

## PHOTOVOLTAIK

Überblicksbericht  
zum Forschungsprogramm 1997

**Stefan Nowak**

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

---



### Qualitätssicherung von Photovoltaik-Komponenten

- Wechselrichterprüfstelle an der Fachhochschule Burgdorf (oben)
- Modulprüfung am TISO, Fachhochschule der italienischen Schweiz, Canobbio (unten)

## Programmübersicht und anvisierte Zielpunkte für 1997

In diesem Forschungsprogramm wird die Photovoltaik als Energiesystem betrachtet und die laufenden Forschungsarbeiten sind, je nach Schwerpunktbereich, kurz- oder mittelfristig auf die Anwendung ausgerichtet. Die Fragen, auf welche sich die Forschung konzentriert, betreffen eine unbedingt notwendige weitere Kostenreduktion und eine verbesserte Produktvielfalt. Technologisch von Bedeutung sind in diesem Zusammenhang zum einen der erzielbare Wirkungsgrad und die Zelltechnologien für eine breite Massenanwendung. Andererseits hat die Forschung zum Ziel, in Hinsicht auf die weiteren Komponenten des Energiesystems Photovoltaik neue bzw. verbesserte Lösungen zu erarbeiten und diese in industrielle Produkte überzuführen. Als Hauptanwendung wird die gebäudeintegrierte Photovoltaik betrachtet. Forschungs- und P+D-Projekte umfassen im Berichtsjahr je 35 Projekte, wobei hier alle bekannten Projekte, unabhängig von ihrer Finanzierung, berücksichtigt sind.

Die 5 Programmbereiche umfassen:

**Zellen:** Dünnschicht-Zellen bilden hier den Schwerpunkt, wobei sich die Arbeiten auf das Grundmaterial **Silizium** konzentrieren. Die Voraussetzungen zur weiteren Umsetzung dieser Arbeiten sind dabei ein mittelfristiges Ziel. Im Berichtsjahr wurden, zur Hauptsache im Rahmen von neuen internationalen Projekten, auch die Arbeiten zu anderen Materialtechnologien (insbesondere II-VI-Verbindungen) intensiviert, sodass in der Schweiz heute eine breite Material- und Technologievielfalt besteht, in welcher die wesentlichen internationalen Stossrichtungen vertreten sind.

**Module und Gebäudeintegration:** Neue Produkte und Systeme für die **Integration der Photovoltaik** im

bebauten Raum bilden nach wie vor einen wichtigen Schwerpunkt. Dabei wird zum einen die Wahl der zum Einsatz gelangenden Zell-Technologien von immer grösserer Bedeutung. Zum anderen findet eine stetige Erweiterung der verfügbaren Produkte statt, wobei sich die Industrie zunehmend engagiert.

**Systemtechnik:** Dieser Bereich, welcher in der Umsetzung am weitesten fortgeschritten ist, hat in der Schweiz eine langjährige Tradition, welche es erlaubt, auch im internationalen Kontext wirksam zu werden. Die entsprechenden Technologien werden zunehmend standardisiert und in Hinsicht auf Sicherheitsaspekte und Effizienz der Systeme laufend verbessert. Wichtige weitere Attribute sind eine breite Anwendungserfahrung, Langzeitmessungen sowie die Qualitätssicherung der Systeme. Insgesamt sollen in diesem Bereich die Bedingungen eines breiten Einsatzes der Photovoltaik entwickelt und erprobt werden.

**Diverse Projekte und Studien:** In diesen Bereich fallen Arbeiten zur längerfristigen Abschätzung wichtiger Indikatoren der Photovoltaik, insbesondere in bezug auf die Umwelt, die Potentiale sowie die Marktentwicklung. Darüber hinaus werden neue kombinierte Nutzungsformen der Photovoltaik untersucht (z.B. Hybridtechnologien, Thermo-Photovoltaik).

**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 intensiver Informationsaustausch war auch im Berichtsjahr ein wichtiges Ziel, welches im Rahmen der internationalen Programme der EU sowie der IEA weiterverfolgt wurde.

## 1997 durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse

### ZELL-TECHNOLOGIE

Am Institut de Microtechnique, IMT, in Neuchâtel wurde die nunmehr 5. Projektetappe in Angriff genommen mit dem Ziel, das vielversprechende Konzept der **mikromorphen Solarzelle** [1] (Kombination einer mikrokristallinen Topzelle mit einer amorphen Bottomzelle in einer Tandemzelle) weiter zu entwickeln und die technischen Möglichkeiten dieses Materials in bezug auf Wirkungsgrad, Depositionsrate und Stabilität sowie Herstellungsbedingungen zu optimieren. Ein neues EU-Projekt **NEST** [1] ergänzt diese Arbeiten. Die Charakteristiken konnten im Berichtsjahr weiter verbessert werden: Für die mikrokristalle ( $\mu\text{c-Si:H}$ ) p-i-n-Zelle konnte auf Glas ein stabiler Wirkungsgrad von 8.3% erreicht werden. In Kombination mit der amorphen Zelle erreichte die entsprechende mikromorphe Tandemzelle einen stabilisierten Wert von 12%, allerdings vorderhand noch bei einer tiefen Depositionsrate. Diese konnte jedoch

