

Januar 2002

17th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition Munich 22. - 26. 10. 2001

ausgearbeitet durch:
NET Nowak Energie & Technologie AG



Titelbild:

1 MWp Photovoltaikanlage auf dem Dach des Messezentrums München

Foto: E.ON Energie AG / Solarenergieförderverein Bayern e. V.

ausgearbeitet durch:

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 mail.net@bluewin.ch

im Auftrag des:

Bundesamt für Energie BFE

Worbentalstrasse 32, CH- 3062 Ittigen Postadresse: CH- 3003 Bern

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

Die "17th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition" aus Schweizer Sicht

Inhaltsverzeichnis

Stefan Nowak	Übersicht	3
Helmut Kiess	Fortschritte in der kristallinen und multikristallinen Siliziumtechnologie, bei Solarzellen höchsten Wirkungsgrades und Photovoltaik der 3. Generation	9
Arvind Shah	Amorphous and microcrystalline silicon solar cells	13
Ayodhya N. Tiwari	Thin film solar cells based on compound semiconductors	19
Helmut Kiess	Thermophotovoltaik, Topik an der Konferenz in München, 2001	23
Nerio Cereghetti	PV modules on the market	25
Christian Meier	München und Gebäudeintegrierte Solarstrom-Systeme: ein Ausblick	29
Heinrich Häberlin	Neues auf dem Gebiet der PV-Systemtechnik	31
Stephan Gnos	Industrielle Ausstellung	37
Pius Hüsler	Marktentwicklung PV	45
Daniel Ruoss	PV in developing countries	47
	Anhang	51

Die 17. Europäische Photovoltaikkonferenz in München – Industrielle Prozesse und Produkte im Rampenlicht

Übersicht

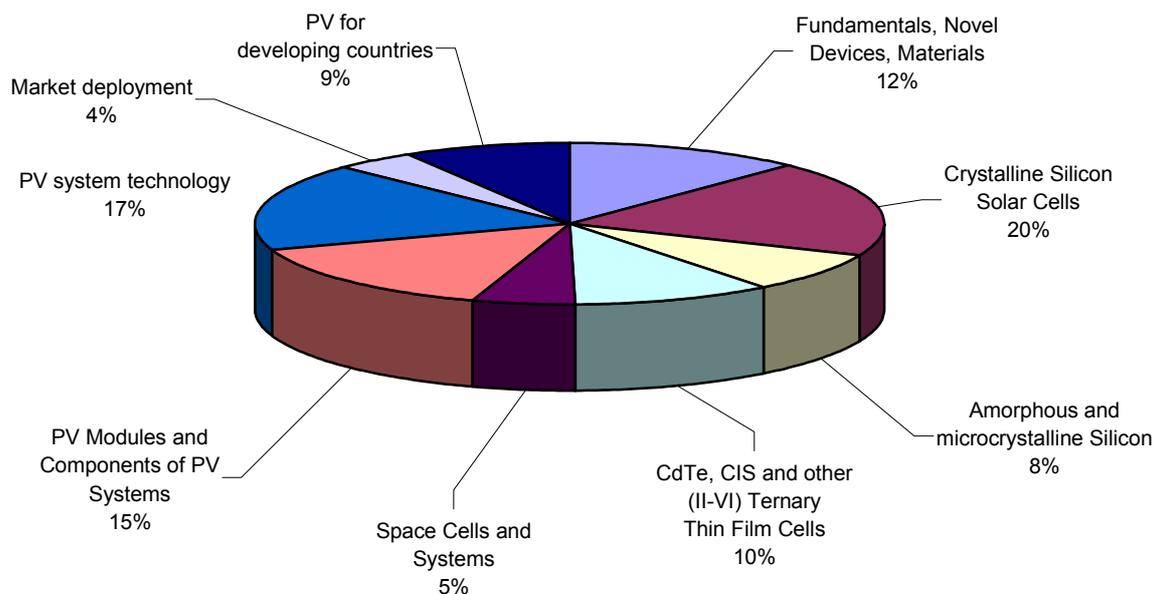
Stefan Nowak, Programmleiter Photovoltaik BFE

c/o NET Nowak Energie & Technologie AG,
Waldweg 8, 1717 St. Ursen
Tel.: +41 26 494 00 30, Fax: +41 26 494 00 34
Email: stefan.nowak.net@bluewin.ch

