshalbleitern** (CIGS) sowie **Farbstoffzellen**. Die mit Nachdruck verfolgte Industrialisierung von Produktionsprozessen steht bei den Silizium Dünnschicht Solarzellen in einem fortgeschrittenen Stadium, bei den Verbindungshalbleitern nimmt sie ebenfalls konkrete Formen an. Solarzellen auf flexiblen Substraten gewinnen zunehmend an Bedeutung.

Module und Gebäudeintegration

Die **Integration der Photovoltaik** im bebauten Raum bildet weiterhin den wichtigsten Schwerpunkt der angestrebten Anwendungen. Währenddem der Markt für Montagesysteme mittlerweile eine breite Produktpalette anbieten kann, stellen neue Produkte und Erfahrungen mit Dünnschicht Solarzellen in der Gebäudeintegration weiterhin ein wachsendes Thema dar.

Elektrische Systemtechnik

Die **Qualitätssicherung** von Photovoltaikmodulen, von Wechselrichtern und von gesamten Systemen ist, zusammen mit **Langzeitbeobachtungen** an diesen Komponenten, für die Praxis von anhaltender Bedeutung und wird in entsprechenden Kompetenzzentren an Fachhochschulen bearbeitet. Langjährige Messreihen und die vermehrte Analyse von Fehlverhalten der einzelnen Komponenten sollen in Hinsicht auf kritische Parameter und die Erhöhung der Lebensdauer genutzt werden. Aufgrund dieser systembezogenen Arbeiten soll die spezifische Energieproduktion von Photovoltaik-Anlagen (kWh/kWp) weiter erhöht werden. Für **Insulanlagen** wächst die Bedeutung der Kombination mit anderen Energietechnologien in Hybridanlagen.

Ergänzende Projekte und Studien

Die Arbeiten in diesem Bereich sollen die Grundlagen zu allgemeinen Fragestellungen im Zusammenhang mit dem Marktaufbau der Photovoltaik liefern, insbesondere zu **Potenzial, Umweltaspekten** und **Energieplanung** sowie praxisorientierte **Hilfsmittel** zur Anlagenplanung und –überwachung. Neueste Technologien des Internets, Computermodelle, Bildverarbeitung, geografische Informationssysteme bis hin zur Satellitenkommunikation gelangen dabei zum Einsatz. Für Anwendungen in **Entwicklungsländern** stehen dagegen nicht-technische Aspekte im Vordergrund. Dieser Bereich des Programms umfasst zudem die Vorhaben an den Schnittstellen zu anderen Energietechnologien.

Institutionelle internationale Zusammenarbeit

Die internationale Zusammenarbeit bildet ein zentrales Standbein in allen Bereichen. Der Anschluss an die internationale Entwicklung sowie ein intensiver Informationsaustausch war im Berichtsjahr ein wichtiges Ziel, welches im Rahmen der internationalen Programme der **EU** sowie der **IEA** mit Kontinuität weiterverfolgt wurde. Die erfolgreiche internationale Zusammenarbeit konnte fortgesetzt werden. Von übergeordneter Bedeutung war im Berichtsjahr die Schweizer Beteiligung an neuen europäischen Netzwerken (**PV-ERA-NET** und Europäische Photovoltaik Technologie Plattform).

2. Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse 2005

ZELL-TECHNOLOGIE

Die **grosse Bandbreite der Schweizer Solarzellenforschung** konnte im Berichtsjahr 2005 dank der breiten Abstützung dieser Forschung mit Erfolg fortgesetzt werden. Im Berichtsjahr begannen neue Industrie-Projekte mit Unterstützung der KTI. Die Beteiligung an EU-Projekten bildete eine weitere wichtige Komponente; im Berichtsjahr konnten hier neue Projekte im Bereich der Dünnschicht Solarzellen begonnen werden. Damit ist die Schweiz nun an den meisten laufenden *Integrierten Projekten* der Europäischen Kommission im Bereich der Photovoltaik beteiligt.

Dünnschicht Silizium

Die Entwicklungen im Bereich des Dünnschicht Siliziums finden an der Universität Neuchâtel (IMT), an der EPFL (CRPP), der Haute Ecole Arc ingénierie (Le Locle), dem NTB (Buchs) sowie bei den Unternehmen *Unaxis Solar* (Trübbach, Neuchâtel) und *VHF-Technologies* (Yverdon) statt und stellen einen wichtigen Schwerpunkt des Photovoltaik Programms dar.

Das IMT an der Universität Neuchâtel begann beim Projekt zu **Silizium Dünnschichtsolarzellen** [1] im Berichtsjahr eine neue, dreijährige Projektphase. Die Ziele dieses BFE-Projektes bestehen darin, den Wirkungsgrad der Solarzellen auf verschiedenen Substraten weiter zu erhöhen (Ziel 14% für mikromorphe Solarzellen), die Prozessführung und Charakterisierung der Solarzellen weiter zu entwickeln und die notwendige Infrastruktur (Prozesse, Herstellung und Charakterisierung) zur Unterstützung der Industriepartner sicherzustellen. Dazu werden verschiedene Depositionssysteme erneuert und automatisiert, die Systeme zur Charakterisierung der Solarzellen standardisiert und ein spezieller Akzent auf die Reproduzierbarkeit der einzelnen Fabrikationsschritte gelegt. Die Zusammenarbeit mit der Industrie erfolgt primär mit den Unternehmen *Unaxis* und *VHF-Technologies*, welche ihrerseits die am IMT entwickelten Prozesse in ihre Produkte implementieren. Folgende Resultate wurden im Berichtsjahr erreicht: Auf der transparenten Oxydschicht (TCO) aus ZnO auf Glas konnten p-i-n mikrokristalline ($\mu\text{c-Si:H}$) Solarzellen von 9% und mikromorphe Solarzellen von 11.6% hergestellt werden. Dabei konnte das Parameterfeld (z.B. Füllfaktor FF, Leerlaufspannung V_{oc}) deutlich eingegrenzt werden. Auf PET-Folien wurde für amorphe (a-Si:H) Solarzellen ein Wirkungsgrad von 7.3%, für mikrokristalline Solarzellen 7.6% und für mikromorphe Solarzellen 8.3% erreicht. In Bezug auf die Analytik wurden verschiedene Messmethoden weiterentwickelt und standardmässig eingesetzt (*VIM – variable illumination measurement*, *FTPS – Fourier transform photocurrent spectroscopy*, *IRLIT – infrared lock-in thermography*).

Das KTI-Projekt in Zusammenarbeit mit *Unaxis* für den **Prozess der schnellen Abscheidung von mikrokristallinem Silizium** [2] auf der Grundlage der KAI Plasmadepositionsanlagen wurde im Berichtsjahr fortgesetzt. Damit wird die Grundlage für den grossflächigen (1.4m^2), industriellen Prozess für mikromorphe Solarzellen gelegt. Auf der Versuchsanlage am IMT konnten im Berichtsjahr mikrokristalline Silizium Solarzellen mit 7.2% Wirkungsgrad hergestellt werden; bei *Unaxis* wurden damit mikromorphe Mini-Module ($10 \times 10\text{cm}^2$) mit einem Wirkungsgrad von 9.5% erreicht.

In einem verwandten KTI-Projekt hat das CRPP an der EPFL zusammen mit *Unaxis* die Entwicklung eines neuen, grossflächigen **VHF-Reaktors für die Abscheidung von amorphen und mikrokristallinen Siliziumsolarzellen** [3] weiter verfolgt. Es werden Plasmaanregungsfrequenzen bis 100 MHz untersucht, was eine schnelle Abscheidung ($\geq 4 \text{ Å/s}$) erlaubt, jedoch für die Homogenität der Schichten auf einer Fläche von $\geq 1 \text{ m}^2$ besondere Herausforderungen darstellt. Die Bildung der Inhomogenitäten der Schichten konnten im Berichtsjahr erklärt werden. Weitere Arbeiten betreffen die Prozessparameter, insbesondere in Hinsicht auf die unerwünschte Bildung von Silizium Pulver. Ergänzt werden diese Arbeiten durch ein KTI-Projekt am CRPP der EPFL, in welchem ein **numerisches Modell für grossflächige PECVD Reaktoren** entwickelt wurde [4]. Dieses Projekt wurde im Berichtsjahr erfolgreich abgeschlossen.

Ein weiteres KTI-Projekt zwischen dem IMT und *Unaxis* befasst sich mit der **Stabilität der transparenten Oxydschichten** (TCO) aus ZnO in laminierten Solarzellen [5], insbesondere in Hinsicht auf den Dampf-Wärme Test im Rahmen der IEC Tests für Solarmodule (IEC 61646: 1000h @ 85°C & 85% rel. Feuchtigkeit). Es konnte gezeigt werden, dass die im Test geforderte Stabilität erreicht wird.

Das NTB in Buchs setzte zusammen mit *Unaxis* das KTI-Projekt für ein auf die industrielle Produktion ausgerichtetes, spektral aufgelöstes **Photostrom Messgerät** (*Spectral Response Measurement System SRMS*) [6] erfolgreich fort. Im Berichtsjahr wurden bei *Unaxis* zwei Prototypen dieses Geräts installiert; die ersten Erfahrungen sind sehr positiv, insbesondere was die Stabilität der Messmethode anbetrifft. Damit können auf Solarmodulen vollflächige Messungen durchgeführt und entsprechende Bilder dargestellt werden. Diese verschiedenen KTI-Projekte bilden, zusammen mit den regulären Arbeiten am IMT, die Grundlage für die industrielle Umsetzung in Hinsicht auf Produktionsanlagen für Silizium Dünnschicht Solarzellen durch *Unaxis*.

Das IMT schloss das KTI-Projekt für die Verwendung von **nanostrukturierten optischen Gittern** zur Verbesserung der Eigenschaften von flexiblen Solarzellen auf Kunststoffsubstraten [7] zusammen mit *VHF-Technologies* und weiteren Partnern im Berichtsjahr ab. Die nanostrukturierten Kunststoffsubstrate (PET, PEN) wurden durch OVD-Kinegram vorbereitet. Am IMT wurden auf texturierten PET Substraten amorphe Solarzellen mit 7.3% stabilem Wirkungsgrad hergestellt. Es konnte gezeigt werden, dass die durch OVD-Kinegram hergestellten, nanostrukturierten Substrate mit dem Fabrikationsprozess von *VHF-Technologies* kompatibel sind. Im Verlauf des Projektes konnte *VHF-Technologies* ihren Fabrikationsprozess deutlich verbessern. Das IMT und *VHF-Technologies* arbeiten seit Herbst 2005 im neuen EU-Projekt **FLEXCELLENCE** [8] an diesem Thema weiter. Zum ersten Mal erfolgt dabei im Bereich der Photovoltaik eine Projektkoordination durch einen Schweizer Partner (IMT).

Darüber hinaus hat sich das IMT im Berichtsjahr erfolgreich am neuen EU-Projekt **ATHLET** (*Advanced Thin Film Technologies for Cost Effective Photovoltaics*) beteiligt [9]. Dieses, vom HMI in Berlin koordinierte, *Integrierte Projekt* – das europaweit bisher grösste Forschungsprojekt zu diesem Thema – befasst sich mit zwei Technologien im Bereich der Dünnschicht Solarzellen, der mikromorphen Solarzelle und der CIS-Technologie (vgl. unten); die Arbeiten dazu beginnen anfangs 2006 und werden insgesamt 4 Jahre dauern.

Kristallines Silizium

HCT Shaping Systems beteiligt sich am EU-Projekt **BITHINK** [10], in welchem hocheffiziente bifaciale kristalline Solarzellen entwickelt werden (Wirkungsgrad 16+16%). Dabei soll sowohl Material vom Czochralski-Typ wie multikristallines Silizium zum Einsatz kommen. Im Verlauf des Projektes werden die Prozesse und die automatisierte Handhabung von Solarzellen von weniger als 130 µm Dicke entwickelt.

