



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Energie BFE

April 2007

Programm Photovoltaik Ausgabe 2007

Überblicksbericht 2006

ausgearbeitet durch:
NET Nowak Energie & Technologie AG



Titelbild:

**Landwirtschaftsbetrieb Béat und Elisabeth Aeberhard, Barberêche FR
110 kWp Photovoltaikanlage realisiert mit PV Indachsystem SOLRIF®**

(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

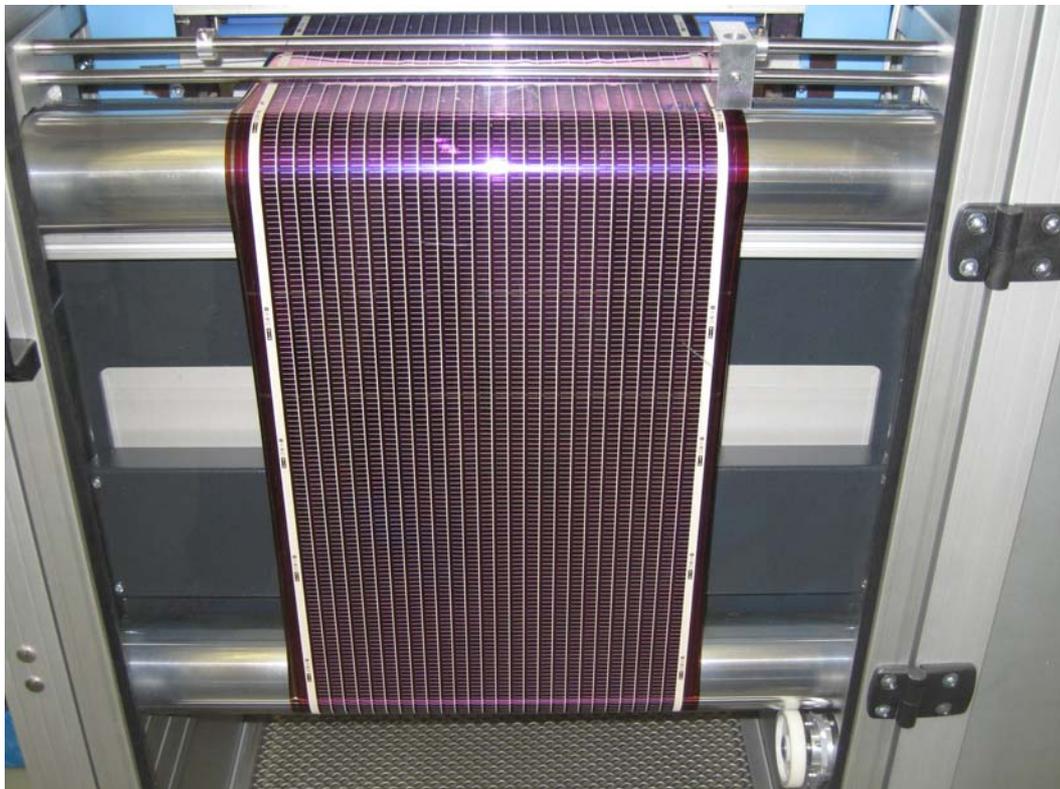


PROGRAMM PHOTOVOLTAIK

Überblicksbericht zum Forschungsprogramm 2006

Stefan Nowak

stefan.nowak@netenergy.ch



Vom Technologie Start-up Unternehmen zur industriellen Investition:

VHF-Technologies, ein Start-up Unternehmen des IMT, Universität Neuenburg, aus dem Jahr 2000 wurde im Verlauf von 2006 als strategische Investition des grössten europäischen Solarzellen Herstellers Q-Cells ausgewählt. In einem ersten Schritt wird eine Pilotfertigung dünner und flexibler Solarzellen von 2 MWp Produktionskapazität aufgebaut (Bildquelle: NET).

Inhaltsverzeichnis

1. Programmschwerpunkte und anvisierte Ziele.....	3
2. Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse 2006.....	4
Zell-Technologie.....	4
Solarmodule und Gebäudeintegration	7
Elektrische Systemtechnik	8
Ergänzende Projekte und Studien	9
Internationale Zusammenarbeit IEA, IEC, PVGAP	10
3. Nationale Zusammenarbeit.....	12
4. Internationale Zusammenarbeit	12
5. Pilot- und Demonstrationsprojekte (P+D).....	13
Neue P+D Projekte	13
Laufende P+D Projekte	13
Im Jahr 2006 abgeschlossene P+D Projekte.....	14
6. Bewertung 2006 und Ausblick 2007	15
7. Liste der F+E - Projekte.....	16
8. Liste der P+D - Projekte	17
9. Referenzen	18
10. Für weitere Informationen	18
11. Verwendete Abkürzungen (inkl. Internetlinks).....	18
12. Weiterführende Internetlinks.....	19

1. Programmschwerpunkte und anvisierte Ziele

Das Programm Photovoltaik stand im Jahr 2006 im Spannungsfeld zwischen neuen und wachsenden Industrieprojekten, weiterhin knappen Mitteln für die Forschung, insbesondere im Bereich der P+D-Projekte, sowie der anhaltenden energiepolitischen Diskussion, bei welcher gerade die Photovoltaik immer wieder im Zentrum stand. Durch die breite Programmabstützung im Bereich der Forschung konnte das Niveau wenigstens hier weitgehend gehalten werden. Das anhaltende Wachstum des internationalen Photovoltaik Marktes bildet eine wichtige Grundlage für den weiterhin erfolgenden, deutlichen Ausbau der Photovoltaik Industriebasis in der Schweiz.

Das Programm Photovoltaik verfolgt 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 2006 ca. 50 Projekte, wobei alle bekannten Projekte mit einer Förderung der öffentlichen Hand berücksichtigt sind.

Gestützt auf das Energieforschungskonzept der Eidgenössischen Energieforschungskommission CORE [56] verfolgt das Schweizer Photovoltaik Programm in der Periode 2004 – 2007 die folgenden wesentlichen Ziele [57]:

- 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 fokussiert auf die Schwerpunkte **Silizium** (amorph, mikrokristallin), Zellen auf der Basis von **Verbindungshalbleitern** (CIGS) sowie **Farbstoffzellen**. **Neue Konzepte** (Materialien und Prozesse) für langfristige Technologieoptionen gewinnen in der Grundlagenforschung gesamthaft an Bedeutung und bewegen sich gleichzeitig vom Konzept zur Solarzelle. Die mit Nachdruck verfolgte Industrialisierung von Produktionsprozessen steht bei den Silizium Dünnschicht Solarzellen in einem fortgeschrittenen Stadium, bei den Verbindungshalbleitern ist ein industrielles Projekt im Aufbau. 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 **Inselanlagen** 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 praxisorientierten **Hilfsmitteln** zur Anlagenplanung und –überwachung. Neuste 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 in neuen grossen EU-Projekten fortgesetzt werden. Von übergeordneter Bedeutung war im Berichtsjahr zudem die Schweizer Beteiligung an den Arbeiten in europäischen Netzwerken (**PV-ERA-NET** und **Europäische Photovoltaik Technologie Plattform**).

2. Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse 2006

ZELL-TECHNOLOGIE

Die **grosse Bandbreite der Schweizer Solarzellenforschung** konnte im Berichtsjahr 2006 dank der breiten Abstützung dieser Forschung mit Erfolg fortgesetzt werden. Die Beteiligung an EU-Projekten des 6. Rahmenforschungsprogramms bildete eine 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 direkt oder indirekt 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 *oerlikon* (vormals *Unaxis*, Trübbach und Neuchâtel) und *VHF-Technologies* (Yverdon) statt und stellen einen wichtigen Schwerpunkt des Photovoltaik Programms dar.

Das IMT an der Universität Neuchâtel setzte im Berichtsjahr das Projekt zu **Silizium Dünnschicht Solarzellen** [1] fort. 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 *oerlikon* und *VHF-Technologies*, welche ihrerseits die am IMT entwickelten Prozesse in ihre Produkte implementieren. Folgende Resultate wurden im Berichtsjahr erreicht:

Auf der transparenten Oxydschicht (*Transparent Conductive Oxyde - TCO*) aus ZnO auf Glas konnten p-i-n mikrokristalline ($\mu\text{c-Si:H}$) Solarzellen mit einem Anfangswirkungsgrad von 9.99% hergestellt werden. Dies stellt für *LPCVD* (*low pressure chemical vapor deposition*) einen Rekordwert dar. Amorphe p-i-n Solarzellen erreichten ihrerseits den guten Anfangswert von 10.2%, solche aus mikromorphem Silizium 11.8%. Bei den Arbeiten zu Kunststoffsubstraten wurde ein besonderes Augenmerk auf die mikrokristalline Zelle gelegt. Auf dem Kunststoff PEN (Polyethylenaphtalat) wurde mit diesem Material ein Anfangswirkungsgrad von 8.3% erzielt. Für amorphe Zellen auf PET (Polyethylenterephthalat) wurden 7.8% erreicht. Wichtige Grundlagenarbeiten sowie Fortschritte betrafen die TCO-Schichten aus ZnO. In Bezug auf die Analytik wurden verschiedene Messmethoden weiterentwickelt und automatisiert, z.B. für Messungen der Strom-Spannungskennlinie, der spektralen Empfindlichkeit, des Dunkelstroms oder für Infrarotmessungen. Parallel dazu wurde die Laborinfrastruktur durch ein neues, automatisiertes Doppelkammer-Depositionssystem ergänzt (Fig 1).