Allgemeines

Die europäische Photovoltaikgemeinde traf sich zwischen dem 22. und 26. Oktober 2002 in München und damit im Land eines der derzeit wichtigsten Photovoltaik Märkte. Das Münchner Messegebäude bot dazu der 17. Europäischen Photovoltaik-Konferenz mit seiner 1 MWp Dachanlage einen würdigen Rahmen. Auch wenn die Photovoltaik die eindrucklichen Messebauten in ihrem Volumen noch nicht einzunehmen vermag, war die Industrieausstellung die bisher grösste dieser Art und gleichzeitig auch Magnet der ganzen Konferenz. Den Trend der letzten Jahre fortsetzend, verzeichnete die Konferenz in München mit 1650 Teilnehmern aus 65 Ländern und 300 Personen in der Ausstellung (130 Aussteller) einen weiteren quantitativen Zuwachs. Trotz den erst kurz vorher erfolgten Ereignisse des 11. September fanden über hundert Kollegen aus den USA und 70 aus Japan den Weg nach München. Dem Konzept der letzten Konferenz folgend, wurden die mündlichen Beiträge 3-fach parallel geführt, was die Auswahl zuweilen erschwerte. Insgesamt war es in den grossen Räumlichkeiten nicht immer einfach, zwischen dem breiten Angebot auszuwählen und entsprechende Prioritäten zu setzen. Aufgrund ihrer zentralen Lage wurde die Ausstellung besonders als Treffpunkt genutzt.

Es wurden in 59 Sessionen rund 1000 (!) Konferenzbeiträge, davon etwa 225 mündlich, präsentiert. Jeden Tag fanden zusätzlich thematische Foren in der Industrieausstellung und verschiedene Workshops statt. Die Konferenz wurde aber vor allem auch für zahlreiche Meetings von laufenden und neuen Projekten genutzt. Die thematische Gliederung ist in Figur 1 dargestellt.



Figur 1: Thematische Gliederung der Konferenzbeiträge

Wissenschaftlich-technische Entwicklungen

Solarzellen bildeten mit 55% auch in München den grössten Teil der Beiträge (vgl. Zusammenfassungen von H. Kiess, A. Shah, A.N. Tiwari). Angesichts eines rasch wachsenden Marktes konzentriert sich die Mehrheit der Arbeiten auf die Verbesserung existierender Technologien und Produktionsprozesse, was sich auch mit den Eindrücken aus der Industrieausstellung deckt. Auffallen ist dabei die vermehrte Präsenz von Industrieautomationsanlagen. Wenn diese Beobachtung nicht trügt, sind in den kommenden Jahren weitere Kostensenkungen durch Optimierungen der Produktionsprozesse zu erwarten. Die für Europa typische Dominanz im Bereich der kristallinen Solarzellen auf der Basis von Silizium konnte auch in München beobachtet werden. Parallel dazu gehen die grundlegenden Arbeiten über langfristige Optionen und mögliche Entwicklungen der Technologie weiter. Mit kurzfristigen Durchbrüchen, welche den heutigen Trend völlig verändern würden, ist aufgrund dieser Feststellungen in nächster Zeit nicht zu rechnen.

In Bezug auf die besten Wirkungsgrade von Solarzellen auf der Basis des kristallinen Siliziums wurden keine entscheidenden Fortschritte gemeldet. Aus dem Labor wurden dünne, quasi-einkristalline Zellen vorgestellt. Bei den kommerziellen Produkten nimmt jedoch das multikristalline Silizium eine immer bedeutendere Rolle ein. Zusätzlich zur industriellen Prozesstechnologie bildet hier der Materialverbrauch ein zentrales Thema: man ist weiter bestrebt, die Zellendicke zu reduzieren und entsprechende Verfahren weiter zu entwickeln. Nebst verbesserten Sägeverfahren gewinnen auch Solarzellen auf der Basis von Bandsilizium weiter an Bedeutung. Zu den Kostenaspekten, welche mit dieser Entwicklung einhergehen, rückt vor allem auch die Frage der Verfügbarkeit des Rohmaterials in den Vordergrund. Man geht heute davon aus, dass die Photovoltaik im Jahr 2005 zusätzliche 5000 t solares Silizium benötigt. Wie dieses Ziel erreicht werden soll, ist allerdings noch nicht sehr klar.

