



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Energie BFE

April 2009

Programm Photovoltaik Ausgabe 2009 Überblicksbericht 2008

ausgearbeitet durch:
NET Nowak Energie & Technologie AG





Titelbild:

Das grösste Dachfolien-Solarkraftwerk der Schweiz: Stadion Gründenmoos in St. Gallen
Austragungsort des international bekannten Pferdesportturniers CSIO Schweiz
Fläche: 1200 m²; Bauherrschaft: Sankt Galler Stadtwerke; Baujahr: 2008.

Foto + Projekt: energiebüro® ag / Zürich / Schweiz - für Solarkraftwerke

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. +41 (0) 31 322 56 11, Fax. +41 (0) 31 323 25 00 office@bfe.admin.ch www.bfe.admin.ch

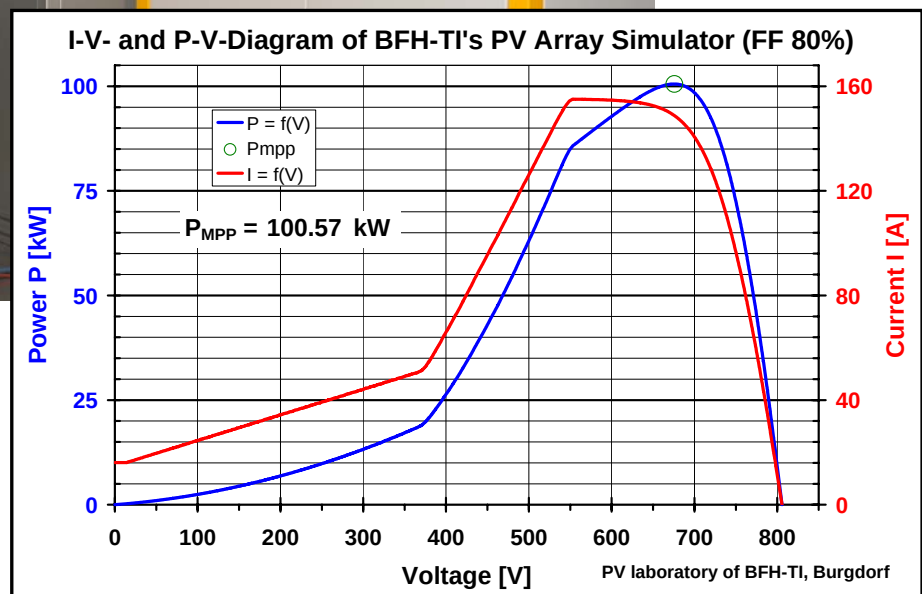
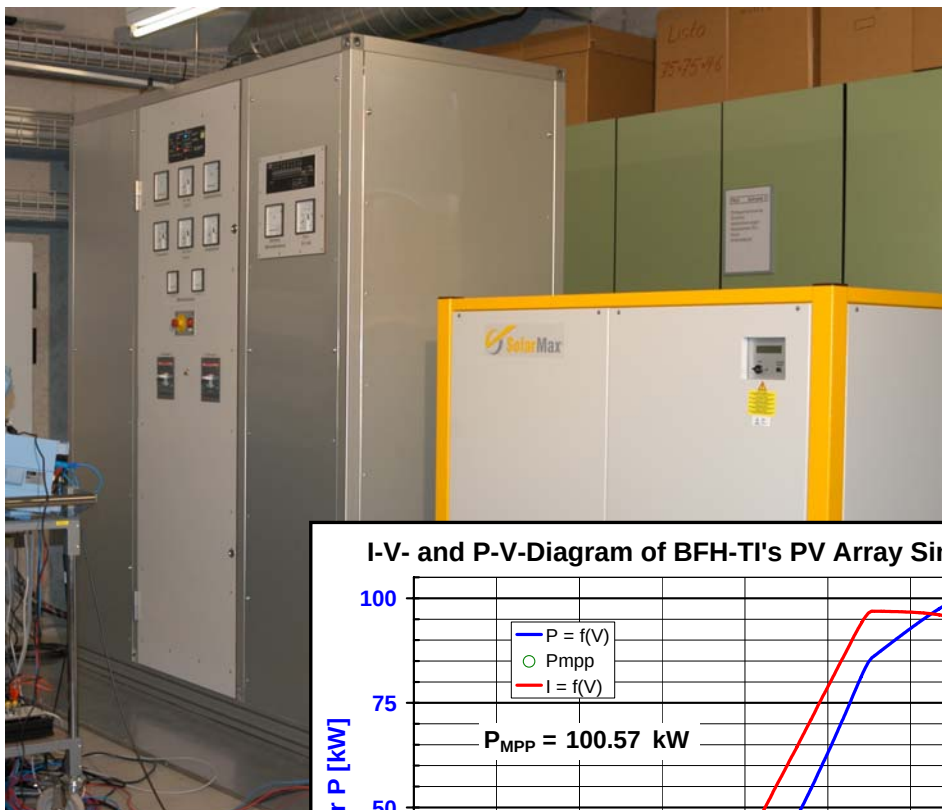


PROGRAMM PHOTOVOLTAIK

Überblicksbericht zum Forschungsprogramm 2008

Stefan Nowak

stefan.nowak@netenergy.ch



100 kW Solargenerator Simulator

Am Photovoltaiklabor der BFH-TI in Burgdorf wurde ein 100 kW Solargenerator Simulator aufgebaut, welcher weltweit der grösste seiner Art ist. Mit diesem Gerät können Wirkungsgradkennlinien und Maximum Power Point Tracking (MPPT) von Wechselrichtern bis zu 100 kW Leistung gemessen werden. (Bildquelle: BFH-TI)

Inhaltsverzeichnis

1.	Programmschwerpunkte und anvisierte Ziele	4
2.	Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse 2008.....	6
	Zell-Technologie	6
	Solarmodule und Gebäudeintegration.....	12
	Elektrische Systemtechnik.....	12
	Begleitende Themen	14
	Internationale Zusammenarbeit IEA, IEC, EU.....	14
3.	Nationale Zusammenarbeit.....	16
4.	Internationale Zusammenarbeit	16
5.	Pilot- und Demonstrationsprojekte (P+D).....	17
	Neue P+D Projekte	17
	Laufende P+D Projekte	17
	Im Jahr 2008 abgeschlossene P+D Projekte	18
6.	Bewertung 2008 und Ausblick 2009	19
7.	Liste der F+E-Projekte	20
8.	Liste der P+D-Projekte	22
9.	Referenzen	22
10.	Für weitere Informationen	23
11.	Verwendete Abkürzungen (inkl. Internetlinks)	24
12.	Weiterführende Internetlinks.....	24

1. Programmschwerpunkte und anvisierte Ziele

Die Photovoltaik erfuhr im Jahr 2008 weltweit wie auch in der Schweiz einen weiteren Aufschwung, wobei sich im letzten Quartal erwartungsgemäss auch Auswirkungen der globalen Wirtschaftskrise auf die Photovoltaik und eine Verlangsamung der Entwicklung abzeichneten. Vom allgemeinen Aufschwung war auch das Programm Photovoltaik massgeblich betroffen, indem das Interesse von Forschung und Industrie am Thema weiter gross ist und sich die Schweizer Industrie Aktivitäten weiter verstärkten. Durch die im Verlauf von 2008 eingeführte kostendeckende Vergütung für Strom aus erneuerbaren Energien gewannen anwendungsorientierte Fragestellungen an zusätzlicher Bedeutung. Durch die breite Programmabstützung im Bereich der Forschung konnte der bisherige Umfang des Programms im Jahr 2008 übertroffen werden. Das anhaltende Wachstum des internationalen Photovoltaik Marktes bildet eine wichtige Grundlage für den weiterhin erfolgenden, deutlichen Ausbau der Photovoltaik Industriebasis in der Schweiz. Die Kompetenz der Schweizer Photovoltaik Forschung ist mehr denn je gefragt und führt immer häufiger zu industrieorientierten Projekten.

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 2008 ca. 50 Projekte, wobei alle bekannten Projekte mit einer Förderung der öffentlichen Hand berücksichtigt sind.

Gestützt auf das Energieforschungskonzept der Eidgenössischen Energieforschungskommission CORE [59] verfolgt das Schweizer Photovoltaik Programm in der Periode 2008 – 2011 die folgenden wesentlichen Ziele [60]:

- **Senkung der Kosten** der Solarzellen und -module
- **Kostenziel** 2011 Modul 3 Fr./W, System 5 Fr./W
- **Steigerung des Wirkungsgrades** (Solarzellen)
- **Senkung des Material- und Energieeinsatzes**
- **Vereinfachung und Standardisierung** der elektrischen Systemtechnik, Steigerung der Lebensdauer und Zuverlässigkeit von Wechselrichtern
- **Erhöhung der Verfügbarkeit und der Vielfalt** industrieller Produkte

Dazu ist das Programm Photovoltaik in folgende Bereiche aufgeteilt:

SOLARZELLEN DER ZUKUNFT

Die Arbeiten zu **Dünnschichtsolarzellen** waren im Berichtsjahr wie bisher fokussiert auf die Schwerpunkte **Silizium** (amorph, mikrokristallin), Zellen auf der Basis von **Verbindungshalbleitern** (CIGS) sowie **Farbstoffzellen**. Die Grundlagen für **organische und Polymersolarzellen** als mögliche langfristige Technologieoptionen gewinnen gesamthaft an Bedeutung und bewegen sich gleichzeitig vom Konzept zur Solarzelle. Die mit Nachdruck verfolgte Industrialisierung von Produktionsprozessen steht bei den Silizium Dünnschichtsolarzellen in einem fortgeschrittenen Stadium, bei den Verbindungshalbleitern ist ein industrielles Projekt im Aufbau. Im Jahr 2008 wurden die Industrieprojekte für grössere Fertigungsanlagen mit Dünnschichtsolarzellen vorangetrieben. Solarzellen auf flexiblen Substraten gewinnen zudem weiterhin an Bedeutung.

Gemäss Energieforschungskonzept der CORE 2008 – 2011 [59] lauten die Ziele für den Bereich Solarzellen:

- Industrielle Fertigung von Solarzellen und -modulen auf Basis von Dünnschichttechnologien mit dem Ziel von wettbewerbsfähigen Herstellungsprozessen und Produkten (Zellen, Module)
- Mittel- und Langfristige Materialoptionen für Solarzellen der Zukunft (z.B. organische und polyme-re Solarzellen) mit dem Ziel, dazu die internationale Zusammenarbeit in Europa auszubauen
- Fertigungsprozesse für dünnere Wafer mit dem Ziel einer Waferdicke von 150 µm

Die Ziele für den Bereich der Solarzellen werden im Detailkonzept Photovoltaik [60] weiter präzisiert. Die Forschungsarbeiten an Solarzellen stellen bezüglich Mitteleinsatz den wichtigsten Bereich des Schweizer Photovoltaik-Programms dar. Entsprechend kommen auch diverse Förderinstrumente zum Einsatz.

MODULE UND GEBÄUDEINTEGRATION

Das Gebiet der Solarmodule ist im Programm Photovoltaik eng mit der Anwendung der **Gebäudeintegration** verbunden. Im Vordergrund stehen Modultechnologien, welche mit den in der Schweiz entwickelten Solarzellen einhergehen. Forschungsthemen in diesem Bereich können neue bzw. verbesserte Verfahren zur Herstellung von Solarmodulen (z.B. Verpackung, Verschaltung, neue Materialien) sowie deren Eigenschaften (z.B. Langzeitstabilität, mechanische, optische und thermische Eigenschaften) sein.

Gemäss Energieforschungskonzept der CORE 2008 – 2011 [59] lauten die Ziele für den Bereich Solarmodule und Gebäudeintegration:

- Echte Integration von Dünnschichtsolarzellen in neue Produkte für die Gebäudeintegration mit dem Ziel, neue Photovoltaik-Gebäude-Komponenten, insbesondere mit Dünnschichttechnologie, industriell zu fertigen
- Produktsynergien der Photovoltaik mit der Gebäudetechnik, in der Gebäudehülle ebenso wie mit der Haustechnik (z.B. Brennstoffzellen), mit dem Ziel, neue Lösungsansätze für die Optimierung der Energieproduktion und der Energienutzung im Gebäude zu erarbeiten

ELEKTRISCHE SYSTEMTECHNIK

Die elektrische Systemtechnik, insbesondere für Wechselrichter, ist weit fortgeschritten und entsprechend besteht ein breites Angebot am Markt, inklusive diversen erfolgreichen Schweizer Produkten. Die notwendige Weiterentwicklung der Wechselrichter erfolgt zumeist durch die Industrie. Dagegen ist die **Qualitätssicherung** in diesem Schwerpunkt sicherzustellen ebenso wie dazu erforderlichen Prozeduren (z.B. Zertifizierung von Produkten). Punktueller Bedarf entsteht durch allgemeine Fortschritte in der elektrischen Systemtechnik und neue Anwendungen.

Neue Optionen in der elektrischen Systemtechnik werden durch die fortschreitende elektrische Haustechnik ermöglicht. In Zukunft werden Informationen über den Betriebszustand diverser haustechnischer Anlagen in verstärktem Ausmass ausgetauscht werden.