II-VI Verbindungen (CIGS)

Die Gruppe Dünnschichtphysik an der ETHZ hat über viele Jahre EU-Projekte zum Thema Solarzellen auf der Basis von Verbindungshalbleitern (CIGS, CdTe) durchgeführt. Im Berichtsjahr wurde im BFE-Projekt **FLEXCIM** [11] die Entwicklung von flexiblen CIGS-Solarzellen weiter vorangetrieben. Diese flexiblen, 5x5 cm² grossen CIGS-Solarzellen wurden auf Polyimid- und Metallfolien entwickelt. Dabei gelangte die an der ETHZ entwickelte Verwendung von Natrium zum Einsatz, wodurch Wirkungsgrade von 10-12% regelmässig erreicht werden konnten. Der im Vorjahr auf Polyimid erzielte Weltrekord für den Wirkungsgrad von flexiblen Solarzellen auf Kunststoff von 14.1% stellt noch immer den höchsten erreichten Wert dar. Im Berichtsjahr wurde an der Hochskalierung des Prozesses auf 30x30 cm² gearbeitet. Dazu wird ein neues, industriell ausgerichtetes Depositionssystem aufgebaut. Als weiteres Substrat für die flexiblen CIGS-Solarzellen wird Aluminium untersucht; dieses stellt ein neues Gebiet mit grossem Anwendungspotenzial dar. Der Depositionsprozess muss dafür aufgrund der unterschiedlichen Ausdehnungskoeffizienten auf tiefere Temperaturen ausgelegt werden. Die beste Solarzelle auf Aluminium erreichte im Berichtsjahr einen Wirkungsgrad von 6.6%; dabei wurde noch kein Natrium eingesetzt.

Das EU-Projekt **NEBULES** [12] zum Thema neuer Pufferschichten für CIGS-Solarzellen wurde im Berichtsjahr abgeschlossen. Hier konzentrierte sich die ETHZ-Gruppe auf die strukturelle, chemische und elektronische Charakterisierung der Solarzellen in Abhängigkeit von verschiedenen hergestellten CdS- sowie InS-Pufferschichten. Im Berichtsjahr wurden die Grenzflächen mit den InS-Pufferschichten in Hinsicht auf Struktur und Zusammensetzung eingehend analysiert. Zum Schluss des Projektes besteht eine gute Übersicht über die verschiedenen Prozesse an diesen Grenzflächen.

Die Gruppe Dünnschichtphysik an der ETHZ setzt diese Arbeiten seit dem Herbst 2005 im neuen EU-Projekt **LARCIS** [13] fort. Dabei geht es um die grossflächige Umsetzung verschiedener Schlüsselthemen in die industrielle Produktion. Zudem beteiligte sich die Gruppe im Berichtsjahr ebenfalls erfolgreich am neuen EU-Projekt **ATHLET** [14] (vgl. oben) und wird in diesem Projekt den Teil zu CIGS-Solarzellen bearbeiten. In Hinsicht auf die industrielle Umsetzung der flexiblen CIGS-Solarzellen wurde im Berichtsjahr das ETHZ Spin-Off Unternehmen *FLISOM* gegründet.

Farbstoffzellen

Die Entwicklung von farbstoffsensibilisierten, **nanokristallinen Solarzellen** [15] wurde am ISIC der EPFL fortgesetzt. Im Berichtsjahr wurden die Partikeleigenschaften der TiO₂ Filme weiter entwickelt. Die Farbstoffsynthese und die Arbeiten zu den eingesetzten Elektrolyten konzentrierten sich auf die Stabilität bei höheren Temperaturen (ca. 80°C). Damit wird eine Lebensdauer der Farbstoffzellen von 10 bis 20 Jahren angestrebt.

Das ISIC arbeitet zusammen mit *Greatcell Solar* am KTI-Projekt zur **Erhöhung der Zellenspannung** von Farbstoffzellen [16]. Eine wesentliche Rolle spielt dabei der eingesetzte Farbstoff, welcher diesbezüglich weiter entwickelt wurde. Über *Greatcell Solar* besteht zudem eine direkte Verbindung zum australischen Technologieunternehmen *Dyesol* [72], welches im Dezember 2005 eine Produktionsfirma für Farbstoffzellen in Griechenland angekündigt hat.

Das EU-Projekt **MOLYCELL** [17] befasst sich mit flexiblen organischen Solarzellen, wobei sowohl vollständig organische wie hybride nanokristallin-organische Solarzellen entwickelt werden. An der EPFL stehen letztere im Vordergrund, wobei dazu ein fester Heteroübergang zwischen nanokristallinen Metalloxyden und molekularen bzw. polymeren Löcherleitern gebildet wird. Die Lichtabsorption wird durch die molekularen Farbstoffe bzw. die Polymere beeinflusst. Das ISIC stellte im Berichtsjahr erste flexible Farbstoffzellen auf Titanfolien her, wobei bisher ein Wirkungsgrad von ca. 2% erreicht wurde. Prototypen mit dem Metalloxyd-organischen Hybridansatz erreichten einen Wirkungsgrad von ca. 4%.

Solaronix beteiligt sich am EU-Projekt **FULLSPECTRUM** [18], einem *Integrierten Projekt* im Bereich der Photovoltaik, welches unterschiedliche Ansätze zur besseren Nutzung des Strahlungsspektrums in einem Projekt zusammenführt (III-V *multijunctions*, Thermophotovoltaik, *intermediate band cells*, molekulare Konzepte); dabei werden Wirkungsgrade bis zu 40% angestrebt. Solaronix ist in diesem Projekt insbesondere mit unterstützenden Arbeiten im Modul zu neuen molekularen Konzepten beteiligt. Dabei geht es um die Rolle von Farbstoffsolarzellen in 2-Photon Prozessen bzw. in flachen Konzentratoren mittels Lumineszenzschichten.

Das LTC an der EPFL entwickelt auf der Grundlage der Farbstoffzellen in einem KTI-Projekt zusammen mit *Konarka* **photovoltaisch aktive Textilien** [19]. Von dieser Entwicklung werden neuartige Photovoltaik-Anwendungen erwartet.

Antennen-Solarzellen

An der Universität Bern wurden die grundlegenden Arbeiten zu **Antennen-Solarzellen** [20] im Rahmen des Programms Solarchemie und mit Unterstützung des schweizerischen Nationalfonds weitergeführt. Unter Verwendung von farbstoffbeladenen Zeolith-Kristallen wird eine neue Variante farbstoffsensibilisierter Solarzellen angestrebt. Im Vordergrund dieser Grundlagenarbeiten steht die Organisation der Kristalle an der Grenzschicht zu einem Halbleitermaterial im Hinblick auf die elektronische Energieübertragung. Im Berichtsjahr wurden 4 konzeptionelle Varianten von Dünnschicht-Antennen-Solarzellen erarbeitet: A) sensibilisierte Festkörper-Solarzelle, B) sensibilisierte Farbstoff-Solarzelle, C) sensibilisierte Plastik-Solarzelle und D) Dünnschicht-Antennen-Tandemzellen. Für die Variante A wurden die einzelnen Arbeitsschritte ausgetestet und zum Patent angemeldet. Es gilt jetzt, die Bausteine zu einer funktionierenden Solarzelle zusammenzusetzen.

SOLARMODULE UND GEBÄUDEINTEGRATION

Gebäudeintegrierte Anlagen stellen nach wie vor das wichtigste Anwendungsgebiet der Photovoltaik in der Schweiz dar. Während in Solarstrombörsen häufig die kostengünstigsten Lösungen für Flachdachanwendungen zum Einsatz gelangen, wird weiterhin an der Kostenreduktion von Lösungen mit einem stärkeren Integrationsaspekt gearbeitet. Da inzwischen für die Montage am Gebäude eine Rei-

he von Systemen erfolgreich umgesetzt werden konnten (siehe auch Abschnitt P+D), verlagert sich die Entwicklung vermehrt auf das Solarmodul selbst.

Swiss Solar Systems (3S) untersuchte in einem BFE-Projekt die durch die Verwendung von geätzttem **Antireflexglas** (AR) [21] mögliche Leistungssteigerung von kristallinen Solarmodulen. Um die möglichen Effekte zu quantifizieren, wurden die Gläser wahlweise vor / nach der Lamination im Säurebad geätzt. Die Messungen an den mit diesem Glas hergestellten Solarmodulen zeigten in beiden Fällen eine systematische Leistungssteigerung von ca. 2%, wobei 3% erwartet wurden. Freiluftmessungen bei verschiedenen Einstrahlungswinkeln zeigen, dass die AR-Module den Grenzbereich mit flachen Einstrahlungswinkeln noch etwas besser ausnützen können. Im EU-Projekt **BIPV-CIS** [22] sollen die Eigenschaften der Photovoltaik-Gebäudeintegration mit Dünnschichtsolarzellen verbessert werden. Auf der Grundlage von CIS-Zellen werden Dach-, Überkopfglas- und Fassadenelemente entwickelt. Für 3S steht die Entwicklung des Dachelementes im Vordergrund.

Telsonic beteiligte sich am EU-Projekt **CONSOL** [23], in welchem die elektrische Kontaktierung von CIGS-Solarzellen optimiert werden soll. Als Technologien werden dazu elektrisch leitende Klebebänder und Ultraschall-Schweissen eingesetzt. Die wichtigen Messgrößen Adhäsion und Kontaktwiderstand werden in Funktion von Klimatests erfasst und für beide Technologien optimiert. Für *Telsonic* steht als Hersteller von entsprechenden Anlagen die Optimierung des Ultraschall-Schweissens im Vordergrund. Die erzielbaren Kontakteigenschaften und die Eignung der Verfahren auf unterschiedlichen Substraten konnten bestimmt werden. Das Projekt wurde im Berichtsjahr abgeschlossen.

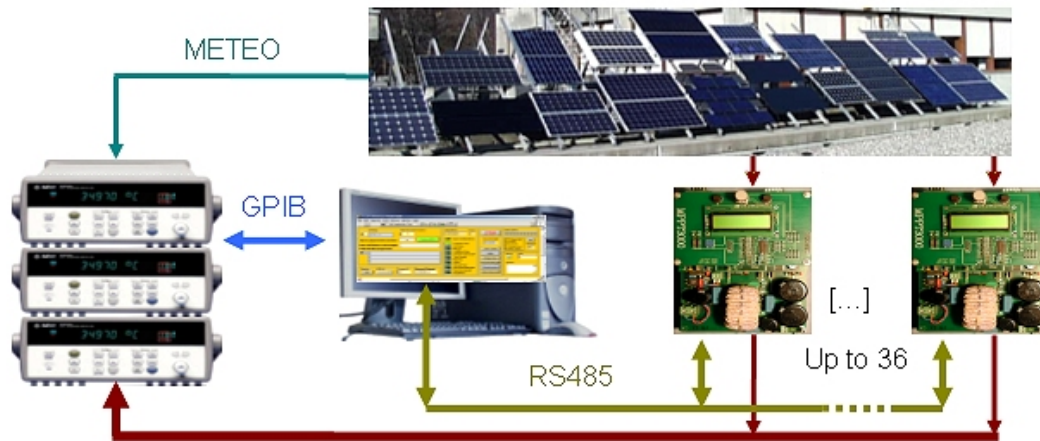
Verschiedene weitere neue Konzepte und Produkte zur Photovoltaik-Gebäudeintegration wurden im Rahmen von P+D-Projekten erprobt (siehe entsprechendes Kapitel).