Solarzellen für die Raumfahrt und Solarzellen der 3. Generation bildeten Themen, welche sowohl aus Sicht der Theorie wie in Laborarbeiten präsentiert wurden. Dazu gehört auch das Thema der Thermophotovoltaik, welches gegenwärtig einen Aufschwung erlebt. Zu letzterem leistet in der Schweiz das PSI wertvolle Beiträge, welche in München mit einer Posterauszeichnung prämiert wurden.

Solarzellen auf der Basis von amorphem Silizium waren auch dieses Jahr nicht im Verhältnis ihrer weltweiten Aktivitäten vertreten; diese Beobachtung ist an den europäischen Photovoltaik Konferenzen jedoch nicht neu. Hingegen hat hier das mikrokristalline Silizium stark an Aktualität gewonnen – auch die entsprechenden Sessionen enthielten dieses Material im Titel. Damit bestätigt sich der Eindruck, dass dieses Material in Zukunft weiter an Bedeutung gewinnen wird. Nebst den Arbeiten zu den eigentlichen Solarzellen sind der Lichteinfang und die leitenden TCO-Schichten wichtige Themen, welche die prozessorientierten Arbeiten zum Dünnschichtsilizium charakterisieren. Auf all diesen Gebieten ist das Schweizer IMT aus Neuchâtel mit führenden Arbeiten vertreten – dies wurde auch durch die Wahl von Prof. A. Shah für den Übersichtsvortrag (lecture) zu diesem Thema belegt. Die Industrie-Ausstellung liess für den Bereich des Dünnschicht-Siliziums auf die grossen Anstrengungen insbesondere seitens von japanischen Herstellern schliessen. Aus entsprechenden Video-Präsentationen lässt sich der fortgeschrittene Grad der dabei erreichten industriellen Produktionsreife beurteilen.

Die industrielle Orientierung charakterisiert auch die Arbeiten bei den Dünnschichtsolarzellen aus Verbindungshalbleitern (CIGS, CdTe). Gleichzeitig wurden hier neue Rekordwerte von Laborzellen vermeldet (16.5% für CdS/CdTe und 12.8% für CIGS in Superstrat-Konfiguration). Bei diesen Technologien wird an verschiedenen Schichtstrukturen und kostenreduzierenden Prozessschritten gearbeitet. Bei CIGS sind flexible Solarzellen (auf Kunststoff und Metallfolien) ein Gebiet mit weiterer Entwicklung. Sowohl CIGS wie auch CdTe können möglicherweise in Zukunft für Anwendungen in der Raumfahrt in Frage kommen. Das Strahlungsverhalten dieser Materialien unter Weltraumbedingungen ist interessant. Die Arbeiten der Gruppe Dünnschichtphysik an der ETHZ sind in einzelnen dieser Resultate prominent vertreten. Die neuen europäischen Industriefirmen in diesem Bereich zeigten den Stand ihrer gegenwärtigen Produktentwicklung: Die Wirkungsgrade betragen 8% für CIGS bei Würth Solar und 7% für CdTe bei ANTEC.