Die elektrischen Systemkomponenten sind in einer Photovoltaik Anlage diejenigen Komponenten, welche in der Vergangenheit zu den schwächsten Gliedern gehörten und für zahlreiche Ausfälle verantwortlich waren. Obwohl sich diese Situation in den letzten Jahren verbessert hat, bleibt das Langzeitverhalten von Photovoltaik Komponenten und Anlagen ein wichtiges Anliegen, welches durch einige, jedoch begrenzte Analysen vertieft werden soll. Die Zuverlässigkeit und Sicherheit von Photovoltaik-Komponenten und Anlagen sind Gebiete, die in letzter Zeit vermehrt Beachtung gefunden haben (z.B. Lichtbogen).

Ein in Zukunft wichtiger werdendes Thema ist die Integration der Photovoltaik im elektrischen Netz. Dies betrifft weniger die Fragen in Bezug auf eine einzelne Anlage als vielmehr die Wechselwirkung einer grösseren Zahl von Photovoltaik-Anlagen mit dem elektrischen Netz. Im Zusammenhang mit der erwarteten Entwicklung von Smart-Grids können sich neue Anforderungen und Chancen für die Photovoltaik ergeben. Es interessieren hier in erster Linie Photovoltaik spezifische Fragestellungen.

Gemäss Energieforschungskonzept der CORE 2008 – 2011 [59] lauten die Ziele für den Bereich Elektrische Systemtechnik:

- Neue Systemkomponenten für netzgekoppelte Anlagen, Insel- und Hybridsysteme mit dem Ziel von integrierten Produktlösungen für den kombinierten Netz-, Insel und Hybridbetrieb
- Dezentrale Energieerzeugungssysteme, Energiespeicherung und Energienutzung mit dem Ziel einer aktiven Verbrauchssteuerung

BEGLEITENDE THEMEN

In diesem die Technik zum Teil ergänzenden Bereich werden einerseits allgemeine, für die weitere Marktentwicklung der Photovoltaik notwendige Voraussetzungen sichergestellt, z.B. in Bezug auf fortgeschrittene Hilfsinstrumente für die Planung und das Monitoring von Photovoltaik-Anlagen, die Quantifizierung von Umweltaspekten, usw.. Um die Marktrelevanz sicherzustellen, sind solche Projekte in enger Zusammenarbeit mit den entsprechenden Stellen auszuführen.

Eine zweite Kategorie von Projekten in diesem Schwerpunkt bilden neue, in Kombination mit anderen Energieformen mögliche Anwendungen der Photovoltaik, sei es mit anderen Formen der Sonnenenergie (Solararchitektur und thermische Solarenergie), in Konzepten der nachhaltigen Mobilität (Elektromobile, Solarboote, usw.) oder in Kombination mit anderen Energieträgern (z.B. Wasserstoff, Thermophotovoltaik). Auch hier ist eine gute Koordination mit entsprechenden Förderstellen sicherzustellen und die eigentliche Entwicklung fachbezogen einzugrenzen. Dies bedeutet, dass sowohl die primäre energetische Nutzung wie der spezifische Entwicklungsbedarf identifiziert werden müssen.

INSTITUTIONELLE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT

Die internationale Zusammenarbeit wird grundsätzlich in allen bisher besprochenen Bereichen angestrebt und ist auch dementsprechend etabliert. Nebst dieser projektbezogenen internationalen Zusammenarbeit ist diese aber auch auf der Ebene der Institutionen anhaltend zu gewährleisten. Die bisherigen Erfahrungen und der Nutzen dieser Zusammenarbeit für die Schweiz können allgemein als sehr gut eingestuft werden. Demnach bildet die Kontinuität dieser internationalen Zusammenarbeit ein strategisches Element des Programms Photovoltaik. Angesichts der raschen internationalen Entwicklung der Photovoltaik ist diese Zusammenarbeit in Zukunft in allen Bereichen fortzuführen.

Im Vordergrund stehen folgende internationale Institutionen:

- Europäische Kommission (EC) – Rahmenforschungsprogramme, SET-Plan;
- EU PV Technology Platform (PV TP) – Strategic Research Agenda, SET Plan;
- PV-ERA-NET – Kooperation zwischen europäischen Forschungsprogrammen;
- IEA PVPS – Forschungsk Kooperation im Rahmen der IEA;
- IEC – Normentätigkeit;
- Organisationen zur Entwicklungszusammenarbeit: internationale Organisationen, z.B. gtz, GEF, IFC, WB.

2. Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse 2008

ZELL-TECHNOLOGIE

Die **grosse Bandbreite der Schweizer Solarzellenforschung** konnte im Berichtsjahr 2008 dank der breiten Abstützung dieser Forschung mit Erfolg fortgesetzt werden. Die Beteiligung an EU-Projekten des 6. und 7. Rahmenforschungsprogramms sowie KTI-Projekte bildeten hier gewichtige Elemente.

a) Dünnschichtsilizium

Die wesentlichen Entwicklungen im Bereich des Dünnschichtsiliziums finden an der Universität Neuchâtel (IMT), an der EPFL (CRPP) sowie bei den Unternehmen oerlikon solar (Trübbach und Neuchâtel) und VHF-Technologies (Yverdon) statt und stellen den wichtigsten Schwerpunkt des Photovoltaik Programms dar. Das PSI und die EMPA Thun ergänzen diesen Schwerpunkt mit neuen Ansätzen.

Das IMT an der Universität Neuchâtel begann im Berichtsjahr eine neue Phase des Projektes zu *Silizium Dünnschicht Solarzellen und -modulen* [1]. Die Ziele dieses 4-jährigen BFE-Projektes bestehen darin, die Kosten von Silizium Dünnschicht solarzellen weiter zu senken, wobei amorphes Silizium, SiGe-Verbindungen und mikrokristallines Silizium Gegenstand der Forschung sind. Es sollen diejenigen Fortschritte erzielt werden, welche Herstellungskosten $< 1 \text{ €/Wp}$ bei einem Wirkungsgrad von $> 10\%$ erlauben. Das Projekt befasst sich mit den vier Ebenen Materialien, Prozesse, Komponenten (Devices) und Zuverlässigkeit und umfasst entsprechende Depositionssysteme (Fig. 1) sowie umfangreiche analytische Methoden. Die Zusammenarbeit mit der Industrie erfolgte primär mit den Unternehmen oerlikon solar und VHF-Technologies, welche die am IMT entwickelten Prozesse in ihre Produkte implementieren. Neu hinzugekommen ist seitens der Industriepartner die Firma Roth&Rau, welche mit dem IMT eine umfangreiche Forschungspartnerschaft eingegangen ist. Folgende Resultate aus dem Berichtsjahr seien hier erwähnt:

Materialien: Aufbauend auf den Resultaten der Vorjahre für amorphe und mikrokristalline Einfach-Solarzellen (single junction) auf Glassubstraten und der Entwicklung von Zwischenreflektor Schichten auf der Basis von ZnO bzw. SiO_x, wurde eine weitere Erhöhung des Wirkungsgrads der mikromorphen Solarzelle angestrebt. Mit einer Zwischenreflektor-Schicht aus SiO_x wurde im Berichtsjahr der Wirkungsgrad von mikromorphen Solarzellen auf 1 cm² Fläche auf 13.1% erhöht. Für transparente leitende Oxydschichten (TCO) aus ZnO konnte im Feuchte-Wärme-Test (85°C, 85% relative Feuchtigkeit) eine gute Stabilität erzielt werden.

Prozesse: Ein Schwerpunkt war im Berichtsjahr die Herstellung von mikrokristallinem Silizium bei hohen Abscheideraten. Als Resultat konnte bei einer gegenüber früher deutlich höheren Abscheiderate von 1 nm/s eine mikrokristalline Einfach-Solarzelle mit einem Wirkungsgrad von 7,1 % hergestellt werden. Weitere Aktivitäten befassten sich mit der Herstellung von nanotexturierten Substraten sowie Laser Strukturierung (laser scribing) der Solarzellen zur monolithischen Verschaltung.

Komponenten: Nebst der bereits erwähnten mikromorphen Solarzelle von 13.1% Wirkungsgrad wurden amorphe (p-i-n) Tandem Solarzellen auf Glas mit einem Anfangswirkungsgrad von 9.8% bzw. einem stabilisierten Wirkungsgrad von 8.3% erreicht. Für die Anwendung auf Plastiksubstraten wurden mit einer ZnO Zwischenreflektor Schicht mikromorphe (n-i-p) Solarzellen mit einem stabilisierten Wirkungsgrad von 10.1% erzielt.

Zuverlässigkeit: Bei dieser am IMT neu aufgebauten Tätigkeit geht es um die zuverlässige Verpackung der verschiedenen Solarzellen. Die dazugehörigen Arbeiten umfassen die Adhäsion von Polymeren auf Glas, die Wasserdiffusion in Verpackungsschichten für Solarzellen, den Wassergehalt von Polymeren sowie die Kompatibilität mit der elektrischen Kontaktierung und mit Rückreflektorschichten.

Das KTI-Projekt *Flexible Photovoltaics – next generation high efficiency and low cost thin film silicon modules* [2] wurde im Berichtsjahr zwischen dem IMT der Universität Neuchâtel und VHF-Technologies fortgesetzt. In diesem Vorhaben wird angestrebt, die bisher bei VHF-Technologies in ihrer ersten Produktgeneration bei flexiblen Solarzellen realisierten Wirkungsgrade von ca. 4.5% signifikant zu erhöhen. Durch die Verwendung eines rückseitigen, diffus streuenden dielektrischen Reflektors, einer Substratstrukturierung und einer amorphen Zellenstruktur in Tandemkonfiguration soll der Wirkungsgrad der industriellen Produkte auf 6% erhöht werden. Auf kleiner Fläche wurden auf Einfachzellen bzw. Tandemzellen mit einem stabilisierten Wirkungsgrad von 7.3% bzw. 8.0% gute Fortschritte erzielt. Ein weiteres KTI-Projekt des IMT befasst sich mit *transparenten leitenden Oxyden auf der Grundlage von ZnO* [3].

Das durch den Axpo Naturstrom Fonds unterstützte Projekt *THIFIC – Thin film on crystalline silicon* [4] wurde am IMT fortgesetzt. In diesem Vorhaben werden extrem effiziente Solarzellen mit 20–22 % Wirkungsgrad angestrebt. Dabei kommt das bekannte Konzept einer Heteroverbindung (hetero junction) zwischen kristallinen Silizium-Solarzellen und amorphen bzw. mikrokristallinen Solarzellen zur Anwendung (HIT-Zelle). Der Fortschritt im Vergleich zu andern HIT-Zellen liegt in der Verwendung von Siliziumwafern deutlich geringerer Dicke bis gegen 100 µm und der damit verbundenen Material- bzw. Energieeinsparung. In Vorarbeiten zu diesem Vorhaben wurde bereits ein Wirkungsgrad von 19% erreicht. Eine wesentliche Rolle für diese Solarzelle kommt der Grenzfläche zwischen dem kristallinen Siliziumwafer und der amorphen Dünnschichtsolarzelle zu; diese Grenzfläche sollte in Hinsicht auf den weiteren Schichtaufbau atomar scharf sein. Das bessere Verständnis dieser Grenzfläche führte im Berichtsjahr zu Solarzellen mit einer Klemmenspannung von 700 mV.

Im neuen EU-Projekt *HETSI: Heterojunction solar cells based on a-Si / c-Si* [5] arbeitet das IMT auch international auf dem Thema der Heteroverbindungssolarzelle. Dieses Projekt verbindet zum ersten Mal zwölf europäische Unternehmen und Forschungsinstitute aus den Gebieten des kristallinen Siliziums und der Silizium Dünnschichtsolarzellen in einem solchen Projekt. Das Projekt ergänzt die Untersuchungen zur oben erwähnten Grenzfläche und dem darauf erfolgenden Schichtaufbau der amorphen Solarzelle. In Hinsicht auf die industrielle Nutzung der Projektergebnisse wurde am IMT ein neues automatisiertes grossflächiges Depositionssystem (410 x 520 mm²) aufgebaut.

Das EU-Projekt *FLEXCELLENCE* [6] unter Schweizer Koordination des IMT und Beteiligung von VHF-Technologies wurde im Berichtsjahr erfolgreich abgeschlossen. In diesem Projekt ging es um flexible Solarzellen auf Kunststoff- und Metallsubstraten und die dafür notwendigen Produktionstechnologien. Im Vorhaben wurden drei unterschiedliche Ansätze zur roll-to-roll Beschichtung untersucht, namentlich Mikrowellen PECVD (Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition), Hot Wire CVD (Chemical Vapor Deposition) und VHF PECVD. Das IMT bzw. VHF-Technologies befassen sich mit dem letzten der drei genannten Verfahren. Am IMT wurde im Berichtsjahr mittels PECVD eine mikromorphe Tandemzelle auf Kunststoff (PEN) mit einem stabilisierten Wirkungsgrad von 9.8% realisiert (Fig. 2).