Das KTI-Projekt in Zusammenarbeit mit *oerlikon* für den **Prozess der schnellen Abscheidung von mikrokristallinem Silizium** [2] auf der Grundlage der KAI Plasmadepositionsanlagen wurde im Berichtsjahr abgeschlossen. Damit wird die Grundlage für den grossflächigen (1.4m²), industriellen Prozess für mikromorphe Solarzellen gelegt. Auf der Versuchsanlage am IMT konnten im Berichtsjahr mikrokristalline Silizium Solarzellen mit 8.4% Wirkungsgrad hergestellt werden; bei *oerlikon* wurden damit mikromorphe Mini-Module (10x10cm²) mit einem Wirkungsgrad von 9.5% erreicht. Mit den Resultaten dieses Projektes konnte gezeigt werden, dass die ursprünglich für Flachbildschirme konzipierte KAI Depositionsanlage für die industrielle Herstellung von Dünnschicht Solarzellen verwendet werden kann.

Das CRPP an der EPFL hat zusammen mit *oerlikon* das verwandte KTI-Projekt eines neuen, grossflächigen **VHF-Reaktors für die Abscheidung von amorphen und mikrokristallinen Siliziumsolarzellen** ebenfalls abgeschlossen [3]. Es werden Plasmaanregungsfrequenzen bis 100 MHz untersucht, was eine schnelle Abscheidung ($\geq 4 \text{ \AA/s}$) erlaubt, jedoch für die Homogenität der Schichten auf einer Fläche von $\geq 1 \text{ m}^2$ besondere Herausforderungen darstellt. Das Schlussresultat besteht aus einem Hochfrequenzreaktor, in welchem amorphe und mikrokristalline Siliziumschichten auf einer Fläche von 1 m^2 schnell und mit einer Gleichmässigkeit von 5-10% hergestellt werden können.

Ein weiteres KTI-Projekt zwischen dem IMT und *oerlikon* zur **Stabilität der transparenten Oxidschichten** (TCO) aus ZnO in laminierten Solarzellen [4] wurde im Berichtsjahr abgeschlossen. Die Dampf-Wärme Prüfung der IEC Tests für Solarmodule (IEC 61646: 1000h @ 85°C & 85% rel. Feuchtigkeit) wurde bestanden. Damit konnte gezeigt werden, dass die LPCVD TCO-Schicht unter adäquater Verpackung die Anforderungen an die notwendige, langfristige Zuverlässigkeit erreicht.

Das NTB in Buchs schloss die Arbeiten des KTI-Projektes für ein auf die industrielle Produktion ausgerichtetes, spektral aufgelöstes **Photostrom Messgerät** (*Spectral Response Measurement System SRMS*) [5] zusammen mit *oerlikon* erfolgreich ab. Die Projektziele wurden erreicht, indem auf Solarmodulen vollflächige Messungen mit stabilen Resultaten durchgeführt und entsprechende Bilder dargestellt werden können. 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 *oerlikon*.



Figur 1 Aufbau des Dünnschichtsilizium-Doppelkammer-Depositionssystems auf der Grundlage der KAI-M plasma box von *oerlikon* (Bildquelle: IMT)



Figur 2 Depositionssystem zur Hochskalierung der CIGS Dünnschicht Solarzellen (Bildquelle: ETHZ)

Das IMT und *VHF-Technologies* arbeiten seit Herbst 2005 im neuen EU-Projekt **FLEXCELLENCE** [6] am Thema der flexiblen Solarzellen auf Kunststoffsubstraten weiter. Zum ersten Mal erfolgt dabei im Bereich der Photovoltaik eine EU-Projektkoordination durch einen Schweizer Partner (IMT). Im ersten Berichtsjahr betrafen die Arbeiten des IMT die Entwicklung von mikrokristallinen Silizium-Schichten hoher Qualität und hohen Depositionsraten auf $30 \times 30 \text{ cm}^2$ grossen Substraten in einem VHF Prozess. Es wurden Depositionsraten von 2 nm/s bei guten Schichteigenschaften erzielt. Anhand dieser Resultate soll ein Vergleich mit alternativen Produktionsverfahren erfolgen. Die Arbeiten von *VHF-Technologies* befassen sich mit den erreichbaren Modulkosten bei der industriellen Umsetzung im grösseren Stil. Mit amorphen Silizium Solarzellen von 5% Wirkungsgrad könnten demnach bei 50 MW Produktionskapazität Kosten von unter 0.8 €/Wp erreicht werden.

Das IMT nahm im Berichtsjahr die Arbeiten zum EU-Projekt **ATHLET** [7] auf. Dieses, vom HMI in Berlin koordinierte, über 4 Jahre laufende *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 (siehe unten). Das Projekt strebt Modulkosten von 0.5 €/Wp an. Für mikromorphe Tandemzellen lautet das Ziel 10% stabiler Wirkungsgrad bei einer Fläche von 1 m^2 und 10 \AA/s Depositionsrate. Das IMT befasste sich im ersten Jahr mit den Arbeiten zu Solarzellen kleiner Fläche sowie der Hochskalierung bis zum KAI 1200 Reaktor (1.4 m^2 Fläche) von *oerlikon*. Dabei erfolgen Zwischenschritte über die Reaktoren KAI-S ($35 \times 45 \text{ cm}^2$) und KAI-P ($45 \times 55 \text{ cm}^2$).

Kristallines Silizium

Die EMPA in Thun untersucht im neuen KTI-Projekt **SIWIS** [8] in Zusammenarbeit mit *HCT Shaping Systems* die Mechanismen, welche bei Drahtsägen von dünnen Waferscheiben zu Oberflächendefekten führen können, um daraus entsprechende Modelle zu entwickeln. Übergeordnetes Ziel des Vorhabens ist die Herstellung von Wafern unter 100 µm Dicke für die Produktion von kristallinen Siliziumsolarzellen.

HCT Shaping Systems setzte im Berichtsjahr die Beteiligung am EU-Projekt **BITHINK** [9], in welchem hocheffiziente bifaciale kristalline Solarzellen entwickelt werden (Wirkungsgrad 16+16%), erfolgreich fort. Dabei kommt sowohl Material vom Czochralski-Typ wie multikristallines Silizium zum Einsatz. HCT befasst sich im Projekt einerseits mit dem Thema der Herstellung dünner Wafer, wobei als Zielparameter die Anzahl Wafer pro Meter festes Silizium betrachtet wird. 3000 Wafer pro Meter Silizium wurden bisher erreicht, das Ziel ist 3500 – 4000 Wafer/m. In einer bifacialen Solarzelle führt dies, je nach Annahme, zu einem Siliziumbedarf von lediglich 4.3 - 5.9 g/Wp. Andererseits wird die maschinelle Handhabung und weitere Verarbeitung der so hergestellten sehr dünnen Wafer untersucht.

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 die erste Phase des BFE-Projektes **FLEXCIM** [10] zur Entwicklung von flexiblen CIGS-Solarzellen abgeschlossen. 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 früher 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 (Fig. 2). Als Zwischenresultat liegt ein Mini-Modul von 16 cm² mit einem Wirkungsgrad von 7.9% vor. Als weiteres Substrat für die flexiblen CIGS-Solarzellen wurde 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 bisher einen Wirkungsgrad von 6.6%; dabei wurde noch kein Natrium eingesetzt.

Das EU-Projekt **LARCIS** [11] befasst sich mit grossflächigen Prozessen zur industriellen Produktion von CIGS-Solarzellen. Dabei konzentriert sich die Gruppe Dünnschichtphysik an der ETHZ auf die Optimierung der Zellrückkontakte auf der Grundlage von Molybdän sowie alternativer Materialien, insbesondere TiN. Zudem wurden im Berichtsjahr die Arbeiten zum EU-Projekt **ATHLET** [12] aufgenommen (vgl. oben). Die Gruppe Dünnschichtphysik ist in diesem *Integrierten Projekt* an zwei Arbeitspaketen zu CIGS-Solarzellen beteiligt. Im Vordergrund stehen ergänzende Entwicklungsarbeiten für flexible Solarzellen auf Polyimid; dabei werden insbesondere neue Verfahren für Pufferschichten auf der Grundlage von In₂S₃ und die Abscheidung der Solarzellen auf TCO Schichten vertieft untersucht. Weitere Arbeiten befassen sich mit der Hochskalierung auf grössere Flächen und die Entwicklung von Tandemsolarzellen.

Das ETHZ Spin-Off Unternehmen *FLISOM* [58] zur industriellen Umsetzung der flexiblen CIGS-Solarzellen wurde im Berichtsjahr verschiedentlich ausgezeichnet, so z.B. mit dem ZKB-Pionierpreis des Technoparks Zürich oder der Auszeichnung als *Technology Pioneer* des *World Economic Forum* WEF.