35 Hersteller von Solarzellen und –modulen bzw. von Wafern waren in München vertreten, drei viertel davon aus Europa (vgl. Zusammenfassung N. Cereghetti). Deutlich und neu war aber, wie bereits oben erwähnt, die Präsenz von japanischen Modulherstellern. Neue Produkte wurden im Bereich des Bandsiliziums (Evergreen), CIGS (Würth Solar), CdTe (ANTEC) und hybriden amorphen Solarzellen (Kaneka) vorgestellt. Bei der letzteren handelt es sich um eine Zelle der „mikromorphen“ Art, wie sie am IMT in Neuchâtel entwickelt wurde. Änderungen der Besitzverhältnisse durch Fusionen, Übernahmen und Reorganisationen sowie Namensänderungen prägen auch diesmal die photovoltaische Industrie: Siemens und Shell Solar haben z.B. eine entsprechende Zusammenarbeit aufgenommen. Auch ganz neue Photovoltaikfirmen wurden an der diesjährigen Konferenz erstmals vorgestellt.

Dass Photovoltaik Anlagen mit Vorteil ins Gebäude integriert werden können, ist mittlerweile nichts mehr Neues. Die Gebäudeintegration wurde an der Konferenz in München denn auch nicht mehr als eigenständiges Thema behandelt (vgl. Zusammenfassung Ch. Meier). Daraus könnte man schliessen, dass ansprechende Lösungen in der gebäudeintegrierten Photovoltaik eine Selbstverständlichkeit geworden sind. Wohl werden vielerorts die Anlagen am Gebäude realisiert, bei weitem nicht alle Beispiele verdienen aber das Attribut „integriert“. Ein kritischer Besuch in der Industrie-Ausstellung zeigte auch, dass eine gelungene Integration bei weitem nicht immer im Vordergrund steht: durch die massiven Förderprogramme, insbesondere in Deutschland, und den ökonomischen Auswirkungen der kostenorientierten Vergütung, werden viele Anlagen auf und nicht ins Dach installiert – der Integrationsgrad dieser Anlagen lässt dementsprechend noch zu wünschen übrig. Dadurch wird eine wichtige technische Weiterentwicklung zu integrierten Gebäudeprodukten z.T. beeinträchtigt.

Bei der Systemtechnik stellt man eine erfreuliche Zunahme der industriellen Reife und Produktvielfalt fest; aufgrund der vielen inzwischen realisierten Anlagen mit unterschiedlichen Konzepten kristallisieren sich auch verschiedene technische Lösungen als besonders marktrelevant heraus (vgl. Zusammenfassung H. Häberlin). So gewinnt z.B. das Konzept der String-Wechselrichter weiter an Bedeutung. Modul- bzw. Mini-String-Wechselrichter werden nicht mehr unbedingt direkt am Modul montiert. Die vor allem in Deutschland propagierte ENS konnte sich international nicht durchsetzen und wird nun angepasst. Der technischen Reife entsprechend, wurde in München verschiedene Beiträge zu den Themen Sicherheit, Kundenakzeptanz und Zertifizierung vorgestellt.

Ausstellung

Die begleitende Ausstellung umfasste gut 130 Aussteller; sie war für diese Konferenz – zum einen aufgrund ihrer Vielfalt und Marktrelevanz, zum andern durch ihre zentrale Lage – ein wesentlicher Treffpunkt der Konferenzteilnehmer (vgl. Zusammenfassung S. Gnos). Diese Ausstellung bot eine einmalige Gelegenheit, sich von der europäischen Photovoltaikindustrie und darüber hinaus ein aktuelles Bild zu machen. Der Erfolg der Ausstellung wurde durch die Schweizer Aussteller positiv beurteilt.

Marktentwicklung

Aufgrund der verschiedenen, grossangelegten Förderprogramme ist der Photovoltaikmarkt zur Zeit mehr durch die Nachfrage als durch das Angebot geprägt, was mindestens momentan eher zu einer Preissteigerung als zu der so dringenden Kostensenkung führt (vgl. Zusammenfassung P. Hüsser). Nebst den bekannten grossen Märkten in Japan und Deutschland kommen nun die USA (besonders Kalifornien), Italien und Frankreich hinzu. Holland hat sein Programm umgestellt aber weiterhin mit einer kräftigen Förderung versehen, wobei die Zielgruppen neu definiert wurden. In verschiedenen Ländern (Italien, Frankreich, Portugal) spricht man über die Einführung von kostenorientierten Vergütungen, wie sie Deutschland und Spanien bereits kennen.