Im Integrierten EU-Projekt *ATHLET* [7] befassen sich das IMT und oerlikon solar mit der Weiterentwicklung der Silizium-Dünnschichtsolarzellen. Für mikromorphe Tandemzellen lautet das Ziel 10% stabiler Wirkungsgrad bei einer Fläche von 1 m² und 10 Å/s Depositionsrates bzw. Modulproduktionskosten von < 0.5 €/Wp. Dieses Projekt ergänzt das eingangs aufgeführte BFE Projekt am IMT. Im Berichtsjahr konnte unter Einsatz der oben erwähnten SiO_x-Zwischenreflektorschicht ein Anfangswirkungsgrad von mikromorphen Solarzellen von 13.3% erreicht werden. Mit einem am IMT neu aufgebauten industriellen Depositionssystem konnten mikromorphe Solarzellen mit 11 % Wirkungsgrad und 9,4 % stabilisiertem Wirkungsgrad hergestellt werden.

Das IMT wechselte auf Ende 2008 seine institutionelle Anbindung von der Universität Neuchâtel zur EPFL, wobei der Standort Neuchâtel beibehalten wird.



Figur 1: Automatisiertes Dünnschichtsilizium-Doppelkammer-Depositionssystem auf der Grundlage der KAI-M plasma box von oerlikon (Bildquelle: IMT)



Figur 2: Mehrfach Prozesskammer bei VHF-Technologies (Bildquelle: IMT)

Ein neues KTI-Projekt am CRPP der EPFL befasst sich mit der *Entwicklung eines neuen PECVD Reaktors für die Deposition von Dünnschicht Solarzellen* [8].

Das neue BFE-Projekt am PSI *Zweidimensionale Nanostrukturen für Siliziumsolarzellen* [9] geht der Frage nach optimalen Ansätzen für zweidimensionale optische Beugungsstrukturen auf Silizium-Dünnschichtsolarzellen nach. In einer ersten Phase werden diese numerisch modelliert. Später sollen solche Strukturen experimentell realisiert und ausgemessen werden. Im Berichtsjahr wurden verschiedene Algorithmen und deren Konvergenzverhalten untersucht.

Im neuen EU-Projekt *High-Ef – Large grained, low stress multi-crystalline silicon thin film solar cells on glass by a novel combined diode laser and solid phase crystallization process* [10] arbeitet die EMPA Thun an einem neuen Prozess zur Herstellung hocheffizienter Silizium-Dünnschichtsolarzellen. Der Prozess verbindet eine durch Laserschmelzen verursachte Kristallisation einer amorphen Siliziumschicht mit der Festphasenepitaxie. Daraus soll ein wettbewerbsfähiger Prozess für Dünnschichtsolarzellen mit einem Wirkungsgrad grösser 10 % erreicht werden. Die Technologie soll durch den deutschen Hersteller CSG Solar genutzt werden. Die Arbeiten an der Empa befassen sich mit der Charakterisierung der Mikrostruktur sowie mit mechanischen Eigenschaften des erzeugten Siliziums.

b) 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. Das BFE-Projekt *Large area flexible CIGS* [11] untersucht die Hochskalierung von CIGS Solarzellen auf grösseren flexiblen Substraten. Einerseits sollen dabei die notwendigen Vakuum-Depositionsanlagen verbessert werden, andererseits der Wirkungsgrad und die Zuverlässigkeit der CIGS-Solarzellen erhöht werden. Ziel ist es, einen Wirkungsgrad von 12 % auf Polyimidsubstraten zu erreichen. Weiter sollen alternative Rückseitenkontakte entwickelt werden.

Die Depositionsanlagen werden im Haus entwickelt und in Hinsicht auf Prozess-Reproduzierbarkeit und in-line Abscheidung optimiert. Ein wichtiger Punkt bei der grossflächigen Deposition ist eine

genügend homogene Verteilung der Schichteigenschaften (z.B. Schichtzusammensetzung, Schichtdicke) über die Fläche des Substrates. Dazu wurden die verwendeten Verdampfer der einzelnen Materialien in Hinsicht auf Verdampfungsprofile und Schichtdicke analysiert. Für eine Substratbreite von 25 cm wurde eine akzeptable Homogenität erreicht.

Für die Rückkontakte wurden Alternativen zum konventionellen Molybdän (Mo) entwickelt; bevorzugte Materialien sind transparente Oxydschichten wie Indium tin oxide (ITO) und Metall-Nitride. Mit ITO als Rückkontakt wurden auf Polyimid flexible CIGS Solarzellen mit einem Wirkungsgrad von 11.9% erreicht. Mit Ti/TiN als Rückkontakt konnte der Wirkungsgrad für einzelne Solarzellen auf bis zu 13.1% erhöht werden, sodass mit diesen alternativen Rückkontakten im Vergleich zum bisherigen Referenzwert und Weltrekord von 14.1% (mit Mo-Rückkontakt) interessante Perspektiven eröffnet werden.

Im BFE-Projekt *Thin film CIGS solar cells with a novel low cost process* [12] entwickelt die Gruppe Dünnschichtphysik eine völlig neuartige Herstellung einer CIGS-Solarzelle. Unter Verwendung einer Ionenaustausch-Reaktion wird dabei das Kupfer aus kupferhaltigen wässrigen bzw. organischen Lösungen in dünne Filme von Indiumselenid eingebaut. Letztere werden durch Koevaporation hergestellt. Struktur und Zusammensetzung der so erzeugten Schichten wurden durch oberflächenanalytische Methoden bestimmt. Die organische Lösung ergibt einen zuverlässigeren und reproduzierbaren Einbau von Kupfer, führt aber bisher nicht zu besseren Wirkungsgraden der so hergestellten CIGS-Solarzellen. Die aufgrund der wässrigen Lösungen hergestellten CIGS-Solarzellen erreichten bisher einen Wirkungsgrad von 4.1%, diejenigen mit der organischen Lösung einen Wirkungsgrad von 3.5%.

Das EU-Projekt *LARCIS* [13] befasst sich mit grossflächigen Prozessen zur industriellen Produktion von CIGS-Solarzellen. Dabei befasst sich die Gruppe Dünnschichtphysik an der ETHZ einerseits mit der Optimierung der Zellrückkontakte auf der Grundlage von Molybdän sowie alternativer Materialien, insbesondere TiN und ZrN bzw. deren Kombination mit Molybdän. Im Berichtsjahr wurde andererseits der Einfluss von Art und Menge der Natrium Behandlung auf die Eigenschaften der CIGS Solarzellen näher untersucht. Dazu wurde die Dicke der Natriumschicht zwischen 0 und 40 nm variiert. Die optimalen Eigenschaften wurden bei einer 20 nm dicken Natriumschicht erzielt. Die Abscheidung der Natriumschicht erfolgte bisher mehrheitlich in der Form einer Nachbehandlung (post deposition treatment PDT). Im Berichtsjahr wurde zudem die Koevaporation von Natrium untersucht; diese hat den Vorteil, dass sie besser in einem in-line Prozess verwendet werden kann. Damit wurde ein Wirkungsgrad der CIGS-Solarzellen von 12.5% erreicht. Ein weiterer Aspekt betraf die Herstellung von Puffer-freien CIGS Absorberschichten (die Pufferschicht besteht üblicherweise aus einer dünnen Schicht aus CdS). Unter Verwendung einer abschliessenden Oberflächenschicht aus In_xSe_y wurde eine Puffer-freie CIGS-Solarzelle mit 12.0% Wirkungsgrad erzielt, was noch tiefer ist als mit der CdS Pufferschicht.

Im Integrierten EU-Projekt *ATHLET* [14] ist die Gruppe Dünnschichtphysik an zwei Arbeitspaketen zu CIGS-Solarzellen beteiligt. Im Vordergrund stehen einerseits ergänzende Entwicklungsarbeiten für flexible Solarzellen auf Polyimid; andererseits werden neue Verfahren für Pufferschichten auf der Grundlage von In_2S_3 und die Abscheidung der Solarzellen auf TCO Schichten vertieft untersucht. Im Berichtsjahr wurden mit In_2S_3 CdS-freie CIGS Solarzellen auf Polyimid mit einem Wirkungsgrad von 10.1% erreicht. Zur Herstellung der In_2S_3 -Pufferschicht wurde neu die Verwendung von Ultraschall Spray Pyrolyse untersucht. Die besten CIGS Zellen erreichten hier auf Glas einen Wirkungsgrad von 12.4%. In Hinsicht auf CIGS Tandemzellen wurden entsprechende Schichtabfolgen hergestellt. Durch Veränderung des Gallium-Gehaltes kann der Photostrom für einen Tandemaufbau angepasst werden.

Im KTI-Projekt *Laser patterning of CIGS solar cells on flexible foils for monolithic integration* [15] in Zusammenarbeit mit Flisom und der Berner Fachhochschule für Technik und Informatik (Institut für angewandte Laser Technologie) untersucht die Gruppe Dünnschichtphysik der ETHZ die Laser Strukturierung von flexiblen CIGS Solarzellen für die monolithische Verschaltung zu Solarmodulen. Im Berichtsjahr wurde das Lasersystem aufgebaut und einzelne Laser-scribes untersucht. Ein Prototyp eines monolithisch verschalteten flexiblen CIGS Solarmoduls konnte hergestellt werden (Fig. 3).

Im durch den Axpo Naturstrom Fonds unterstützten Projekt *Development of flexible CIGS solar modules with metal grids* [16] entwickelt die Start-up Firma FLISOM die Verschaltung der CIGS Solarzellen auf flexiblen Substraten durch Metallgitter. Es werden verschiedene Verfahren zur Verschaltung untersucht. Auch hier wurde ein Demonstrator-Modul hergestellt (Fig. 4).

Die Gruppe Dünnschichtphysik der ETHZ wechselt per Ende 2008 ihre institutionelle Anbindung zur EMPA Dübendorf und baut dort ihre Laboratorien neu auf.



Figur 3: Prototyp eines monolithisch verschalteten flexiblen CIGS Solarmoduls (Bildquelle: ETHZ)



Figur 4: Demonstrator-Modul einer CIGS-Solarzelle (Bildquelle: FLISOM)

c) Farbstoff und organische Solarzellen

Farbstoffsolarzellen und insbesondere organische Solarzellen gewinnen derzeit national und international an Bedeutung; auch in der Schweiz befasst sich eine Reihe von Forschungsinstituten neu mit diesen Themen.

Die Entwicklung von farbstoffsensibilisierten, nanokristallinen Solarzellen wurde am LPI (ISIC) der EPFL fortgesetzt. Wichtige Arbeiten dazu erfolgen im neuen EU-Projekt *ROBUST DSC* [17]. In diesem Projekt arbeiten die wesentlichen akademischen und industriellen Organisationen Europa's auf dem Gebiet der Farbstoffsolarzellen zusammen mit dem Ziel, Materialien und Herstellungsprozesse für ein Solarmodul mit 7% Wirkungsgrad zu entwickeln. Parallel dazu werden mehr grundlegende Untersuchungen mit neuen Materialien und Konfigurationen durchgeführt, welche einen Laborwirkungsgrad von 14% zum Ziel haben.

Mit Unterstützung der Gebert Rüt Stiftung arbeitet das Institute of Computational Physics (ICP) an der Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften (ZHAW) mit dem LPI der EPFL am neuen Projekt *ModSol – Modelling, simulation and loss analysis of dye sensitized solar cells* [18]. Dabei soll mittels verschiedenen Modellen das optische, physikalische und elektrochemische Verhalten der Farbstoffsolarzelle modelliert und grafisch dargestellt werden. Die ersten Arbeiten betreffen die optische Modellierung und ein eindimensionales Flächenmodell der Farbstoffsolarzelle.

Die EMPA Dübendorf baut im Labor für funktionale Polymere eine Kompetenz auf dem Gebiet der organischen Solarzellen auf. Im Vorhaben *Organic Photovoltaic Devices* [19] wird die Kombination von Cyanin Farbstoffen mit PCBM Blends (Fulleren Derivate) sowie die Nanostrukturierung des Übergangs zwischen Donor- und Akzeptor-Materialien untersucht. Die Mikrostruktur kann in Dimensionen unter 100 nm eingestellt werden, wodurch die optoelektronischen Eigenschaften gezielt beeinflusst werden können.

Zur transnationalen europäischen Forschungszusammenarbeit fand im Rahmen des PV-ERA-NET-Projektes [61] (siehe unten) die Ausschreibung POLYMOL für Polymer und molekulare Solarzellen statt, an der sich auch das Schweizer Photovoltaik-Forschungsprogramm beteiligte. Von den insgesamt acht Projektvorschlägen wurden vier zur Ausführung ausgewählt, zwei davon mit Schweizer Beteiligung. An der EMPA Dübendorf beginnt im Januar 2009 dazu das Projekt *HIOS-Cell* [20], welches in engem Bezug zum oben beschriebenen Schwerpunkt der EMPA auf dem Gebiet der organischen Solarzellen steht. Die EMPA Dübendorf führt weiter eine KTI-Machbarkeitsstudie zum Thema *Transparent and Flexible Solar Cell Electrodes made from Precision Fabric* [21] durch.

Ein weiteres neues Projekt aus der POLYMOL Ausschreibung hat an der Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften (ZHAW) begonnen: *Apollo – efficient areal organic solar cells via printing* [22] verbindet europäische Kompetenzen auf dem Gebiet der plastic electronics, um dadurch einfach herstellbare organische Solarzellen zu entwickeln. Das Ziel ist, diese Solarzellen wie gedruckte Schaltungen herstellen zu können. Aus der Schweiz beteiligen sich nebst der ZHAW, welche das Projekt leitet und sich mit der Zellmodellierung befasst, die Ciba und das CSEM.