unabhängig für das intrinsische, mikrokristalline Material ( $\text{i-}\mu\text{c-Si:H}$ ) bis 16 Å/s gesteigert werden. Auch in der umgekehrten Schichtabfolge (n-i-p), welche für Substrate verschieden von Glas von Bedeutung ist, konnte für die  $\mu\text{c-Si:H}$  Zelle ein Wert von 5.2% erzielt werden. Weitere Arbeiten betreffen unter anderem die Herstellung von transparenten leitenden Oxid-Schichten sowie der Einsatz der *hot-wire-Deposition* zur Erzeugung stabilerer amorpher Schichten. In einem weiteren, vom PSEL massgeblich geförderten Projekt [1] wird die Abscheidung von **Solarzellen auf Kunststoffsubstraten** untersucht. Die Wahl des Substratmaterials fiel aus Gründen der Temperaturstabilität auf Polyimid. Im Vordergrund standen im Berichtsjahr Fragen der Kontaktierung sowie der Laserstrukturierung. Für amorphe n-i-p Zellen (Fläche 10 cm<sup>2</sup>) wurde ein Wirkungsgrad von

7.7% erreicht. Parallel dazu wird seitens des Industriepartners am entsprechenden System für Fassadenintegration gearbeitet. In einem EUREKA-Projekt erfolgen zudem in Zusammenarbeit mit verschiedenen Schweizer Industriepartnern Arbeiten zur Umsetzung der amorphen Zellen für Kleinanwendungen.

Am Centre de Recherche en Physique des Plasmas der ETHL [2] wurde das Projekt der **grossflächigen Abscheidung** von dünnen Siliziumschichten abgeschlossen. Durch ein verbessertes Elektrodendesign konnte sowohl für amorphe wie für mikrokristalline Schichten auf einer Fläche von 35 x 45 cm unter Verwendung der VHF-Depositionstechnik eine gute Homogenität erzielt werden. Gleichzeitig konnte die Eignung des VHF-Verfahrens zur Erzeugung des mikrokristallinen Siliziums aufgrund der erhöhten Dissoziation des Silans bestätigt werden. Verschiedene Diagnostikverfahren ermöglichen ein vertieftes Verständnis der stattfindenden Plasmaprozesse.

Im PSEL-Projekt **SWISSCIS** [5] wurde am Institut für Quantenelektronik der ETHZ das epitaktische Wachstum von Verbindungshalbleitern  $\text{CuIn}_x\text{Se}_y$

durch Molekularstrahlepitaxie und deren Strukturanalyse untersucht. Mittels *physical vapour deposition* wurden polykristalline  $\text{Cu(InGa)Se}$ -Zellen mit bis zu 13.3% Wirkungsgrad erzeugt. Das Projekt wurde abgeschlossen und wird im Projekt **WIDE GAP CPV** im Rahmen des Programms JOULE der EU weiterverfolgt. Ein weiteres EU-Projekt, **LACTEL**, befasst sich mit der grossflächigen Abscheidung von CdTe-Zellen durch Elektrodeposition.

Die Arbeiten zu den **nanokristallinen Zellen** (GRÄTZEL-Zellen) [4] wurden am *Institut de Chimie Physique* der ETHL fortgesetzt. Diese Arbeiten erfolgen zum einen in Zusammenarbeit mit den industriellen Lizenznehmern sowie in neuen Projekten des JOULE-Programms. Im Vordergrund stehen seitens der Umsetzung Fragen bezüglich der Abdichtung und der Stabilität, wobei die Wahl künftiger Elektrolyten in diesem Zusammenhang ebenfalls von Bedeutung ist. Ein Wirkungsgrad von 11% wurde mittlerweile durch das Fraunhofer Institut in Freiburg (D) bestätigt. Erste konkrete Anwendungen werden für Kleingeräte erwartet.

## SOLARMODULE UND GEBÄUDEINTEGRATION

Das Projekt ALUCOSOL® für ein **integriertes Photovoltaik-Fassadensystem** [6] wurde bei ALUSUISSE TECHNOLOGY & MANAGEMENT weiterverfolgt, wobei die Zielsetzungen aufgrund der Nicht-Verfügbarkeit geeigneter Halbzeuge für die Solarzellen angepasst werden mussten. Nebst der Auswertung der bisherigen Versuchsmuster konzentrierten sich die Arbeiten im Berichtsjahr – aufgrund der günstigen Erkenntnisse aus einem entsprechenden NEFF-Projekt – auf die Möglichkeiten der Abscheidung von amorphem Silizium auf Aluminium sowie auf eine neue Form der grossflächigen rückseitigen Kontaktierung durch Löcher im Substrat.

