

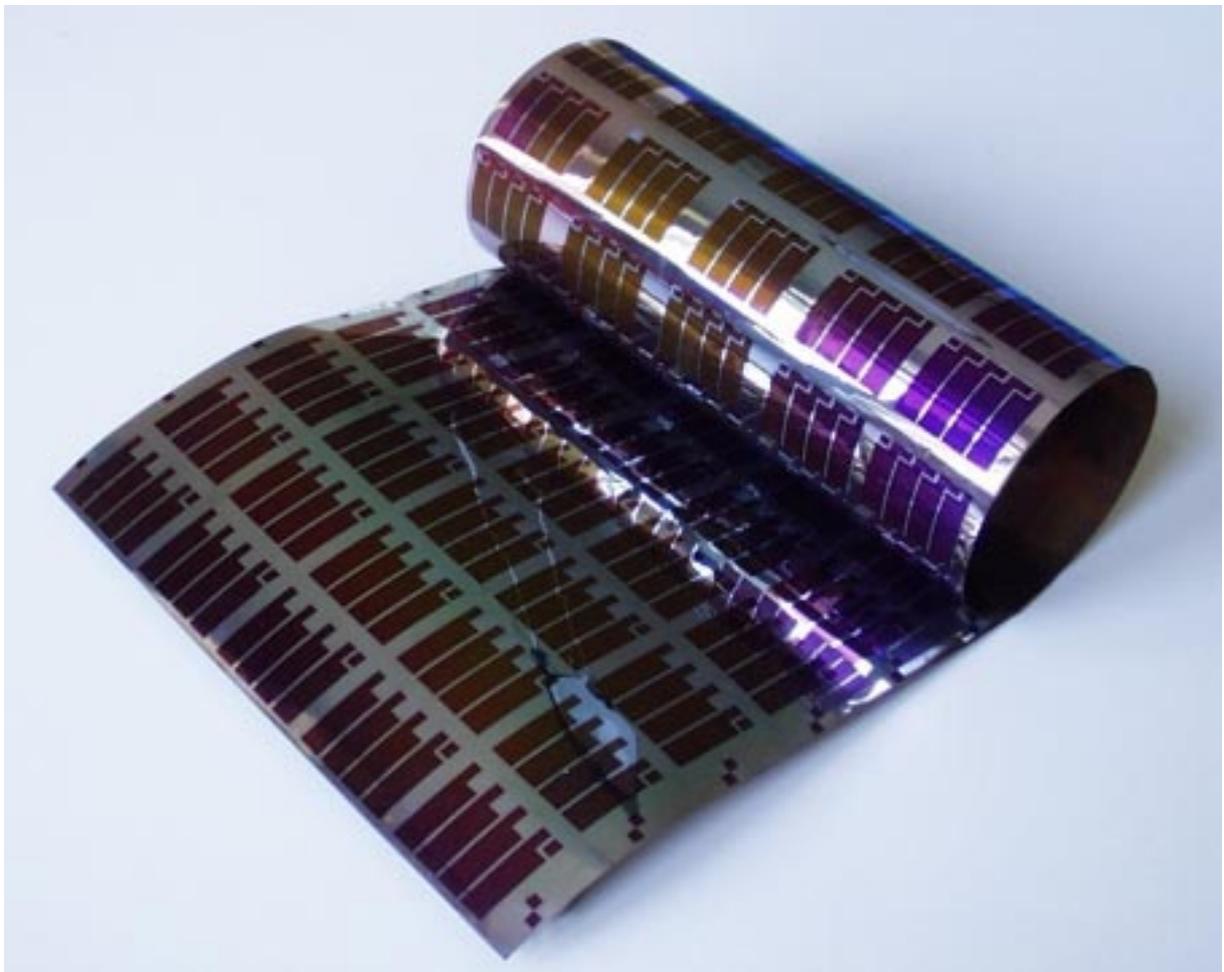
## PHOTOVOLTAIK

Überblicksbericht  
zum Forschungsprogramm 1999

**Stefan Nowak**

[stefan.nowak.net@bluewin.ch](mailto:stefan.nowak.net@bluewin.ch)

---



### **Solarzellen auf Kunststoffsubstraten:**

Flexibilität des Substrates, Leistung/Gewicht und kontinuierliche *roll-to-roll* Prozesse eröffnen neue Möglichkeiten, von der Kleinanwendung über die Gebäudeintegration bis zur Anwendung im Weltraum. Am Universität Neuenburg und am ETH Zürich wird an diesen Konzepten gearbeitet (*Bild* ©IMT).

## Programmübersicht und anvisierte Zielpunkte für 1999

Das Jahr 1999 war für das Programm Photovoltaik durch die Steigerung anwendungsorientierter Projekte im nationalen Rahmen und eine vermehrte internationale Zusammenarbeit gekennzeichnet. Die Zusammenarbeit mit der Industrie konnte dabei weiter intensiviert werden, sowohl in der Schweiz wie international. Das Berichtsjahr umfasst mehr als 80 Forschungs- und P+D-Projekte. Damit konnte, sowohl in Anzahl wie in Bezug auf den Mitteleinsatz, eine weitere Steigerung erzielt werden.