Das EU-Projekt *OrgaPvNet* [23] ist ein Netzwerkprojekt, welches die europäischen Akteure auf dem Gebiet der organischen Solarzellen zusammenführt und die künftigen Strategien auf diesem Gebiet erarbeiten soll. Solaronix ist eines der vier KMU's, welche an diesem insgesamt 22 Partner umfassenden Projekt beteiligt sind. Die Projektaktivitäten konzentrierten sich bisher auf verschiedene

Workshops, in denen organische Solarzellen sowohl wissenschaftlich-technisch wie marktbezogen thematisiert wurden.

Das EU-Projekt *Napolyde* [24] steht für interdisziplinäre Forschungsaktivitäten auf dem Gebiet der nanostrukturierten Polymer Deposition in Hinsicht auf Anwendungen im Energiebereich und der smart devices. Es führt 23 verschiedene Partner aus sehr unterschiedlichen Fachgebieten und Anwendungsfeldern wie z.B. Mikroelektronik, Beschichtung oder Biomedizin zusammen und verfolgt sowohl kleine wie grossflächige Applikationen. In der Schweiz sind Solaronix und das CSEM an diesen Arbeiten beteiligt; die Photovoltaik ist ein explizit anvisiertes Anwendungsgebiet. Es wurden monolithisch verschaltete Farbstoffzellen-Kleinmodule ($10 \times 10 \text{ cm}^2$) mit 5.6% Wirkungsgrad hergestellt. Dabei interessieren insbesondere die notwendigen Arbeitsschritte und die erzielten Materialeigenschaften.

Solaronix beteiligte sich am EU-Projekt *FULLSPECTRUM* [25], welches im Berichtsjahr abgeschlossen wurde. *FULLSPECTRUM* war eines der ersten integrierten Projekte im Bereich der Photovoltaik; es führte unterschiedliche Ansätze zur besseren Nutzung des Strahlungsspektrums in einem Projekt zusammen (III-V multijunctions, Thermophotovoltaik, intermediate band cells, molekulare Konzepte); dabei werden Wirkungsgrade bis zu 40% angestrebt. Solaronix war in diesem Projekt insbesondere mit unterstützenden Arbeiten zu neuen molekularen Konzepten beteiligt. Dabei ging es um die Rolle von Farbstoffsolarzellen in 2-Photon-Prozessen bzw. in flachen Konzentratoren. Solaronix befasste sich hier mit den Messungen der Stromspannungskennlinie, der spektralen Empfindlichkeit und der Stabilität der flachen Konzentratoren. Im Berichtsjahr konnte für die entwickelten flachen Konzentratoren eine Stabilität bis zu zwei Jahren Aussenbewitterung nachgewiesen werden.

Ein verwandtes Konzept wird in einem neuen KTI-Projekt *Development of efficient luminescent concentrators based on inorganic/organic nanomaterials for applications in solar energy conversion* [26] durch das Institut für anorganische Chemie an der Universität Zürich in Zusammenarbeit mit Optical Additives durchgeführt. In diesem Projekt werden Farbstoff-Zeolithen eingesetzt, welche durch ihre supramolekulare Organisation eine effiziente Konzentration sicherstellen sollen. Im Berichtsjahr wurden die vorbereitenden Arbeitsschritte optimiert.

d) Übergreifende Projekte

Das durch die EMPA Dübendorf koordinierte CCEM-Projekt *ThinPV* [27], welches auch durch swisslectric research unterstützt wird, führt die verschiedenen Akteure der Schweizer Dünnschicht-Solarzellenforschung in einem Projekt zusammen. Gemeinsam wird an ausgewählten Fragestellungen der verschiedenen Technologien gearbeitet. Auf dem Gebiet der Silizium-Dünnschicht-Solarzellen geht es um das Verständnis der plasmaphysikalischen Prozesse, wozu am IMT in Neuchâtel entsprechende analytische Methoden aufgebaut wurden (optische Emissionsspektroskopie, Infrarot Absorptionsspektroskopie und Laser Streuung). Ein weiteres Teilprojekt befasst sich mit hybriden Tandemzellen zwischen CIGS Solarzellen und Farbstoffsolarzellen sowie der Optimierung der einzelnen Teilzellen, insbesondere der Farbstoffsolarzelle. Der bisher für kurze Zeit erreichte Rekordwirkungsgrad einer gestapelten Farbstoff/CIGS Tandemsolarzelle beträgt 15%; im Berichtsjahr wurde die monolithische Integration dieser Tandemzelle entwickelt, der erreichte Wirkungsgrad beträgt hier 9.9%. Ein drittes Teilprojekt befasst sich besonders mit der Ausbildung von Nachwuchsforschern; im Berichtsjahr wurde dazu ein Workshop zum Thema „A look inside solar cells“ [62] erfolgreich durchgeführt.

Das Institut für Solartechnik SPF an der HSR Rapperswil baute mit dem BFE-Projekt *PECNet* [28] ein Kompetenzzentrum für die solare Wasserspaltung mittels hybrider PV-PEC Zellen auf. Das Vorhaben ist technologisch primär in der Photoelektrochemie angesiedelt, hat aber auch einen möglichen Bezug zur Photovoltaik. In einem ersten Schritt wurden die verschiedenen Kompetenzen und das vorhandene Know-how zusammengeführt und entsprechende Publikationen erfasst. Zusammen mit dem Energy Centre wird am ISIC der EPFL das PEChouse als Koordinationsstelle aufgebaut. Das Projekt wurde im Berichtsjahr abgeschlossen.

SOLARMODULE UND GEBÄUDEINTEGRATION

Gebäudeintegrierte Anlagen stellen nach wie vor das primär angestrebte Anwendungsgebiet der Photovoltaik in der Schweiz dar. Dabei muss aber präzisiert werden, was unter einer gebäudeintegrierten Anlage zu verstehen ist (angebaute Anlagen oder echte Integration). Während in den letzten Jahren in Solar- bzw. Ökostrombörsen häufig die kostengünstigsten Lösungen für Flachdachanwendungen zum Einsatz gelangten, wird weiterhin an der Kostenreduktion von Lösungen mit einem stärkeren Integrationsaspekt gearbeitet. Die im 2008 eingeführte kostendeckende Vergütung für Solarstrom trägt den unterschiedlichen Kosten der verschiedenen Anlagen Rechnung und sollte gebäudeintegrierte Anlagen begünstigen. Da inzwischen für die Montage am Gebäude eine Reihe von Systemen erfolgreich umgesetzt werden konnte (siehe auch Abschnitt P+D), verlagert sich die Entwicklung vermehrt auf das Solarmodul selbst.

Swiss Solar Systems (3S) hat als Nachfolgeprojekt des im Vorjahr abgeschlossenen EU-Projektes *BIPV-CIS* [29] die Entwicklung eines dachintegrierten Moduls im BFE-Projekt *SMARTTILE* [30] weiter verfolgt. Mit der vorgeschlagenen Lösung soll ein Dachelement entwickelt werden, welches aufgrund des Montagesystems und der erweiterten Funktionalität (z.B. Anschlussdose) die Herstellungskosten reduziert und eine industrielle Massenfertigung ermöglicht. Weitere Aspekte betreffen die Dichtung in vertikaler Richtung, den Übergang zu konventionellen Dachziegeln, die Verwendung von Standardlaminaten, die Lösung ohne Aluminiumrahmen und Werkzeuge zur Montage sowie die Unterkonstruktion. Im Berichtsjahr erfolgte eine Konzentration auf die Anforderungen im Rahmen von Normprüfungen und die Konsequenzen für das Produktdesign; dabei kommt insbesondere den Anforderungen an das Brandverhalten eine wichtige Bedeutung zu.

Am LTC (IMX) der EPFL wurde das KTI-Projekt *Ultralight photovoltaic structures* [31] im Berichtsjahr abgeschlossen. Das ursprüngliche Ziel war die Entwicklung eines sehr leichten und festen Photovoltaikmoduls ($< 1 \text{ kg/m}^2$) mittels Sandwichstruktur für die Anwendung im Solarflugzeug *SOLARIMPULSE* [38] von Bertrand Piccard. Lösungsansätze wurden für monokristalline Siliziumsolarzellen und Farbstoffsolarzellen erarbeitet. Dabei stand das mechanische Verhalten unter Belastung und die Verpackung der Solarzellen im Vordergrund der Untersuchungen. Im Jahr 2007 kam VHF Technologies als zusätzlicher Partner ins Projekt. Damit rückte auch die Anwendung der Projektergebnisse in Hinsicht auf die Gebäudeintegration in den Blickwinkel.

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

ELEKTRISCHE SYSTEMTECHNIK

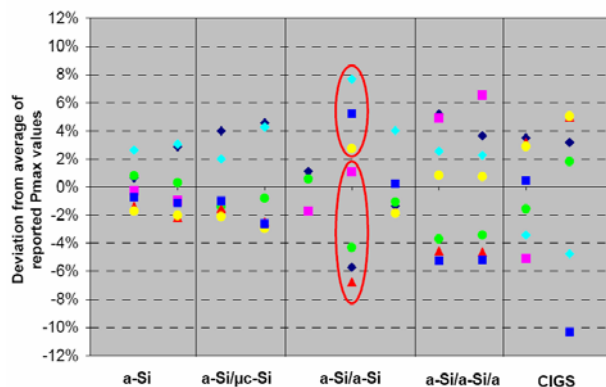
Das **Schwergewicht in der Systemtechnik** liegt generell auf der Qualitätssicherung von Komponenten (Module, Wechselrichter), Systemen (Auslegung, Energieertrag) und Anlagen (Langzeitbeobachtungen). Die Erkenntnisse aus diesen anwendungsnahen Fragen sind – besonders in einem rasch wachsenden Markt – für Sicherheit, Zuverlässigkeit und Energieertrag künftiger Anlagen wie auch für die Standardisierung der Produkte von grosser Bedeutung. Zusammen mit der fortschreitenden Kostenreduktion bei Komponenten und Systemen kann damit mittel- und langfristig die notwendige Wettbewerbsfähigkeit der Photovoltaik in langlebigen Anlagen erreicht werden.

Das ISAAC an der SUPSI hat im Berichtsjahr das Projekt *Centrale ISAAC-TISO 2007-2010* [32] fortgesetzt. Das gemäss ISO 17025 für Messungen zertifizierte Labor mit dem Sonnensimulator der Klasse A erhielt im Oktober 2008 die 8. offizielle Akkreditierung. Es wurde ein weiterer Solarsimulator von Pasan aufgebaut. Die als Dienstleistungen für Dritte ausgeführten Messungen der Strom-Spannungskennlinie von Solarmodulen konnten mit einer Anzahl von 458 ausgeführten Messungen erneut deutlich zulegen. Zudem wurden für einzelne Produkte weitere Parameter wie Temperaturkoeffizienten oder das Verhalten bei unterschiedlicher Einstrahlung bestimmt.

Der 11. Testzyklus der Aussenmessungen hat im Berichtsjahr an 13 kommerziellen Modulen angefangen (4 mc-Si, 4 sc-Si, 1 HIT, 1 a-Si/a-Si Tandem, 1 a-Si/ μ c-Si, 2 CIS). Die gemessenen Leistungen der kristallinen Solarmodule am Anfang des 15 Monate langen Testzyklus lagen im Mittel bei -2.6% der spezifizierten Leistung, wobei diese Abweichung zwischen $+0.5\%$ und -10.5% betrug.

Eine spezielle Entwicklung betrifft die korrekte Innenmessung von Dünnschichtmodulen. Je nach Technologie und Fabrikat sind hier Vorbehandlungen notwendig, z.B. durch Strom oder Licht. Oft braucht es auch eine spektrale Korrektur, welche aufgrund von Messungen des spektralen Ansprechverhaltens (Spectral Response) bestimmt wird.

Das ISAAC beteiligte sich im Berichtsjahr weiterhin an den Arbeiten zum EU-Projekt *PERFORMANCE* [33]. Dieses vom Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme in Freiburg koordinierte vierjährige 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. Im Berichtsjahr wurde die Messeinrichtung des ISAAC verbessert. Sechs europäische Testlaboratorien mit unterschiedlicher Infrastruktur führten im Berichtsjahr einen Round Robin Test an Dünnschichtmodulen durch. Die gemessenen Maximalleistungen zwischen den verschiedenen Laboratorien weisen eine Bandbreite bis zu $\pm 7\%$ auf. Die grösseren Abweichungen werden durch nicht angepasste Strombedingungen erklärt (current mismatch). Amorphe Einfach-Solarzellen zeigten im Vergleich der verschiedenen Laboratorien die kleinsten Abweichungen, während diese bei amorphen Si-Tripelzellen und CIGS-Solarzellen am grössten waren (Fig. 5).



Figur 5: Leistungsabweichungen (P_{MAX}) von Dünnschicht-Testmodulen bei STC Bedingungen (Bildquelle: ISAAC)



Figur 6: 100kW-Solargenerator-Simulators mit einem 100kW-Wechselrichter von Sputnik. (Bildquelle: BFH-TI)

Besondere Arbeiten sind der Messung des Energieertrags der Solarmodule bei unterschiedlicher Einstrahlung gewidmet; verschiedene Verfahren wurden dazu geprüft. Diese Resultate fliessen in die Arbeiten zur neuen IEC-Norm 61853 ein. Im Arbeitspaket zur Gebäudeintegration wurden wichtige neue Publikationen erarbeitet [63-65].