ELEKTRISCHE SYSTEMTECHNIK

Das **Schwergewicht in der Systemtechnik** liegt generell auf der Qualitätssicherung von Komponenten (Module, Wechselrichter), Systemen (Auslegung, Energieertrag) und Anlagen (Langzeitbeobachtungen). Die Erkenntnisse aus diesen anwendungsnahen Fragen sind – besonders in einem rasch wachsenden Markt – für Sicherheit, Zuverlässigkeit und Energieertrag künftiger Anlagen wie auch für die Standardisierung der Produkte von grosser Bedeutung.

Das LEEE-TISO an der SUPSI hat im Berichtsjahr seine Testmessungen an Solarmodulen im Projekt **Centrale LEEE-TISO 2003-2006** [24] fortgesetzt. Das gemäss ISO 17025 für Messungen zertifizierte Labor mit dem Sonnen-Simulator der Klasse A wurde erneut einem jährlichen Audit unterzogen und konnte seine Präzision von $\pm 1\%$ bestätigen. Im Berichtsjahr wurden mehr als 2600 I-V Kennlinien (Blitztests) gemessen, davon gut 10% für Dritte. Es wurden Vergleichsmessungen mit anderen zertifizierten Labors in Europa (ESTI-JRC und ECN) durchgeführt und ein vom NREL koordinierter internationaler *Round Robin* Test von Solarmodulen fortgesetzt. Die Labormessungen des LEEE-TISO erwiesen sich dabei als zuverlässig mit den Abweichungen I_{sc} : -1.8%, FF: 0.3%, P_{max} : -0.6%. Für Dünnschicht Module verfügt das Labor neu über ein Verfahren zur Berücksichtigung der spektralen Abweichung (*spectral mismatch*). Bei den Aussenmessungen begann im Berichtsjahr der 10. Testzyklus an kommerziellen Modulen; es wurden 14 Modultypen ausgewählt (8 mc-Si, 2 sc-Si, 1 HIT, 2 a-Si, 1 CdTe). Neu werden 3 anstelle von 2 Modulen gemessen. Das dritte Modul wird dabei kurzzeitig auf einem *Sun-Tracker* vermessen, insbesondere in Hinsicht auf die Erstellung der Leistungsmatrix $P_m(G_i, T_a)$. Die Messdatenerfassung und das *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) wurden neu konzipiert (siehe Fig. 1) und ein Spektroradiometer reinstalled. Entsprechend der Strategie des LEEE soll in Zukunft als neues Thema auch die Photovoltaik-Gebäudeintegration verstärkt bearbeitet werden.

Das LEEE-TISO ist Partner im EU-Projekt **PV Enlargement** [25], welches ein europaweites Demonstrationsprojekt in 10 Ländern (5 davon in Osteuropa) mit 32 Anlagen von insgesamt 1.15 MWp Leistung darstellt. Ende 2005 waren davon insgesamt 20 Anlagen mit 860 kWp in Betrieb. Dabei ist das LEEE-TISO für die wissenschaftliche Begleitung, insbesondere für Kalibrierungsaufgaben der verwendeten Messsysteme und Performance-Messungen der verwendeten Solarmodule, zuständig. Seit Projektbeginn im Januar 2003 wurden 151 von 210 geplanten Solarmodulen verschiedener Technologien (c-Si, a-Si, CIS, CdTe) und Hersteller geprüft. Im ersten Testzyklus wurden 101 kristalline Module (17 verschiedene Typen) ausgemessen und die Anfangsdegradation der Module quantifiziert. Die Unterschiede zu den gemäss neuer EU-Norm EN50380 deklarierten Module wurden in Klassen aufgeteilt. Es wurden bisher 50 Dünnschicht Module vermessen.

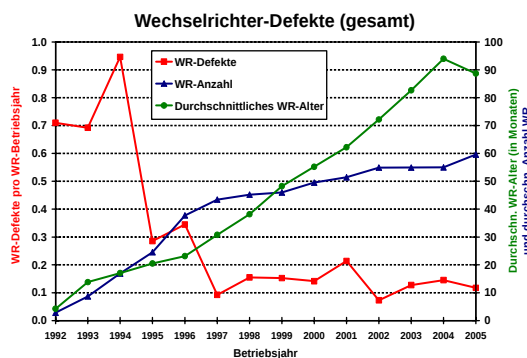


Figur 1: Messdatenerfassung mit neuen MPPT Reglern
(Bildquelle LEEE-TISO)

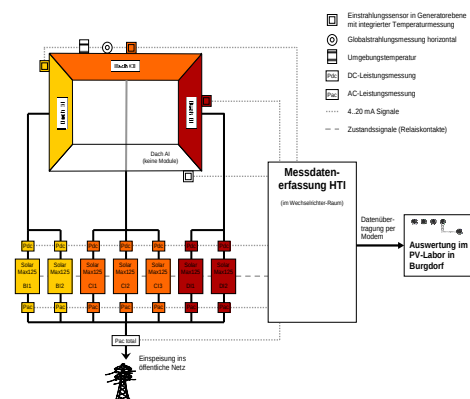
Darüber hinaus hat sich das LEEE-TISO im Berichtsjahr erfolgreich am neuen EU-Projekt **PERFORMANCE** (*A science base on PV performance for increased market transparency and customer confidence*) beteiligt [26]. Dieses, vom Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme in Freiburg koordinierte, *Integrierte Projekt* befasst sich mit allen prenormativen Arbeiten von Solarzellen bis hin zu Systemen und von Momentanmessungen bis zu Langzeitanalysen. Das Projekt beginnt anfangs 2006 und wird insgesamt 4 Jahre dauern.

Am Photovoltaiklabor an der FH Burgdorf wurde das Projekt **Photovoltaik-Systemtechnik PVSYTE** [27] fortgesetzt. Eine neue 3-5 kW AC/DC-Quelle wurde in das Testprogramm für Wechselrichter integriert; es ermöglicht die Untersuchung des Wechselrichterverhaltens bei ungewöhnlichen Netzzuständen (Über- und Unterspannungen, starke Rundsteuersignale, Über- und Unterfrequenz, usw.). Im Berichtsjahr wurden die bisherigen Wechselrichtertests durch Messungen an den aktuellen Geräteserien von *Sputnik* und *ASP* ergänzt. Die einzelnen, detaillierten Wechselrichter-Testberichte können eingesehen werden [73]. Im Teilprojekt zum Langzeitverhalten von PV-Anlagen wurde die seit 1992 geführte Ausfallstatistik weitergeführt. Im Berichtsjahr sank die Ausfallrate leicht auf 0.12 Wechselrichterdefekte pro Betriebsjahr (siehe Fig. 2). Die PV-Anlage von 855 kWp auf dem *Stade de Suisse* in Bern wurde neu in das Messprogramm aufgenommen, welches damit eine total installierte Leistung von 1.62 MWp (Feinmessprogramm 1.52 MWp) und 62 Wechselrichter umfasst. Die Messdaten der Anlage *Stade de Suisse* sind, wie für andere Anlagen, online einsehbar [74] (siehe Fig. 3). Weitere ausführliche Langzeitmessungen erfolgen zu den Anlagen *Newtech* (Dünnschichtzellen), *Mont-Soleil* und *Jungfrauoch*. Bei letzterer wurde für 2005 ein neuer Rekordertrag von 1537 kWh/kWp gemessen.

Solaronix ist am EU-Projekt **EURO-PSB** [28] zur Entwicklung einer Polymer Solar Batterie beteiligt. Es handelt sich dabei um eine kleine, selbstaufladende Batterie für mobile Anwendungen. Das Prinzip baut auf der Kombination einer neuartigen Polymer Solarzelle (organische Solarzelle) und einer wiederaufladbaren Lithium-Polymerbatterie auf. *Solaronix* ist in diesem Projekt für die elektrische Verbindungstechnik zwischen Solarzelle und Batterie sowie den gesamten Verbund zuständig. Im Berichtsjahr wurden funktionelle Prototypen (Thermometer) mit flexiblen Farbstoffsolarzellen auf Titanfolien sowie mit organischen Solarzellen auf Glas zusammengebaut. Damit wurde das Projekt im Berichtsjahr abgeschlossen.



Figur 2: Beobachtete Wechselrichter-Defekte
(Bildquelle HTI Burgdorf)



Figur 3: Blockschaftschema *Stade de Suisse*
(Bildquelle HTI Burgdorf)

ERGÄNZENDE PROJEKTE UND STUDIEN

Das LESO an der EPFL beteiligt sich am EU-Projekt **SUNtool** [29], welches ein allgemeines Modellierungswerkzeug zur Nachhaltigkeit im urbanen Kontext darstellt. Es soll typischerweise eine Gruppe von Gebäuden bis zu einem Stadtviertel ($< 1 \text{ km}^2$) energetisch und stoffflussbezogen abbilden können. Das Werkzeug baut auf umfassenden Modellen zu den einzelnen Aspekten auf und soll diese mit einem graphischen Benutzerinterface zusammenführen. Die EPFL entwickelt dazu entsprechend stochastische Benutzungsmodelle und hat diese weitgehend validiert. Die Gemeinden Lausanne und Morges stellten für Fallstudien Daten zur Verfügung. Aufgrund von Projektverzögerungen erfolgt der Projektabschluss anfangs 2006.

Enecolo ist am EU-Projekt **PVSAT2** beteiligt [30]. In diesem Projekt wurde die satellitengestützte Performance Überwachung weiterentwickelt, indem einerseits präzisere Satellitendaten verwendet werden und andererseits die Produktionsdaten der PV-Anlagen zentral erfasst werden. Insgesamt sollte dadurch ein zuverlässiges und kosteneffizientes System zur Überwachung von kleinen Photovoltaik-Anlagen entstehen, für welche eine Messdatenerfassung vor Ort zu aufwendig wäre. Im Berichtsjahr konzentrierte sich *Enecolo* auf die im PV-SAT Verfahren entwickelte Fehlerdetektionsroutine (Fehler von PV-Anlagen). Die Testphase zeigte, dass PV-SAT-2 Prozedur für die Fernüberwachung von PV-Anlagen nützlich ist; verschiedene Fehler konnten detektiert werden (z.B. Leistungsbegrenzung durch unterdimensionierte Wechselrichter, Wechselrichterausfall, Schneeabdeckung, usw.). Es zeigte sich aber auch, dass das System weiter verbessert werden kann, insbesondere in Bezug auf den eingesetzten Datenlogger, die Fehlerdetektionsroutine, eine genügende Anlagenbeschreibung, Ausschluss von nicht behebbaren Fehlern (z.B. Wechselrichter, Verschattung, Degradation) sowie bezüglich der Strahlungsberechnung. Das Projekt wurde im Berichtsjahr abgeschlossen. Zur kommerziellen Umsetzung der Resultate hat *Enecolo* zusammen mit *Meteotest* die neue Dienstleistung **SPYCE** [75] entwickelt. *Enecolo* ist auch am verwandten Projekt der esa **ENVISOLAR** [31] beteiligt. In diesem Vorhaben sollen die der esa zur Verfügung stehenden Daten aus der Erdbeobachtung marktorientiert (<http://www.eomd.esa.int>) verarbeitet werden, insbesondere in Hinsicht auf das Thema *Solarstrahlung für Energieanwendungen*.

Das CUEPE an der Universität Genf beteiligt sich am EU-Projekt **Heliosat 3** [32] zur energiespezifischen Bestimmung der Solarstrahlung aus Meteosat-Daten. *Heliosat3* nutzt u.a. die neuen Meteosat Second Generation (MSG) Satelliten und erarbeitet Solarstrahlungsdaten mit höherer Auflösung in zeitlicher, räumlicher und spektraler Hinsicht. Diese Daten können die Entscheidungsgrundlagen für Investitionen, Planung und Management im Solarenergiebereich verbessern. Als mögliche Anwendungsbeispiele im PV-Bereich werden Standortoptimierung, Anlagen- und Netzmanagement genannt (s. auch **ENVISOLAR**). Im abschliessenden Projektjahr wurde besonderes Gewicht auf die Validierung des Solarstrahlungsschemas gelegt.