Die 5 Programmbereiche gliedern sich in folgende Themen und Zielsetzungen auf:

**Zellen:** Dünnschicht-Zellen bilden weiterhin den Schwerpunkt, wobei sich die Arbeiten auf Solarzellen mit dem Grundmaterial **Silizium** konzentrieren. Die Untersuchungen zu weiteren Formen von Silizium (Bandsilizium, Nieder-Bandgap-Silizium) wurden intensiviert. Die im Rahmen von internationalen Projekten verfolgten Arbeiten zu anderen Materialtechnologien (insbesondere Verbindungshalbleiter, Farbstoffzellen) wurden im Berichtsjahr fortgesetzt. Dünnschichtzellen auf Kunststoffen erlangen vermehrte Beachtung, insbesondere für Weltraumanwendungen.

**Module und Gebäudeintegration:** Neue Produkte und Systeme für die **Integration der Photovoltaik** im bebauten Raum bilden nach wie vor einen wichtigen Schwerpunkt. Für den Flach- und Schrägdachbereich besteht mittlerweile eine ansprechende Vielfalt von Lösungen, welche laufend ergänzt wird. Neue Projekte

suchen nach weiteren, bisher nicht vorhandenen Anwendungen an der Fassade wie im Dachbereich.

**Systemtechnik:** Während sich auf der Produktebene eine gewisse Sättigung manifestiert, kommt der **Qualitätsprüfung** der verschiedenen Komponenten eine wachsende Bedeutung zu. Gleichzeitig werden aufgrund der zahlreichen Anlagen neue Trends aus technischer Sicht erkennbar. Die Annäherung an die Haustechnik stellt dabei nur eine der beobachteten Tendenzen dar.

**Diverse Projekte und Studien:** In diesen Bereich fallen Arbeiten zur längerfristigen Abschätzung wichtiger Indikatoren der Photovoltaik. **Kombinierte Nutzungsformen** der Photovoltaik werden verstärkt untersucht (z.B. Hybridtechnologien, Thermophotovoltaik). Fortgeschrittene, benutzerfreundliche und präzise **Hilfsmittel** liegen inzwischen in umfassender Art vor und erlauben eine bessere Planung der Anlagen.

**Internationale Zusammenarbeit:** Die internationale Zusammenarbeit bildet ein zentrales Standbein der Arbeiten und wird in allen Bereichen verfolgt. Der Anschluss an die internationale Entwicklung sowie ein intensivierter Informationsaustausch war auch im Berichtsjahr ein wichtiges Ziel, welches im Rahmen der internationalen Programme der **EU** sowie der **IEA** weiterverfolgt wurde.

## 1999 durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse

### ZELL-TECHNOLOGIE

Eine weitere Phase des Projekts **Mikromorphe Solarzellen** [1a] am IMT konnte im Berichtsjahr abgeschlossen werden. Für das mikrokristalline Silizium wurden sowohl die p-i-n- wie die umgekehrte n-i-p-Schichtabfolge vorangetrieben. Die für den Lichteinfang durch Texturierung bedeutenden transparenten Oxidschichten (TCO) auf der Basis von ZnO erreichten im Vergleich zu kommerziellen Herstellern sehr gute Eigenschaften. Mit dem besten Wirkungsgrad der mikromorphen p-i-n-p-i-n-Zelle von 11.6% wurde das Gesamtziel von 12% annähernd erreicht. Es wurden erste, laserstrukturierte Minimodule ( $23.5 \text{ cm}^2$ ) von mikromorphen Zellen mit einem Wirkungsgrad von 9.2% hergestellt. Im ergänzenden EU-Projekt NEST [1b] wurden für mikromorphe Zellen umgekehrte Schichtabfolgen (n-i-p-n-i-p) untersucht. Das PSEL-Projekt zur Abscheidung von **amorphen Zellen auf Kunststoff-Substraten** (Polyimid) [1c] wurde mit der Demonstration von Kleinmodulen und einem Prototypen für ein Fassadenelement durch SCHWEIZER abgeschlossen. Im neuen Projekt SOLANT mit Unterstützung der ESA wurde die Integration von **Satellitenantennen** und Solarzellen in ein Element untersucht [1d]. Auf Polyimid können auf diese Art interessante, auf das Gewicht be-

zogene Leistungsmerkmale von 430 W/kg erzielt werden, was bereits höher ist als die heute verwendeten Technologien. Für elektronische Kleinanwendungen, insbesondere Uhren, wurde im EUREKA-Projekt SOLINOX der Prozess für grossflächige ( $30 \times 30 \text{ cm}^2$ ), monolithische amorphe Solarzellen auf Stahl entwickelt [1e]. An der japanischen PVSEC-11-Konferenz wurden die Arbeiten des IMT mit dem Preis "*best paper for its outstanding contribution to the progress in photovoltaic science and engineering*" ausgezeichnet.

Am CRPP an der EPFL wurde das Projekt zur grossflächigen Abscheidung von mikrokristallinem Silizium und zur **Erhöhung der Depositionsraten** [2] im Berichtsjahr abgeschlossen. Es wurden zwei Alternativen zur Deposition von mikrokristallinem Silizium untersucht: Variation der Plasmachemie durch  $\text{SiF}_4$  anstelle von Silan ( $\text{SiH}_4$ ) und die schnelle Deposition (bis  $100 \text{ \AA/s}$ ) in einem DC-Bogen. Die Arbeiten werden in einem neuen KTI-Projekt zusammen mit BALZERS und IMT fortgesetzt.