Farbstoff und organische Solarzellen

Die Entwicklung von farbstoffsensibilisierten, **nanokristallinen Solarzellen** [13] wurde am ISIC der EPFL fortgesetzt. Im Berichtsjahr standen die Farbstoffsynthese und die Langzeitstabilität der eingesetzten Elektrolyten bei höheren Temperaturen (ca. 80°C) im Vordergrund. Damit wird eine Lebensdauer der Farbstoffzellen von 10 bis 20 Jahren angestrebt. In Langzeitmessungen an den neusten Zellkonzepten während 1000 Stunden bei AM1.5 Strahlung und 80°C konnten 97.7% der Anfangsleistung nachgewiesen werden. Die Laborzellen selbst erreichten einen Anfangswirkungsgrad von 10.1%.

Das ISIC schloss das KTI-Projekt zusammen mit *Greatcell Solar* zur **Erhöhung der Zellenspannung** von Farbstoffzellen [14] ab. 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* [59], welches im Dezember 2005 eine Produktionsfirma für Farbstoffzellen in Griechenland angekündigt hat.

Das EU-Projekt **MOLYCELL** [15] wurde im Berichtsjahr abgeschlossen. Es befasste sich mit flexiblen organischen Solarzellen, wobei sowohl vollständig organische wie hybride nanokristallin-organische Solarzellen entwickelt wurden. An der EPFL standen letztere im Vordergrund, wobei dazu ein fester Heteroübergang zwischen nanokristallinen Metalloxyden und molekularen bzw. polymeren Löcherleitern gebildet wird. Prototypen mit dem Metalloxyd-organischen Hybridansatz erreichten auf Glassubstraten bei AM1.5 einen Wirkungsgrad von 4.2%. Auf flexiblen Metallfolien wurde auf kleiner Fläche (1 cm²) ein Wirkungsgrad von 3.6% ermittelt. Für vollständig organische Solarzellen konnte ein Wirkungsgrad von 5.5% bzw. ein zertifizierter Wert von 4.8% nachgewiesen werden. Die Arbeiten werden im neuen EU-Projekt **OrgaPVNET** fortgesetzt.

Solaronix beteiligt sich am EU-Projekt **FULLSPECTRUM** [16], 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. *Solaronix* befasst sich hier mit den Messungen der Stromspannungskennlinie und der spektralen Empfindlichkeit. Im Berichtsjahr konnte die Funktion des flachen Konzentrators demonstriert und ein Wirkungsgrad von 1.8% ermittelt werden. Nebst dem Wirkungsgrad muss auch die Stabilität der im Konzentrador verwendeten fluoreszierenden Farbstoffe verbessert werden.

Das LTC an der EPFL schloss das KTI-Projekt zusammen mit *Konarka* für **photovoltaisch aktive Textilien** auf der Grundlage der Farbstoffzellen [17] ab. Dabei wurden photovoltaisch aktive Fasern entwickelt, welche einen Anfangswirkungsgrad bis zu 5.5% erreichten. Die photovoltaischen Eigenschaften der Faser unter mechanischer Belastung wurden ermittelt und erste Prototypen von photovoltaischen Textilien hergestellt.

An der EMPA in Dübendorf wird im Labor für funktionale Polymere eine neue Aktivität für **organische Solarzellen** [18] aufgebaut; diese grundlagenorientierten Arbeiten sind Bestandteil des EMPA Forschungsprogramms „Materialien für Energietechnologien“. Die experimentellen Arbeiten befassen sich mit der Nutzung von Cyanin Farbstoffen sowie mit der Nanostrukturierung des Übergangs zwischen Donor- und Akzeptor-Materialien. Dabei wird ein interpenetrierendes Netzwerk dieses Übergangs angestrebt. Diese Arbeiten sollen auch Bestandteil des durch die EMPA koordinierten nationalen CCEM-Projektes **ThinPV** [19] sein, welches anfangs 2007 beginnt.

Antennen-Solarzellen

An der Universität Bern wurde die laufende Phase zu **Antennen-Solarzellen** [20] im Rahmen des Programms Solarchemie und mit Unterstützung des schweizerischen Nationalfonds abgeschlossen. Unter Verwendung von farbstoffbeladenen Zeolith-Kristallen wurde eine neue Variante farbstoffsensibilisierter Solarzellen angestrebt. Im Vordergrund dieser Grundlagenarbeiten stand die Organisation der Kristalle an der Grenzschicht zu einem Halbleitermaterial im Hinblick auf die elektronische Energieübertragung. Im Berichtsjahr konnten erstmals Antennensysteme aufgebaut werden, welche auf makroskopischer Ebene unidirektionalen Transport von elektronischer Anregungsenergie bewerkstelligen. Bei den farbstoffbeladenen Zeolith-Kristallen konnte die starke Lichtstreuung im sichtbaren Bereich durch Einbau in eine Polymermatrix reduziert werden. Dies kann auch für Fluoreszenz-Konzentratoren verwendet werden. Ein weiterer Bereich betrifft die Kombination von Antennensystem-Materialien mit organischen Solarzellen, wodurch eine bessere Lichtabsorption und damit ein besserer Wirkungsgrad möglich werden.

SOLARMODULE UND GEBÄUDEINTEGRATION

Gebäudeintegrierte Anlagen stellen nach wie vor das wichtigste Anwendungsgebiet der Photovoltaik in der Schweiz dar. Dabei muss aber präzisiert werden, was unter *gebäudeintegrierter* Anlage zu verstehen (angebaute Anlagen oder echte Integration) ist. 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 Reihe von Systemen erfolgreich umgesetzt werden konnten (siehe auch Abschnitt P+D), verlagert sich die Entwicklung vermehrt auf das Solarmodul selbst.

Swiss Solar Systems (3S) schloss das BFE-Projekt zur Verwendung von geätztem **Antireflexglas** (AR) [21] zur Leistungssteigerung von kristallinen Solarmodulen ab. Die Messungen an den mit diesem Glas hergestellten Solarmodulen zeigten in beiden Fällen eine systematische Leistungssteigerung von ca. 2%, die erwarteten 3% konnten somit nicht ganz bestätigt werden. Freiluftmessungen bei verschiedenen Einstrahlungswinkeln zeigen, dass die AR-Module den Grenzbereich mit flachen Einstrahlungswinkeln noch etwas besser ausnützen können, wobei dieser Effekt nicht abschliessend quantifiziert werden konnte. Seit Projektbeginn hat sich die Verwendung von geätzten oder beschichteten Antireflexgläsern in der Industrie vermehrt durchgesetzt. Im EU-Projekt **BIPV-CIS** [22] sollen die Eigenschaften der Photovoltaik-Gebäudeintegration mit Dünnschicht Solarzellen verbessert werden. Auf der Grundlage von CIS-Zellen werden Dach-, Überkopfglas- und Fassadenelemente entwickelt. Für 3S steht die Entwicklung des Dachelementes im Vordergrund. Durch den boomenden Photovoltaikmarkt sind einige der Industriepartner in diesem Projekt stark ausgelastet, sodass das Projekt Verzögerungen erlitten hat. Neue Produktentwicklungen haben es unter diesen Verhältnissen nicht so leicht.

Vereinzelte neue Konzepte und Produkte zur Photovoltaik-Gebäudeintegration wurden im Rahmen von P+D-Projekten erprobt (siehe unten).

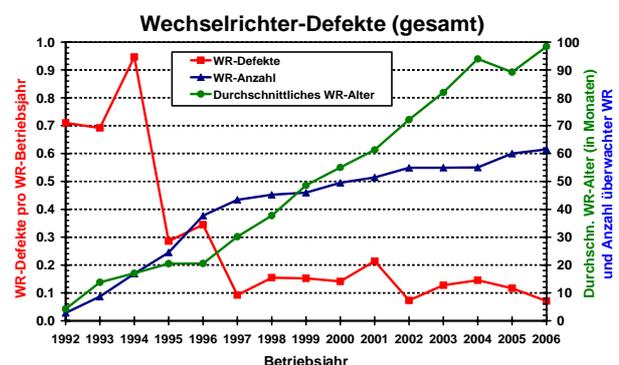
ELEKTRISCHE SYSTEMTECHNIK

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 frühere Labor LEEE-TISO an der SUPSI wurde im Berichtsjahr zum Institut ISAAC (Istituto di Sostenibilità Applicata all'Ambiente Costruito) befördert. Es hat im Berichtsjahr seine Testmessungen an Solarmodulen im Projekt **Centrale LEEE-TISO 2003-2006** [23] fortgesetzt. Das gemäss ISO 17025 für Messungen zertifizierte Labor mit dem Sonnen-Simulator der Klasse A erhielt im Juni 2006 die erneute offizielle Akkreditierung. Im Berichtsjahr wurden mehr als 4900 I-V Kennlinien (Blitztests) gemessen, was einer Steigerung von 88% gegenüber dem Vorjahr entspricht. Zudem fanden die jährlichen Vergleichsmessungen mit anderen zertifizierten Labors in Europa (ESTI-JRC und ECN) statt. Zur präziseren Messung von Dünnschichtmodulen wird eine gefilterte Referenzzelle verwendet, sowie die im Vorjahr eingeführte Korrektur für die spektrale Abweichung. Der im Vorjahr im Labor entwickelte MPPT (*Maximum Power Point Tracker*, Fig.3) wurde an der Fachhochschule Burgdorf geprüft. Der statische Wirkungsgrad wurde dabei mit 99.75% bis 99.99% bestimmt, der dynamische beträgt 98.4%. Im Berichtsjahr wurden 28 Einheiten des neuen MPPT gebaut und am ISAAC installiert, sowie weitere 5 an der Universität von Lecce.