Die Arbeiten zur Flachdachintegration wurden am LESO der EPFL [3] weitergeführt mit dem Ziel, weitere neue Systemlösungen für **integrierte Flachdachanwendungen** zu entwickeln. Nachdem aufgrund der früheren Resultate das Produkt SOLBAC® entstanden ist, wurde im Berichtsjahr die ästhetisch ansprechende Lösung SOLGREEN® für Gründächer vorgestellt. Die Produktpalette kann damit laufend

erweitert werden und die kombinierte Nutzung auch auf den sonst in Konkurrenz stehenden Gründächern realisiert werden. Im Projekt zum Einsatz der **Photovoltaik auf Bahnhofsperrons** [3] mussten einige defekte Module nach einer mechanisch falsch erfolgten Montage ausgetauscht werden, sodass die vorgesehenen Messungen noch nicht vollständig durchgeführt werden konnten.

Das LESO befasst sich weiterhin mit der Fortsetzung des Projektes **DEMOSITE** [3], welches seit Anfang 1997 auch Bestandteil des IEA-Photovoltaik-Programms ist. Dabei wurde das Spektrum der präsentierten Lösungen um die Flachdachanwendungen ergänzt, für welche gleich drei erste Schweizer Produkte vorgestellt werden (SOFREL Beton, SOLBAC und AMAX). Ein weiterer Pavillon befasst sich mit der 1997 durch ATLANTIS ENERGIE vorgestellten Dachschindel SUNSLATE®. Somit umfasst DEMOSITE heute insgesamt 17 verschiedene Lösungen zur Gebäudeintegration der Photovoltaik.

## SYSTEMTECHNIK

ALPHA REAL erarbeitete in einem neuen, vom EWZ und ATAL mitgetragenen Projekt, zusammen mit interessierten Industriepartnern, Lösungen für einen **dreiphasigen Kleinwechselrichter** [7], wobei der Leistungsbereich auf 1 kW festgelegt wurde. Vorteilhaft sollte sich dabei das Wegfallen grösserer Elektrolytkondensatoren auswirken. Die vorgeschlagene Schaltungstopologie erreicht in der Simulation einen Wirkungsgrad von ca. 94%.

Im EU-Projekt SCMIC [8], bei welchem nebst der

ETHZ seitens der Schweiz ENECOLO und ALUSUISSE TECHNOLOGY & MANAGEMENT beteiligt sind, wird ein **Einzellenwechselrichter** entwickelt. Auch hier liegen Schaltungstopologien für ein- und dreiphasige Varianten vor, welche bereits erprobt wurden und Gesamtwirkungsgrade in der Grössenordnung von 85-90% erwarten lassen.

Das Projekt der **Wechselrichterprüfstelle** an der Ingenieurschule Burgdorf [9] wurde im Berichtsjahr abgeschlossen. Insgesamt 13 verschiedene kommer

zielle Wechselrichterprodukte wurden auf alle wichtigen Parameter intensiv geprüft. Daraus konnte auch ein Vorschlag für ein allgemeines Wechselrichter *Reporting Format* abgeleitet werden, welches die wichtigen Kenndaten umfasst und die Prozeduren festlegt. In einem neuen Projekt wird die **Qualitätssicherung** [9] von PV-Anlagen seitens der elektrischen Systemkomponenten weiterverfolgt, indem die Zuverlässigkeit von Wechselrichtern und deren Langzeitverhalten untersucht wird. Neu soll die Prüfung auch an Produkten mit integrierter Impedanzüberwachung sowie an Inselwechselrichtern durchgeführt werden können. In dem vom PSEL massgeblich geförderten Projekt zum **Langzeitverhalten** [9] von netzgekoppelten PV-Anlagen werden diverse Anlagen in verschiedenen Klimaregionen und deren Energieertrag untersucht, wobei 8 Anlagen fein und weitere 29 grob ausgemessen werden. Die Wechselrichterdefekte wurden für die überwachten Anlagen für 1996 mit 0.34 Ausfällen pro Betriebsjahr quantifiziert, was eine laufende Verbesserung im Verlauf der Zeit darstellt. Für die Anlage auf dem Jungfrauoch konnte der spezifische Energieertrag von 1509 kWh/kWp gemessen werden.

ALPHA REAL verfolgt in drei Projekten des EU-Programms JOULE weitere Aspekte der Sicherheit und der Zuverlässigkeit von netzgekoppelten PV-Anlagen. Für den früher entwickelten **Lichtbogen-detektor** [7] konnte im Rahmen von Feldmessungen die Funktionsweise weitgehend bestätigt werden. Für die Zielsetzung eines einfachen **Energiemessgerätes** [7] wurden im Berichtsjahr bestehende Messgeräte und Datenlogger evaluiert, wobei ein integriertes Konzept zum Tragen kommen soll. Die **Zuverlässigkeit von AC-Modulen** [7] bildet den Inhalt eines weiteren Projektes, welches neu in Angriff genommen wurde. Im Vordergrund steht dabei der Einsatz eines *Hot-Spot*-Detektors durch Strombegrenzung, wodurch bei Grossmodulen Kosteneinsparungen erwartet werden. In einem vom PSEL mitgetragenen Projekt wird die Zuverlässigkeit von **Sicherheitsschaltungen gegen die Inselbildung** [7] geprüft. Dieses Projekt umfasst sämtliche Energietechnologien, welche in einer dispersen Energieversorgung durch Kleinanlagen zum Tragen kommen können.