Photovoltaik in Entwicklungsländern

Die Anwendung der Photovoltaik in Entwicklungsländern wurde in München wieder ausgiebig thematisiert (vgl. Zusammenfassung D. Ruoss). Es wurden verschiedene konkrete Beispiele vorgestellt, aber auch die Bemühungen verschiedener Organisationen um dieses wichtige Marktsegment (Weltbank, IFC, UNDP, G8, etc.). Wie bereits früher festgestellt, stehen für diesen bedeutenden Markt nicht-technische Aspekte (Infrastrukturaufbau, Finanzierung, Ausbildung, Unterhalt, Information) weiterhin im Vordergrund. Trotz einer ganzen Reihe von bilateralen und multilateralen Projekten mit zehntausenden von installierten Systemen stehen noch nicht genügend eindeutige Erfahrungen zu den erfolgversprechenden Modellen zur Verfügung. Der Workshop zum Thema der Photovoltaik in Entwicklungsländern zeigte diesen Sachverhalt besonders deutlich auf: Es wurde im Zusammenhang mit den unterschiedlichen Ansätzen (z.B. PV-MTI, SDG) ganz offen von verschiedenen „Versuchen“ gesprochen.

Politische Rahmenbedingungen

Die politischen Rahmenbedingungen standen in München weniger im Vordergrund als an früheren Konferenzen. Man sprach viel mehr über die Art und Weise, wie die hochgesteckten Ziele (Kapazität und Kosten) erreicht werden können, und zwar mit einer nachhaltigen Wirkung, als über die Notwendigkeit der politischen Rahmenbedingungen, auch wenn diese Aussage für den Fall der Schweiz in dieser Form sicher nicht zutrifft. Seitens der Europäischen Kommission wurde für die Photovoltaik von einem „window of opportunity“ gesprochen, einem Gelegenheitsfenster also, das es nachhaltig für eine weitere Verbreitung der Photovoltaik zu nutzen gilt.

Schweizer Beiträge

Die Schweiz war in München wiederum sehr gut vertreten. Die insgesamt 52 Beiträge mit Schweizer Beteiligung umfassten 1 „lecture“, 3 Plenarvorträge, 13 mündliche Beiträge und 35 Posterbeiträge (siehe Anhang S.51). Diese Beiträge belegten den weiterhin hohen Stand der Schweizer Photovoltaik im internationalen Vergleich, sowohl in der Forschung wie in der Anwendung. Folgende Schweizer Hersteller, Produkte bzw. Organisationen waren in der Ausstellung vertreten:

- Cyphelly & Cie
- Enecolo AG (bei Ernst Schweizer AG)
- Ernst Schweizer AG
- HCT Shaping Systems SA
- Meyer & Burger Ltd.
- Multi-Contact AG
- PASAN – BELVAL SA
- Solterra SA
- Studer Solartechnik
- IEA PVPS (international)
- IECQ (international)
- PV GAP (international)

In Zukunft wäre zu überlegen, ob die Schweiz wieder vermehrt in gebündelter Form an der Ausstellung teilnehmen sollte. Dies könnte dem Image „PV made in Switzerland“ zugute kommen und die Wahrnehmung erhöhen.

Bewertung

Die 17. Europäische Photovoltaik Konferenz stand ganz im Zeichen der industriellen Umsetzung. Nebst den vielen wissenschaftlichen, technischen und marktbezogenen Beiträgen, welche zuweilen unübersichtlich werden konnten, war vor allem die Gelegenheit zu einem intensiven, persönlichen Austausch gegeben. Es ist zu hoffen, dass daraus wieder neue Ideen, neue Projekte und neue Partnerschaften entstehen. Auch wenn die zahlreichen Gespräche aufgrund eines reichbefrachteten Programms nicht immer die erwünschte Tiefe erreichen konnten, ist die Konferenz in München als äusserst erfolgreich zu werten. Es stehen auch schon wieder nächste Termine fest: Vom 7. bis zum 11. Oktober 2002 findet in Rom die Konferenz „PV in Europe: from technology to energy solutions“ statt. Die reguläre 18. Europäische Photovoltaik Konferenz findet zusammen mit der dritten Photovoltaik Weltkonferenz vom 12. bis zum 16. Mai 2003 in Osaka, Japan, statt.