Mit Unterstützung der interdepartementalen Plattform (seco, DEZA, BUWAL (neu BAFU), BFE) zur Förderung der erneuerbaren Energien in der internationalen Zusammenarbeit **REPIC** [76] erarbeitet das CUEPE ein Modul für die Photovoltaiksoftware **PVSYST** [77], welches **Photovoltaik Wasserpumpen** [33] simuliert.

Das LEEE-TISO und *Solstis* sind Partner im EU-Projekt **PV-Catapult** [34]. Dieses Querschnittprojekt hat zum Ziel, in verschiedenen strategischen Bereichen der Photovoltaik, sowohl in Forschung, Umsetzung wie Markt, entsprechende Aktionen zur Marktbeschleunigung zu identifizieren und auszulösen. Unter anderem wurde dazu eine SWOT-Analyse der europäischen Photovoltaik durchgeführt. Das LEEE-TISO bearbeitet in diesem Projekt Fragen der Performanzmessungen und –voraussage während sich *Solstis* an einer Roadmap für das Thema des PV-thermischen Hybridkollektors beteiligt.

Das PSI beteiligt sich im Rahmen des *Integrierten* EU-Projektes **FULLSPECTRUM** [35] an den internationalen Arbeiten zum Thema der Thermophotovoltaik (TPV). Gestützt auf frühere Projekte bearbeitet das PSI in diesem Projekt im Modul zur Thermophotovoltaik systemtechnische Aspekte in einem Gasbetriebenen Testsystem. Der experimentelle Aufbau in einem Prototypen umfasst IR-Filter, Emitter, Zellenverschaltung und –kühlung sowie die entsprechende Messdatenerfassung. Seitens des PSI gelangen dazu Silizium Solarzellen zum Einsatz während bei anderen Instituten GaSb Solarzellen weiterentwickelt werden.

Das symbolträchtige Projekt **SOLARIMPULSE** [36] von Bertrand Piccard und verschiedenen Partnern wurde im Berichtsjahr fortgesetzt. Das Ziel dieses Projekts ist die ununterbrochene Weltumrundung mit einem photovoltaisch betriebenen Flugzeug. Das Projekt ist eine grosse Herausforderung in Hinsicht auf Material und Design sowie insbesondere auf die Energieversorgung und das Energiemanagement unter extremen Bedingungen (z.B. UV-Strahlung, Feuchtigkeit, Temperaturen, Frost, Alterung, mechanische Vibrationen). Die photovoltaische Energieversorgung des Flugzeugs und ein äusserst

sparsamer Energieeinsatz müssen dabei genügend Energie für den momentanen Antrieb, die Heizung des Flugzeugs und die Speicherung in Hinsicht auf den Nachtflug bereitstellen. Im Jahr 2005 wurde das technische Konzept erstellt. Gemäss dem aktuellen Stand der Arbeiten wird das Flugzeug 80m Spannweite, 220m² Flügelfläche, ca. 2 t Gewicht, 8 kg/m² Flügelbelastung und rund 40 kWp PV-Leistung haben; gemittelt über 24 Stunden soll die Motorenleistung 10 kW betragen. Das Flugzeug soll bei Tag auf 12'000 m steigen und nachts langsam absinken.

INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT IEA, IEC, PV-GAP

Die Beteiligung am Photovoltaikprogramm der IEA (IEA PVPS) wurde im Berichtsjahr mit Kontinuität fortgesetzt, sowohl auf der Projektebene wie im *Executive Committee (ExCo)* [78]. Die Schweiz hält weiterhin den Vorsitz dieses weltweiten Programms inne. Für die Beteiligung an ausgewählten Projekten im Rahmen des IEA PVPS Programms ist es im Berichtsjahr gelungen, einen gemeinsamen Schweizer IEA PVPS Pool zu gründen. Dieser Pool wird derzeit getragen durch das Elektrizitätswerk der Stadt Zürich (ewz), den Kanton Basel Stadt und die *Gesellschaft Mont-Soleil*. Weitere Partner sind derzeit noch in Abklärung und neue Partner sind weiter erwünscht. Mit diesem Ansatz soll der stärkere Einbezug verschiedener Zielgruppen in die Arbeiten im Rahmen von IEA PVPS sichergestellt werden.

Nova Energie vertritt die Schweiz in Task 1 von IEA PVPS, welcher allgemeine **Informationsaktivitäten** [37] zur Aufgabe hat. Im Berichtsjahr wurde ein weiterer nationaler Bericht über die Photovoltaik in der Schweiz bis 2004 [79] erstellt; auf dieser Grundlage wurde die 10. Ausgabe des jährlichen internationalen Berichtes über die Marktentwicklung der Photovoltaik in den IEA-Ländern erstellt [80]. Dieser Bericht wurde im Berichtsjahr insbesondere auch für die aktuellen Analysen der Photovoltaik durch den Finanzsektor verwendet [81, 82, 83]. Im Berichtsjahr wurde anlässlich der 20. Europäischen Photovoltaik-Konferenz in Barcelona unter Schweizer Leitung ein Workshop zum Thema Umweltaspekte der Photovoltaik organisiert; dieses Thema wird das PVPS Programm weiter beschäftigen, möglicherweise als neuer Task. Der *IEA PVPS-Newsletter* [84] informiert regelmässig über die Arbeiten in und rund um das IEA-Programm.

In IEA PVPS Task 2 über **Betriebserfahrungen** [38] stellt TNC den Schweizer Beitrag. Die PVPS-Datenbank *Performance Database* (Ausgabe Juni 2005 [85]) wurde mit neuen Daten ergänzt und umfasst nun 431 Photovoltaik-Anlagen aus 21 Ländern mit insgesamt rund 15'500 Monats-Betriebsdaten und 12.3 MWp Anlagenleistung. Aus der Schweiz sind 64 Anlagen mit einer totalen Leistung von 2 MWp in der Datenbank enthalten. In diesem Teilprojekt soll eine breit abgestützte Informations- und Datenbasis für die Entwicklung der PV-Systempreise und Unterhaltskosten geschaffen werden. Dazu können die verfügbaren Projekt- und Betriebsdaten für einen *Global Survey* eingegeben werden [86]. Die so gesammelten Daten, aus möglichst vielen Regionen der Welt und aus möglichst verschiedenen Zeitperioden, werden von Task 2 bezüglich der Kostenentwicklung analysiert.

Im Rahmen der interdepartementalen Plattform (seco, DEZA, BUWAL (neu BAFU), BFE) zur Förderung der erneuerbaren Energien in der internationalen Zusammenarbeit *REPIC* [76] leistet *entec* den Schweizer Beitrag zu IEA PVPS Task 9 über die **Photovoltaik-Entwicklungszusammenarbeit** [39]. Die Schweiz ist in diesem Projekt für die Koordination der Arbeiten mit multilateralen und bilateralen Organisationen verantwortlich. Im Berichtsjahr wurden im Rahmen dieses Projektes nebst den üblichen Projekttreffen Workshops in Vietnam, Burkina Faso und China durchgeführt. Task 9 war zudem an Konferenzen in Bangkok, Washington und Barcelona vertreten.

Meteotest [40] und das CUEPE an der Universität Genf [41] erbringen zusammen den Schweizer Beitrag zum neuen Task 36 (*Solar Resource Knowledge Management*) des IEA SHC Programms. Dieses Projekt sieht vor, die verschiedenen Methoden und Datengrundlagen von Solardaten global aufzuarbeiten und verfügbar zu machen. Task 36 ist organisatorisch Bestandteil des IEA SHC Programms, inhaltlich ist es jedoch für alle Solartechnologien relevant; dementsprechend erfolgt eine Zusammenarbeit mit den weiteren IEA Programmen zur Solarenergie (IEA PVPS und IEA PACES).

Alpha Real vertritt im Namen des Fachverbandes SOLAR (neu SWISSOLAR) die Schweiz im TC 82 der IEC und leitet die Arbeitsgruppe, welche internationale **Normenvorschläge** [42] für Photovoltaiksysteme vorbereitet und verabschiedet. *Alpha Real* beteiligt sich ausserdem an **PV-GAP** [43] (PV Global Approval Program), einem weltweiten Programm zur Qualitätssicherung und Zertifizierung von Photovoltaik-Systemen.

Die Beteiligung am EU-Projekt **PV-ERA-NET** [44], welches Programmkoordinationsstellen und verantwortliche Ministerien aus 13 Ländern unter dem ERA-NET Schema [87] zusammenführt, wurde durch die Photovoltaik Programmleitung (BFE, *NET Nowak Energie & Technologie*) sichergestellt. Die

Schweiz leitet in diesem Projekt das erste Arbeitspaket zum Informationsaustausch über Europäische Photovoltaik Programme. Im Berichtsjahr wurden ausführliche Berichte zu den Ausrichtungen und Inhalten dieser Programme zusammengestellt und Hinsicht auf eine verstärkte Zusammenarbeit analysiert [88].

3. 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 und das Interesse an der Photovoltaik hält auch bei einem gedämpften Schweizer Markt an.

Auf Programmebene wurde die Zusammenarbeit mit vielen Stellen des Bundes, der Kantone und der Elektrizitätswirtschaft weiter gepflegt. Besonders hervorzuheben sind dazu der stete Austausch mit dem Staatssekretariat für Bildung und Forschung SBF, der KTI, dem BUWAL (neu BAFU), der DEZA und dem seco sowie aus der Elektrizitätswirtschaft dem VSE, der *swisselectric* und der *Gesellschaft Mont-Soleil*. Diese vielfältigen Kontakte erlauben die anhaltend wichtige breite Abstützung des Programms. Als konkretes Beispiel dieser erfolgreichen Zusammenarbeit ist der im Berichtsjahr neu geschaffene IEA PVPS Pool zu erwähnen (vgl. oben).

4. Internationale Zusammenarbeit

Die traditionsreiche internationale Zusammenarbeit wurde auch im Berichtsjahr fortgesetzt: Die institutionelle Zusammenarbeit innerhalb der IEA, der IEC, PVGAP und den Europäischen Netzwerkprojekten wurde bereits beschrieben. Auf der Projektebene konnte die erfolgreiche Zusammenarbeit innerhalb der EU in bestehenden und neuen Projekten fortgesetzt werden. Im Jahr 2005 waren es 16 Projekte im 5. bzw. 6. Rahmenforschungsprogramm der EU, die Beteiligung an zwei neuen *Integrierten Projekten* beginnt anfangs 2006. Ein weiteres Projekt fand mit der esa statt. Die Schweizer Photovoltaik konnte sich damit sehr erfolgreich an den Ausschreibungen im 6. Rahmenforschungsprogramm der EU beteiligen. Es findet ein regelmässiger Kontakt mit Programmverantwortlichen in EU-Ländern statt, ebenso mit den zuständigen Einheiten bei der Europäischen Kommission.

Aufgrund des Berichtes *A Vision for Photovoltaic Technology* [89] des *Photovoltaic Technology Research Advisory Council (PV TRAC)* der Europäischen Kommission wurde 2005 die Europäische Photovoltaik Technologie Plattform gegründet [90]. Technologie Plattformen sind ein neues Instrument, welches für ausgewählte Technologien eine breitere Trägerschaft und eine gemeinsame Strategie der beteiligten Akteure ermöglichen soll, indem typischerweise Forschungskreise, Industrie, der Finanzsektor und staatliche Stellen in einer gemeinsam getragenen Plattform eingebunden sind und die notwendigen F&E Anstrengungen sowie die Massnahmen zur Umsetzung koordiniert angehen. Von besonderer Bedeutung ist dabei einerseits die starke Einbindung der Industrie, welche im Rahmen der Technologie-Plattformen eine tragende Rolle spielt. Andererseits wird im Rahmen einer Technologie-Plattform ein strategischer Forschungsplan definiert und umgesetzt. Dieser ist für die Photovoltaik insbesondere auf die Ausgestaltung des 7. Rahmenforschungsprogramms der EU von Wichtigkeit. Durch die Gründung dieser Photovoltaik Technologie Plattform wird die langfristige strategische Bedeutung der Photovoltaik hervorgehoben. Die Schweiz ist sowohl im Steuerungsausschuss wie in einzelnen Arbeitsgruppen vertreten.