An der Ingenieurschule St-Imier wurde das Projekt zur Untersuchung **neuer Photovoltaiksysteme** [10] in Zusammenarbeit mit der Gesellschaft MONT-SOLEIL weitergeführt. In der Testanlage im Umfeld des Kraftwerks MONT-SOLEIL können bis zu 12

Experimente simultan durchgeführt werden. Die Testobjekte umfassen neue Entwicklungen in der Modultechnologie und sollen Aufschlüsse auf deren Verhalten unter realen Bedingungen geben. Nebst neu angekündigten Produkten wichtiger PV-Hersteller werden auch Schweizer Produktentwicklungen geprüft. Die Erfolgskontrolle für das Kraftwerk MONT-SOLEIL lieferte im Jahr 1997 aufgrund günstiger Witterungsbedingungen den bisher höchsten jährlichen Ertrag von rund 634'000 kWh.

Das TISO an der Ingenieurschule Trevano setzte seine Untersuchungen **kommerzieller PV-Module** [11] fort, wobei hier auch die Alterungseffekte über längere Zeit verfolgt werden können. Die für einzelne Produkte – auch auf der Basis von mono- und polykristallinem Silizium – festgestellte Degradation der Kenndaten wurde im Berichtsjahr bestätigt. Darüber hinaus können am TISO Thermografiemessungen sowie Spektralmessungen durchgeführt werden. Die Messungen an den beiden vorhandenen PV-Anlagen, welche zu den ältesten ihrer Art gehören, liefern eine gute Erfahrungsbasis für Langzeitbeobachtungen.

Auch am PSI finden zunehmend Messungen zur **Charakterisierung von Zellen und Modulen** [12] unter realen Einstrahlungsbedingungen statt. Zu diesem Zweck wurde ein flexibler Teststand aufgebaut, welcher der Sonne nachgeführt werden kann und präzise automatisierte Messungen erlaubt. Damit können in kurzer Zeit die relevanten Kenndaten ermittelt werden, wobei Einflüsse der Einstrahlungsbedingungen und der Temperatur berücksichtigt werden können. Messungen wurden sowohl an Laborzellen wie an Prototypen und kommerziellen Modulen durchgeführt. Mit der in diesem Abschnitt beschriebenen apparativen Infrastruktur können die Kenndaten wichtiger PV-Komponenten präzise und rasch ermittelt werden. Bei Bedarf können auch Messungen an Anlagen vor Ort durchgeführt werden.

Das in einem PSEL-Projekt untersuchte Betriebsverhalten der 80 kWp PV-Anlage mit **DC-Direkt-einspeisung** [13] PARK+RIDE Neufeld in Bern konnte durch EWE abgeschlossen werden. Die Erkenntnisse betreffen zum einen – trotz Fehlen eines *MPP-Trackings (Maximum Power Point)* – einen guten Energieertrag von 1100 kWh/kWp. Zum anderen konnten die Einflüsse von schnellen Transienten, welche für diese Art DC-Netz typisch sind, ermittelt werden. Sie machen die Verwendung eines Tiefpassfilters in DC-Anlagen dieser Art sinnvoll.

## DIVERSE PROJEKTE UND STUDIEN

Das Projekt zur **Umweltverträglichkeit** verschiedener PV-Technologien wurde durch ALPHA REAL [7] in Zusammenarbeit mit der EAWAG abgeschlossen. Im Berichtsjahr wurden die Stoffflüsse für verschiedene Solarzellentechnologien anhand der Methode der Stoffflussanalyse untersucht, wobei die

dynamische Beurteilung von Kenngrössen wie z.B. der Produktion von Modulen, Energieaufwand, Potentialerschliessung, usw. betrachtet wurde. Die zu berücksichtigenden elektrischen und fossilen Energieflüsse werden getrennt simuliert, was z.B. für die Bestimmung der Energierücklaufzeiten Vorteile hat.

Am LESO der EPFL wurde in Zusammenarbeit mit SCHWEIZER und ENECOLO die Projektphase zur Machbarkeit eines **Hybridkollektors** (thermisch und Photovoltaik) [3] abgeschlossen. Die wesentlichen Anforderungen an dieses Konzept konnten festgelegt werden. Sie betreffen zum einen die Temperaturbeständigkeit der eingesetzten Materialien sowie deren technologisch sinnvolle Kombination. Im Vordergrund steht dabei die Verwendung von amorphen Siliziumzellen.

Das früher fertiggestellte **PC-Planungsinstrument** PVSYST [26] (entwickelt an der UNI-Genf) ging im Rahmen einer internationalen Evaluation als besonders vielseitiges Werkzeug hervor, wobei sich noch Verbesserungen auf der Benützerebene aufdrängen. Es soll im Rahmen der IEA-Zusammenarbeit weitere Verbreitung finden.

Für das bekannte Planungsprogramm **Meteonorm** [27] (entwickelt bei METEOTEST, in Bern) wurde im Berichtsjahr neu eine internationale Version vorgestellt.