Schlussbemerkungen

Aus diversen Gesprächen mit verschiedenen Schweizer Konferenzteilnehmern entsteht zum momentanen Befinden der Schweizer Photovoltaik Branche ein recht heterogenes Bild. Einerseits zeichnen Firmen, die ihre Produkte auf dem Europäischen Markt in den Bereichen Fertigung von Photovoltaik Modulen oder Systemkomponenten erfolgreich anbieten, ein insgesamt positives Bild. Gleichzeitig schätzen ein Teil der Unternehmen, die in den Bereichen Photovoltaik Engineering oder Anlagenbau tätig sind, und weder auf dem Europäischen Markt noch im Bereiche Solarstrombörsen vertreten sind, die Lage eher pessimistisch ein. Unklarheiten herrschen bei den Marktteilnehmern auch darüber, inwiefern Schweizer Unternehmen oder Institutionen patentierte Verfahren oder Systeme realisieren, oder in wirtschaftliche Erfolge umsetzen können. Der Auftritt der Schweizer Photovoltaik Branche gegenüber Politik und Wirtschaft widerspiegelt diese Situation, die politisch von Einzelkämpfern geprägt ist, und im gemeinsamen Auftritt nach aussen inhomogen wirkt. Ein Konferenzteilnehmer bemerkte, dass es in der Schweiz gemeinsamer Ziele oder Visionen für die Zukunft fehlt, für die es sich gemeinsam einzusetzen lohnt. Ein strategisches Investitionsdenken in Bezug auf Solarzellen der dritten Generation, Entwicklung fortgeschrittener Photovoltaik Komponenten, Aufbau von Produktionsanlagen und nachhaltige Stärkung des Marktes sind Stichworte solcher Zukunftsvisionen.

Fortschritte in der kristallinen und multikristallinen Siliziumtechnologie, bei Solarzellen höchsten Wirkungsgrades und Photovoltaik der 3. Generation

H. Kiess

im unteren Tollacher 11, 8162 Steinmaur
Tel.: +41 1 85 3 01 60; Fax: +41 1 854 05 28
Email: hkiess@dplanet.ch

Trends in der Siliziumtechnologie

Gegenwärtig widmen sich die Arbeiten an den Hochschulen, in den staatlichen und industriellen Laboratorien weltweit vorwiegend der kostengünstigen Herstellung von kristallinen und multikristallinen Solarzellen. Der Trend geht eindeutig dahin, den **Wirkungsgrad der Solarzellen** in der Massenfertigung unter Beibehaltung niedriger Herstellungskosten **zu erhöhen** und die **Dicke der Solarzellen** von gegenwärtig 250 bis 300 μm auf 150 μm bis 50 μm **zu reduzieren**. Gründe dafür liegen darin, dass sich mit hohem Wirkungsgrad und dünneren Siliziumscheiben die flächenbezogenen Kosten der Module und Anlagen senken lassen, und dass sich ein Mangel an solarzellentauglichem, billigem Silizium anbahnt. Silizium aus Überschüssen oder Abfällen aus der Halbleiterindustrie führt bei unveränderter Technologie bald zu Engpässen, sodass eine spezifische Produktion von billigem, solartauglichem Silizium erforderlich wird.

Produktionskapazitäten 2000

Die Zunahme des Solarmarktes im Jahr 2000 wurde im wesentlichen durch kristallines/multikristallines Silizium mit 80 MW erhöhter Produktionskapazität abgedeckt (Gesamtkapazität 288 MW im Jahre 2000), a-Si:H konnte um 3 MW zulegen, während die anderen Dünnschichtmaterialien alle noch in der Pilotproduktion stecken. Von verschiedenen Firmen sind 2001 weitere Kapazitätsausweitungen getätigt worden und/oder in Planung.