Am PSI wurde in Zusammenarbeit mit der Firma EVERGREEN (USA) das Projekt zur Übertragbarkeit der PSI-Prozesse für dünne hocheffiziente Siliziumzellen auf **Bandsilizium** [3a] abgeschlossen. Durch die

Kombination von Wasserstoff-Passivierung mit dem Gettern von Verunreinigungen konnte auf 200µm dicken polykristallinen Siliziumbändern ein Wirkungsgrad von 15.2% erzielt werden. Im EU-Projekt **CRYSTAL** [3c] wurden am PSI weitere Depositionsmethoden für mikrokristallines Silizium sowie der Lichteinfall durch Substratstrukturierung und TCO-Schichten untersucht. In einem neuen Projekt [3b] wird die Entwicklung von **Nieder-Bandgap-Zellen** auf der Basis von Germanium für die Anwendung der Thermophotovoltaik untersucht.

Solarzellen auf der Basis von Verbindungshalbleitern werden in mehreren EU-Projekten an der ETHZ untersucht: Im Projekt **LACTEL** [4a] werden strukturelle und elektronische Eigenschaften der durch Elektrodeposition und Vakuumverdampfung hergestellten CdTe-Schichten bestimmt. Im neuen Projekt **CADBACK** [4c] geht es um die Optimierung des Rückkontakts und die Stabilität von CdTe-Zellen. Im Projekt **WIDE GAP CPV** [4b] werden grundlegende Untersuchungen an Cu(In,Ga)<sub>x</sub>Se<sub>2</sub>-Schichten weitergeführt. Im neuen Projekt **FLEXIS** [4d] werden unter Benützung eines Zwischen-Prozesses auf Glas CIGS-Zellen auf Polyimid abgeschieden. Dabei konnte bisher ein guter Wirkungsgrad von 12.8% erreicht werden.

Farbstoffsensibilisierte **nanokristalline Solarzellen** (GRÄTZEL-Zellen) bilden eine weitere, vieldiskutierte Materialvariante, welche zum Teil im Rahmen von EU-Projekten verfolgt werden. Im Projekt am ICP der EPFL [5a] geht es weiterhin um **grundlegende Arbeiten** zur Weiterentwicklung dieses Konzepts, insbesondere den Einsatz von festen Elektrolyten und neuen Farbstoffen. In einem neuen PSEL-Projekt [5b] werden Freiluftmessungen an Farbstoffzellen auf dem Mont-Soleil durchgeführt. Bei LECLANCHÉ wurde das EU-Projekt **Indoor dye PV's** [6] für neue Anwendungen für den Innenraum abgeschlossen. Der grundlegenden Frage nach der **Langzeit-Stabilität** [7] dieser Zelle wird in einem neuen Projekt bei SOLARONIX nachgegangen.

Das neue Konzept von **Antennen Solarzellen** [8] unter Verwendung von farbstoffbeladenen Zeolith-Kristallen wurde an der Uni-Bern im Rahmen des Programms Solarchemie sowie mit Unterstützung des schweizerischen Nationalfonds weiterverfolgt. Der entsprechende grundlegende Nachweis der Antennenfunktion konnte erbracht werden, was längerfristig zu neuen Solarzellenkonzepten führen kann.

## **SOLARMODULE & GEBÄUDEINTEGRATION** (siehe auch P+D)

Das Projekt betreffend neue Systeme für das **Flachdach** [9a] wurde am LESO an der EPFL mit dem Schlussbericht abgeschlossen [29]. Aus dem Projekt resultierten, in Zusammenarbeit mit verschiedenen Industriepartnern, eine Reihe von interessanten Integrationslösungen (Sofrel®, Solbac®, Solgreen®, Solmax®) für das Flachdach.

Am Projekt **DEMOSITE** [9b] wurden ältere Photovoltaik-Integrationslösungen entfernt und durch neue, aktuellere Systeme ersetzt. Insgesamt wurden über die Projektlaufzeit 24 Integrationsbeispiele für Flachdä-

cher, Schrägdächer und Fassaden einander gegenübergestellt; davon sind heute noch 21 Lösungen installiert. Die Informationsaktivitäten dieses im IEA PVPS Programm, Task 7, eingebetteten Projekts wurden für verschiedene Zielgruppen intensiviert und mit einer attraktiven [website](#) versehen.

Ein neues EU-Projekt am LESO, **PV en face !**, befasst sich mit der Entwicklung von neuen Lösungen zur Fassadenintegration der Photovoltaik [9d]. Im Berichtsjahr wurden zu diesem Zweck grundsätzliche Marktabklärungen und erste Designüberlegungen gemacht. Nebst den Möglichkeiten zur Kostenreduktion wird auch die elektrische Verbindungstechnik optimiert.

## **SYSTEMTECHNIK**

Am LEEE-TISO an der SUPSI wurde die **Prüfung von PV-Modulen** [10] unter realen Bedingungen fortgesetzt und die entsprechende Projektphase abgeschlossen. Insgesamt wurden in dieser Projektphase 18 kommerzielle Modultypen, welche die wichtigsten Hersteller umfassen, geprüft. Die ausführliche Datenbank [30] mit allen wichtigen Spezifikationen von PV-Modulen umfasst mittlerweile 850 Modultypen. Die Langzeitmessungen an den zwei hauseigenen PV-Anlagen (10 kWp m-Si, 4 kWp a-Si) wurden fortgesetzt, zeigten gute Produktionswerte und stellen aufgrund der langen und ununterbrochenen Beobachtungszeit einmalige Erfahrungen dar, welche in einem neuen Projekt in Zusammenarbeit mit der ESTI in Ispra vertieft werden.