Im EU-Projekt **Satellight** [14] wird in der Groupe de Physique Appliquée der UNI-Genf an einem Strahlungsatlas auf der Grundlage von Meteo-Satel-

litendaten gearbeitet, welcher auch über Internet verfügbar gemacht werden soll. Die Information wird in der Form von Klimakarten aufgearbeitet und wird Zentral- und Westeuropa abdecken. Anwendungsgebiete sind unter anderem auch bei der Tageslichtnutzung zu finden.

Am PSI wird mit Unterstützung des FOGA das Thema der **Thermo-Photovoltaik** [12] anhand eines mit Erdgas betriebenen, wärmegeführten Klein-Blockheizkraftwerks weiterverfolgt. Um den Nachweis der Machbarkeit eines solchen Konzeptes zu erbringen, wurde im Berichtsjahr ein Prüfstand mit geeigneten Komponenten (Emitter, Filter, Zellen) aufgebaut und mit der erforderlichen Messapparatur versehen. Weitere Schwerpunkte sind ein geeignetes Emitterkonzept für künftige Systeme sowie die Modellierung.

Die Abschätzung des **PV-Flächenpotentials** in der Schweiz wurde an der UNI-Freiburg mit einer Diplomarbeit abgeschlossen, welche sich schwerpunktmässig mit der Methodik zur Berechnung dieses Potentials unter Berücksichtigung wichtiger Reduktionsfaktoren befasste. Das Konzept wird im Rahmen von konkreten Fallstudien für kleinere Räume (erste Anwendung Stadt Zürich) als praxistaugliches Instrument bei NET [15] weiterentwickelt.

## IEA-PROJEKTE

Das TISO an der Ingenieurschule Trevano zeichnet, zusammen mit der Programmleitung Photovoltaik, für die Schweizer Arbeiten [11] im Rahmen des IEA-Projekts **Exchange and Dissemination of Information on PV Power Systems** verantwortlich. Im Berichtsjahr wurde der zweite internationale Übersichtsbericht [28] über PV-Systeme in den Ländern der IEA sowie eine Übersicht über die in diesen Ländern laufende Forschung [29] publiziert. Der Newsletter PV-Power [30] informiert über weltweite Entwicklungen in der Photovoltaik. Ein Bericht über die Rückliefertarife wurde seitens der Schweiz im Berichtsjahr fertiggestellt [31]. Ausserdem fand ein Workshop zur umfassenden Beurteilung der Umwelteinflüsse der Photovoltaik statt [32].

TNC CONSULTING koordiniert im selben IEA-Programm den Schweizer Beitrag [16] zum Projekt, **Operational performance and design of PV power systems**. Im Berichtsjahr war TNC auch für die Leitung des Projektes verantwortlich (Operating Agent). Die Struktur der Datenbank und das entsprechende Eingabeprogramm wurden fertiggestellt. Die Zahl der in der Datenbank vertretenen Anlagen konnte auf 187 erhöht werden. Die Übersicht gängiger Mess- und Auswertemethoden für PV-Systeme wird als IEA-Publikation vorbereitet.

ATLANTIS ENERGIE beteiligt sich an den Arbeiten zum Projekt **Use of PV power systems in standalone**

**and island applications** [17]. Verschiedene technische Publikationen dieses IEA-Projekts sind in Vorbereitung.

ENECOLO stellt den Schweizer Beitrag zum Projekt **Grid interconnection of building integrated and other dispersed PV power systems** [8] sicher. Wichtigstes Ereignis des Jahres war ein Workshop [33], welcher im September in Zürich stattfand und die Problematik der Wechselwirkung von PV-Anlagen mit dem elektrischen Netz, die Erfahrungen sowie die unterschiedlichen technischen Methoden in einem breiteren Rahmen erörterte.

Die Aktivitäten zum Thema **Photovoltaik im Gebäude** werden durch ENECOLO [8] und das LESO [3] koordiniert. Die entsprechenden Arbeiten finden ab 1997 im neuen Projekt **PV in the built environment**, des IEA Photovoltaik-Programms statt und erfreuen sich eines grossen internationalen Interesses. ENECOLO zeichnet in diesem Task für die Arbeiten zum Thema Systemtechnologie verantwortlich.

Ein internationales, durch die PV-Industrie initiiertes Zertifizierungsprogramm **Global Approval Program** (GAP), welches sich insbesondere auf Systemlösungen für Inselsysteme konzentriert, wurde neu vorgestellt. Seitens der Schweiz ist ALPHA REAL an diesen Arbeiten beteiligt. Zudem soll diese Organisation in Genf ihren Geschäftssitz haben.

## Nationale Zusammenarbeit

Die Schweizer Fachwelt der Photovoltaik zeichnet sich im allgemeinen durch eine vorzügliche innere Zusammenarbeit aus, welche sich für viele Projekte durch entsprechende ergänzende Aufgaben konkretisiert. Gleichzeitig findet ein immer intensiverer Austausch mit der Industrie und der Elektrizitätswirtschaft

statt, sodass sich der Kreis interessierter Personen und Institutionen laufend erweitert. Auch auf der Programmebene besteht mit den relevanten Stellen der öffentlichen Verwaltung und der Elektrizitätswirtschaft weiterhin eine gute Zusammenarbeit.