Weitere Kontakte wurden mit internationalen Stellen mit Bedeutung für die Entwicklungszusammenarbeit gepflegt (Weltbank, GEF, IFC, UNDP, UNEP, GTZ, KfW, REEEP u.a.). Die Schweizer Photovoltaik ist angesichts dieser zahlreichen Wechselwirkungen international weiterhin sehr präsent.

5. Pilot- und Demonstrationsprojekte

Die aufgrund des Entlastungsprogramms 2003 des Bundes beschlossenen Kürzungen sind seit 2004 vorab für die Mittel für P+D Vorhaben wirksam und haben damit eine einschneidende Wirkung auf die Ausgestaltung und die Möglichkeiten im Programm Photovoltaik. Im Berichtsjahr 2005 konnten wie bereits 2004 **keine neuen P+D Projekte** mit BFE-Mitteln unterstützt werden. Diese Entwicklung ist sehr zu bedauern, weil damit ein wesentliches Glied in der Umsetzung von Forschung und Entwicklung hin zu industriellen Produkten und Verfahren, und damit zum Markt stark geschwächt wird. Dies trifft die Photovoltaik zu einem Zeitpunkt, in dem sich nach langem Aufbau eine verstärkte Umsetzung im Programm Photovoltaik abzeichnet.

Der weltweite Photovoltaikmarkt boomt aufgrund grossangelegter Förderprogramme bzw. Einspeisevergütungen immer mehr Länder weiterhin mit jährlichen Wachstumsraten von mehr als 35 %. 2005 erreichte die weltweite Modulproduktion mehr als 1500 MWp. Damit sind zur Zeit gute Exportmöglichkeiten für innovative Produkte vorhanden. Demgegenüber stagniert der schweizerische Photovoltaikmarkt seit rund 10 Jahren bei einem Jahreswert von ca. 2 MWp. Dank der Initiative einzelner innovativer Stromversorger, welche Grossprojekte realisiert haben, beträgt der Jahreswert im 2005 über 4 MWp.

Die noch verbleibenden Photovoltaik P+D Projekte behandeln schwerpunktmässig weiterhin die Thematik der **Photovoltaik Gebäudeintegration**, insbesondere für Anlagen auf Flachdächern und die Verwendung von Dünnschicht Modulen.

EINIGE P+D ERFOLGE DER LETZTEN JAHRE IM ÜBERBLICK

An dieser Stelle wird auf eine Auswahl von **erfolgreichen Photovoltaik P+D Projekten** der letzten Jahre hingewiesen, die entweder nachhaltig im Markt umgesetzt wurden, oder die mit verschiedenen Auszeichnungen die Innovationskraft dieser Projekte und Produkte belegen.

Das mit der 15 kWp Anlage in Trevano erstmals im Massstab 1:1 getestete *Sarnasol* System bestehend aus amorphen Dünnschichtzellenmodulen verbunden mit einer dichten Kunststoffolie [45] wird von Sarnafil in Zusammenarbeit mit *Solar Integrated* neu unter dem Namen *Solar Dach* oder *SmartRoof!*® vermarktet. Bisher konnten mit diesem System diverse Anlagen erfolgreich realisiert werden (siehe Fig. 4).

Mit etwas verzögerter Wirkung konnte das Projekt 'Montagesystem AluTec' (Abschluss 2002 [47]) bzw. die Weiterentwicklung 'Montagesystem AluStand'® [48] (siehe Fig. 5) erfolgreich umgesetzt werden. Im Jahr 2005 wurden vor allem in Deutschland Profile für eine PV Leistung von 10 MWp verkauft. Insgesamt konnten mit diesem System seit der Markteinführung bisher Anlagen mit einer Leistung von rund 30 MWp installiert werden.



Figur 4: 188 kWp Solar Dach in Fulda
(Bildquelle Sarnafil)



Figur 5: 27 kWp Anlage Alustand Hünenberg
(Bildquelle Urs Bühler Energy Systems)



Figur 6: Solarmax 2000 / 3000
(Bildquelle: Sputnik Engineering)



Figur 7: 5 MWp Dachintegration Sonnenfleck
(www.sonnenfleck.com)

Geradezu beispielhaft konnte die Firma Sputnik Engineering im Rahmen von Photovoltaik Forschungs- und P+D Projekten in Zusammenarbeit mit der Bieler Fachhochschule die notwendigen Grundlagen im Bereich der Photovoltaik Wechselrichtertechnologie erarbeiten, Prototypen entwickeln und im praktischen Einsatz 1:1 testen. Die SolarMax[®] Geräte (siehe Fig. 6) sind heute die Nummer 3 auf dem Europäischen Markt. 2005 wurden Wechselrichter für eine PV Anlagenleistung von rund 125 MWp produziert (mehr als das 50-fache des Schweizer Markts), was im In- und Ausland bei Sputnik und den Zulieferfirmen rund 120 Arbeitsplätze sichert.

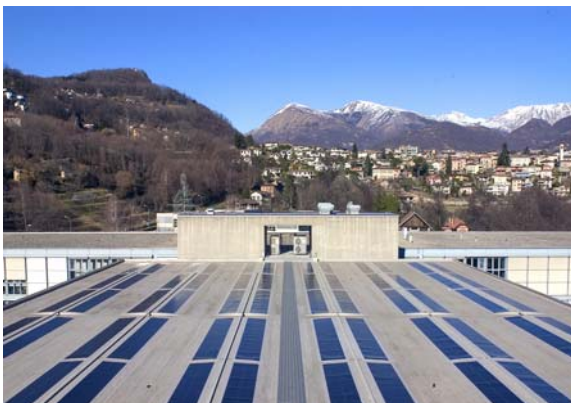
Ein weiteres Beispiel aus der Liste erfolgreicher Projekte ist die von den beiden Firmen Schweizer Metallbau und Enecolo in Zusammenarbeit realisierte Photovoltaik P+D Entwicklung 'Dachintegrationsrahmen SOLRIF[®]' [51] (siehe Fig. 7). Seit der Markteinführung wurden auf dem Europäischen Markt SOLRIF[®] Rahmen für dachintegrierte Anlagen mit einer Gesamtleistung von über 10 MWp ausgeliefert.

Wie SolarMax[®], SOLRIF[®] oder AluStand[®] beispielhaft aufzeigen, bildeten innovative Photovoltaik Forschungs- und P+D Vorhaben in Vergangenheit immer wieder die Basis für die erfolgreiche Umsetzung von Produkten im Binnenmarkt und im Export.

LAUFENDE P+D PROJEKTE

Bei den laufenden Projekten zeigte die integrierte 15.4 kWp Flachdachanlage CPT Solar (Centro Professionale Trevano) mit amorphen Dünnschichtzellen [45] (siehe Fig. 8) das Potential dieses Konzepts auf. Der bisher erreichte hohe Ertrag von deutlich über 1000 kWh/kWp (2004: 1070 kWh/kWp; 2005 1077 kWh/kWp) belegt die optimale Planung und Auslegung dieser Installation mit nahezu horizontal (3°) ausgerichteten Modulen.

Die noch bis Sommer 2006 laufenden Untersuchungen zur 25 kWp Gründachanlage 'Solgreen Kraftwerk 1' [49] (siehe Fig. 9) belegen deutlich, dass die Kombination von Gründach und Photovoltaik aus Sicht der Solarstromerzeugung und aus Sicht der Dachbegrünung eine erfolgreiche Variante darstellt. Mit rund 1000 kWh/kWp liegt die Jahresproduktion auf einem vergleichsweise hohen Niveau. Bei allen verwendeten Bodensubstraten liegt der pH-Wert im neutralen Bereich und ist für die im Boden verankerte Unterkonstruktion unproblematisch. Bei allen Bodensubstraten findet eine mehr oder weniger starke Dachbegrünung statt. Auf extensiven Flächen überschritten keine Pflanzen die Modulunterkanten, auf humusreicheren Versuchsflächen traten vereinzelt höhere Pflanzen auf, die aus Beschattungsgründen entfernt werden mussten.



Figur 8: 15.4 kWp PV Flachdachintegration CPT
(Bildquelle: NET)



Figur 9: Solgreen Kraftwerk 1
(Bildquelle: NET)

Die laufenden Projekte umfassen (in chronologischer Reihenfolge):

Komponentenentwicklung

- Neues PV Fassadensystem für Module mit Dünnschichtzellen (Entwicklung eines universellen Fassadensystems wahlweise mit oder ohne thermischer Isolation für Dünnschichtzellenmodule; Leitung: Zagsolar / Wyss Aluhit) [52]

Anlagen

- 15.4 kWp Flachdachintegration CPT Solar (Pilotmässiger Einsatz einer neu entwickelten Kombination von amorphen Dünnschichtzellenmodulen mit einer dichten Kunststoffolie; Leitung: *LEEE-TISO*) [45] (siehe Fig. 8)
- Autonome 5.7 kWp Photovoltaik Anlage in Kombination mit einem BHKW (Ganzjährige autonome Energieversorgung von 2 Chalets mittels Photovoltaik, BHKW, thermischen Kollektoren und Holz; Leitung: *A. Reinhard*) [54]
- 17.6 kWp Flachdachanlage mit Dünnschichtzellenmodulen ETHZ (Optisch diskrete Flachdachanlage mit amorphen Zellen; Leitung: *BE Netz*) [55]
- 12 kWp Solight Pilotanlage (Pilotmässige Umsetzung von zwei verschiedenen Solight Varianten; Leitung: *Energiebüro*) [56]
- Kleine, autonome Stromversorgungen mit Photovoltaik und Brennstoffzellen (PV Insel Kleinsysteme mit Brennstoffzellen als Backup Stromlieferant zur autonomen Versorgung von netzentfernten Messsystemen im Pilotbetrieb; Leitung: *Muntwyler Energietechnik*) [58]
- 25 kWp Gründachintegration Solgreen Kraftwerk 1, Zürich (Piloteinsatz einer neu entwickelten Modulhalterkonstruktion für den Gründachbereich; Leitung: *Enecolo*) [49] (siehe Fig. 9)

Messkampagnen

- Messkampagne Wittigkofen (Detaillierte Messungen und Auswertungen mit Visualisierung der Daten zur 80 kWp Fassade Wittigkofen; Leitung: *Ingenieurbüro Hostettler*) [59]

Studien - Hilfsmittel - diverse Projekte

- Photovoltaikstatistik der Schweiz 2004 (Leitung: *Ingenieurbüro Hostettler*) [60]
- Solarstrom vom EW (Leitung: *Linder Kommunikation*) [61]
- Solar *Electri* City Guide - Schweizer Solarstromführer für die Gemeinden (Leitung: *NET*) [62]
- Solarenergie Potential in Genf (Studie zum Flächenpotential für thermische Solaranlagen und Photovoltaikanlagen im Gebäudepark der öffentlichen Hand im Kanton Genf (Leitung: *NET*) [63]

IM JAHR 2005 ABGESCHLOSSENE PROJEKTE

Im Jahr 2005 wurden die folgenden P+D Projekte abgeschlossen (in chronologischer Reihenfolge):