Die dazu ergänzenden Messungen an **Modulen und Prototypen** wurden an der Berner Fachhochschule in Saint-Imier unter Mitwirkung der Gesellschaft Mont-Soleil abgeschlossen [11]. Die spezifische Energieproduktion unterschiedlicher Modultechnologien kann verglichen werden. Ausserdem wurden sechs verschiedene Modul- bzw. Strangwechselrichter miteinander verglichen.

Ausführliche Untersuchungen zur **Energieproduktion von PV-Modulen** [3d] werden auch am PSI durchgeführt. Mit der zur Verfügung stehenden experimentellen Einrichtung und den analytischen Methoden sind Aussagen über das Teillastverhalten möglich.

Die **Prüfung von PV-Wechselrichtern** [12a] wird an der HTA Burgdorf fortgesetzt und umfasst nun routinemässig sowohl marktgängige Netzverbund- wie Inselwechselrichter. Aufgrund des anhaltenden Marktwachstums konnte eine Produktverbesserung festgestellt werden, insbesondere auch des Wirkungsgrads. Ein neuer Solargenerator-Simulator mit einer Leistung von bis zu 5 kW wurde im Eigenbau erstellt und sollte die Prüfmessungen erleichtern. Mit der Unterstützung des PSEL wurde das Projekt zum **Langzeitverhalten von PV-Anlagen** [12b] an 36 Anlagen vorderhand abgeschlossen. Hohe Betriebsspannungen der PV-Anlagen wirken sich aufgrund dieser Untersuchungen generell günstig auf den Energieertrag aus. Im EU-Projekt **PV-EMI** [12c] werden EMV-Messungen an PV-Anlagen durchgeführt mit dem Ziel, entsprechende europäische Standards auszuarbeiten.

Ein weiteres EU-Projekt, SCMIC, zur Entwicklung eines **Einzellen-Wechselrichters** [13a] wurde an der ETHZ

in Zusammenarbeit mit ENECOLO und ALUSUISSE abgeschlossen. Es konnte eine neue Schaltung entwickelt werden, welche die Konvertierung zweistufig (DC/DC und DC/AC) realisiert und Umwandlungswirkungsgrade bis zu 97% erreicht. Die entwickelte Lösung öffnet bei der Konfektionierung von amorphen Solarmodulen ein Kostenreduktionspotenzial von bis zu einem Drittel.

ALPHA REAL konnte zwei EU-Projekte zu systembezogenen Fragestellungen weitgehend abschliessen. Im Projekt PV-Checker werden einfache Lösungen zur **Überwachung von PV-Anlagen** geprüft [14a]. Im Projekt ARIA zur **Zuverlässigkeit von AC-Modulen** [14b] wurde die Funktionsweise eines *Hot Spot* Detektors durch Strombegrenzung geprüft. Die Arbeiten zur **Zuverlässigkeit von Sicherheitsschaltungen** gegen die Inselbildung [14c] wurde in einem vom PSEL mitfinanzierten Projekt abgeschlossen.

Insgesamt kann man zur Systemtechnik sagen, dass trotz des fortgeschrittenen Entwicklungsstands der Photovoltaik weitere Verbesserungen bezüglich Produktgarantien, Zuverlässigkeit der Komponenten, Vereinfachung der Systeme, Sicherheit und Standardisierung möglich und notwendig sind. National wie international werden daraus entsprechende Normen entwickelt, welche die Zuverlässigkeit von PV-Anlagen langfristig positiv beeinflussen sollten.

## DIVERSE PROJEKTE UND STUDIEN

Die Arbeiten zur kombinierten Nutzung von Photovoltaik mit anderen Energietechnologien gewinnen zunehmend an Interesse, insbesondere in Kombination mit der thermischen Solarenergie. Am LESO der EPFL wurde, in Zusammenarbeit mit ENECOLO und SCHWEIZER, das Projekt zu einem neuen **Hybrid-Kollektor** [9c] weitgehend abgeschlossen. Dabei konnten wesentliche Materialeigenschaften des amorphen Siliziums in Bezug auf die thermische Absorption und das Verhalten bei hohen Stagnationstemperaturen bestimmt werden.

TNC konnte die Arbeiten des EU-Projekts zum **Potenzial der Photovoltaik auf Lärmschutzwänden** [15a] entlang von Strassen und Schienen in 6 Ländern Europas abschliessen. Das technische Potenzial wird in der Studie zu 584 MWp entlang von Strassen und 217 MWp entlang der Eisenbahn ermittelt. Als kurzfristig realisierbar gelten in Deutschland, Holland und der Schweiz 140 MWp (Strassen) und 145 MWp (Eisenbahn).

In zwei weiteren EU-Projekten werden unter dem Einsatz von Satelliten-Fernerkundung neue Instrumente zur Solarenergienutzung entwickelt. Im Projekt PVSAT [13b] beteiligt sich ENECOLO an der Nutzung von lokalen Strahlungsdaten aus Satellitenbildern zur Bestimmung der zu erwartenden Energieerträge aus PV-Anlagen. Im Vordergrund stehen im Berichtsjahr die Auswertung der Satellitenbilder, das Simulationsprogramm und das Erstellen einer Projektdatenbank. Im Projekt SATELLIGHT [16] wurde unter Mitwirkung der Uni-Genf ein [Strahlungsatlas](#) auf Internet erarbeitet, welcher die zeitlichen Veränderungen von Strah-

lung, Beleuchtungsstärke und -richtung *online* wiedergibt.

## INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT IEA, IEC, PV-GAP

Die Beteiligung am Photovoltaikprogramm der IEA bildete auch im Berichtsjahr eine kontinuierliche Aktivität. Im Berichtsjahr wurden zwei neue Projekte und verschiedene neue Arbeitspläne bewilligt. Eine wichtige Aktivität war zudem die Kommunikationsstrategie des Programms.

Die Schweizer Vertretung in im IEA-Projekt betreffend **Informationsaktivitäten** wird durch NOVAENERGIE [17] wahrgenommen. Im Berichtsjahr wurde ein Bericht zur Anwendung der Photovoltaik in kalten Klimazonen fertiggestellt [31] und eine 4. Ausgabe zur Marktentwicklung erstellt [32]. Der *PVPS-Newsletter* [33] wird an ca. 250 Adressaten in der Schweiz verteilt und steht allen Interessenten offen. Ein nationaler Bericht über die Photovoltaik in der Schweiz bis 1998 wurde im Rahmen diesen Projekt erstellt [34].

Das IEA-Projekt **Betriebserfahrungen** [15b] wurde durch TNC sichergestellt. Das Projekt wurde im Berichtsjahr mit einem neuen Arbeitsplan um 5 Jahre verlängert. Die Datenbank enthält nun 263 Anlagen aus 8 Ländern. Ein *Monitoring-Handbuch* wurde fertiggestellt und ein Evaluationsbericht erstellt [35, 36].

Neu wird die Schweiz im IEA-Projekt zu **Inselanlagen** [18] durch DYNATEX vertreten. Es wurden Publikationen und eine CD-ROM fertiggestellt [37-40]. Das Projekt wird mit einem neuen Arbeitsplan fortgesetzt und konzentriert sich in Zukunft auf die technischen Belange von Inselanlagen, insbesondere auf die Qualitätssicherung.

Neu wird die Schweiz im IEA-Projekt zur **PV-Netzkopplung** [19] durch das EWZ vertreten. In der Berichtsperiode wurden Berichte über die nationalen Richtlinien zur Netzankepfung sowie eine nützliche Übersicht über EVU-Aspekte von netzgekoppelten PV-Anlagen [41-42] publiziert.

Das Projekt **Integration der Photovoltaik in den bebauten Raum** [13a] wird von ENECOLO betreut. Das Projekt **DEMOSITE** [9b] an der EPFL ist ebenfalls in dieses Projekt eingebettet. Die Simulationssoftware PVSYSY wurde mit Hilfe von Task 7 Experten von der Uni-Genf und dem LESO mit einer neuen Benützeroberfläche versehen und anschliessend verteilt. Als Höhepunkt aus Schweizer Sicht wurde im Februar zum Thema der technischen Integrationslösungen ein gut besuchter Workshop an der EPFL durchgeführt [43].

MINDER ENERGY CONSULTING hat die Beteiligung an den Vorbereitungsarbeiten für ein neues IEA-PVPS-Projekt, welches sich mit der **Machbarkeit von sehr grossen PV-Kraftwerken** [20] in Wüstengebieten abgeschlossen.

Mit Unterstützung des Staatssekretariats für Wirtschaft (SECO) hat ENTEC die Schweizer Vertretung im neuen Projekt zur **Photovoltaik-Entwicklungszusammenarbeit** (PV-EZA) [21] übernommen. Damit soll in der

Schweiz in diesem Bereich ein verstärkter Akzent, eine bessere Information und ein koordiniertes Vorgehen etabliert werden. Ziel ist dabei ebenfalls eine stärkere Tätigkeit der Schweiz in der PV-EZA.

ALPHA REAL leitet die Arbeitsgruppe der IEC, welche internationale **Normenvorschläge** [14d] für die

Photovoltaik vorbereitet. Sie beteiligt sich auch an den Arbeiten zu **PV-GAP (Global Approval Program)** [14e] zur Qualitätssicherung und -zertifizierung im Bereich von PV-Systemen. Im Berichtsjahr fand dazu mit Unterstützung des EDA eine internationale Konferenz in Genf statt.

## Nationale Zusammenarbeit

Die Zusammenarbeit auf nationaler Ebene hat mittlerweile eine ausgeprägte Tradition und umfasst alle wichtigen Akteure: die Hochschulen und Forschungsinstitute (ETH, Universitäten, Fachhochschulen, PSI), die Privatwirtschaft (Industrie, Ingenieurunternehmungen), die Elektrizitätswirtschaft (VSE, einzelne EW's) und die Fachverbände (Swissolar, SOFAS, PROMES). Aus diesen und weiteren Kreisen (Finanzwelt, Politik, Medien) kann ein zunehmendes Interesse an der Photo-

voltaik festgestellt werden.

Auf Programmebene wird die Zusammenarbeit zu zahlreichen Amtsstellen des Bundes (z.B. BBW, BBT, BUWAL, SECO, usw.) und der Kantone weiter ausgebaut. Von besonderer Bedeutung sind in diesem Zusammenhang die inskünftig stärkere Rolle der KTI für produktenahe Entwicklung sowie das SECO, die DEZA und das BUWAL für die Entwicklungszusammenarbeit.