## Internationale Zusammenarbeit

Die internationale Zusammenarbeit bildet im Programm "Photovoltaik" ein wichtiges Standbein, welches auch im Berichtsjahr 1997 weiter ausgedehnt werden konnte. Das nun seit einigen Jahren laufende Programm der IEA, *Photovoltaic Power Systems*, zeigt in den verschiedenen Aktivitäten – nach einigen Anfangsschwierigkeiten – eine intensive Zusammenarbeit und immer mehr konkrete Resultate. Daneben konnte die Beteiligung am EU-Programm JOULE

auch 1997 erfolgreich ausgedehnt werden, sodass dieser Teil nun Projekte in allen Programmbereichen umfasst. Weitere EU-Projekte mit Schweizer Beteiligung werden demnächst beginnen. Diese internationale Zusammenarbeit belegt die anhaltend hohe Qualität der Schweizer Photovoltaikforschung und erlaubt den immer wichtiger werdenden Anschluss an die internationale Entwicklung.

## Transfer in die Praxis

Der Transfer in die Praxis, ein klares Ziel der laufenden Arbeiten, findet in allen Bereichen des Programms statt, wobei dies noch nicht überall im selben Mass zutrifft. So steht dieser Transfer für den Bereich der Solarzellen erst am Anfang und betrifft vorab Kleinanwendungen. Gleichzeitig findet aber auch für die Solarzellen ein kontinuierlicher Wissenstransfer in die Industrie statt, was die Chancen einer weiteren Umsetzung erhöht, wobei hier die grossen Anfangsinvestitionen zu berücksichtigen sind. Viele Arbeiten gehen nahtlos in P+D-Projekte über; dabei steht in zunehmendem Mass auch die Produktentwicklung im Vordergrund. In mehreren Anlagen

verschiedenster Grösse, welche 1997 erstellt wurden, konnten neu entwickelte Lösungen oder Produkte eingesetzt werden. Vermehrt greift die Industrie das Thema der Photovoltaik auf und entwickelt eigene Produkte. Insgesamt kann die Umsetzung damit als weitgehend positiv beurteilt werden, wobei die Geschwindigkeit gegenüber einzelnen Ländern ins Hintertreffen gelangen kann. Hierzu könnten verbesserte politische Rahmenbedingungen einen mittelfristig entscheidenden Beitrag leisten. Die Frage, welcher Anteil der Wertschöpfung der Photovoltaik künftig in der Schweiz stattfinden wird, drängt sich auf.

## P+D-Projekte

**Zur Zeit laufen im Photovoltaik P+D-Bereich rund 35 P+D-Projekte mit folgenden Schwerpunkten:**

- **PV-Integration** in Gebäude und Schallschutzeinrichtungen (Erprobung neuer Systemkomponenten)
- Überprüfung diverser P+D-Anlagen mittels fundierter **Messkampagnen**
- Weiterentwicklung und Erprobung von **Wechselstrom-Modulen** (modulintegrierte Wechselrichter), u.a. auch im Bereich der Gebäudeintegration

Im Jahr 1997 wurden 10 neue P+D-Projekte angefangen. Die Schwerpunkte liegen auch hier bei der Erprobung neuer Systemkomponenten im Bereich der Photovoltaik-Integration in Gebäude und Schallschutzeinrichtungen (5 Projekte, 7 Anlagen) und bei der Erfolgskontrolle bestehender P+D-Anlagen durch detaillierte Messkampagnen (3 Projekte). Im Bereich

der Gebäudeintegration werden dabei zwei Anlagen mit neuen Wechselstrom-Modulen ausgeführt.

**Bei den neuen P+D-Projekten im Bereich der PV-Integration handelt es sich um folgende Anlagen:**

- 6,3 kWp Anlage integriert ins Dach des Instituts de Microtechnique (IMT) in Neuenburg [18] (PV-Elemente mit amorphen Zellen, Gebäudeintegration; Leitung IMT)
- 16,3 kWp Anlage mit PV AC-Modulen integriert ins Dach eines Bauernhauses in Iffwil [19] (PV-Elemente mit integrierten Wechselrichtern, hybride Anlage Strom-Warmluft, Gebäudeintegration; Leitung: ATLANTIS ENERGIE)
- 11,8 kWp Anlage mit Wechselstrom-Modulen UBS Zürich [20] (PV-Elemente mit integrierten Wechselrichtern, Hot-Spot Schutzschaltung, "Flachdachintegration"; Leitung: ALPHA REAL)
- Drei 10 kWp Photovoltaik Schallschutzanlagen entlang der Autobahn [21] (Kombination

- Photovoltaik-Schallschutz, 3 Prototyp-Anlagen; Leitung TNC Consulting)
- 1 kWp Flachdachanlage mit SCIBEL Modulen, Ausführung Beton [22] (Flachdachintegration mit neuen Photovoltaik-Elementen, horizontale Anlageausrichtung, Leitung: ENECOLO)

**Mehrere Projekte konnten im Berichtsjahr abgeschlossen werden:**

- Sunny Tile [23] (PV-Dachziegel)
- Hybride Dachintegration Erlach [19] (PV-Warmluft-Anlage)

- Mobiles Messsystem [19]
- IMIPP [24] (Information über monatliche PV-Produktion)
- Messkampagne NOK Megawatt Solarkette [25]

Für das Jahr 1998 befinden sich bereits diverse Anlagen im Bereich der Gebäudeintegration zur Erprobung von neuen PV-Komponenten in Vorbereitung. Im weiteren ist vorgesehen, bei einigen speziellen P+D-Anlagen detaillierte Messkampagnen zu starten und laufende, erfolgversprechende Messprojekte zu verlängern.