Das ISAAC an der SUPSI wird im neuen Jahr 2009 bedeutende Investitionen tätigen, um die für *akkreditierte Messungen von Modulen gemäss IEC* [34] notwendige Infrastrukturen aufzubauen. Aufgrund der grossen Nachfrage für solche Messungen und der am ISAAC vorhandenen langjährigen Fachkompetenz ist die Zeit günstig für ein solches Vorhaben.

Am Photovoltaiklabor an der FH Burgdorf wurde das Projekt *Photovoltaik-Systemtechnik PVSYSYSTEME 2007 – 2010* [35] fortgesetzt. Die teilweise seit 1992 ohne Unterbruch durchgeführten Langzeitmessungen an inzwischen 70 PV-Anlagen wurden weitergeführt. In Zusammenarbeit mit der ADEV Burgdorf wurde die 2007 realisierte Modulvergleichs-Anlage mit vier weiteren kristallinen Modultechnologien erweitert und ins Monitoringprojekt eingeschlossen (total 20.3 kWp), so dass dort nun 6 verschiedene Modultechnologien unter praktisch identischen Bedingungen im Einsatz sind. Für halbautomatische Wechselrichtertests wurde die Test-Software für den 20 kW-Solargenerator-Simulator auf vollautomatische Tests umgebaut. Ein grosser Teil der Projektaktivitäten war der Entwicklung und Inbetriebnahme des neuen linearen Solargenerator-Simulators von 100 kW gewidmet. Dieser Solargenerator-Simulator dürfte der weltweit grösste seiner Art sein. Bisher konnten an einem 100 kW-Wechselrichter Wirkungsgradkennlinien auf drei verschiedenen Spannungsstufen bis zu einer Leistung von maximal 92,2 kW aufgenommen werden (Fig. 6).

Die im Jahr 2006 begonnenen Untersuchungen bezüglich Blitzstromverhalten von Bypassdioden wurden auch 2008 weiter geführt und die theoretische Analyse weiter ausgebaut. Nach dem erfolgreichen Umbau des Stossstromgenerators auf einigermaßen normgerechte Stossströme konnten auch verschiedene Bypassdioden in Modulen praktisch getestet werden.

Das EU-Projekt *SOS-PVI (Security of Supply Photovoltaic Inverter)* [36], in welchem Maxwell Technologies als Schweizer Partner mitarbeitet, wurde im Berichtsjahr abgeschlossen. In diesem Vorhaben wurden fünf Prototypen eines Wechselrichters mit integrierter Backup Funktion erarbeitet. Nebst der technischen Lösung für den Wechselrichter, wurden vor allem auch Fragen zur Lastkurve in bestimmten Netzen und die notwendigen Regelkreise untersucht.

BEGLEITENDE THEMEN

Das PSI beteiligte sich im Rahmen des Integrierten EU-Projektes *FULLSPECTRUM* [37] an den internationalen Arbeiten zum Thema der Thermophotovoltaik (TPV). Das Projekt wurde im Berichtsjahr abgeschlossen. Gestützt auf frühere Projekte bearbeitete das PSI in diesem Projekt 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 wurden.

Das symbolträchtige Projekt *SOLARIMPULSE* [38] von Bertrand Piccard und verschiedenen Partnern wurde im Berichtsjahr fortgesetzt. Das Ziel dieses Projektes ist die Weltumrundung mit einem photovoltaisch betriebenen Flugzeug. Ein weiteres Projekt dieser visionären Art ist das Projekt *PlanetSolar* [39], welches von einer Westschweizer Gruppe um den Initianten Raphaël Domjan entwickelt wird. PlanetSolar soll ein solarbetriebenes Boot werden, welches ebenfalls die Erde umrunden wird. Beide Projekte stellen primär private Initiativen dar, wobei in konkreten Technologiefragen eine Zusammenarbeit mit Hochschulen erfolgt. Bei beiden Vorhaben sind im Berichtsjahr konkrete Schritte zur Realisierung bzw. zum Bau erfolgt. Beide Projekte beinhalten einerseits grosse technische Herausforderungen, andererseits geniessen sie aufgrund ihres Kommunikationspotenzials ein grosses Interesse der Öffentlichkeit. Nicht zuletzt stehen die beiden Vorhaben in einer gewissen Konkurrenz zueinander.

INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT IEA, IEC, EU

Die Beteiligung am Photovoltaikprogramm der IEA (IEA PVPS) wurde im Berichtsjahr mit Kontinuität fortgesetzt, sowohl auf der Projektebene wie im Executive Committee (ExCo) [66]. Die Schweiz hält weiterhin den Vorsitz dieses weltweiten Programms inne. Für die Beteiligung an ausgewählten Projekten im Rahmen des IEA PVPS Programms konnte der 2005 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* [40] zur Aufgabe hat. Im Berichtsjahr wurde ein weiterer nationaler Bericht über die Photovoltaik in der Schweiz bis 2007 [67] ausgearbeitet; auf dieser Grundlage wurde die 13. Ausgabe des jährlichen internationalen Berichtes („*Trends Report*“) über die Marktentwicklung der Photovoltaik in den IEA-Ländern erstellt [68]. Dieser Bericht stellt eine immer häufiger zitierte Referenz dar und wurde erneut für aktuelle Analysen der Photovoltaik verwendet [69-72]. An der 23. Europäischen Photovoltaik-Konferenz in Valencia fand ein Workshop zum Thema Netzparität der Photovoltaik statt. Zudem fanden Beiträge an Workshops zum Thema Finanzierung in Frankfurt und Kuala Lumpur statt. Der *IEA PVPS-Newsletter* [73] informiert regelmässig über die Arbeiten in und rund um das IEA PVPS Programm und wird an 250 Adressaten in der Schweiz verteilt. Seit 2008 wird die homepage von IEA PVPS [74] in der Schweiz betreut.

In IEA PVPS Task 2 über *Betriebserfahrungen* [41] stellte TNC den Schweizer Beitrag. Dieses Projekt wurde formal im Vorjahr abgeschlossen – es wurden aber noch abschliessende Berichte fertig gestellt. Die PVPS-Datenbank Performance Database, welche weiterhin auch online zugänglich [75] ist, umfasst 505 Photovoltaik Anlagen aus 22 Ländern mit insgesamt rund 1600 Betriebsjahren und 13.5 MWp Anlagenleistung. Aus der Schweiz sind 66 Anlagen mit einer totalen Leistung von 2 MWp in der Datenbank enthalten. Aufgrund der Bedeutung von Qualitätssicherung und Zuverlässigkeit von Photovoltaik Anlagen für den wachsenden Markt wird an einem Folgeprojekt Task 13 zu diesem Thema gearbeitet. Dazu fand im Berichtsjahr ein durch Deutschland geleiteter Workshop statt.

Im Rahmen der interdepartementalen Plattform (SECO, DEZA, 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* [42]. 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 Busan (Korea) sowie Workshops in Tunis und Phnom Penh abgehalten. Task 9 setzt in seinen Arbeiten einen Schwerpunkt auf Energiedienstleistungen in verschiedenen Anwendungsfeldern und beschäftigt sich häufig mit Ansätzen, welche sich nicht allein auf die Photovoltaik begrenzen lassen [77]. Im Berichtsjahr wurde das Thema der Wasserversorgung weiter vertieft; dazu beteiligte sich Task 9 an einem Workshop der

AfDB in Tunis. Es wird allgemein eine bessere Vernetzung mit den wichtigen Aktivitäten zur Wasserversorgung angestrebt.

Planair vertritt die Schweiz in IEA PVPS Task 10 zur *Photovoltaik im urbanen Raum* [43]. Aus Schweizer Sicht stehen städteplanerische Fragen und solche des elektrischen Netzes im Vordergrund. Durch den Einbezug der Stadt Neuchâtel in den Schweizer Beitrag sollen die anstehenden Fragen konkret aus dieser Perspektive angegangen werden. Task 10 steht in engem Kontakt mit dem EU-Projekt *PV-Upscale* [78], welches ähnliche Ziele auf europäischer Ebene verfolgte und im Berichtsjahr abgeschlossen wurde. Die Schweiz hat einen Bericht zum Thema Urban PV policies erarbeitet. Task 10 hat ausserdem verschiedene Berichte fertiggestellt [79-83]. Besonders ist hier die systematische Analyse von Mehrwerten der Photovoltaik über die Energie hinaus zu erwähnen, welche erstmals differenzierte quantitative und länderspezifische Aussagen zu diesem Thema macht.

Sputnik vertritt die Schweiz in IEA PVPS Task 11 zu *hybriden Photovoltaik Systemen in Mininetzen* [44], einem Gebiet, das – wenn auch nicht so sehr in der Schweiz – global von immer grösserem Interesse wird und weitreichende technische Fragestellungen betreffend Systemdesign, Regelungsfragen und der Penetration von Photovoltaik in Mininetzen beinhaltet.

ESU Services vertritt die Schweiz im derzeit neusten IEA PVPS Task 12 zu *Umwelt-, Sicherheits- und Gesundheitsaspekten* [45] der Photovoltaik. Ziel des Projektes ist, industriell möglichst aktuelle, relevante und international abgegliche Informationen zu diesem bedeutenden Thema aufzuarbeiten und zu publizieren. Damit sollen die zum Teil noch widersprüchlichen bzw. quantitativ abweichenden Aussagen auf eine bessere Grundlage gestellt werden. Die Schweiz konzentriert sich in PVPS Task 12 auf die Lebenszyklusanalyse (LCA). Ausserdem befasst sich Task 12 auch mit den Methoden zur Rezyklierung von Photovoltaik Modulen. Zu letzterem Thema wurde die Vereinigung PV CYCLE gegründet, welche im Berichtsjahr eine wichtige Publikation erarbeitete [84].

Meteotest [46] und die Groupe Energie an der Universität Genf [47] 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 SolarPACES). Im Projekt wird die Qualität verschiedener Strahlungsmodelle und daraus abgeleiteter Produkte verglichen und optimiert. Im Berichtsjahr konzentrierten sich die Arbeiten auf den Vergleich der Strahlungsvorhersage anhand von verschiedenen Modellen.

SWISSOLAR vertritt die Schweiz im TC 82 der International Electrotechnical Commission (IEC) zu *Photovoltaik Normen* [48]. Die Normenarbeit im Bereich der photovoltaischen Systeme ist in sechs Working Group's (WG) aufgeteilt (Glossary, Modules, non-concentrating, Systems, PV energy storage systems, Balance-of-system (BOS) components, Concentrator modules). Die Schweiz beteiligt sich primär an den Arbeiten der WG's zu nicht konzentrierenden Modulen, zu Systemen und zu BOS-Komponenten. Normen sind in jeder Technik wesentlicher Bestandteil der Produktentwicklung, der Tests und der Qualitätsüberprüfung. Der sich rasch entwickelnden Photovoltaik Industrie fehlen noch eine ganze Reihe von wichtigen, international anerkannten Normen, wobei sich die Lücke dank dem wachsenden Interesse an Normen nun schnell zu schliessen beginnt. In der Photovoltaik konnte trotz der IEC nicht verhindert werden, dass viele nationale Normen entstanden. Diese wurden meist im Rahmen von nationalen Energieprogrammen initiiert und zum Teil auch finanziert. In den letzten Jahren sind das Interesse und der Wille gestiegen, dass nun diese nationalen Normen im Rahmen der internationalen IEC harmonisiert werden sollen. Dabei ist zu unterscheiden zwischen Regeln, welche die Performance und solchen, welche die Sicherheit oder die Qualität der Komponenten und Anlagen bzw. der Benutzer betreffen. Fragen zur Sicherheit sind traditionell eher national ausgerichtet. Mit bisher wenigen Ausnahmen ist es auch anderen Normenkomitees bisher nicht gelungen, im Bereich Sicherheit eine IEC-Norm als verbindliche Norm auch national einzuführen. Eine Ausnahme dazu bildet seit einigen Jahren die EU, welche das Parallelvoting für IEC Normen für Cenelec Normen eingeführt hat. Im Berichtsjahr wurden acht verschiedene Normen publiziert [85-92]. In der Schweiz werden die Arbeiten durch das TK 82 begleitet [93].

Die Beteiligung am EU-Projekt *PV-ERA-NET* [49], welches Programmkoordinationsstellen und verantwortliche Ministerien aus 13 Ländern unter dem ERA-NET Schema [94] 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 und einer Projektdatenbank, die Modelle der Zusammenarbeit zwischen verschiedenen nationalen

Programme abgeschlossen. Die erste gemeinsame Ausschreibung POLYMOL zum Thema von organischen und Polymer Solarzellen wurde im Berichtsjahr abgeschlossen mit 4 transnationalen Projekten, die nun alle begonnen haben. Die Schweiz war an dieser Ausschreibung beteiligt und zwei der vier bewilligten Projekte finden mit der EMPA Dübendorf [20] bzw. mit den Schweizer Partnern ZHAW, CSEM und Ciba [22] statt. PV-ERA-NET wurde im Herbst 2008 um ein Jahr verlängert.