Anlagen

- 23.5 kWp PV Anlage Zollhof Kreuzlingen (Flachdach Demonstrationsanlage mit Grossanzeige an gut frequentierter Lage; Leitung: *Böhni Energie und Umwelt*) [64] (siehe Fig. 10)
- 62 kWp Flachdachanlage mit PowerGuard Solardachplatten (Multifunktionale PV Flachdachanlage mit gleichzeitiger thermischer Isolation des Dachs, wobei die thermischen Dämmelemente auch die Funktion der Modulhalterkonstruktion übernehmen; Leitung: *Zagsolar*) [53] (siehe Fig. 11)
- Photovoltaik Anlagen Corvigliabahn und Piz Nair St. Moritz (Realisierung einer 17.8 kWp Anlage entlang der Corvigliabahn und einer 9.7 kWp und 13.5 kWp Fassadenintegration in die Talstation, bzw. die Bergstation der Piz Nair Seilbahn; Leitung: *SunTechnics Fabrisolar*) [65]
- 27 kWp Anlage AluStand Hünenberg (Demonstrationsanlage mit Verwendung der Flachdachvariante des Modulhaltesystems AluTec (AluStand[®]); Leitung: *Urs Bühler Energy Systems and Engineering*) [48] (siehe Fig. 5)
- 3 kWp Anlage Ferme Amburnex (Inselanlage mit Hilfs-Dieselaggregat zur elektrischen Versorgung einer Alp, autonome Anlage; Leitung: *Services Industriels Lausanne*) [66]
- RESURGENCE - Renewable Energy Systems for Urban Regeneration in Cities of Europe (Realisierung von total 1.3 MWp PV Anlagen im städtischen Raum in den 5 Ländern England, Holland, Dänemark, Deutschland und der Schweiz, EU Projekt; Leitung Schweizer Teil: *Enecolo*) [50]

Messkampagnen

- PV DünnFilmTest Migros Zürich (18 Testanlagen mit PV Dünnschichtzellen-Modulen im direkten Vergleich, Gesamtleistung: 24.5 kWp; Leitung: *Energiebüro*) [57] (siehe Fig. 12)
- Monitoraggio dell'impianto PV da 100 kWp AET III (Detaillierte Messkampagne zur revidierten 100 kWp PV Anlage entlang der SBB Linie Bellinzona-Locarno; Leitung: *LEEE-TISO*) [46] (siehe Fig. 13)
- Messkampagne 100 kWp Anlage A 13 (Leitung: *TNC Consulting*) [67]

Studien - Hilfsmittel - diverse Projekte

- Integration der neuen IEC Norm 60364-7-712 für Photovoltaik in die nationalen Installationsnormen NIN (Aktualisierung, bzw. Ersatz der veralteten PV Normen; Leitung: *Electrosuisse*) [68]
- GISS Gebäude-Integrierte-Solarstrom-Systeme (Studie zur besseren Umsetzung von gebäudeintegrierten Solarstromsystemen durch Abbau von Hindernissen und Informationsmängeln und Erhöhung der Fachkompetenz bei Planern, Investoren und Bauherren; Leitung: *SZFF Schweizerische Zentralstelle für Fenster- & Fassadenbau*) [69]



Figur 10: PV Anlage Zollhof Kreuzlingen
(Bildquelle: NET)



Figur 11: 62 kWp Anlage mit PowerGuard Modulen
(Bildquelle: Zagsolar)



Figur 12: PV DünnFilmTest
(Bildquelle: NET)



Figur 13: Messkampagne zur 100 kWp Anlage AET III
(Bildquelle: TISO)

6. Bewertung 2005 und Ausblick 2006

Global war das Jahr 2005 für die Photovoltaik ein überaus erfolgreiches Jahr. In einer durch hohes Wachstum gezeichneten Marktdynamik konnte die Photovoltaik Industrie ihren Ausbau fortsetzen. Die von der Landesbank Baden-Württemberg publizierte Branchenanalyse [81] bringt die Entwicklung mit einem Satz auf den Punkt: „Das industrielle Zeitalter beginnt“. Durch das rasche Wachstum hat sich aber ein Engpass in der Verfügbarkeit von Rohsilizium eingestellt. Dieser Engpass führt zu enormem Druck für die Industrie, Produktionskapazitäten können nicht ausgelastet werden, Produkte können nicht geliefert werden und zudem steigen damit naturgemäss auch die Preise. Silizium ist dabei keine wirkliche Mangelware, bekanntlich gibt es davon sprichwörtlich wie „Sand am Meer.“ Aufgrund des schnellen Marktwachstums der Photovoltaik wurde aber die sich abzeichnende Verknappung des Rohsiliziums früher als erwartet erreicht, insbesondere früher als die neu geplanten Fertigungskapazitäten von Silizium bereit stehen. Es wird allgemein erwartet, dass diese Situation während 2006 anhalten und frühestens 2007 eine Entspannung auftreten wird. Für die Dünnschichtsolarzellen entsteht aber aufgrund dieser angespannten Situation ein interessantes „window of opportunity“ – sprich Chancen für diese Technologien.

Vor diesem Hintergrund ist auch die Situation der Schweizer Photovoltaik zu beurteilen: Forschung und Technologie befanden sich bisher aufgrund einer breiten Abstützung auf einem auch international betrachtet hohen Niveau. Industrielle Umsetzung und internationale Ausrichtung werden durch die zahlreichen KTI- und EU-Projekte belegt. Andererseits bestehen durch die fehlenden P+D-Mittel und dem stagnierenden Markt gewichtige Nachteile für die Umsetzung im eigenen Land. Trotz diesen erschwerten Bedingungen finden auch in der Schweiz wachsende industrielle Photovoltaik Aktivitäten statt. Gestützt auf Umfragen wird das Exportvolumen der Schweizer Photovoltaik für 2005 auf mindestens 80 Mio. Fr. geschätzt. Zusammen mit dem Heimmarkt kann der Gesamtumsatz der Schweizer Photovoltaik mit mindestens 100 Mio. Fr. beziffert werden.

Die bisherigen Anstrengungen im Schweizer Photovoltaik Programm bilden die wissenschaftlich-technische Ausgangslage, um im rasch wachsenden Photovoltaik Markt mit Schweizer Innovationen und Produkten präsent zu sein. Die lange praktische Erfahrung mit dem Bau und Betrieb von zahlreichen Photovoltaik Anlagen führten zu wichtigen Erkenntnissen, welche die Zuverlässigkeit der Anlagen und eine hohe spezifische Energieproduktion zur Folge haben. Damit sind die technologischen Voraussetzungen gegeben, dass die Schweizer Photovoltaik mit ihrem wissenschaftlich-technischen Know-how und ihren Produkten auch im internationalen Wettbewerb konkurrenzfähig und erfolgreich sein kann.

Nebst der bekannten Tatsache, dass die Schweiz bezüglich den Rahmenbedingungen am Markt international zusehends ins Hintertreffen gerät, zeichnet sich aber auch im Bereich der Forschung in letzter Zeit eine ähnliche Entwicklung ab. Internationale Erhebungen zeigen, dass die Aufwendungen für die Photovoltaik Forschung in vielen Ländern steigen und die Bedeutung der Forschung generell zunimmt. Nicht zuletzt wird dies auch durch die Schaffung der Europäischen Photovoltaik Technologie Plattform unterstrichen. Demgegenüber wird die Situation in der Schweiz, trotz breiter Abstützung des Programms, immer schwieriger. Damit entsteht eine weitere internationale Diskrepanz, welche der bisherigen Leistung der Schweizer Photovoltaik, sowohl in Forschung wie in der Industrie, nicht gerecht wird. Bestens international auf allen Ebenen vernetzt und mit einem weltweit anerkannten Know-how hat die Schweizer Photovoltaik das Potenzial, im rasch wachsenden Markt eine bedeutende Rolle zu spielen.

Das Programm Photovoltaik wird auch in Zukunft bestrebt sein, durch die breite Abstützung eine kritische Grösse zu bewahren. Dazu soll von allen möglichen Fördermechanismen Gebrauch gemacht werden und diese gleichzeitig optimal koordiniert und zielführend eingesetzt werden. Dies wird aber allein nicht genügen, um das Potenzial der Schweizer Photovoltaik nachhaltig umzusetzen. Gefragt sind Massnahmen und eine Trendumkehr in der Entwicklung der finanziellen Mittel, welche es erlauben, auch in der Forschung international mitzuhalten. Die Schweizer Photovoltaik hat in den letzten Jahren eindrücklich den Beweis erbracht, dass sie zu Spitzenleistungen in der Lage ist, welche mutige Schritte in diese Richtung rechtfertigen.

Die EMPA organisierte im April 2005 ein Fachseminar zur Solarzellenforschung [91]. Die Schweizer Photovoltaik war auch an der 20. europäischen Photovoltaik Konferenz im Juni in Barcelona mit ihren Beiträgen gut vertreten [92]. Bei den SIG in Genf fand im November 2005 die besonders aus Industriekreisen gut besuchte 6. Nationale Photovoltaik Tagung statt [93]. Der nationale Informations- und Erfahrungsaustausch bleibt damit in der Schweiz weiterhin ein wichtiges Thema. Die Photovoltaik Webseite <http://www.photovoltai.ch> beinhaltet alle wesentlichen Informationen sowie Berichte und dient damit als wichtiges Informationsinstrument, das laufend unterhalten wird.

7. Liste der F+E-Projekte

(JB) Jahresbericht 2005 vorhanden

(SB) Schlussbericht vorhanden (siehe www.energieforschung.ch unter den angegebenen Publikationsnummern in Klammern)

Einzelne Jahresberichte und Schlussberichte können von <http://www.photovoltaiic.ch> heruntergeladen werden. Unter den aufgeführten Internet-Adressen sind weitergehende Informationen vorhanden.