Figur 3 Maximum Power Point Tracker am ISAAC (Bildquelle: NET)



Figur 4 Wechselrichter-Defekte pro Wechselrichter-Betriebsjahr (Bildquelle: FH Burgdorf)

Bei den Aussenmessungen wurde im Berichtsjahr der 10. Testzyklus an 14 kommerziellen Modulen fortgesetzt (7 mc-Si, 3 sc-Si, 1 HIT, 2 a-Si, 1 CdTe). Bei den kristallinen Modulen kann über die Jahre eine stetige Verbesserung der Übereinstimmung zwischen gemessener und deklarerter Leistung

beobachtet werden. Die Dünnschichtmodule schneiden diesbezüglich noch besser ab. Das ISAAC hat im Berichtsjahr Arbeiten zur gebäudeintegrierten Photovoltaik aufgenommen. Zum einen wurde eine Marktübersicht erstellt und die Problembereiche für die Architekten analysiert. Zum anderen fanden Messungen der thermischen Leitfähigkeit von Solarmodulen und der Dämpfung nichtionisierender Strahlung (Elektrosmog) durch solche statt. Bei letzterem zeigten vor allem Dünnschichtmodule günstige Eigenschaften.

Das ISAAC ist Partner im EU-Projekt **PV Enlargement** [24], welches ein europaweites Demonstrationsprojekt in 10 Ländern (5 davon in Osteuropa) mit 27 Anlagen von insgesamt 1.2 MWp Leistung darstellt. Ende 2006 waren davon insgesamt 25 Anlagen in Betrieb. Die wissenschaftlichen Arbeiten sind nahezu abgeschlossen. Am ISAAC wurden 151 Module mit 23 Modultypen (c-Si, a-Si, CIS, CdTe) aus Europa bezüglich der Anfangsleistung charakterisiert, 54 davon wurden nach 1-2 Jahren einer weiteren Messung unterzogen. Trotz besserer Übereinstimmung mit den deklarierten Werten besteht noch Verbesserungsbedarf zur Verwendung und Einhaltung der EU-Norm EN50380.

Das ISAAC nahm im Berichtsjahr die Arbeiten am neuen EU-Projekt **PERFORMANCE** (*A science base on PV performance for increased market transparency and customer confidence*) auf [25]. Dieses, vom Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme in Freiburg koordinierte, 4-jährige *Integrierte Projekt* befasst sich mit allen pränormativen Arbeiten von Solarzellen bis hin zu Systemen und von Momentanmessungen bis zu Langzeitanalysen. Das ISAAC ist an den Untersuchungen zu Performance und Energieproduktion von Photovoltaik Modulen sowie der Modellierung beteiligt

Wirkungsgrad und Jahresenergieproduktion von Photovoltaik Modulen sind auch Bestandteil eines Projektes am PSI [26]. Aufgrund der Messungen an verschiedenen kommerziellen Modulen bei unterschiedlichen Betriebsbedingungen wird ein semi-empirisches Modell für den Wirkungsgrad parametrisiert. Daraus können Aussagen bei verschiedenen klimatischen Bedingungen gewonnen werden.

Am Photovoltaiklabor an der FH Burgdorf wurde das Projekt **Photovoltaik-Systemtechnik PVSYS** [27] fortgesetzt. Im Berichtsjahr konnte das neuentwickelte MPPT-Interface mit integrierter Kennlinienmessung in den Wechselrichter-Messplatz eingebunden werden. Damit steht nun eine effiziente Wechselrichter-Test-Infrastruktur zur Verfügung, mit der sich in einem Arbeitsgang Solargenerator-Kennlinie, DC-AC-Umwandlungswirkungsgrad, MPPT-Wirkungsgrad, totaler Wirkungsgrad und Stromoberwellen bestimmen lassen. Die Testbedingungen für den dynamischen MPPT-Test wurden etwas gelockert. Die 2005 entwickelte FI-Überwachungs-Prüfschaltung wurde an die neue Norm DIN VDE 0126-1-1 angepasst. Nach den in Solarmodulen von BP-Solar im letzten Jahr aufgetretenen Lichtbögen ist sich die Photovoltaik Branche der Gefahr durch DC-seitige Lichtbögen wieder bewusst geworden. Deshalb wurden die 1993 – 1998 im Rahmen mehrerer Projekte (mit Alpha Real AG) entwickelten Lichtbogendetektoren wieder reaktiviert, einige neue Ideen entwickelt und ein Patentantrag eingereicht. Die Langzeitmessungen an diversen Photovoltaik Anlagen wurden fortgesetzt, insbesondere auch an der Anlage „Stade de Suisse“ Wankdorf. Ebenso wurde die langjährige Wechselrichterstatistik weitergeführt (Fig. 4).

Enecolo klärt im Projekt **SIMIBU** basierend auf bisherigen Erfahrungen die Machbarkeit eines Wechselrichters mit integriertem Backup ab [28]. Mit diesem Ansatz sollen für dezentrale Photovoltaik Anlagen Synergien und Mehrwerte geschaffen werden. Im Vordergrund stehen derzeit die technische Machbarkeit, die Marktanalyse, die Spezifikationen und die wirtschaftlichen Rahmenbedingungen.

ERGÄNZENDE PROJEKTE UND STUDIEN

ESU-Services hat im Berichtsjahr mit einem **Update Photovoltaik Ecoinvent Data V2.0** begonnen [29]. Aufgrund von Lebenszyklusinventaren aktueller Photovoltaikprodukte werden neue Lebenszyklusanalysen (*Life Cycle Analysis – LCA*) erstellt. Damit wird das Ziel verfolgt, in der Ecoinvent Datenbank [60] möglichst aktuelle Umweltanalysen der Photovoltaikindustrie zu publizieren. Neben der Aufdatierung von mono- und multikristallinen Solarmodulen werden auch erstmals Daten für die Herstellung und den Betrieb von Dünnschichtmodulen (CIS und CdTe) erhoben. Das Projekt erfolgt in Zusammenarbeit mit der Europäischen Photovoltaik Industrievereinigung EPIA.

Enecolo ist am Projekt **ENVISOLAR** der Europäischen Weltraumagentur ESA beteiligt [30]. Das Projekt hat die vermehrte Nutzung satellitengestützter Solarstrahlungsdaten in der Solarindustrie zum Ziel. Mit den im Projekt entwickelten Dienstleistungen sollen Standortanalysen und -entscheide vereinfacht, das automatische Anlagenmonitoring unterstützt sowie Vorhersagen der Energieproduktion von Solaranlagen ermöglicht werden. In der Schweiz besteht ein enger Bezug zum online Photovoltaik monitoring Dienst SPYCE [61], welchen *Enecolo* zusammen mit *Meteotest* betreiben.

Mit Unterstützung der interdepartementalen Plattform (SECO, DEZA, BAFU, BFE) zur Förderung der erneuerbaren Energien in der internationalen Zusammenarbeit *REPIC* [62] hat das CUEPE an der Universität Genf ein Modul für die Photovoltaiksoftware *PVSYST* [63] erarbeitet, welches **Photovoltaik Wasserpumpen** [31] simuliert. Das Programm ist in der Lage, sehr unterschiedliche Pumpentypen und Systemkonfigurationen zu simulieren. Das Projekt wurde im Berichtsjahr erfolgreich abgeschlossen.

Das PSI beteiligt sich im Rahmen des *Integrierten* EU-Projektes **FULLSPECTRUM** [32] 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.

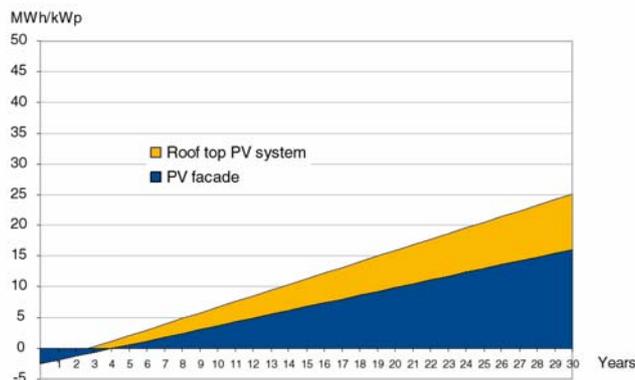
In einer Machbarkeitsstudie klärt das LESO der EPFL das Potenzial von **Quantum Dot Konzentratoren** für die Photovoltaik ab [33]. Es wird untersucht, ob mit dieser neuartigen Methode grossflächige (lateral wirkende) Konzentratoren auf Gläsern realisierbar sind und welche elektrische Leistung damit möglich ist.

Das symbolträchtige Projekt **SOLARIMPULSE** [34] von Bertrand Piccard und verschiedenen Partnern wurde im Berichtsjahr fortgesetzt. Das Ziel dieses Projekts ist die Weltumrundung mit einem photovoltaisch betriebenen Flugzeug.