Ein bedeutendes Thema bildete weiter die in der Europäischen Photovoltaik Technologie Plattform publizierte *Strategic Research Agenda* (SRA) [95], 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. Gegenwärtig wird dazu ein Implementation Plan erarbeitet.

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, sowohl in neuen Projekten mit der KTI wie auch in der Form von direkten Mandaten der Industrie an ausgewählte Forschungsinstitute. Angesichts des global wachsenden Photovoltaik-Marktes konnte zudem ein zunehmendes Interesse von neuen Industrieunternehmen verzeichnet werden. Zum ersten Mal fand im Berichtsjahr der neu ins Leben gerufene Photovoltaic Executive Day mit Entscheidungsträgern aus der Photovoltaik Forschung, der Schweizer Industrie und der Verwaltung (BFE, KTI, CO-RE) erfolgreich statt.

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 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 2008 waren es 9 bzw. 3 Projekte im 6. bzw. 7. Rahmenforschungsprogramm der EU, wovon 3 dieser Projekte Integrierte Projekte (FULLSPECTRUM, PV-ATHLET, PERFORMANCE) sind. Es findet ein regelmässiger Kontakt mit den Programmverantwortlichen in EU-Ländern statt, ebenso mit den zuständigen Einheiten bei der Europäischen Kommission.

Die Schweiz ist in der Europäischen Photovoltaik Technologie Plattform [96] sowohl im Steuerungsausschuss wie in einzelnen Arbeitsgruppen vertreten. Technologie Plattformen sind ein neues Instrument der EU Technologieförderung, welches für ausgewählte Technologien eine breitere Trägerschaft und eine gemeinsame Strategie der beteiligten Akteure ermöglichen soll, indem 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 die starke Einbindung der Industrie, welche im Rahmen der Technologie-Plattformen eine tragende Rolle spielt. Im Rahmen des von der Europäischen Kommission vorgeschlagenen *Strategic Energy Technology Plan (SET Plan)* [97] wurden die Vorschläge des Photovoltaiksektors zu beschleunigenden Massnahmen in Hinsicht auf die EU 2020 Energieziele formuliert.

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)

Im Berichtsjahr konnte gerade noch ein neues BFE PV P+D Projekt begonnen werden. Seit 2003 wurden damit insgesamt fünf neue Projekte gestartet. Ein weiteres P+D Projekt wird durch den Axpo Naturstromfonds unterstützt. Dies ist im Vergleich zur Zeit vor 2003 marginal, wo jährlich 10 und mehr Projekte ins P+D Programm aufgenommen wurden. Ein Teil dieser 'alten' Projekte setzt im aktuellen Photovoltaik-Markt erfreulicherweise immer noch gewisse Akzente. Mit den wenigen aktiven PV P+D Projekten fehlt in Hinsicht auf die Anwendung ein wesentliches Glied in der Umsetzung von Forschung und Entwicklung hin zu industriellen Produkten und Verfahren, und damit zum Markt. Damit bleibt die Wirkung dieses Programnteils weiterhin unterkritisch. Schweizer Firmen haben es so seit Jahren zunehmend schwerer, neue und innovative Produkte für den Photovoltaik Anwendungsbereich auf den Markt zu bringen.

Ziel des neuen Projekt *SMARTTILE* [30] ist es, ein neues PV Dachelement, das auf eine industrielle Fertigung hin optimiert wird und werkzeuglos montiert werden kann, pilotmässig zu testen.

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

NEUE P+D PROJEKTE

- *SMARTTILE* (Piloteinsatz eines neuen Photovoltaik Dachintegrationssystems, das werkzeuglos montiert werden kann und auf eine industrielle Produktion hin optimiert wird; Leitung: 3S Swiss Solar Systems [30])
- Am Bahnhof Münsingen realisierte TNC die weltweit erste *bifaciale Photovoltaik-Lärmschutzanlage* [50] entlang einer Bahnlinie. Sie weist eine Nennleistung von 7.25 kWp (Frontseite) bzw. 5.6 kWp (Rückseite) auf. Finanziert wurde die Anlage von der Gemeinde, mit Unterstützung der InfraWerkeMünsingen sowie dem Kanton Bern. Da die SBB im Bereich der Photovoltaik-Anlage keine herkömmlichen Glas-Lärmschutzelemente einbauen mussten, haben sie der Gemeinde den entsprechenden Beitrag gutgeschrieben (Fig. 7).

LAUFENDE P+D PROJEKTE

Bei den laufenden Projekten belegen die bisherigen Messungen im Rahmen des Projekts CPT Solar, Degradations- und Annealingverhalten von Modulen mit amorphen Zellen die Annahme, dass durch das Erwärmen von amorphen Modulen auf gewisse Grenztemperaturen die weitere Degradation weitgehend gestoppt oder bei höheren Temperaturen gar rückgängig gemacht werden kann. [51] (Fig. 8)

Die Messungen am Nullenergieschulhaus Ekkharthof Kreuzlingen (Minergiebau kombiniert mit Photovoltaik und Wärmepumpe) zeigen, dass durch gezieltes Lastmanagement im Frühling, Sommer und Herbst eine hohe Korrelation zwischen Solarstromproduktion und Stromverbrauch (inkl. Wärmepumpe) erreicht werden kann [52]. (Fig. 10)

Die laufenden Projekte umfassen (in chronologischer Reihenfolge):

Anlagen

- Degradations- und Annealingverhalten von Modulen mit amorphen Zellen (Messungen und Analysen auf der Basis der Flachdachintegration CPT Solar; Leitung: ISAAC) [51] (Fig. 8)
- Praxistest Backup Wechselrichter (Verhalten eines netzgekoppelten Wechselrichters mit unterbrechungsfreier Stromversorgung bei Stromausfall im Praxistest; Leitung: Enecolo) [53]
- Photovoltaikanlage Nullenergieschulhaus Ekkharthof Kreuzlingen (Einbindung einer PV Anlage ins Energiekonzept eines Nullenergieschulhauses; Leitung: Böhni Energie und Umwelt) [52] (Fig. 10)
- 2 kWp Flexcell® Experimentaldach mit flexiblen amorphen Solarzellen in einem Dachelement aus einer Thermoform; Leitung: VHF-Technologies) [54] (Fig. 9)

Messkampagnen

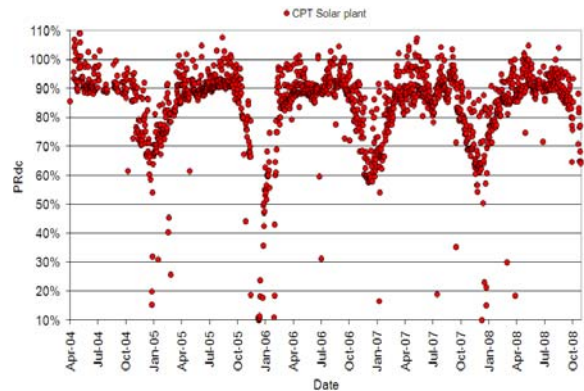
- Messkampagne Wittigkofen (Detaillierte Messungen und Auswertungen mit Visualisierung der Daten zur 80 kWp Fassade Wittigkofen; Leitung: Ingenieurbüro Hostettler) [55]

Studien - Hilfsmittel - diverse Projekte

- Photovoltaikstatistik der Schweiz 2007 (Leitung: Ingenieurbüro Hostettler) [56]



Figur 7: Bifaciale Photovoltaik-Lärmschutzanlage
(Bildquelle: TNC)



Figur 8: CPT Solar; thermisch isolierte amorphe PV Module seit 4 Jahren ohne Degradationseffekte
(Bildquelle: ISAAC)



Figur 9: 2 kWp Flexcell Experimentaldach
(Bildquelle: VHF Technologies)



Figur 10: Nullenergieschulhaus Ekkharthof Kreuzlingen
(Bildquelle: Böhni Energie und Umwelt)

IM JAHR 2008 ABGESCHLOSSENE P+D PROJEKTE

Im Jahr 2008 wurden die folgenden P+D Projekte abgeschlossen (in chronologischer Reihenfolge):

Anlagen

- 12 kWp Solight Pilotanlage (Pilotmässige Umsetzung von zwei verschiedenen Solight Varianten; Leitung: Energiebüro) [57]
- Dachanlage Turnhalle Wiesendangen mit amorphen Dünnschichtmodulen (Einsatz von BIOSOL XXL Dachelementen, bestehend aus UNI-Solar Dünnschichtmodulen kombiniert mit Solrif Rahmen; Leitung: Enecolo) [58]

6. Bewertung 2008 und Ausblick 2009

2008 war für die Photovoltaik national und international ein sehr dynamisches und weitgehend erfolgreiches Jahr, wobei die globale Finanz- und Wirtschaftskrise die rasch wachsende Photovoltaikindustrie nicht verschont hat. In einer durch hohes Wachstum gezeichneten Marktdynamik konnte die Photovoltaik Industrie ihren Ausbau vorderhand fortsetzen, es wird aber allgemein mit einer Verlangsamung des Wachstums ab 2009 gerechnet. Der Engpass in der Verfügbarkeit von Rohsilizium für die kristallinen Siliziumzellen besteht zwar noch, es zeichnet sich hier aber eine Entspannung ab. Die seit 2007 eingetretene Trendumkehr zu niedrigeren Systempreisen wurde fortgesetzt und es wird dazu von einer weiter beschleunigten Kostenreduktion ausgegangen. Die Ankündigungen für Investitionen in Dünnschichttechnologien setzten sich auch 2008 fort. Für 2009 wurden zahlreiche neue Industrieprojekte angekündigt, wobei erste GWp-Einheiten diskutiert werden. Total könnte die Produktionskapazität für Dünnschichtmodule im Jahr 2009 bis 5 GWp erreichen, wobei damit zu rechnen ist, dass sich durch die aktuelle Finanzkrise ein Teil der Projekte zumindest verzögern oder überhaupt nicht umsetzen lässt. Als konkretes Beispiel dieser jüngsten Entwicklung konnte oerlikon solar im Berichtsjahr weitere grosse Bestellungen für Depositionsanlagen von Dünnschichtsolarzellen aus amorphem Silizium entgegennehmen.

Dank der politischen Diskussion im Vorjahr rund um das Stromversorgungsgesetz und der darin beschlossenen Förderung der erneuerbaren Energien erhielt die Photovoltaik auch in der Schweiz weiterhin grosse Aufmerksamkeit. Mit der im Berichtsjahr eingeführten kostendeckenden Vergütung (KEV) wurden sehr viele Erwartungen geweckt und entsprechend viele Eingaben für Projekte gemacht, welche nun aufgrund der geltenden Deckelung einen langen Stau bilden, bis die Anlagen in die KEV aufgenommen werden können. Obwohl im quantitativen Ausmass eng begrenzt, sollte die KEV aber trotzdem 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 befinden sich aufgrund einer breiten Abstützung auf einem auch international betrachtet hohen Niveau. Die Schweizer Photovoltaik Kompetenzzentren konnten im Berichtsjahr weiter gestärkt werden; die globale Dimension der Photovoltaik erfordert hier aber weitere Schritte, um mit der internationalen Entwicklung mithalten zu können. Eine quantitativ ausreichende Masse und ein starker Industriebezug sind kritische Erfolgsfaktoren, denen in den kommenden Jahren noch mehr Bedeutung zukommen wird. Die industrielle Umsetzung und die internationale Ausrichtung werden durch die zahlreichen KTI- und EU-Projekte belegt: Im Berichtsjahr waren es 7 KTI- und 12 EU-Projekte mit direktem Bezug zur Photovoltaik. Andererseits bestehen durch die fehlenden P+D-Mittel und dem begrenzt wachsenden 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 2008 auf mindestens 1'500 Mio. CHF geschätzt. Zusammen mit dem Heimmarkt kann der Gesamtumsatz der Schweizer Photovoltaik mit mindestens 1'600 Mio. CHF beziffert werden.

Die Umsetzung der Schweizer Photovoltaik-Forschung in industrielle Produkte ist damit vor allem auf dem Gebiet der Dünnschichtsolarzellen in den letzten Jahren eine Erfolgsgeschichte, welche in guter Übereinstimmung mit den langjährigen Programmzielen geschieht. Im Berichtsjahr wurden zwei konkrete Industrievorhaben vorangetrieben, welche erstmals auch die Produktion von Dünnschichtsolarzellen im industriellen Massstab in der Schweiz beinhalten: 25 MW durch Flexcell bzw. VHF-Technologies in Yverdon, 30 MW durch Pramac bei Locarno. Ebenfalls erfolversprechend, 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 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 bildet die Grundlage für die Ausrichtung der Photovoltaik Forschung ab 2008 [59]. Das entsprechende Detail Forschungskonzept wurde im Berichtsjahr fertig gestellt und im Sommer von der CORE zur Ausführung genehmigt [60]. Darin werden die jüngsten nationalen und internationalen Entwicklungen berücksichtigt und die Prioritäten der nächsten Jahre festgelegt.

Der nationale Informations- und Erfahrungsaustausch bleibt in der Schweiz weiterhin ein wichtiges Thema. Im Juni 2008 fand in Biel der erste Photovoltaic Executive Day mit Entscheidungsträgern aus der Photovoltaik Forschung, der Schweizer Industrie und der Verwaltung (BFE, KTI, CORE) erfolgreich statt.