## Bewertung 1997 und Ausblick für 1998

Das Programm Photovoltaik war 1997, trotz anhaltender Knappheit der verfügbaren Mittel, durch Kontinuität im technischen Bereich gekennzeichnet. Ein erfreuliches Resultat war die deutliche Zunahme der neu angefangenen Projekte im EU-Programm JOULE. Die Arbeiten im Bereich der Solarzellen sind von anhaltend hoher Qualität gekennzeichnet, wobei einzelnen Bereichen eine weltweit führende Rolle zukommt. Dieser Erfolg darf nicht darüber hinwegtäuschen, dass erfolgreiche Konzepte nie lange auf die entsprechende Konkurrenz warten müssen, sodass ein zunehmender Erfolgsdruck entsteht. Dies ist für die Photovoltaik im Licht einer deutlichen, internationalen Marktausdehnung zu beurteilen, welche in verschiedenen Ländern – auch in Europa – mit wichtigen Investitionen seitens des Staates und der Industrie verbunden ist. Der Umsetzung der Arbeiten kommt damit eine wachsende Bedeutung zu.

Erfreulich ist, dass das Interesse der Industrie im Bereich der Modul- und Systemtechnik auch 1997 zugenommen hat. Verschiedene neue oder verbesserte Produkte wurden vorgestellt und einzelne Marktpositionen gefestigt. Die seit Anfang 1997 verfügbaren

Fördermittel des Bundes für Anlagen sowie das zunehmende Engagement einzelner Elektrizitätswerke führten seitens des Marktes zu einer Belebung, welche sich auch positiv auf die Forschung auswirkt, indem die Eigenmittel der beteiligten Firmen und Institutionen zunehmen. Wichtig ist in diesem Zusammenhang, dass hier eine Kontinuität mit steigender Tendenz gehalten werden kann, sodass eine nachhaltige Wirkung erzielt wird.

1997 fand in Barcelona die 14. Europäische PV-Konferenz statt, die grösste ihrer bisherigen Art [34]. Dabei konnte die andernorts festgestellte Aufbruchstimmung bestätigt werden. Es entstand aber auch der Eindruck, dass sich Forschung und Markt teilweise entfernen bzw. unterschiedliche Geschwindigkeiten einschlagen.

Für 1998 wird es angesichts dieser Feststellungen darum gehen, die Kontinuität zu wahren und die Anstrengungen zu einer nachhaltigen Umsetzung fortzusetzen. Eine nationale PV-Veranstaltung wird im Frühling Gelegenheit zu einer Standortbestimmung bieten. Im Sommer wird anschliessend in Wien die zweite PV-Weltkonferenz stattfinden.

## Liste der 1997 gelaufenen Projekte

- [1] A. Shah, IMT, UNI-Neuchâtel: **Mikromorphe Solarzellen** (JB) ♦ **NEST (New enhanced silicon thin-film solar cells)** (JB) ♦ **Amorphe Siliziumzellen auf Plastiksubstrat** (JB)
- [2] Ch. Hollenstein, CRPP / EPF-Lausanne: **Grossflächige Abscheidung von amorphen, photovoltaischen Silizium-Schichten** (JB+SB) / ENET 9400051
- [3] J.-B. Gay, LESO / EPF-Lausanne: **Photovoltaïque sur toits plats - une nouvelle approche** (JB) / ENET 9554392 ♦ **Installations photovoltaïques intégrées aux marquises de gare** (JB) / ENET 9400641 ♦ **Site de démonstration d'éléments de construction photovoltaïques intégrés au bâtiment – Phase II** (JB+SB) / ENET 9400261 ♦ **DEMOSITE and DEMOSITE FLAT ROOFS – Phase III** (JB) / ENET 97599873 ♦ **Capteur hybride d'une nouvelle génération** (JB) / ENET 9656360
- [4] M. Grätzel, ICP2 / EPF-Lausanne: **Cellules solaires basées sur des films semiconducteurs nanocristallins colorés** (JB) ♦ **INDOOR DYE PV's** (JB)
- [5] H. Zogg, IQE ETH-Zürich: **SWISSCIS** (JB+SB) ♦ **WIDE GAP CPV (Wide gap chalcopyrites for advanced PV devices)** (JB) ♦ **LACTEL (Large Area cadmium telluride electrodeposition for thin-film solar cells)** (JB)
- [6] M. Weng, ALUSUISSE-LONZA, Neuhausen: **ALUCOSOL - Entwicklung eines Fassadensystems mit integrierten Solarzellenmodulen** (JB) / ENET 9301131