Ein weiteres Projekt dieser visionären Art ist das Projekt **PlanetSolar** [35], welches von einer Westschweizer Gruppe um den Initianten Raphaël Domjan entwickelt wird. PlanetSolar soll ein solarbetriebenes Boot werden, welches die Erde auf dem Wasser umrunden wird. Die Konzeptstudie (Fig. 5) sieht einen Trimaran von 30m Länge und 16m Breite vor, der Antrieb wird durch eine 180 m², rund 30 kWp grosse Solaranlage bewerkstelligt. Das Boot soll eine mittlere Reisegeschwindigkeit von 10 Knoten erreichen. Als Besatzung sind 2 Personen vorgesehen. Auch in diesem Projekt sind grosse technische Herausforderungen zu überwinden, insbesondere was die Statik des Bootes bei Wellengang anbetrifft.



Figur 5 Konzeptstudie des Solarbootes PlanetSolar (Bildquelle: PlanetSolar)



Figur 6 Energie-Rücklaufzeit: Gerechnete kumulierte Energieproduktion einer Photovoltaik Anlage in Bern (Bildquelle: IEA PVPS Task 10)

INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT IEA, IEC, PVGAP

Die Beteiligung am Photovoltaikprogramm der IEA (IEA PVPS) wurde im Berichtsjahr mit Kontinuität fortgesetzt, sowohl auf der Projektebene wie im *Executive Committee (ExCo)* [64]. Die Schweiz hält weiterhin den Vorsitz dieses weltweiten Programms inne. Für die Beteiligung an ausgewählten Projekten im Rahmen des IEA PVPS Programms konnte der im Vorjahr geschaffene Schweizer IEA PVPS Pool fortgesetzt werden. Dieser Pool wird derzeit getragen durch das Elektrizitätswerk der Stadt Zürich (ewz), die Kantone Basel Stadt und Genf, die *Gesellschaft Mont-Soleil*, sowie durch den Fachverband SWISSOLAR. Mit diesem Ansatz wird ein stärkerer Einbezug verschiedener Zielgruppen in die Arbeiten im Rahmen von IEA PVPS sichergestellt.

Nova Energie vertritt die Schweiz in Task 1 von IEA PVPS, welcher allgemeine **Informationsaktivitäten** [36] zur Aufgabe hat. Im Berichtsjahr wurde ein weiterer nationaler Bericht über die Photovoltaik in der Schweiz bis 2005 [65] ausgearbeitet; auf dieser Grundlage wurde die 11. Ausgabe des jährlichen internationalen Berichtes („*Trends Report*“) über die Marktentwicklung der Photovoltaik in den IEA-Ländern erstellt [66]. Dieser Bericht wurde erneut für aktuelle Analysen der Photovoltaik durch den Finanzsektor verwendet [67,68]. Im Berichtsjahr wurden mehrere Workshops organisiert: An der 21. Europäischen Photovoltaik-Konferenz in Dresden fand ein Workshop über den *Trends Report* statt, in welchem wichtige Zielgruppen über die Datenbeschaffung und Interpretation informiert wurden. Ein weiterer Workshop richtete sich an den Finanzsektor [69]; er wurde durch die Schweiz und Japan organisiert und fand im November 2006 in Zürich statt. Der *IEA PVPS-Newsletter* [70] informiert regelmässig über die Arbeiten in und rund um das IEA PVPS Programm.

In IEA PVPS Task 2 über **Betriebserfahrungen** [37] stellt *TNC* den Schweizer Beitrag. Die PVPS-Datenbank *Performance Database* wurde mit neuen Daten ergänzt und umfasst nun 460 Photovoltaik-Anlagen aus 22 Ländern mit insgesamt rund 1600 Betriebsjahren und 13.4 MWp Anlagenleistung. Die Datenbank ist neu auch online verfügbar [71]. Aus der Schweiz sind 66 Anlagen mit einer totalen Leistung von 2.95 MWp in der Datenbank enthalten. Im Teilprojekt *Photovoltaic System Cost over Time* wurde eine breit abgestützte Informations- und Datenbasis für die Entwicklung der PV-Systempreise und Unterhaltskosten geschaffen. Dazu wurden die verfügbaren Projekt- und Betriebsdaten für einen *Global Survey* erhoben. Diese Datenerfassung wurde im November 2006 abgeschlossen; sie enthält Daten von 680 Anlagen aus 19 Ländern.

Im Rahmen der interdepartementalen Plattform (SECO, DEZA, BAFU, BFE) zur Förderung der erneuerbaren Energien in der internationalen Zusammenarbeit *REPIC* [62] leistet *entec* den Schweizer Beitrag zu IEA PVPS Task 9 über die **Photovoltaik-Entwicklungszusammenarbeit** [38]. Die Schweiz ist in diesem Projekt für die Koordination der Arbeiten mit multilateralen und bilateralen Organisationen verantwortlich. Im Berichtsjahr wurden im Rahmen dieses Projektes Treffen in Canada und Japan abgehalten. Beobachtungen zeigen, dass die weltweit massiv gestiegene Förderung erneuerbarer Energien der Option Photovoltaik in der ländlichen Elektrifizierung nicht unbedingt zu Gute kommt, da die wirtschaftliche Ertragslage schwierig bleibt. Das Projekt befasst sich deshalb besonders mit dieser sich abzeichnenden Marginalisierung der Photovoltaik.

Planair vertritt die Schweiz neu im IEA PVPS Task 10 zur **Photovoltaik im urbanen Raum** [39]. Aus Schweizer Sicht stehen städtebauliche Fragen und solche des elektrischen Netzes im Vordergrund. Durch den Einbezug der Stadt Neuenburg in den Schweizer Beitrag sollen die anstehenden Fragen konkret aus dieser Perspektive angegangen werden. Task 10 hat im Berichtsjahr im Weiteren eine Informationsbroschüre zu wesentlichen Umweltparametern der Photovoltaik publiziert [72]; die Umweltparameter Energierücklaufzeit und die mögliche CO₂-Minderung wurden für Städte in OECD Ländern einzeln gerechnet (Fig. 6).

Meteotest [40] und das CUEPE an der Universität Genf [41] erbringen zusammen den Schweizer Beitrag zum 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). Im Projekt wird die Qualität verschiedener Strahlungsmodelle und daraus abgeleiteter Produkte verglichen und optimiert.

Alpha Real vertritt im Namen des Fachverbandes SWISSOLAR die Schweiz im TC 82 der IEC und leitet die Arbeitsgruppe, welche internationale **Normenvorschläge** [42] für Photovoltaiksysteme vorbereitet und verabschiedet. Im Berichtsjahr befassten sich die Arbeiten insbesondere mit neuen Dokumenten zur verwendeten Terminologie, den minimalen Anforderungen für die Systemdokumentation, den Sicherheitsbestimmungen für Anlagen auf Gebäuden sowie der Bestimmung der Anlagenperformance. Ein wichtiges Thema sind weiter Sicherheitsbestimmungen für Wechselrichter, für welche auch Schweizer Hersteller in die Arbeit mit einbezogen wurden. Elektrische Kontakte in Photovoltaiksystemen (z.B. Lötstellen oder Steckverbindungen), erhielten durch die bei Modulen von BP-Solar aufgetretenen Probleme in den Anschlussdosen im Berichtsjahr eine hohe Aktualität. *Alpha Real* beteiligt sich ausserdem an *PVGAP* (PV Global Approval Program), einem weltweiten Programm zur Qualitätssicherung und Zertifizierung von Photovoltaik-Systemen. Es ist vorgesehen, *PVGAP* in die IEC [73] überzuführen.

Die Beteiligung am EU-Projekt **PV-ERA-NET** [43], welches Programmkoordinationsstellen und verantwortliche Ministerien aus 13 Ländern unter dem ERA-NET Schema [74] 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, nebst dem kontinuierlichen Informationsaustausch, die konkreten Forschungsthemen und Modelle der Zusammenarbeit zwischen verschiedenen nationalen Programme ausgearbeitet. Ein bedeutendes Thema bildete zudem die in der Europäischen Photovoltaik Technologie Plattform erarbeitete *Strategic Research Agenda* (SRA) [75], welche als wichtiges europäisches Referenzdokument betrachtet wird. Von Bedeutung ist dieses Dokument einerseits aufgrund seiner umfassenden Beschreibung der kurz-, mittel- und langfristigen Forschungsthemen in der Photovoltaik, der zeitlichen Entwicklung von Technologie und Wirtschaftlichkeit sowie in Bezug auf die Beziehungen zwischen privater und öffentlicher (nationaler und EU) Forschung.

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 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.

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 2006 waren es 10 Projekte im 5. bzw. 6. Rahmenforschungsprogramm der EU, wovon 3 dieser Projekte *Integrierte Projekte* (FULLSPECTRUM, PV-ATHLET, PERFORMANCE) sind. Ein weiteres Projekt fand mit der ESA statt. Es findet ein regelmässiger Kontakt mit Programmverantwortlichen in EU-Ländern statt, ebenso mit den zuständigen Einheiten bei der Europäischen Kommission.

Die Schweiz ist in der Europäischen Photovoltaik Technologie Plattform [75] sowohl im Steuerungsausschuss wie in einzelnen Arbeitsgruppen vertreten. 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. Im Berichtsjahr wurde die *Strategic Research Agenda* (SRA) weitgehend fertiggestellt.