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 23. Europäischen Photovoltaik Konferenz im September in Valencia mit ihren Beiträgen gut vertreten [98].

Für das Jahr 2009 kann in Bezug auf die Photovoltaik Forschung weiterhin von einer dynamischen Situation ausgegangen werden. Die Photovoltaik ist eine der Technologien, welche im 2009 in der Forschung mit höherer Priorität gefördert wird (BFE). Dies sollte es erlauben, die vorhandenen Kompetenzen weiter auszubauen, um so den wachsenden Anforderungen an diese Forschung wenigstens teilweise gerecht zu werden. Die Möglichkeiten weitergehender Technologieinitiativen soll im Jahr 2009 weiter verfolgt werden. Interessante Perspektiven entstehen zudem durch den Umstand, dass die Forschungsgruppen von Neuchâtel und Zürich ihre institutionelle Anbindung wechseln, sodass auch dadurch neue Entwicklungen zu erwarten sind.

7. Liste der F+E-Projekte

Jahresbericht 2008 vorhanden

Schlussbericht vorhanden (siehe www.energieforschung.ch unter der angegebenen Projektnummer)

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

- [1] C. Ballif, A. Feltrin, F. Sculatti-Meillaud, S. Fay, F.J. Haug, V. Terrazzoni-Daudrix, R. Theron, R. Tschärner (christophe.ballif@epfl.ch) IMT, UNI-Neuchâtel, Neuchâtel: **New processes and device structures for the fabrication of high efficiency thin film silicon photovoltaic modules** (Jahresbericht) <http://www.unine.ch/pv>.
- [2] F.J. Haug, (franz-josef.haug@epfl.ch), IMT, UNI-Neuchâtel, Neuchâtel: **Flexible Photovoltaics – next generation high efficiency and low cost thin film silicon modules** (Jahresbericht) <http://www.unine.ch/pv>.
- [3] C. Ballif, (christophe.ballif@epfl.ch) IMT, UNI-Neuchâtel, Neuchâtel: **Development of a novel surface treatment of LP-CVD ZnO layers used as Transparent Conductive Oxide for thin film silicon solar cells** <http://www.unine.ch/pv>.
- [4] S. De Wolf, S. Olibet, J. Damon-Lacoste, L. Fesquet, C. Ballif (stefaan.dewolf@epfl.ch), IMT, UNI-Neuchâtel, Neuchâtel: **High efficiency thin-film passivated silicon solar cells and modules - THIFIC: Thin film on crystalline Si** (Jahresbericht) <http://www.unine.ch/pv>.
- [5] S. De Wolf, J. Damon-Lacoste, L. Fesquet, S. Olibet, C. Ballif, (stefaan.dewolf@epfl.ch), IMT, UNI-Neuchâtel, Neuchâtel: **HETSI: Heterojunction Solar Cells based on a-Si / c-Si** (Jahresbericht) <http://www.unine.ch/pv>.
- [6] V. Terrazzoni, F.-J. Haug, C. Ballif, (vanessa.terrazzoni@epfl.ch), IMT, UNI-Neuchâtel, Neuchâtel: **FLEXCELLENCE: Roll-to-roll technology for the production of high efficiency low cost thin film silicon photovoltaic modules** (Jahresbericht) <http://www.unine.ch/flex>.
- [7] N. Wyrsh, C. Ballif, (nicolas.wyrsh@epfl.ch), IMT, UNI-Neuchâtel, Neuchâtel: **ATHLET: Advanced Thin Film Technologies for Cost Effective Photovoltaics** (Jahresbericht) <http://www.hmi.de/projects/athlet> / <http://www.unine.ch/pv>.
- [8] Ch. Hollenstein, (christophe.hollenstein@epfl.ch) EPFL - CRPP, Lausanne A new low ion energy bombardment PECVD reactor for the deposition of thin film silicon for solar cell applications <http://crppwww.epfl.ch>.
- [9] D. Gablinger, R. Morf, (david.gablinger@psi.ch), PSI, Villigen: **Zweidimensionale Nanostrukturen für Silizium-Solarzellen** (Jahresbericht) <http://www.psi.ch>.
- [10] X. Maeder, J. Michler, (Xavier.Maeder@empa.ch), Empa, Thun: **HIGH-EF - Large grained, low stress multi-crystalline silicon thin film solar cells on glass by a novel combined diode laser and solid phase crystallization process** (Jahresbericht) <http://www.empathun.ch>.
- [11] D. Brémaud, P. Blösch, D. Güttler, A.N. Tiwari, (Avodhya.Tiwari@empa.ch), ETH, Zürich: **Large Area flexible CIGS: Flexible CIGS solar cells on large area polymer foils with in-line deposition methods and application of alternative back contacts** (Jahresbericht) <http://www.tfp.ethz.ch>.
- [12] A. N. Tiwari, C. Hibberd, Y.E. Romanyuk, (Avodhya.Tiwari@empa.ch), ETH, Zürich: **Thin Film CIGS Solar Cells with a Novel Low Cost Process** (Jahresbericht) <http://www.tfp.ethz.ch>.
- [13] D. Güttler, A. Chirila, Dr. A. N. Tiwari, (Avodhya.Tiwari@empa.ch), ETH, Zürich: **LARCIS: Large-Area CIS Based Solar Modules for Highly Productive Manufacturing** (Jahresbericht) <http://www.tfp.ethz.ch>.

- [14] D. Güttler, S. Bücheler, S. Seyrling, R. Verma, A. N. Tiwari, (Avodhya.Tiwari@empa.ch), ETH, Zürich: **ATHLET: Advanced Thin-Film Technologies for Cost Effective Photovoltaics** (Jahresbericht) <http://www.hmi.de/projects/athlet/> / <http://www.tfp.ethz.ch>.
- [15] A. N. Tiwari, (Avodhya.Tiwari@empa.ch), ETH, Zürich: **Laser patterning of Cu(In,Ga)Se₂ solar cells on flexible foils for monolithic integration** (Jahresbericht) <http://www.tfp.ethz.ch>.
- [16] R. Kern, M. Kaelin, (marc.kaelin@flisom.ch), Flisom, Zürich: **Development of flexible CIGS Solar Modules with metal Grids** (Jahresbericht) <http://www.flisom.ch>.
- [17] R. Thampi, (ravindranathan.thampi@epfl.ch), EPFL - ISIC, Lausanne: **ROBUST DC: Efficient and Robust Dye Sensitized Solar Cells and Modules** (Jahresbericht) <http://isic.epfl.ch>.
- [18] ¹ J.O. Schumacher, ¹ M. Schmid, ² G. Rothenberger, ² S. Wenger, (juergen.schumacher@zhaw.ch), ¹ Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften ZHAW - ICP, Winterthur ² EPFL - LPI, Lausanne: **ModSol: Modeling, simulation and loss analysis of dye-sensitized solar cells** (Jahresbericht) <http://www.zhaw.ch>.
- [19] R. Hany, F.A. Castro, F. Nüesch, J. Heier, (roland.hany@empa.ch), EMPA, Dübendorf: **Organic photovoltaic devices** (Jahresbericht) <http://www.empa.ch>.
- [20] F. Nüesch, (frank.nueesch@empa.ch), EMPA, Dübendorf: **HIOS-Cell** <http://www.empa.ch>.
- [21] F. Nüesch, (frank.nueesch@empa.ch), EMPA, Dübendorf: **Transparent and Flexible Solar Cell Electrodes made from Precision Fabric** <http://www.empa.ch>.
- [22] ¹ B. Ruhstaller, ¹ R. Häusermann, ¹ N. A. Reinke, ² C. Winnewisser, ² T. Offermans, ³ M. Turbiez, ³ M. Duggeli, ⁴ R. Janssen, ⁵ J. Bisquert, (beat.ruhstaller@zhaw.ch), ¹ ZHAW, Winterthur, ² CSEM, Basel, ³ Ciba Inc., Basel, ⁴ TU Eindhoven, Netherlands, ⁵ Universitat Jaume I, Spain: **Apollo: Efficient areal organic solar cells via printing** (Jahresbericht).
- [23] T. Meyer, (toby@solaronix.com), Solaronix, Aubonne: **OrgaPVNet: Coordination Action towards stable and low-cost organic solar cell technologies and their application** (Jahresbericht) <http://www.solaronix.com>.
- [24] T. Meyer, A. Meyer, (toby@solaronix.com), Solaronix, Aubonne: **NAPOLYDE: Nano structured polymer deposition processes for mass production of innovative systems for energy production & control and for smart devices** (Jahresbericht) <http://www.solaronix.com>.
- [25] T. Meyer, A. Meyer, (toby@solaronix.com), Solaronix, Aubonne: **FULLSPECTRUM: A new PV wave making more efficient use of the solar spectrum** (Jahresbericht) <http://www.fullspectrum-eu.org> / www.solaronix.com.
- [26] D. Brühwiler, (bruehwi@aci.uzh.ch), ACI - University of Zurich, Zürich: **Development of efficient luminescent concentrators based on inorganic/organic nanomaterials for applications in solar energy conversion** (Jahresbericht) <http://www.aci.uzh.ch>.
- [27] F. Nüesch, (frank.nueesch@empa.ch), EMPA, Dübendorf: **ThinPV - Cost efficient thin film photovoltaics for future electricity generation** (Jahresbericht) <http://www.empa.ch>.
- [28] M. Spirig, (info@solarenergy.ch), Institut für Solartechnik SPF, Rapperswil: **PECNet: Aufbau eines Schweizer Kompetenznetzwerks für die Solare Wasserspaltung mittels hybrider PV-PEC Zellen** (Jahresbericht, Schlussbericht Projekt 101883) <http://www.solarenergy.ch>.
- [29] T. Szacsavay, (sz@3-s.ch), 3S, Lyss: **BIPV-CIS- Improved integration of PV into existing buildings by using thin film modules for retrofit** (Schlussbericht) <http://www.3-s.ch>.
- [30] T. Szacsavay, (sz@3-s.ch), 3S, Lyss: **Smartile: Innovative Photovoltaik-Indachlösung** (Jahresbericht) <http://www.3-s.ch>.
- [31] Y. Leterrier, J. Rion, L. Lalande, P. Liska, A. Vasilopoulos, (yves.leterrier@epfl.ch), EPFL - LTC, Lausanne: **Ultralight Photovoltaic Structures** (Jahresbericht, Schlussbericht) <http://lhc.epfl.ch>.
- [32] D. Chianese, N. Cereghetti, A. Realini, G. Friesen, E. Burà, I. Pola, T. Friesen, R. Rudel (domenico.chianese@supsi.ch), SUPSI, DACD, ISAAC-TISO, Canobbio: **Centrale di test ISAAC-TISO: Qualità e resa energetica di moduli fotovoltaici** (Jahresbericht) <http://www.isaac.supsi.ch>.
- [33] G. Friesen, I. Pola, T. Friesen, K. Nagel, F. Morini, A. Jimenez, (gabi.friesen@supsi.ch), SUPSI, DACD, ISAAC-TISO, Canobbio: **PERFORMANCE - ISAAC Activities** (Jahresbericht) <http://www.pv-performance.org> / www.isaac.supsi.ch.
- [34] R. Rudel, D. Chianese (domenico.chianese@supsi.ch), SUPSI, DACD, ISAAC-TISO, Canobbio: **Lifetime, mechanical and security testing for PV module certification** <http://www.isaac.supsi.ch>.
- [35] H. Häberlin, L. Borgna, D. Gfeller, M. Kämpfer, M. Münger, Ph. Schär, U. Zwahlen, (heinrich.haeberlin@bfh.ch), Berner Fachhochschule, Technik und Informatik, Burgdorf: **Photovoltaik Systemtechnik 2007-2010 (PVSYSTE 07-10)** (Jahresbericht) <http://www.pvtest.ch>.
- [36] P. Gaillard, (pgaillard@maxwell.com), Maxwell Technologies, Rossens: **SoS-PVi: Security of Supply Photovoltaic Inverter** (Jahresbericht, Schlussbericht) <http://www.maxwell.com>.
- [37] W. Durisch, (wilhelm.durisch@psi.ch) PSI, Villigen: **FULLSPECTRUM: A new PV wave making more efficient use of the solar spectrum** (Schlussbericht) <http://www.fullspectrum-eu.org> / <http://www.psi.ch>.
- [38] A. Borschberg, (andre.borschberg@solarimpulse.com), Solar Impulse, Lausanne: **Solarimpulse** <http://www.solar-impulse.com>.
- [39] R. Domjan, (info@planetsolar.org), PlanetSolar, Yverdon-les-Bains: **PlanetSolar** <http://www.planetsolar.org>.
- [40] P. Hüsser, (pilus.huesser@novaenergie.ch), Nova Energie, Aarau: **Schweizer Beitrag zum IEA PVPS Programm - Task 1** (Jahresbericht) www.iea-pvps.org / <http://www.novaenergie.ch>.
- [41] Th. Nordmann, L. Clavadetscher, (nordmann@tnc.ch), TNC Consulting, Erlenbach: **IEA PVPS Programm Task 2 Schweizer Beitrag 2008** (Jahresbericht) <http://www.tnc.ch>.
- [42] S. Nowak, M. Ndo Rossier, C. Spörndli, (info@repic.ch), NET, St. Ursen: **REPIC: Swiss Interdepartmental Platform for Renewable Energy and energy efficiency Promotion in International Cooperation** (Jahresbericht) <http://www.repic.ch>.