## Internationale Zusammenarbeit

Die internationale Zusammenarbeit, welche im Programm Photovoltaik für alle Bereiche etabliert wurde, konnte im Berichtsjahr weiter gesteigert werden. Die Schweizer Photovoltaik beteiligt sich mit Unterstützung durch das BBW weiterhin erfolgreich an den internationalen Forschungsprogrammen der EU. Im Jahr 1999 waren es insgesamt 21 Photovoltaik-Projekte im Programm Joule-Thermie. Weitere Projekte umfassen

je ein Projekt in den Programmen ALTENER, ESA und EUREKA. Aufgrund der Ausschreibungen 1999 im 5. Rahmenforschungsprogramm der EU sind weitere Projekte in Vorbereitung. Parallel zu den Projekten im Programm der EU wurde die Zusammenarbeit innerhalb des IEA-PVPS-Programms ebenfalls mit Erfolg weitergeführt (siehe oben).

## P+D-Projekte

Im Jahr 1999 wurden im P+D Programm 11 neue Projekte angefangen. Schwerpunkt bildete mit 8 neuen Projekten der Sektor **PV P+D-Anlagen**, wobei dort hauptsächlich Projekte in den Bereichen **PV-Gebäudeintegration** und kostengünstige Systeme in Angriff genommen wurden. Neu aufgegriffen wurde die Integration eines standardisierten, offenen Feldbussystems in PV-Wechselrichter als Kommunikationsplattform. Insgesamt waren im Berichtsjahr 41 Photovoltaik P+D Projekte aktiv. Im Vergleich zum vorderen Jahr bleiben die Schwerpunkte

- **PV P+D-Anlagen** (20 Projekte),
- **Entwicklung** neuer PV-Systemkomponenten (8 Projekte),
- **Erfolgskontrolle** bestehender P+D-Anlagen durch detaillierte Messkampagnen (5 Projekte)

grundsätzlich bestehen. Ermutigend ist die Tatsache, dass sich auch dieses Jahr wieder ein erheblicher Anteil der Projekte mit der Thematik **kostengünstige** Lösungen für die Realisierung von PV-Anlagen auseinandersetzt. Dabei ist die Entwicklung eines Integrationsrahmens für die Dachintegration von PV-Standardmodulen ein

weiterer Schritt Richtung Senkung der Kosten. Erwähnenswert ist die Tatsache, dass sich verschiedene, im P+D Bereich entwickelte kostengünstige Lösungen als Standardprodukte in grösserem Umfang etabliert haben oder sich zu etablieren beginnen.

Stellvertretend für die Pilot- und Demonstrationsaktivitäten sind im Folgenden einige der 1999 aktiven Projekte aus dem Segment **PV-Gebäudeintegration** aufgeführt:

- 6,3 kWp Anlage mit amorphen Zellen integriert ins Dach des IMT in Neuenburg [22]
- 16,3 kWp Dachintegration mit PV Wechselstrom-Modulen in Iffwil (Leitung: ATLANTIS ENERGIE) [23a]
- Autonome 3 kWp Dachintegration mit Sunslates Solarschiefern in Soyhières (Leitung: ATLANTIS SOLAR) [23b]
- 4,8 kWp Dachintegration von Standardmodulen mittels SOLRIF-Rahmen (Leitung: ENECOLO) [24a]
- PV-Flachdachanlage mit SCIBEL Modulen (Leitung: ENECOLO) [24b]

- 11,8 kWp Anlage mit PV Wechselstrom-Modulen auf dem Flachdach der UBS-Zürich (Leitung: ALPHA REAL) [25]
- 10 kWp Gründachintegration mit System Solgreen in Chur (Leitung: Ars Solaris Hächler) [26]
- Eine neue 10 kWp Anlage mit neuem Konzept zur PV-Schallschutzintegration (Leitung: TNC) [27a]
- Multifunktionale Gebäudehülle: Wetterschutz, PV- und Luftkollektor (Leitung: S. Kropf) [28]
- PV-Isolierglas- und Beschattungsanlage Kantonschule Stadelhofen (Leitung: TNC) [27b]

## Transfer in die Praxis

Das wachsende Interesse verschiedener Kreise führte im Berichtsjahr zur Fortsetzung sowie zu neuen und konkreten Projekten in Zusammenarbeit mit der Industrie. Damit kann der Transfer in die Praxis mit erfolgversprechenden Ansätzen fortgesetzt werden. Als treibende Kräfte können die marktbezogenen Rahmenbedingungen in der Schweiz (Förderung des Bundes, Solarstrombörsen), das wachsende Interesse in der Industrie und Finanzkreisen sowie die internationale Marktsituation angeführt werden. Kritisch muss dazu erwähnt

werden, dass die Kontinuität seitens des Markts aufgrund der beschränkten Bundesmittel für die Förderung nicht anhaltend gegeben ist und dass die Solarstrombörsen durch den ausgeübten Preisdruck die technische Innovation behindern können. Aus diesem Grund sind die P+D-Aktivitäten ein wichtiges Bindeglied zwischen der Produktentwicklung und der Markterprobung, welches aufgrund des wachsenden Markts eine zunehmende Bedeutung erlangt.