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 (P+D)

Erstmals seit 2003 konnten im Berichtsjahr zwei neue P+D Projekte begonnen werden. Das eine befasst sich thematisch mit der optimalen Integration einer Photovoltaik Anlage ins Energiekonzept eines Nullenergieschulhauses in Kreuzlingen, das andere mit der Integration von Photovoltaik Dünnschicht-elementen ins Dach einer Turnhalle. Trotz dieser beiden neuen Projekte ist das P+D Programm inzwischen auf wenige Projekte geschrumpft, die sich fast alle in der Abschlussphase befinden. 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. Damit bleibt die Wirkung dieses Programmteils weiterhin eingeschränkt, und Schweizer Firmen haben es in Kombination mit dem seit Jahren stagnierenden einheimischen Markt zunehmend schwerer, neue und innovative Produkte für den Photovoltaik Anwendungsbereich auf den Markt zu bringen. Internationale Konferenzen zeigen deutlich, dass sich Schweizer Firmen im Bereich der Produktions-ausrüstung und teilweise im Wechselrichterbereich gut halten und steigende Umsätze erzielen. Im Bereich der Produktinnovation bei der Umsetzung im Anlagensektor kommen die Neuerungen aber meist aus Deutschland, Japan oder den USA. Immerhin haben einige erfolgreiche Schweizer Projekte der letzten Jahre immer noch eine Wirkung im deutschen Raum.

Der weltweite Photovoltaikmarkt boomt aufgrund grossangelegter Förderprogramme bzw. Einspeisevergütungen in immer mehr Ländern weiterhin mit jährlichen Wachstumsraten von rund 35 %. 2006 erreichte die weltweite Modulproduktion gegen 2300 MWp. Damit sind zur Zeit grundsätzlich gute Exportmöglichkeiten für innovative Produkte vorhanden, die von einigen Schweizer Firmen auch erfolgreich wahrgenommen werden.

Die noch verbleibenden Photovoltaik P+D Projekte behandelten schwerpunktmässig weiterhin die Thematik der **Photovoltaik Gebäudeintegration**.

NEUE P+D PROJEKTE

- Dachanlage Turnhalle Wiesendangen mit amorphen Dünnschichtmodulen (Einsatz von BIOSOL XXL Dachelementen, bestehend aus UNI-Solar Dünnschichtmodulen kombiniert mit Solrif Rahmen; Leitung: *Enecolo*) [44]
- Photovoltaikanlage Nullenergieschulhaus Ekkharthof Kreuzlingen (Einbindung einer PV Anlagen ins Energiekonzept eines Nullenergieschulhauses; Leitung: *Böhni Energie und Umwelt*) [45]

LAUFENDE P+D PROJEKTE

Bei dem laufenden Projekten belegt das Projekt 'PV Fassadensystem für Module mit Dünnschichtzellen' die optischen Qualitäten dieses Fassadentyps. Die Fläche erscheint optisch als eine Einheit, wie man sich das von dunklen Glasfassaden gewohnt ist [46] (Fig. 7)

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 Dünnschichtmodule; Leitung: *Zagsolar / Wyss Aluhit*) [46] (Fig. 7)

Anlagen

- 17.6 kWp Flachdachanlage mit Dünnschichtmodulen ETHZ (Optisch diskrete Flachdachanlage mit amorphen Zellen; Leitung: *BE Netz*) [47] (Fig. 8)
- 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*) [48]
- 12 kWp Solight Pilotanlage (Pilotmässige Umsetzung von zwei verschiedenen Solight Varianten; Leitung: *Energiebüro*) [49]

Messkampagnen

- Messkampagne Wittigkofen (Detaillierte Messungen und Auswertungen mit Visualisierung der Daten zur 80 kWp Fassade Wittigkofen; Leitung: *Ingenieurbüro Hostettler*) [50]

Studien - Hilfsmittel - diverse Projekte

- Photovoltaikstatistik der Schweiz 2005 (Leitung: *Ingenieurbüro Hostettler*) [51]



Figur 7 Fassadenintegration mit Dünnschichtmodulen
(Bildquelle: Zagsolar)



Figur 8 Teil der Flachdachanlage ETHZ
(Bildquelle: Energiebüro)

IM JAHR 2006 ABGESCHLOSSENE P+D PROJEKTE

Im Jahr 2006 wurden die folgenden P+D Projekte abgeschlossen (in chronologischer Reihenfolge):

Anlagen

- 15.4 kWp Flachdachintegration CPT Solar (Pilotmässiger Einsatz einer neu entwickelten Kombination von amorphen Dünnschichtmodulen mit einer dichten Kunststoffolie; Leitung: *ISAAC*) [52]
- 25 kWp Gründachintegration Solgreen Kraftwerk 1, Zürich (Piloteinsatz einer neu entwickelten Modulhalterkonstruktion für den Gründachbereich; Leitung: *Enecolo*) [53]
- 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]

Studien - Hilfsmittel - diverse Projekte

- Solar *Electri* City Guide - Schweizer Solarstromführer für die Gemeinden (Leitung: *NET*) [55]

Die Publikation **Solarstrom in der Gemeinde**, welche aus einem früheren EU-Projekt PV-City Guide hervorgeht, besteht aus einer umfassenden und illustrationsreichen Broschüre und aus weiteren sieben (elektronisch verfügbaren) Dokumenten zur vertieften Behandlung thematischer Schwerpunkte [76]. Damit ermöglicht die Publikation eine neue, bisher nicht vorhandene Gesamtschau der Photovoltaik auf Gemeindeebene in der Schweiz und sie bietet zahlreiche Handlungsbeispiele.

6. Bewertung 2006 und Ausblick 2007

Global war das Jahr 2006 für die Photovoltaik ein weiteres erfolgreiches Jahr. In einer durch hohes Wachstum gezeichneten Marktdynamik konnte die Photovoltaik Industrie ihren Ausbau fortsetzen. Durch das rasche Wachstum hat sich aber der Engpass in der Verfügbarkeit von Rohsilizium weiter verschärft. Es finden weltweit Investitionen in neue Produktionskapazitäten von Solarsilizium statt, welche die angespannte Situation ab ca. 2008 entschärfen sollten. Bereits Ende 2006 zeichnete sich eine Trendumkehr zu niedrigeren Systempreisen ab. Parallel dazu besteht für Dünnschicht Solarzellen aufgrund dieser angespannten Situation ein interessantes „window of opportunity“ – sprich Chancen für diese Technologien. Als konkretes Beispiel dieser jüngsten Entwicklung konnte die *oerlikon* im Berichtsjahr grosse Bestellungen für Depositionsanlagen von Dünnschicht Solarzellen aus amorphem Silizium entgegennehmen.

Durch die im Jahr 2006 im Parlament erfolgten politischen Diskussionen rund um das Stromversorgungsgesetz und der darin vorgesehenen Förderung der erneuerbaren Energien erhielt die Photovoltaik auch in der Schweiz grosse Aufmerksamkeit. Mit den inzwischen verabschiedeten Beschlüssen besteht nach vielen Jahren Aussicht auf eine Verbesserung des Photovoltaikmarktes, in dem ab 2008 eine kostendeckende Vergütung vorgesehen ist. Obwohl im quantitativen Ausmass eng begrenzt, sollte dies zu einer Belebung des Schweizer Photovoltaikmarktes führen, und damit auch die technologische Entwicklung stimulieren.

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 bisher 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 2006 auf mindestens 350 Mio. CHF geschätzt. Zusammen mit dem Heimmarkt kann der Gesamtumsatz der Schweizer Photovoltaik mit ca. 400 Mio. CHF beziffert werden.

Die Umsetzung der Schweizer Photovoltaik Forschung in industrielle Produkte ist damit vor allem auf dem Gebiet der Dünnschicht Solarzellen in den letzten Jahren eine Erfolgsgeschichte, welche in guter Übereinstimmung mit den langjährigen Programmzielen geschieht. Ebenfalls erfolgversprechend, aber etwas schwieriger, präsentiert sich die Situation bei der gebäudeintegrierten Photovoltaik, da dieser Markt sowohl national wie international noch nicht so stark ausgeprägt ist. Dies könnte sich aufgrund der neuen Rahmenbedingungen in der Schweiz und in vereinzelt anderen Ländern, z.B. Frankreich, in den nächsten Jahren ändern.

Die bisherigen Anstrengungen im Schweizer Photovoltaik Programm bilden die wissenschaftlich-technische Ausgangslage, um im rasch wachsenden internationalen 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.

Das Programm 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. Das neue Energieforschungskonzept der CORE 2008 – 2011 wird im Jahr 2007 die Grundlage bilden für die Ausarbeitung des entsprechenden Photovoltaik Forschungskonzeptes. Darin sollen die jüngsten nationalen und internationalen Entwicklungen berücksichtigt werden, um die Prioritäten der nächsten Jahre festzulegen. Ein intensiver Austausch mit den Akteuren aus Forschung und Industrie soll diesen Prozess begleiten.