- [1] C. Ballif, J. Bailat, V. Terrazoni-Daudrix, S. Fay, E. Vallat, R. Tscharnier, (ballif@unine.ch), IMT, UNI-Neuchâtel, Neuchâtel: *Thin film silicon solar cells: advanced processing and characterization* (JB) / www.unine.ch/pv
- [2] L. Feitknecht, A. Shah, C. Ballif (luc.feitknecht@unine.ch), IMT, UNI-Neuchâtel, Neuchâtel: *High rate deposition of μ -Si:H silicon thin-film solar cell devices in industrial KAI PE-CVD reactor* (JB) / <http://www.micromorph.unine.ch>
- [3] Ch. Hollenstein, A. A. Howling, B. Strahm, (christophe.hollenstein@epfl.ch), CRPP / EPFL, Lausanne: *A new large area VHF reactor for high rate deposition of micro-crystalline silicon for solar cells* (JB) / http://crppwww.epfl.ch/crpp_proc.htm
- [4] Ch. Hollenstein, L. Sansonnens, (christophe.hollenstein@epfl.ch), CRPP / EPFL, Lausanne: *Numerical Modelling for large area plasma enhanced chemical vapour deposition (PECVD) reactor development* (JB) / http://crppwww.epfl.ch/crpp_proc.htm
- [5] S. Faÿ, A. Shah, C. Ballif, (sylvie.fay@unine.ch), IMT, UNI-Neuchâtel, Neuchâtel: *Stability of advanced LP-CVD ZnO within encapsulated thin film silicon solar cells* (JB) / <http://www2.unine.ch/pv>
- [6] F. Baumgartner, (Franz.Baumgartner@ntb.ch), NTB, Buchs,.: *Spectral photocurrent measurement system of thin film silicon solar cells and modules* (JB) / <http://www.ntb.ch/pv>
- [7] V. Terrazoni, C. Ballif (vanessa.terrazzoni@unine.ch), IMT, UNI-Neuchâtel, Neuchâtel: *Optical nano-gratings and continuous processing for improved performance flexible solar cells* (JB) / www.unine.ch/pv
- [8] C. Ballif, (ballif@unine.ch), IMT, UNI-Neuchâtel, Neuchâtel: *FLEXCELLENCE* / www.unine.ch/pv
- [9] C. Ballif, (ballif@unine.ch), IMT, UNI-Neuchâtel, Neuchâtel: *ATHLET* / <http://www.hmi.de/projects/athlet/>
- [10] S. Schneeberger, (sschneeberger@hct.ch), HCT SHAPING SYSTEMS, Cheseaux: *BITHINK - Bifacial thin industrial multi-crystalline silicon solar cells* / <http://www2.hct.ch>
- [11] M. Kaelin, D. Rudmann, D. Bremaud, H. Zogg, A. N. Tiwari, (tiwari@phys.ethz.ch), ETH, Zürich: *FLEXCIM: Flexible CIGS solar cells and mini-modules* (JB) / <http://www.tfp.ethz.ch>
- [12] D. Abou-Ras, H. Zogg, A. N. Tiwari, (tiwari@phys.ethz.ch), ETH, Zürich: *NEBULES - New buffer layers for efficient chalcopyrite solar cells* (JB) / <http://www.tfp.ethz.ch>
- [13] A.N. Tiwari, (tiwari@phys.ethz.ch), ETH, Zürich: *LARCIS* / <http://www.tfp.ethz.ch>.
- [14] A.N. Tiwari, (tiwari@phys.ethz.ch), ETH, Zürich: *ATHLET* / <http://www.hmi.de/projects/athlet/>
- [15] M. Grätzel, A. McEvoy (michael.graetzel@epfl.ch), EPFL, Lausanne: *Dye - sensitised Nanocrystalline Solar Cells* (JB) / http://isic.epfl.ch/graetzel_e.htm
- [16] M. Grätzel, A. McEvoy (michael.graetzel@epfl.ch), EPFL, Lausanne: *Voltage Enhancement of Dye Solar Cells at Elevated Operating Temperatures* (JB) / http://isic.epfl.ch/graetzel_e.htm
- [17] M. Grätzel, A. McEvoy, R. Thampi (michael.graetzel@epfl.ch), EPFL, Lausanne: *MOLYCELL - Molecular Orientation, Low bandgap and new hYbrid device concepts for the improvement of flexible organic solar CELLS* (JB) / http://isic.epfl.ch/graetzel_e.htm
- [18] A. Meyer, (andreas@solaronix.com), SOLARONIX, Aubonne: *FULLSPECTRUM: A new PV wave making more efficient use of the solar spectrum* / <http://www.fullspectrum-eu.org/>
- [19] ¹J. Ramier, ¹C.J.G. Plummer, ¹Y. Leterrier, ¹J.A.E. Manson, ²K. Brooks, ²B. Eckert, ²R. Gaudiana, (jan-anders.manson@epfl.ch), ¹EPFL / LTC, Lausanne, ²KONARKA, Lowell USA: *Photovoltaic Textile* (JB) / http://dmxwww.epfl.ch/ltc/ltc_main.htm
- [20] G. Calzaferri, A. Currao, (gion.calzaferri@iac.unibe.ch), UNI, Bern: *Photoelektrochemische und Photovoltaische Umwandlung und Speicherung von Sonnenenergie* (JB) / <http://www.dcb.unibe.ch/groups/calzaferri/>
- [21] T. Szacsavay, C. Schilter, (sz@3-s.ch), 3S, Lyss: *Photovoltaics Modules with Antireflex Glass* (JB) / <http://www.3-s.ch/>
- [22] T. Szacsavay, (sz@3-s.ch), 3S, Lyss: *BIPV-CIS - Improved integration of PV into existing buildings by using thin film modules for retrofit* (JB) / <http://www.3-s.ch/>
- [23] ¹K. Herz, ²R. Züst, (reinhard.zuest@telsonic.com), ¹ZSW, Stuttgart, ²TELSONIC, Bronschhofen: *CONSOL - Connection Technologies for Thin-Film Solar Cells* (JB) / <http://www.telsonic.com>
- [24] D. Chianese, A. Bernasconi, N. Cereghetti, E. Burà, A. Realini, G. Friesen, P. Pasinelli, I. Pola, N. Ballarini (domenico.chianese@supsi.ch), LEEE, SUPSI, Canobbio: *Centrale LEEE-TISO Periodo VII : 2003-2006* (JB) / <http://www.lee.ee.supsi.ch>
- [25] G. Friesen, A. Realini (gabi.friesen@supsi.ch), LEEE, SUPSI, Canobbio: *PV Enlargement* (JB) / <http://www.lee.ee.supsi.ch>
- [26] A. Bernasconi, (angelo.bernasconi@supsi.ch), LEEE, SUPSI, Canobbio: *PERFORMANCE* / <http://www.pv-performance.org/>
- [27] H. Häberlin, (heinrich.haeberlin@hti.bfh.ch), HTI, Burgdorf: *Photovoltaik-Systemtechnik 2005-2006 (PVSYTE)* (JB) / <http://www.pvtest.ch>
- [28] A. Meyer, T. Meyer, (andreas@solaronix.com), SOLARONIX, Aubonne: *The European Polymer Solar Battery EURO-PSB* (JB) / <http://www.solaronix.com>
- [29] N. Morel, (nicolas.morel@epfl.ch), LESO-PB/EPFL, Lausanne: *SUNtool - A Sustainable Urban Neighborhood Modelling Tool* (JB) / <http://lesomail.epfl.ch>

- [30] P. Toggweiler, S. Stettler, (info@enecolo.ch), ENECOLO, Mönchaltorf: **PVSAT2 - Intelligent Performance Check of PV System Operation Based on Satellite Data** (JB) / <http://www.solarstrom.ch>
- [31] P. Toggweiler, (info@enecolo.ch), ENECOLO, Mönchaltorf: **Envisolar** / <http://www.envisolar.com>
- [32] P. Ineichen, (pierre.ineichen@cuepe.unige.ch), CUEPE, Genève: **Energy specific Solar Radiation Data from Meteosat Second Generation: The Heliosat-3 project** (JB) / <http://www.unige.ch/cuepe>
- [33] A. Mermoud, (Andre.mermoud@cuepe.unige.ch), CUEPE, Genève: **Erweiterung der Simulationssoftware PVSyst für solare Wasserpumpen** (JB) / <http://www.pvsyst.com> / <http://www.cuepe.ch>
- [34] G. Friesen, (gabi.friesen@supsi.ch), LEEE, SUPSI, Canobbio: **PV Catapult** (JB) / <http://www.lee.ee.supsi.ch>
P. Affolter, (pascal.affolter@solstis.ch), SOLSTIS, Lausanne: **PV Catapult** / <http://www.solstis.ch>
- [35] W. Durisch, (wilhelm.durisch@psi.ch), PSI, Villigen: **FULLSPECTRUM: A new PV wave making more efficient use of the solar spectrum** / <http://www.fullspectrum-eu.org/>
- [36] A. Borschberg, (andre.borschberg@solarimpulse.com) SOLAR IMPULSE, Lausanne: **Solarimpulse** / <http://www.solar-impulse.com>
- [37] P. Hüsler, (pius.huesser@novaenergie.ch), NOVA ENERGIE, Aarau: **Schweizer Beitrag zum IEA PVPS Programm Task 1** (JB) / <http://www.novaenergie.ch/>
- [38] Th. Nordmann, L. Clavadetscher, (nordmann@tnc.ch), TNC CONSULTING, Erlenbach: **IEA PVPS Programm Task 2 Schweizer Beitrag 2005** (JB) / <http://www.tnc.ch>
- [39] S. Nowak, G. Favaro (stefan.nowak@netenergy.ch), NET, St. Ursen: **REPIC: Renewable Energy Promotion in International Co-operation** (JB) / <http://www.repic.ch>
- [40] S. Kunz, (kunz@meteotest.ch), METEOTEST, Bern: **Solar Resource Management, IEA Solar Heating & Cooling Programme, Task 36**, <http://www.meteotest.ch>.
- [41] P. Ineichen, (pierre.ineichen@cuepe.unige.ch), CUEPE, Genève: **Solar Resource Management, IEA Solar Heating & Cooling Programme, Task 36** <http://www.unige.ch/cuepe>.
- [42] M. Real, (alphareal@access.ch), Alpha Real, Zürich: **IEC Normenarbeit für PV Systeme** (JB) <http://www.iec.ch>.
- [43] M. Real, (alphareal@access.ch), Alpha Real, Zürich: **PVGAP**, <http://www.pvgap.org/>.
- [44] S. Nowak, M. Gutschner, S. Gnos (stefan.nowak@netenergy.ch), NET, St. Ursen: **PV-ERA-NET: Networking and Integration of National and Regional PV Programmes** (JB) / <http://www.photovoltac.ch>, <http://www.netenergy.ch>.

8. Liste der P+D – Projekte

- [45] D. Chianese, (domenico.chianese@supsi.ch), LEEE-TISO, Canobbio: **Flat roof integration CPT Solar** (JB) <http://www.lee.ee.supsi.ch>.
- [46] S. Rezzonico (sandro.rezzonico@supsi.ch), LEEE-TISO, Canobbio: **Monitoraggio dell'impianto PV da 100 kWp AET III a Riazzino** (SB) (250077) <http://www.lee.ee.supsi.ch>.
- [47] U. Bühler (u.bue@bluewin.ch), URS BÜHLER ENERGY SYSTEMS AND ENGINEERING, Cham: **Slopedroof- and façade – mounting-system AluTec / AluVer** (SB) (220181) <http://www.alustand.ch>.
- [48] U. Bühler (u.bue@bluewin.ch), URS BÜHLER ENERGY SYSTEMS AND ENGINEERING, Cham: **27 kWp Anlage Hünenberg, Montagesystem Alustand, Freizeit- und Sportgebäude Ehret** (JB) <http://www.alustand.ch>.
- [49] M. Meier, (info@enecolo.ch), ENECOLO, Mönchaltorf: **Solgreen Kraftwerk 1 Zürich** (JB) <http://www.solarstrom.ch>.
- [50] S. Stettler (sandra.stettler@enecolo.ch), ENECOLO, Mönchaltorf; R. Kröni (robert.kroeni@edisunpower.com), EDISUN POWER, Zürich: **RESURGENCE - Renewable Energy Systems for Urban Regeneration in Cities of Europe** (JB) <http://www.solarstrom.ch>
- [51] P. Toggweiler, (info@enecolo.ch), ENECOLO, Mönchaltorf: **SOLRIF (Solar Roof Integration Frame)** (SB) <http://www.solarstrom.ch>.
- [52] R. Durot, (r.durot@zagsolar.ch), ZAGSOLAR, Kriens: **Photovoltaic- Façade, Mounting System for Thin-Film-Modules** (JB) <http://www.zagsolar.ch>.
- [53] R. Durot, (r.durot@zagsolar.ch), ZAGSOLAR, Kriens: **62 kWp Flachdachanlage mit PowerGuard Solardachplatten** (SB) (250038) <http://www.zagsolar.ch>.
- [54] A. Reinhard, **Autonome Stromversorgung mit Photovoltaik und BHKW**.
- [55] A. Kottmann, (kottmann@benetz.ch), BE NETZ AG, Luzern: **17.6 kWp Installation with Thin-Film-Modules on the Flat Roof at the CNB-Building of the ETHZ** (JB) <http://www.benetz.ch>.
- [56] Ch. Meier, (info@energieburo.ch), ENERGIEBÜRO, Zürich: **Preparation and Realisation of the Test- and Pilot Installation SOLIGHT** (JB) <http://www.energieburo.ch>.
- [57] Ch. Meier, (info@energieburo.ch), ENERGIEBÜRO, Zürich: **PV-ThinFilmTest** (SB) (250052) <http://www.energieburo.ch>.
- [58] U. Muntwyler, (muntwyler@solarcenter.ch), MUNTWYLER ENERGIETECHNIK, Zollikofen: **Autonome Stromversorgung mit Photovoltaik und Brennstoffzellen** (JB) <http://www.solarcenter.ch>.
- [59] Th. Hostettler (Hostettler_Engineering@Compuserve.com), INGENIEURBÜRO HOSTETTLER, Bern: **Messkampagne Wittigkofen** (JB)
- [60] Th. Hostettler (Hostettler_Engineering@Compuserve.com), INGENIEURBÜRO HOSTETTLER, Bern: **Photovoltaic Energy Statistics of Switzerland 2004** (JB).
- [61] E. Linder, (zuerich@linder-kom.ch), LINDER KOMMUNIKATION, Zürich: **Solarstrom vom EW** (JB) <http://www.linder-kom.ch> / <http://www.erneuerbar.ch/d/oekostrom/index.htm#top>.
- [62] S. Nowak, (stefan.nowak@netenergy.ch), NET, St. Ursen: **Solar Electri City Guide -Publikationen 'Solarstrom in der Gemeinde'** (JB) <http://www.netenergy.ch>.
- [63] S. Nowak, (stefan.nowak@netenergy.ch), NET, St. Ursen: **Solar Energy Potential in Geneva** (JB) <http://www.netenergy.ch>.
- [64] Th. Böhni, (boehni@euu.ch), BÖHNI ENERGIE UND UMWELT, Frauenfeld: **23.5 kWp PV Anlage Zollhof Kreuzlingen** (SB) (250037) <http://www.euu.ch>.