## Bewertung 1999 und Ausblick für 2000

Das Jahr 1999 kann als insgesamt weitgehend positiv beurteilt werden. Ähnlich wie im Vorjahr haben dazu die erfolgreiche Beteiligung an internationalen Programmen der EU, das wachsende Interesse der Industrie und die durch Kombination von Förderung und Solarstrombörsen erfolgte Marktentwicklung beigetragen. Zahlreiche technologische Impulse fanden in der Folge statt. Die internationale Marktentwicklung und bedeutende Förderprogramme in einzelnen Ländern schaffen die bisher günstigsten Rahmenbedingungen für die Photovoltaik, welche sich mittelfristig auch auf die Schweiz positiv auswirken können. Die Photovoltaik tritt damit in eine kritische Phase, wo die Umsetzung in eine industrielle Energietechnologie erkennbar wird. Professionelle Strukturen, Qualitätssicherung, Kontinuität und realistische Einschätzungen der kurz- und mittelfristigen Möglichkeiten und Grenzen sind in diesem Umfeld von besonderer Bedeutung.

Die gesetzlichen und verwaltungsbezogenen Änderungen in der Schweiz haben 1999 für einige Unsicherheiten gesorgt; während im technologischen Bereich dazu mittlerweile wieder Klarheit besteht, lassen die gegenwärtige energiepolitische Diskussion und mögliche wichtige Weichenstellungen diese Situation auch für das Jahr 2000 anhalten. Stand und Aussichten der Photovoltaik waren im Berichtsjahr verschiedentlich Gegenstand der Diskussion [44]. In Zürich fand zu diesen Aspekten eine erneute und gut besuchte Nationale PV-Tagung statt, welche Gelegenheit zu einem ausführlichen Informationsaustausch bot [45].

Das Jahr 2000 wird deshalb aus Sicht der Schweiz für die Photovoltaik wichtige Entscheidungen mit sich bringen. Unabhängig davon gilt es aber gleichzeitig, den internationalen Rahmen zu beachten und die für ein nachhaltiges Marktwachstum notwendigen Strukturen und Massnahmen sicherzustellen.

## Liste der Projekte

- [1] A. Shah, [IMT/UNI-Neuchâtel](#): *a) Mikromorphe Solarzellen* (JB+SB) ENET 9659014 • *b) NEST (New enhanced silicon thin-film solar cells)* (JB+SB) • *c) Amorphe Siliziumzellen auf Plastiksubstrat* (JB+SB) • *d) Integration of Antennas with Solar Cells (SOLANT)* (JB) • *e) SOLINOX* (JB+SB) / Ch. Hollenstein, CRPP/EPF-Lausanne: *Erhöhung der Abscheideraten von mikrokristallinen und amorphen Siliziumdünnschichten für photovoltaische Anwendungen* (JB+SB) / ENET 9763180
- [2] J. Gobrecht, [PSI-Villigen](#): *a) Swiss high efficient cristalline solar cell project, using PSI process for sheet ribbon Si material* (JB+SB) / ENET 9763179 • *b) Entwicklung von low-badgap photovoltaischen Zellen* (JB) / ENET 9868060 • c) D. Grützmacher: *CRYSTAL (Crystalline silicon thin film solar cells on low temperature substrates)* (JB) • d) W. Durisch: *Charakterisierung von PV-Generatoren* /
- [3] H. Zogg, [IQE/ETH-Zürich](#): *a) LACTEL (Large area cadmium telluride electrodeposition for thin-film solar cells)* (JB) • *b) WIDE GAP CPV (Wide gap chalcopyrites for advanced PV devices)* (JB) • c) A.N. Tiwari: *CADBACK (The CdTe thin film solar – cell improved back contact)* (JB) • *d) FLEXIS (CIS thin film solar cells on flexible substrates)* (JB)