Der nationale Informations- und Erfahrungsaustausch bleibt in der Schweiz weiterhin ein wichtiges Thema. Im November 2007 findet in Luzern die 7. Nationale Photovoltaik Tagung statt. Sie wird sich insbesondere den neuen Schweizer Rahmenbedingungen für die Photovoltaik widmen. Die Photovoltaik Webseite <http://www.photovoltai.ch> beinhaltet alle wesentlichen Informationen sowie Berichte und dient damit als wichtiges Informationsinstrument, das laufend unterhalten wird. Die Schweizer Photovoltaik war an der 21. europäischen Photovoltaik Konferenz im September in Dresden mit ihren Beiträgen gut vertreten [77].

7. Liste der F+E - Projekte

(JB) Jahresbericht 2006 vorhanden

(SB) Schlussbericht vorhanden

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

- [1] J. Bailat, F. Haug, V. Terrazzoni, S. Fay, R. Tschärner, C. Ballif, (ballif@unine.ch), IMT, UNI-Neuchâtel, Neuchâtel: **Thin film silicon solar cells: advanced processing and characterization** (JB) / www.unine.ch/pv.
- [2] L. Feitknecht, C. Ballif (ballif@unine.ch), IMT, UNI-Neuchâtel, Neuchâtel: **High rate deposition of $\mu\text{-Si:H}$ silicon thin-film solar cell devices in industrial KAI PE-CVD reactor** (JB) / www.unine.ch/pv.
- [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] S. Fay, 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://www.unine.ch/pv>.
- [5] 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>.
- [6] V. Terrazzoni, F.-J. Haug, C. Ballif (vanessa.terrazzoni@unine.ch), IMT, UNI-Neuchâtel, Neuchâtel: **Flexcellence: Roll-to-roll technology for the production of high efficiency low cost thin film silicon photovoltaic modules** (JB) / www.unine.ch/flex.
- [7] N. Wyrsh, C. Ballif (Nicolas.wyrsh@unine.ch), IMT, UNI-Neuchâtel, Neuchâtel: **ATHLET: Advanced Thin Film Technologies for Cost Effective Photovoltaics** (JB) / www.unine.ch/pv / <http://www.hmi.de/projects/athlet/>.
- [8] K. Wasmer, J. Michler, (kilian.wasmer@empa.ch), EMPA, Thun: **SIWIS: Ultra Thin Silicon Wafer Cutting by Multi-Wire Sawing** (JB) / <http://www.empathun.ch>.
- [9] P. Nasch, S. Schneeberger, (sschneeberger@hct.ch), HCT SHAPING SYSTEMS, Cheseaux: **Bifacial thin industrial multi-crystalline silicon solar cells BITHINK** (JB) / <http://www.hct.ch>.
- [10] M. Kaelin, D. Rudmann, D. Bremaud, H. Zogg, A. N. Tiwari, (tiwari@phys.ethz.ch), ETH, Zürich: **Flexible CIGS solar cells and mini-modules FLEXCIM** (JB, SB) / <http://www.tfp.ethz.ch>.
- [11] D. Brémaud, M. Kaelin, A. Chirila, R. Verma, H. Zogg, A. N. Tiwari (tiwari@phys.ethz.ch), ETH, Zürich: **Large-Area CIS Based Thin-Film Solar Modules for Highly Productive Manufacturing LARCIS** (JB) / <http://www.tfp.ethz.ch>.
- [12] M. Kaelin, D. Bremaud, A. Chirila, R. Verma, H. Zogg, A. N. Tiwari, (tiwari@phys.ethz.ch), ETH, Zürich: **Advanced Thin-Film Technologies for Cost Effective Photovoltaics ATHLET** (JB) / <http://www.hmi.de/projects/athlet/> / <http://www.tfp.ethz.ch>.
- [13] M. Grätzel, A. McEvoy (michael.graetzel@epfl.ch), EPFL, Lausanne: **Dye-sensitised Nanocrystalline Solar Cells** (JB) / <http://isic.epfl.ch/>.
- [14] 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/>.
- [15] 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/>.
- [16] A. Meyer, (andreas@solaronix.com), SOLARONIX, Aubonne: **A new PV wave making more efficient use of the solar spectrum – FULLSPECTRUM** (JB) <http://www.fullspectrum-eu.org/> / <http://www.solaronix.com>.
- [17] ¹J. Ramier, ¹C.J.G. Plummer, ¹Y. Leterrier, ¹J.A.E. Månson, ²K. Brooks, ²B. Eckert, ²R. Gaudiana, ¹(uyes.leterrier@epfl.ch), ¹EPFL / LTC, Lausanne, ²KONARKA, Lowell USA: **Photovoltaic Textile - Photovoltaic Fibers and Textiles based on Nanotechnology** (JB) / <http://ltc.epfl.ch/>.
- [18] F. A. Castro, H. Benmansour, J. Heier, R. Hany, T. Geiger, M. Nagel, F. Nüesch, (frank.nueesch@empa.ch), EMPA, Dübendorf: **Organic photovoltaic devices** (JB) / http://www.empa.ch/plugin/template/empa/901/*/--/l=1.
- [19] F. Nüesch, (frank.nueesch@empa.ch), EMPA, Dübendorf: **ThinPV** / http://www.empa.ch/plugin/template/empa/901/*/--/l=1.
- [20] G. Calzaferri, (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. Szacsvay, C. Schilter, (Tamas.Szacsvay@3-s.ch), 3S, Lyss: **Photovoltaics Modules with Antireflex Glass** (JB, SB) / <http://www.3-s.ch/>.
- [22] T. Szacsvay, (Tamas.Szacsvay@3-s.ch), 3S, Lyss: **BIPV-CIS- Improved integration of PV into existing buildings by using thin firm modules for retrofit** (JB) / <http://www.3-s.ch/>.
- [23] D. Chianese, A. Bernasconi, N. Cereghetti, A. Realini, G. Friesen, K. Nagel, D. Pittet, E. Burà, N. Ballarini (isaac@supsi.ch), SUPSI, DACD, ISAAC-TISO, Canobbio: **Centrale LEEE-TISO Periodo VII : 2003-2006** (JB) / www.isaac.supsi.ch.
- [24] G. Friesen, A. Realini (gabi.friesen@supsi.ch), SUPSI, DACD, ISAAC-TISO, Canobbio: **PV Enlargement** (JB) / <http://www.isaac.supsi.ch>.
- [25] G. Friesen, (gabi.friesen@supsi.ch), SUPSI, DACD, ISAAC-TISO, Canobbio: **PERFORMANCE - ISAAC Activities** (JB) / <http://www.pv-performance.org/> <http://www.isaac.supsi.ch>.
- [26] W. Durisch, ¹J.-C. Mayor, ²King Hang Lam, ¹(wilhelm.durisch@psi.ch), ¹PSI, Villigen PSI, ²University of Hong Kong: **Efficiency and Annual Electricity Production of PV-Modules** (JB) / <http://www.psi.ch/>.

- [27] H. Häberlin, L. Borgna, Ch. Geissbühler, M. Kämpfer, U. Zwahlen, (heinrich.haeberlin@bfh.ch), HTI, Burgdorf: **Photovoltaik Systemtechnik 2005-2006 (PVSYSSTE 05-06)** (JB, SB) / <http://www.pvtest.ch>.
- [28] P. Toggweiler, (info@enecolo.ch), ENECOLO, Mönchaltorf: **Solar Inverter mit integrierter BackUp SIMIBU**.
- [29] N. Jungbluth, (jungbluth@esu-services.ch), ESU-SERVICES, Uster: **Update Photovoltaic in view ofecoinvent data v2.0** (JB) / <http://www.esu-services.ch>.
- [30] S. Stettler, P. Toggweiler, (info@enecolo.ch), ENECOLO, Mönchaltorf: **ENVISOLAR - Environmental Information Services for Solar Energy Industries** (JB) / <http://www.envisolar.com> / <http://www.solarstrom.ch>.
- [31] A. Mermoud, (andre.mermoud@cuepe.unige.ch), CUEPE, Genève: **Technico-economical Optimization of Photovoltaic Pumping Systems** (SB) / <http://www.unige.ch/cuepe>.
- [32] W. Durisch, (wilhelm.durisch@psi.ch), PSI, Villigen: **A new PV wave making more efficient use of the solar spectrum – FULLSPECTRUM** <http://www.fullspectrum-eu.org/> / <http://www.psi.ch/>.
- [33] Ch. Roecker, (christian.roecker@epfl.ch) EPFL - LESO, Lausanne: **Evaluation du potentiel de concentrateurs à Quantum Dots pour la production d'électricité photovoltaïque** / <http://leso.epfl.ch/>.
- [34] A. Borschberg, (andre.borschberg@solarimpulse.com) SOLAR IMPULSE, Lausanne: **Solarimpulse** / <http://www.solar-impulse.com>.
- [35] R. Domjan, (info@planetsolar.org) PLANETSOLAR, Neuchâtel: **PlanetSolar** / <http://www.planetsolar.org/>.
- [36] P. Hüsler, (pilus.huessler@novaenergie.ch), NOVA ENERGIE, Aarau: **Schweizer Beitrag zum IEA PVPS Programm Task 1** (JB) / <http://www.novaenergie.ch/> / <http://www.iea-pvps.org>.
- [37] Th. Nordmann, L. Clavadetscher, (nordmann@tnc.ch), TNC CONSULTING, Erlenbach: **Schweizer Beitrag zum IEA PVPS Programm Task 2 - 2006** (JB) / <http://www.tnc.ch>.
- [38] S. Nowak, G. Favaro, (stefan.nowak@netenergy.ch), NET, St. Ursen: **REPIC: Renewable Energy Promotion in International Co-operation** (JB) / <http://www.repic.ch>.
- [39] P. Renaud, P. Bonhôte, (pierre.renaud@planair.ch), PLANAIR, La Sagne: **IEA PVPS TASK 10 – Swiss contribution** (JB) / <http://www.planair.ch>.
- [40] J. Remund, M. Rindlisbacher, (remund@meteotest.ch), METEOTEST, Bern: **IEA SHC Task 36: Solar resource knowledge management** (JB) <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), SWISSOLAR, Zürich: **Normenarbeit für PV Systeme** (JB) <http://www.swissolar.ch>.
- [43] ¹S. Nowak, ¹M. Gutschner, ¹S. Gnos; ²U. Wolfer ¹(stefan.nowak@netenergy.ch), ¹NET, St. Ursen, ²BFE, Bern: **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) / <http://www.pv-era.net> / <http://www.netenergy.ch>.