- [65] S. Leu, (info@SunTechnics.ch), SUNTECHNICS FABRISOLAR, *Küsnacht: PV St. Moritz - Corvigliabahn - Piz Nair* (<http://www.suntechnics.ch>).
- [66] J. Pahud, (jose.pahud@lausanne.ch), SERVICES INDUSTRIELS, Lausanne: *Amburnex Solar Farm (3 kWp)* (<http://www.lausanne.ch/energie>).
- [67] Th. Nordmann, (mail@tnc.ch), TNC CONSULTING, Erlenbach: *100 kWp PV-Netzverbundanlage A13 Messkampagne, Periode 2005* (JB) (<http://www.tnc.ch>).
- [68] J. Keller, (jost.keller@electrosuisse.ch), ELECTROSUISSE, *Fehrltorf: Integration der neuen IEC Norm 60364-7-712 für Photovoltaik in die nationalen Installationsnormen NIN* (<http://www.electrosuisse.ch/>).
- [69] R. Locher, (rlocher@szff.ch), SCHWEIZERISCHE ZENTRALSTELLE FÜR FENSTER - + FASSADENBAU (SZFF), *Dietikon: Gebäude-Integrierte-Solarstrom-Systeme GISS* (SB) (250097) (<http://www.szff.ch/>).

9. Referenzen

- [70] *Konzept der Energieforschung des Bundes 2004 bis 2007*, Eidgenössische Energieforschungskommission CORE, 2004.
- [71] *Forschungskonzept Photovoltaik 2004 – 2007*, Bundesamt für Energie, 2005, (<http://www.photovoltai.ch>).
- [72] www.dyesol.com.
- [73] <http://www.pvtest.ch> > Publikationen.
- [74] <http://www.pvtest.ch> > PV-Messdaten.
- [75] <http://www.spyce.ch>.
- [76] <http://www.repic.ch>
- [77] <http://www.pvsyst.com>
- [78] *Annual Report 2005*, IEA PVPS, 2006, (<http://www.iea-pvps.org/>).
- [79] *National Survey Report on PV Power Applications in Switzerland 2004*, P. Hüsler, (pius.huessler@novaenergie.ch), Nova Energie, May 2005.
- [80] *Trends in Photovoltaic Applications in selected IEA countries between 1992 and 2004*, IEA PVPS Task 1 – 14: 2005, (<http://www.iea-pvps.org>).
- [81] *Branchenanalyse Photovoltaik 2005 – Das industrielle Zeitalter beginnt*, Landesbank Baden-Württemberg, April 2005.
- [82] *Sun screen II - Investment opportunities in solar power*, M. Rogol, CLSA, July 2005.
- [83] *Nachhaltigkeitsstudie – Solarenergie 2005*, M. Fawer-Wasser, Sarasin, November 2005.
- [84] *IEA PVPS Newsletter*, zu beziehen bei Nova Energie, Schachenallee 29, 5000 Aarau, Fax 062 834 03 23, (pius.huessler@novaenergie.ch).
- [85] *Performance Database*, IEA PVPS Task 2, Version 1:19, June 2005, (<http://www.task2.org>).
- [86] *Global Economic Survey*, IEA PVPS Task 2, (<http://www.iea-pvps-task2.org/Survey/index.htm>
- [87] http://europa.eu.int/comm/research/fp6/index_en.cfm?p=9_eranet
- [88] <http://www.pv-era.net> > Results & Publications
- [89] *A Vision for Photovoltaic Technology*, Photovoltaic Technology Research Advisory Council (PV-TRAC), 2005.
- [90] *European Photovoltaic Technology Platform*, (<http://www.eupvplatform.org>
- [91] *Conference Photovoltaics of the Future*, 12. April 2005, EMPA AKADEMIE, Überlandstrasse 129, Dübendorf
- [92] *Die 20th European Photovoltaic Solar Energy Conference & Exhibition Barcelona 06. - 10.06.2005 aus Schweizer Sicht*, zu beziehen bei NET, Waldweg 8, 1717 St. Ursen, (info@netenergy.ch), (<http://www.photovoltai.ch>).
- [93] *6. Nationale Photovoltaiktagung 2005*, SIG Genf, November 2005, Unterlagen zu beziehen bei NET, Waldweg 8, 1717 St. Ursen, (info@photovoltai.ch

10. Für weitere Informationen

Weitere Informationen erhalten Sie von der Programmleitung:

Dr. Stefan Nowak, NET Nowak Energie & Technologie AG, Waldweg 8, 1717 St. Ursen, Schweiz
Tel. ++41 (0) 26 494 00 30, Fax ++41 (0) 26 494 00 34, Email: stefan.nowak@netenergy.ch

Bearbeitung Jahresbericht: Manuela Schmied Brügger, Stephan Gnos,
NET Nowak Energie & Technologie AG, info@netenergy.ch

11. Verwendete Abkürzungen (inkl. Internetlinks)

Allgemeine Begriffe

ETH Eidgenössische Technische Hochschule

Nationale Institutionen

BAFU	Bundesamt für Umwelt	http://www.bafu.admin.ch
BFE	Bundesamt für Energie	http://www.energie-schweiz.ch
BUWAL	Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft heisst neu Bundesamt für Umwelt BAFU	http://www.umwelt-schweiz.ch/buwal/de/
CORE	Eidgenössische Energieforschungskommission	http://www.energie-schweiz.ch

CRPP	Centre de Recherche en Physique des Plasmas EPFL	http://crppwww.epfl.ch
CUEPE	Le Centre universitaire d'étude des problèmes de l'énergie	http://www.unige.ch/cuepe
DEZA	Direktion für Entwicklung und Zusammenarbeit	http://www.deza.admin.ch
EMPA	Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt	http://www.empa.ch
EPFL	Ecole Polytechnique Fédérale Lausanne	http://www.epfl.ch
ETHZ	Eidgenössische Technische Hochschule Zürich	http://www.ethz.ch
HTI Burgdorf	Hochschule für Technik und Informatik HTI	www.hti.bfh.ch
IEC	International Electrotechnical Commission	http://www.iec.ch/
IMT	Institut de Microtechnique Université Neuchâtel	http://www-imt.unine.ch
ISIC	Institute of Chemical Sciences and Engineering	http://isic.epfl.ch
KTI	Kommission für Technik und Innovation	http://www.bbt.admin.ch/kti/profil/d/index.htm
LEEE - TISO	Laboratorio di Energia, Ecologia ed Economia - Ticino Solare	http://www.leeep.supsi.ch
LESO	Laboratoire d'Energie Solaire EPFL	http://lesomail.epfl.ch/
LTC	Laboratory of Polymer and Composite Technology EPFL	http://dmxwww.epfl.ch/ltc/ltc_main.htm
NIN	Nationalen Installationsnormen	http://www.electrosuisse.ch/
NTB	Interstaatliche Hochschule für Technik Buchs	http://www.ntb.ch
PSI	Paul Scherer Institut	http://www.psi.ch
SBF	Staatssekretariat für Bildung und Forschung	http://www.sbf.admin.ch
SECO	Staatssekretariat für Wirtschaft	http://www.seco-admin.ch
SIG	Services Industriels de Genève	http://www.sig-ge.ch/
SUPSI	Scuola universitaria professionale della Svizzera Italiana	http://www.leeep.supsi.ch
VSE	Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen	http://www.strom.ch

Internationale Organisationen

EU (RTD)	Europäische Union (RTD-Programme)	http://www.cordis.lu
	Forschungs- und Entwicklungsinformationsdienst der Europäischen Gemeinschaft	
ECN	Energy research Centre of the Netherlands	http://www.ecn.nl
ESA	European Space Agency	http://www.esa.int
ESTI	European Solar Test Installation	http://ies.jrccec.eu.int/Renewable_Energies.85.0.html
GEF	Global Environmental Facility	http://www.gefweb.org
GTZ	Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit	http://www.gtz.de
IEA	International Energy Agency	http://www.iea.org
IEA SHC	IEA Solar Heating and Cooling	http://www.iea-shc.org/
IEA PACES	SolarPACES	http://www.solarpaces.org/
IEA PVPS	Photovoltaic Power Systems Implementing Agreement (IEA)	http://www.iea-pvps.org
IEC	International Electrotechnical Commission	http://www.iec.ch
IFC	International Finance Corporation	http://www.ifc.org
KfW	Kreditanstalt für Wiederaufbau	http://www.kfw.de
NREL	National Renewable Energy Laboratory	http://www.nrel.gov/
PV GAP	PV Global Approval Programme	http://www.pvgap.org
REEEP	Renewable energy & energy efficiency partnership	http://www.reeep.org
UNDP	United Nations Development Programme	http://www.undp.org
UNEP	United Nations Environment Programme	http://www.unep.org

Private Institutionen und Unternehmen

Unaxis	http://www.unaxis.ch
--------	---

12. Weiterführende Internetlinks

	Photovoltaik Webseite Schweiz	http://www.photovoltaic.ch
	EnergieSchweiz	http://www.energie-schweiz.ch
	Energieforschung des Bundes	http://www.energieforschung.ch
SNF	Schweizerischer Nationalfonds	http://www.snf.ch
ETH-Rat	Rat der Eidgenössischen Technischen Hochschulen	http://www.ethrat.ch
Top Nano	Technologie Orientiertes Programm Top Nano 21	http://www.ethrat.ch/topnano21/
BFS	Bundesamt für Statistik	http://www.bfs.admin.ch
IGE	Eidgenössisches Institut für Geistiges Eigentum	http://www.ige.ch
	Bundesamt für Metrologie und Akkreditierung metas	http://www.metas.ch/
	Swiss Education and Research Network Switch	http://www.switch.ch
Swissolar	Schweizerischer Fachverband für Sonnenenergie	http://www.swissolar.ch
SOLAR	Schweizerischer Fachverband für Solarenergie ab 01.01.06 Swissolar	http://www.solarpro.ch
SSES	Schweizerische Vereinigung für Sonnenenergie	http://www.sses.ch
	Photovoltaik Webseite des US Department of Energy	http://www.eere.energy.gov/solar/
ISES	International Solar Energy Society	http://www.ises.org
ESRA	European Solar Radiation Atlas	http://www.helioclim.net/esra/