- [4] M. Grätzel, [ICP2](#)/EPF-Lausanne: *a) Cellules solaires basées sur des films semiconducteurs nanocristallins colorés* (JB) • *b) Freiluft – Messungen von Solarzellen neuer Technologie* (JB) / <http://dcwww.epfl.ch/icp/ICP-2/icp-2.html>
- [5] M. Wolf, LECLANCHÉ, Yverdon: *INDOOR DYE PV's* (JB+SB)
- [6] T. Meyer, [SOLARONIX](#), Aubonne: *LOTS-DSC (Longterm stability of dye-sensitized solar cells for large area power applications)* (JB) /
- [7] G. Calzaferri, [UNI-Bern](#): *Photochemical and photoelectrochemical transformation and storage of solar energy*
- [8] J.-B. Gay, [LESO](#) / EPF-Lausanne: *a) Photovoltaïque sur toits plats – une nouvelle approche* (JB+SB) / ENET 9554392 • *b) Ch. Roecker: DEMOSITE and DEMOSITE FLAT ROOFS – Phase III* (JB+SB) / ENET 9759873 • *c) Capteur hybride d'une nouvelle génération* (JB) / ENET 9866402 • *d) PV en face* (JB)
- [9] G. Travaglini, [LEEE](#)/SUPSI – DCT, Canobbio: *Testi di componenti e sistemi per progetti nel campo della tecnica fotovoltaica, TISO – periodo V* (JB+SB) / ENET 9760154
- [10] C. Brielmann, [EISI](#), St-Imier: *Programme de recherche sur des nouvelles technologies PV et sur la centrale de Mont-Soleil* (JB) / ENET 9560314
- [11] H. Häberlin, [HTA-Burgdorf](#): *a) Qualitätssicherung von PV-Anlagen* (JB) / ENET 9761703 • *b) Langzeitverhalten von netzgekoppelten PV-Anlagen* (JB+SB) / ENET 9659074 • *c) PV-EMI (Development of standard test procedures for electromagnetic interference (EMI) tests and evaluations on PV components and plants)* (JB)
- [12] P. Toggweiler, ENECOLO, Mönchaltorf: *a) SCMIC (Single Cell Module Integrated Converter System)* (JB+SB) • *b) PVSAT: Remote performance check for grid connected PV systems using satellite data* (JB) • *c) Schweizer Beitrag IEA PVPS Task V und VII* (JB) / ENET 9760155 / <http://www.solarstrom.ch>
- [13] M. Real, ALPHA REAL, Zürich: *a) PV Checker: Research on low cost PV system checker devices for future application in the individual PV system monitoring* (JB) • *b) Accelerated reliability improvement of AC-Modules* (JB) • *c) Zuverlässigkeit von Sicherheitsschaltungen gegen Inselbildung* (JB+SB) • *d) IEC TC 82* (JB) • *e) PV GAP* (JB)
- [14] Th. Nordmann, [TNC](#), Männedorf: *a) EU PVNB POT (Evaluation of the potential of PV noise barrier technology for the electric production and market share)* (JB+SB) • *b) L. Clavadetscher: Schweizer Beitrag IEA PVPS Task II* (JB) / ENET 9554338
- [15] P. Ineichen, [GAP](#)/UNI-Genève: *SATELLIGHT* (JB+SB)
- [16] P. Hüssler, [Nova Energie](#), Aarau: *Schweizer Beitrag IEA PVPS Task I* (JB) / ENET 9863760 /
- [17] M. Viloz, DYNATEX, Colombier: *Schweizer Beitrag IEA PVPS Task III* (JB) / ENET 9975310 /
- [18] S. Taiana, [EWZ](#), Zürich: *Schweizer Beitrag IEA PVPS Task V* (JB) /
- [19] R. Minder, [Minder Energy](#), Oberlunkhofen: *Schweizer Beitrag IEA PVPS Task VIII* (JB+SB) / ENET 9873001 /
- [20] A. Arter, [ENTECH](#), St. Gallen: *Schweizer Beitrag IEA PVPS Task IX*
- (JB) Jahresbericht 1999 vorhanden  
(SB) Schlussbericht vorhanden

## P+D-Projekte (Auswahl)

- [21] R. Tschärner, IMT/UNI-Neuchâtel: *Dachintegration mit amorphen Zellen* (JB)
- [22] B. Stucki, ATLANTIS ENERGIE, Bern: *a) Dachintegration mit PV-Wechselstrom-Modulen* (JB) • *b) B. Bezençon: Autonome 3 kWp Dachintegration* (JB)
- [23] P. Toggweiler, ENECOLO, Mönchaltorf: *a) 4,8 kWp P+D-Anlage SOLRIF, Lindenmatt* (JB) • *b) PV-Flachdachanlage mit SCIBEL Modulen* (JB + SB)
- [24] M. Real, ALPHA REAL, Zürich: *11,8 kWp Anlage mit PV Wechselstrom-Modulen* (JB + SB)
- [25] R. HÄCHLER, Chur: *10 kWp Gründachintegration Solgreen* (JB)
- [26] Th. Nordmann, TNC, Horgen: *a) 3 x 10 kWp Schallschutzanlagen* (JB) • *b) PV-Anlagen Kantonsschule Stadelhofen*
- [27] S. KROPF, Ebikon: *Multifunktionale Gebäudehülle: Wetterschutz, PV- und Luftkollektor* (JB + SB)

## Referenzen

- [29] *Photovoltaïque sur toits plats, zu beziehen bei LESO-EPFL, 1015 Lausanne*
- [30] *DB TISO, LEEE, SUPSI, zu beziehen beim TISO-LEEE, SUPSI, 6952 Canobbio,*
- [31] *Photovoltaics in Cold Climates, IEA PVPS Task I, 1999*
- [32] *Trends in Photovoltaic Applications in Selected IEA Countries between 1992 and 1998, IEA PVPS Task I – 07, 1999*
- [33] *IEA PVPS Newsletter, zu beziehen bei Nova Energie, Schachenallee 29, 5000 Aarau*
- [34] *Swiss national report on PV power applications 1998, P. Hüsser, Nova Energie, 1999*
- [35] *Measuring and Monitoring Approaches, IEA PVPS Task II, 1998*
- [36] *Analysis of Photovoltaic Systems, IEA PVPS Task II, 1999*
- [37] *Stand alone PV applications – Lessons learned, IEA PVPS Task III, 1998*
- [38] *Charge Controllers, IEA PVPS Task III, 1998*
- [39] *Batteries Guide, IEA PVPS Task III, 1998*
- [40] *Stand alone PV systems – Slide collection, IEA PVPS Task III, 1998*
- [41] *Grid-connected photovoltaic power systems: Status of existing guidelines and regulations in selected IEA member countries, IEA PVPS Task V, 1998*
- [42] *Utility aspects of grid connected photovoltaic power systems, IEA PVPS Task V, 1998*
- [43] *Proc. "System technologies for PV power systems in the built environment", IEA PVPS Task VII, 1999*
- [44] *S. Nowak: PV in der Schweiz / Technologischer Stand und Aussichten, Bulletin SEV/VSE 10/99, S. 15*
- [45] *Nationale PV-Tagung 1999, Unterlagen zu beziehen beim VSE, Gerbergasse 5, 8023 Zürich*

Wenn nicht anders erwähnt, bei der Programmleitung zu beziehen