8. Liste der P+D - Projekte

(JB) Jahresbericht 2006 vorhanden

(SB) Schlussbericht vorhanden

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

- [44] Toggweiler, P. Frommenwiler (info@enecolo.ch), ENECOLO, Mönchaltorf: **Dachintegration mit amorphen Dünnschichtzellen Turnhalle Wiesendangen** (JB) / <http://www.solarstrom.ch>.
- [45] Th. Böhni, N. Bill (boehni@euu.ch), BÖHNI ENERGIE UND UMWELT, Frauenfeld: **Nullenergieschulhaus Heilpädagogisches Zentrum Ekharthof Kreuzlingen** (JB) / <http://www.euu.ch>.
- [46] R. Durot, (r.durot@zagsolar.ch), ZAGSOLAR, Kriens: **Photovoltaic- Façade, Mounting System for Thin-Film-Modules** (JB) / <http://www.zagsolar.ch>.
- [47] P. Schudel, A. Kottmann, (info@benetz.ch), BE NETZ, 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>.
- [48] U. Muntwyler, (muntwyler@solarcenter.ch), MUNTWYLER ENERGIETECHNIK, Zollikofen: **Autonome Stromversorgung mit Photovoltaik und Brennstoffzellen** (JB) / <http://www.solarcenter.ch>.
- [49] Ch. Meier, (info@energiebuero.ch), ENERGIEBÜRO, Zürich: **Preparation and Realisation of the Test- and Pilot Installation SOLIGHT** / <http://www.energiebuero.ch>.
- [50] Th. Hostettler (Hostettler_Engineering@Compuserve.com), INGENIEURBÜRO HOSTETTLER, Bern: **Messkampagne Wittigkofen** (JB).
- [51] Th. Hostettler (Hostettler_Engineering@Compuserve.com), INGENIEURBÜRO HOSTETTLER, Bern: **Photovoltaic Energy Statistics of Switzerland 2005** (JB).
- [52] D. Chianese, I. Pola, E. Burà, A. Bernasconi, (domenico.chianese@supsi.ch), SUPSI, DACD, ISAAC-TISO, Canobbio: **Flat roof integration CPT Solar** (JB) / <http://www.isaac.supsi.ch>.
- [53] J. Rasmussen, M. Maier, (info@enecolo.ch), ENECOLO, Mönchaltorf: **Solgreen Kraftwerk 1 Zürich** (JB, SB) / <http://www.solarstrom.ch>.
- [54] A. Reinhard, **Autonome 5.7 kWp Photovoltaik Anlage in Kombination mit einem BHKW**.
- [55] S. Nowak, (stefan.nowak@netenergy.ch), NET, St. Ursen: **Swiss Solar ElectriCity Guide - Publikation „Solarstrom in der Gemeinde“** (JB, SB) / <http://www.netenergy.ch>.

9. Referenzen

- [56] *Konzept der Energieforschung des Bundes 2004 bis 2007*, Eidgenössische Energieforschungskommission CORE, 2004, <http://www.energieforschung.ch>.
- [57] *Forschungskonzept Photovoltaik 2004 – 2007*, Bundesamt für Energie, 2005, <http://www.photovoltai.ch>.
- [58] <http://www.flisom.ch>.
- [59] www.dyesol.com.
- [60] <http://www.ecoinvent.org>.
- [61] <http://www.spyce.ch>.
- [62] <http://www.replic.ch>.
- [63] <http://www.pvsyst.com>.
- [64] *Annual Report 2006*, IEA PVPS, 2007, <http://www.iea-pvps.org/>.
- [65] *National Survey Report on PV Power Applications in Switzerland 2005*, P. Hüssler, (pius.huessler@novaenergie.ch), Nova Energie, Mai 2006.
- [66] *Trends in Photovoltaic Applications in selected IEA countries between 1992 and 2005*, IEA PVPS Task 1 – 15: 2006, <http://www.iea-pvps.org>.
- [67] *Nachhaltigkeitsstudie – Solarenergie 2006*, M. Fawer-Wasser, Sarasin, Dezember 2006
- [68] *Photovoltaik Marktmodell – Das „Vollgas-Zeitalter“ beginnt*, Landesbank Baden-Württemberg, Februar 2007.
- [69] *International Workshop on Solar Photovoltaic Electricity: A Wealth of Investment Opportunities under the Sun, IEA PVPS Task 1*, <http://www.iea-pvps.org>.
- [70] *IEA PVPS Newsletter*, zu beziehen bei Nova Energie, Schachenallee 29, 5000 Aarau, Fax 062 834 03 23, (pius.huessler@novaenergie.ch).
- [71] *Performance Database*, IEA PVPS Task 2, September 2006, download: <http://www.task2.org>.
- [72] *Environmental benefits of PV systems in OECD cities*, IEA PVPS Task 10, September 2006, <http://www.iea-pvps.org>.
- [73] *Worldwide System for Conformity Testing and Certification of Electrical Equipment and Components (IECEE)* <http://www.iecee.org>.
- [74] http://ec.europa.eu/research/fp6/index_en.cfm?p=9_eranet.
- [75] <http://www.eupvplatform.org>.
- [76] *Publikationen Solarstrom in der Gemeinde*, zu beziehen bei NET, Waldweg 8, 1717 St. Ursen, info@netenergy.ch, <http://www.photovoltai.ch>.
- [77] *Die 21st European Photovoltaic Solar Energy Conference & Exhibition Dresden 04. - 08.09.2006 aus Schweizer Sicht*, zu beziehen bei der Programmleitung Photovoltaik, c/o NET, Waldweg 8, 1717 St. Ursen, info@netenergy.ch, <http://www.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.bfe.admin.ch
CORE	Eidgenössische Energieforschungskommission	http://www.bfe.admin.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
DACD SUPSI	Architecture Construction and Design Departement	http://www.dacd.supsi.ch
DEZA	Direktion für Entwicklung und Zusammenarbeit	http://www.deza.admin.ch
EMPA	Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt	http://www.empa.ch
EPFL	Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne	http://www.epfl.ch
ETHZ	Eidgenössische Technische Hochschule Zürich	http://www.ethz.ch

FH Burgdorf	Fachhochschule für Technik und Informatik Burgdorf	http://www.hti.bfh.ch
IEC	International Electrotechnical Commission	http://www.iec.ch/
IMT	Institut de Microtechnique Universität Neuchâtel	http://www-imt.unine.ch
ISIC	Institute of Chemical Sciences and Engineering	http://isic.epfl.ch
KTI	Förderagentur für Innovation	http://www.kti-cti.ch
ISAAC	Institute for applied sustainability to the built environment	http://www.isaac.supsi.ch
LEEE - TISO	Laboratorio di Energia, Ecologia ed Economia - Ticino Solare neu ISAAC	http://www.isaac.supsi.ch
LESO	Laboratoire d'Energie solaire et de physique du bâtiment	http://leso.epfl.ch
LTC	Laboratory of Polymer and Composite Technology EPFL	http://ltc.epfl.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
SUPSI	Scuola universitaria professionale della Svizzera Italiana	http://www.supsi.ch
VSE	Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen	http://www.strom.ch

Internationale Organisationen

EU (RTD)	Europäische Union (RTD-Programme) Forschungs- und Entwicklungsinformationsdienst der Europäischen Gemeinschaft	http://www.cordis.lu
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.jrc.cec.eu.int/reu.html
GEF	Global Environmental Facility	http://www.gefweb.org
GTZ	Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit	http://www.gtz.de
HMI	Hahn-Meitner-Institut	http://www.hmi.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
PV GAP	Global Approval Program for Photovoltaics	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

oerlikon	http://www.oerlikon.com
----------	---

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
BFS	Bundesamt für Statistik	http://www.bfs.admin.ch
IGE	Eidgenössisches Institut für Geistiges Eigentum	http://www.ige.ch
METAS	Bundesamt für Metrologie	http://www.metas.ch/
SWITCH	Swiss Education and Research Network Switch	http://www.switch.ch
Swissolar	Schweizerischer Fachverband für Sonnenenergie	http://www.swissolar.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/