- [7] M. Real, ALPHA REAL, Zürich: **3-Phasen Modulwechselrichter** (JB) / ENET 9759021 ♦ **Improving PV system reliability by a new concept including a novel arc detection unit** (JB) ♦ **PV Checker: Research on low cost PV system checker devices for future application in the individual PV system monitoring** (JB) ♦ **Accelerated Reliability improvement of AC-Modules** (JB) ♦ **Modell zur Analyse und Prognose der langfristigen Umweltverträglichkeit verschiedener PV-Technologien** (JB+SB) / ENET 9008009
- [8] P. Toggweiler, ENECOLO, Mönchaltorf: **SCMIC (Single Cell Module Integrated Converter)** (JB) ♦ **Schweizer Beitrag IEA-PVPS Task V und VII** (JB)
- [9] H. Häberlin, HTL-Burgdorf: **Aufbau einer Testanlage für PV-Wechselrichter bis 60kW** (JB+SB) / ENET 9400561 ♦ **Qualitätssicherung von PV-Anlagen** (JB) / ENET 9761703 ♦ **Langzeitverhalten von PV-Anlagen** (JB) / ENET 9659074
- [10] C. Brielmann, EISI, St-Imier: **Programme de recherche sur des cellules PV à haut rendement** (JB+SB) / ENET 9552187
- [11] M. Camani, Dip. del Territorio, Bellinzona: **Tests di componenti e sistemi per progetti nel campo della tecnica fotovoltaica, TISO - periodo IV** (JB+SB) / ENET 9400931 ♦ **TISO: Valutazione e sorveglianza di lavori nel settore dei sistemi fotovoltaici** (JB+SB) / ENET 9400991
- [12] W. Durisch, PSI-Villigen: **Charakterisierung von PV-Generatoren** (JB) ♦ M. Schubnell: **Thermophotovoltaische Erzeugung von Strom in mit Erdgas betriebenen, wärmegeführten Kleinblockheizkraftwerken** (JB)
- [13] M. Keller, EWE, Zürich: **PV-Anlage mit Direkteinspeisung, Park + Ride Neufeld, Bern** (JB+SB)
- [14] P. Ineichen, GAP / UNI-Genève: **Satellite** (JB)
- [15] S. NOWAK, NET, St. Ursen: **Abschätzung des PV-Flächenpotentials im schweizerischen Gebäudepark** (JB+SB)
- [16] L. Clavdetscher, TNC CONSULTING, Männedorf: **Schweizer Beitrag IEA-PVPS Task II** (JB)
- [17] B. Bezençon, ATLANTIS ENERGIE, Bern: **Schweizer Beitrag IEA-PVPS Task III** (JB)

### P+D-Projekte (Auswahl)

- [18] R. Tschärner, IMT / UNI-Neuchâtel: **Integrierte PV-Anlage mit amorphem Silizium** (JB)
- [19] B. Stucki, ATLANTIS ENERGIE, Bern: **PV-Dachintegration mit Modulwechselrichtern** (JB) ♦ A. Eckmanns: **Hybride Dachintegration Erlach** (JB+SB) ♦ **Mobiles Messsystem** (JB+SB)
- [20] M. Real, ALPHA REAL, Zürich: **PV-Anlage mit Megalinos**
- [21] Th. Nordmann, TNC CONSULTING, Männedorf: **3 x 10 kWp PV-Schallschutzanlagen** (JB)
- [22] P. Toggweiler, ENECOLO, Mönchaltorf: **PV-Flachdachanlage mit SCIBEL**
- [23] A. Rupp, STAR UNITY, Au: **Sunny Tile** (JB+SB)
- [24] Ch. MEIER, Zürich: **IMIPP (Information über monatliche PV-Produktion)** (JB+SB)
- [25] S. Roth, NOK, BADEN: **Messkampagne NOK Megawatt Solarkette** (JB+SB)

(JB) Jahresbericht 1997 vorhanden

(SB) Schlussbericht vorhanden

### Referenzen

- [26] A. Mermoud, GAP, UNI-Genève: PVSYSY
- [27] S. Kunz, Meteotest, Bern: METEONORM
- [28] Photovoltaic power systems in selected IEA member countries - 2<sup>nd</sup> International survey report, IEA-PVPS 1997
- [29] Photovoltaic power systems R&D: Status and strategies in selected IEA member countries, S. Nowak et al., Proceedings 14<sup>th</sup> European Conference on Photovoltaic Solar Energy Conversion, Barcelona, 1997
- [30] PV Power, Newsletter of the IEA PVPS Programme
- [31] Buy-back rates for grid-connected PV power systems, IEA PVPS Task 1, 1997
- [32] Environmental aspects of PV power systems, Report on a IEA-PVPS Task 1 Workshop, Utrecht, 1997
- [33] Grid Interconnection of PV systems, Report on a IEA-PVPS Task 5 Workshop, Zurich, 1997
- [34] Die 14. Europäische Photovoltaik-Konferenz aus Schweizer Sicht, Ed. S. Nowak, BFS, 1997