- [43] P. Renaud, L. Perret, (pierre.renaud@planair.ch), Planair, La Sagne: **IEA PVPS Task 10 – Swiss contribution** (Jahresbericht) <http://www.planair.ch>.
- [44] M. Ryser, (michel.ryser@solarmax.com), Sputnik, Biel: **IEA PVPS Task 11 : Hybride Photovoltaik Systemen in Mini-netzen**.
- [45] R. Frischknecht, M. Stucki (frischknecht@esu-services.ch), ESU-services, Uster: **IEA-PVPS Task 12: Swiss activities in 2008 - Aktualisierung der Ökobilanz von CdTe - PV** (Jahresbericht) <http://www.esu-services.ch>.
- [46] J. Remund, (remund@meteotest.ch), Meteotest, Bern: **IEA SHC Task 36: Solar resource knowledge management** (Jahresbericht) <http://www.meteotest.ch>.
- [47] P. Ineichen, (pierre.ineichen@unige.ch), UNIGE Groupe Energie, Genève: **Solar Resource Management, IEA Solar Heating & Cooling Programme, Task 36** <http://www.unige.ch/energie/>.
- [48] P. Toggweiler, T. Hostettler, (peter.toggweiler@enecolo.ch), Swissolar, Zürich: **Normierung für PV-Systeme** (Jahresbericht) <http://www.swissolar.ch> / <http://www.enecolo.ch>.
- [49] ¹ S. Nowak, ¹ M. Gutschner, ¹ S. Gnos; ² S. Oberholzer, (stefan.nowak@netenergy.ch), ¹ NET, St. Ursen, ² BFE, Ittigen: **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)** (Jahresbericht) <http://www.pv-era.net> / <http://www.netenergy.ch>.

8. Liste der P+D-Projekte

Jahresbericht 2008 vorhanden

Schlussbericht vorhanden (siehe www.energieforschung.ch unter der angegebenen Projektnummer)

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

- [50] Th. Nordmann, (nordmann@tnc.ch), TNC Consulting, Erlenbach: **Bifaciale Photovoltaik-Lärmschutzanlage** <http://www.tnc.ch>.
- [51] D. Chianese, (domenico.chianese@supsi.ch), SUPSI, DACD, ISAAC-TISO, Canobbio: **Degradations- und Annealingverhalten von Modulen mit amorphen Zellen** (Jahresbericht) <http://www.isaac.supsi.ch>.
- [52] Th. Böhni, (boehni@euu.ch), Böhni Energie und Umwelt, Frauenfeld: **Nullenergieschulhaus Heilpädagogisches Zentrum Ekkharthof Kreuzlingen** (Jahresbericht) <http://www.euu.ch>.
- [53] P. Toggweiler, (info@enecolo.ch), Enecolo, Mönchaltorf: **Praxistest Backup Wechselrichter** (Jahresbericht) <http://www.solarstrom.ch>.
- [54] P. Goulpié, (pascal.goulpie@flexcell.com), VHF-Technologies, Yverdon, **Toiture expérimentale 2kW Flexcell** (Jahresbericht) <http://www.flexcell.ch>.
- [55] Th. Hostettler (Hostettler_Engineering@Compuserve.com), Ingenieurbüro Hostettler, Bern: **Messkampagne Wittigkofen**
- [56] Th. Hostettler (Hostettler_Engineering@Compuserve.com), Ingenieurbüro Hostettler, Bern: **Photovoltaic Energy Statistics of Switzerland 2007** (Jahresbericht).
- [57] Ch. Meier, (info@energieburo.ch), Energiebüro, Zürich: **Preparation and Realisation of the Test- and Pilot Installation SOLIGHT** (Schlussbericht Projekt 100116) <http://www.energieburo.ch>.
- [58] P. Toggweiler, (info@enecolo.ch), Enecolo, Mönchaltorf: **Dachintegration mit amorphen Dünnschichtzellen Turnhalle Wiesendangen** (Schlussbericht Projekt 101788) <http://www.solarstrom.ch>.

9. Referenzen

- [59] **Konzept der Energieforschung des Bundes 2008 bis 2011**, Eidgenössische Energieforschungskommission CORE, 2007, <http://www.energieforschung.ch>.
- [60] **Konzept des Energieforschungsprogramm Photovoltaik für die Jahre 2008 - 2011**, Bundesamt für Energie, 2008, <http://www.photovoltaic.ch>.
- [61] <http://www.pv-era.net>.
- [62] **A Look Inside Solar Cells**, Workshop 16. - 18. November 2008 in Ascona, Organisation: F. Nüesch, (frank.nueesch@empa.ch), EMPA, Dübendorf, <http://www.empa.ch/scw>.
- [63] **Current state-of-the art and best practices of BiPV**, <http://www.pv-performance.org>.
- [64] **Regulations and building codes for BiPV systems in Europe**, September 2008, <http://www.pv-performance.org>.
- [65] **Actual temperatures of building integrated PV modules**, September 2008, <http://www.pv-performance.org>.
- [66] **Annual Report 2008**, IEA PVPS, 2009, <http://www.iea-pvps.org>.
- [67] **National Survey Report on PV Power Applications in Switzerland 2007**, P. Hüsler, (pius.huessler@novaenergie.ch), Nova Energie, August 2008.
- [68] **Trends in Photovoltaic Applications in selected IEA countries between 1992 and 2007**, IEA PVPS Task T1-17:2008, <http://www.iea-pvps.org>.

- [69] **Nachhaltigkeitsstudie – Solarenergie 2008 – Stürmische Zeiten vor dem nächsten Hoch**, M. Fawer-Wasser (matthias.fawer@sarasin.ch), Sarasin, November 2008.
- [70] **MIT Future of Solar Energy Study**, Executive Director: Joshua Linn (jlinn@mit.edu), Massachusetts Institute of Technology (MIT), Cambridge MA USA.
- [71] **Solar PV Development Strategies in Europe, 2008–2020**, Thomas Gregory (tgregory@emerging-energy.com), Emerging Energy Research, Cambridge MA USA, <http://www.emerging-energy.com>, June 2008.
- [72] **Photovoltaic Energy Generation**, General Secretary: Thomas P. Pearsall, (Pearsall@epic-assoc.com), EPIC, Paris <http://www.epic-assoc.com>.
- [73] **IEA PVPS Newsletter**, zu beziehen bei Nova Energie, Schachenallee 29, 5000 Aarau, Fax 062 834 03 23, (pius.huesser@novaenergie.ch).
- [74] <http://www.iea-pvps.org>.
- [75] **Performance Database**, IEA PVPS Task 2, May 2007, download: <http://www.iea-pvps-task2.org>
- [76] <http://www.repic.ch>.
- [77] **Renewable Energy Services for Developing Countries - In Support of the Millennium Development Goals: Recommended Practice & Key Lessons**, IEA PVPS Task 9-09-2008, February 2008, <http://www.iea-pvps.org>.
- [78] <http://www.pvupscale.org>.
- [79] **Country Specific Added Value Analysis of PV Systems**, IEA PVPS Task 10-02-2008, January 2008, <http://www.iea-pvps.org> / <http://www.iea-pvps-task10.org>.
- [80] **Urban BIPV in the New Residential Construction Industry**, IEA PVPS Task 10-03-2008, January 2008, <http://www.iea-pvps.org> / <http://www.iea-pvps-task10.org>.
- [81] **Examples of community-scale PV installation in urban area: PV community database**, IEA PVPS Task 10-04-2008, January 2008, <http://www.iea-pvps.org> / <http://www.iea-pvps-task10.org>.
- [82] **Visual Tool for Photovoltaics Operating on Electric Grids**, 2008, <http://www.iea-pvps-task10.org>.
- [83] **IEA PVPS Educational Tool: Building Integrated PV Educational Tool**, <http://www.bipvtool.com>.
- [84] **Study on the development of a take back and recovery system for photovoltaic products**, K. Sander, (sander@oekopol.de), Ökopol, November 2007, <http://www.pvcycle.org>.
- [85] **IEC 61646** (2008-05) Ed. 2.0 Bilingual English and French: Thin-film terrestrial photovoltaic (PV) modules - Design qualification and type approval <http://www.iec.ch>.
- [86] **IEC 62116** (2008-09) Ed. 1.0 Bilingual English and French: Test procedure of islanding prevention measures for utility-interconnected photovoltaic inverters <http://www.iec.ch>.
- [87] **IEC/TS 62257-7** (2008-04) Ed. 1.0 English: Recommendations for small renewable energy and hybrid systems for rural electrification - Part 7: Generators <http://www.iec.ch>.
- [88] **IEC/TS 62257-7-3** (2008-04) Ed. 1.0 English: Recommendations for small renewable energy and hybrid systems for rural electrification - Part 7-3: Generator set - Selection of generator sets for rural electrification systems <http://www.iec.ch>.
- [89] **IEC/TS 62257-9-1** (2008-09) Ed. 1.0 English: Recommendations for small renewable energy and hybrid systems for rural electrification - Part 9-1: Micropower systems <http://www.iec.ch>.
- [90] **IEC/TS 62257-9-6** (2008-09) Ed. 1.0 English: Recommendations for small renewable energy and hybrid systems for rural electrification - Part 9-6: Integrated system - Selection of Photovoltaic Individual Electrification Systems (PV-IES) <http://www.iec.ch>.
- [91] **IEC 60904-7** (2008-11) Ed. 3.0 Bilingual English and French: Photovoltaic devices - Part 7: Computation of the spectral mismatch correction for measurements of photovoltaic devices <http://www.iec.ch>.
- [92] **IEC 60904-3** (2008-04) Ed. 2.0 Bilingual English and French: Photovoltaic devices - Part 3: Measurement principles for terrestrial photovoltaic (PV) solar devices with reference spectral irradiance data <http://www.iec.ch>.
- [93] **Schweizer Nationalkomitee - Technische Fachkommission TK 82**, Kontakt: Electrosuisse, Ansprechpartner des TK 82, Eliane Andenmatten (eliane.andenmatten@electrosuisse.ch, 044 956 11 11), Vorsitzenden des TK 82, Herrn Peter Toggweiler (Peter.Toggweiler@enecolo.ch, 044 994 90 01).
- [94] http://ec.europa.eu/research/fp6/index_en.cfm?p=9_eranet.
- [95] **Strategic Research Agenda for Photovoltaic Solar Energy Technology**, The European Photovoltaic Technology Platform, 2007, http://www.eupvplatform.org/fileadmin/Documents/PVPT_SRA_Complete_070604.pdf.
- [96] <http://www.eupvplatform.org>.
- [97] **European Strategic Energy Technology Plan (SET Plan)**, http://ec.europa.eu/energy/technology/set_plan/set_plan_en.htm.
- [98] **Die 23rd European Photovoltaic Solar Energy Conference & Exhibition Valencia 01. - 05.09.2008 aus Schweizer Sicht**, zu beziehen bei der Programmleitung Photovoltaik, c/o NET, Waldweg 8, 1717 St. Ursen, info@netenergy.ch, <http://www.photovoltaic.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
BFH-TI	Berner Fachhochschule für Technik und Informatik Burgdorf	http://www.hti.bfh.ch , http://www.pvtest.ch
CCEM	Kompetenzzentrum Energie und Mobilität	http://www.ccem.ch
CORE	Eidgenössische Energieforschungskommission	http://www.bfe.admin.ch
CRPP	Centre de Recherche en Physique des Plasmas EPFL	http://crppwww.epfl.ch
CSEM	Centre Suisse d'Electronique et de Microtechnique SA	http://www.csem.ch
DACD	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
HSR	Hochschule für Technik Rapperswil	http://www.hsr.ch
ICP	Institute of Computational Physics	http://www.icp.zhaw.ch
IEC	International Electrotechnical Commission	http://www.iec.ch
IMT	Institut de Microtechnique Universität Neuchâtel	http://pvlab.epfl.ch
IMX	Institut des matériaux	http://imx.epfl.ch
ISAAC	Institute for applied sustainability to the built environment	http://www.isaac.supsi.ch
ISIC	Institute of Chemical Sciences and Engineering	http://isic.epfl.ch
KTI	Förderagentur für Innovation	http://www.kti-cti.ch
LPI	Laboratoire de photonique et interfaces	http://isic.epfl.ch/lpi
LTC	Laboratoire de technologie des composites et polymères	http://ltc.epfl.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
SPF	Institut für Solartechnik	http://www.solarenergy.ch
SUPSI	Scuola universitaria professionale della Svizzera Italiana	http://www.supsi.ch
VSE	Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen	http://www.strom.ch
ZHAW	Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften	http://www.zhaw.ch

Internationale Organisationen

EU (RTD)	Europäische Union (RTD-Programme)	http://www.cordis.lu
	Forschungs- und Entwicklungsinformationsdienst der Europäischen Gemeinschaft	
GEF	Global Environment 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 Programme	http://www.iea-shc.org
IEA PACES	IEA SolarPACES	http://www.solarpaces.org
IEA PVPS	IEA Photovoltaic Power Systems Programme	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
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

12. Weiterführende Internetlinks

	Photovoltaik Webseite Schweiz	http://www.photovoltaiic.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
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/