Wirkungsgrad und dünne Zellen

Der beste Wirkungsgrad einer im Labor gefertigten Si-Zelle liegt weiterhin bei 24.7 %, in der industriellen Produktion liegen die Wirkungsgrade bei 12 – 16 %. Obwohl einkristalline Zellen einen höheren Wirkungsgrad in der Fertigung erreichen als multikristalline, war das auf dem Markt erhältliche Modul mit dem höchsten Wirkungsgrad ein polykristallines Modul, da die Ausnützung der Modulfläche besser ist als mit einkristallinen Zellen. Andererseits wurde von Verlinden et al. (Sunpower, CA) über ein konzentrierendes PV-System berichtet, das bei 123-facher Konzentration des Sonnenlichts einen Systemwirkungsgrad von knapp über 20 % erzielte, gemessen unter **PVUSA Testing Conditions** (PTC: 850 W/m^2 , 20 $^{\circ}\text{C}$, 1 m/s). Bei PTC beträgt die abgegebene Leistung dieses Systems somit 170 W/m^2 , während sie unter den gleichen Bedingungen bei nicht konzentrierenden Systemen (Wirkungsgrad 14 %) bei ca. 120 W/m^2 liegt.

Die künftige Entwicklung der Wirkungsgrade von Solarzellen aus verschiedenen Materialien wurde von Goetzberger anhand einer empirischen Methode abgeschätzt, die darauf basiert, dass der Wirkungsgrad bei Beginn einer neuen Entwicklung zuerst steil mit der Zeit ansteigt, sich dann verflacht und einen Grenzwert erreicht, der nicht überschritten werden kann. Dieser zeitliche Verlauf wurde mit einer Exponentialfunktion $\eta(t) = \eta_{\text{oo}}(1 - e^{-t/\tau})$ beschrieben bzw. aus dem zeitlichen Verlauf des Wirkungsgrads zu Beginn einer Zellentwicklung auf den weiteren Verlauf in der Zukunft extrapoliert. Danach würde der Grenzwert des Wirkungsgrades mit kristallinem Silizium bei 29 % liegen und im Jahre 2040 erreicht, während im gleichen Jahr die Wirkungsgrade von

Modulen viel bescheidener im Bereich von 20 bis 21 % liegen würden. Solche Module wären etwa im Jahre 2040 auf dem Markt erhältlich, so die Prognose. Zellen aus dünnem, kristallinen Silizium hätten im Jahre 2020 nur noch einen um 1 – 2 % Prozentpunkte geringeren Wirkungsgrad als dicke Zellen. Die Frage stellt sich, ob nicht die Entwicklung des Wirkungsgrades von Modulen beschleunigt wird, wenn wirtschaftliche Zwänge auftreten, wie z. B. Mangel an solartauglichem Silizium oder Konkurrenz durch andere Materialien.

Dünne Solarzellen für eine Umsetzung zur Produktionsreife in naher Zukunft (BP und Shell-Siemens) haben eine Dicke von ca. 125 μm . Die Scheiben werden mit Hilfe von Drahtsägen in dieser Dicke hergestellt. Dünnere Scheiben lassen sich zwar sägen, jedoch wird dann der Sägeverlust von ca. 125 bis 150 μm größer als deren Dicke und damit die Materialeinsparung letztlich hinfällig. Die Problematik, die gleichzeitig gesägten dünnen Si-Scheiben voneinander bruchfrei zu trennen, scheint gelöst zu sein. Im Labor wurde mit der RP PERC Struktur mit 115 μm dicken Cz-Wafern ein Wirkungsgrad von 20 % erzielt, mit einem einfacheren, kostengünstigeren Prozess 18 %. In einer industriellen Verfahrenslinie erzielte man bei 140 μm dicken Wafern einen Wirkungsgrad von 17 % bei einer mechanischen Ausbeute von 85 %. Ein Problem schien der thermische Stress und das Wölben der Zellen zu sein, wenn Kontakte angelötet werden. Leitende Kontaktbänder (Ein- oder Zweikomponenten Kontaktbänder) scheinen jedoch das Problem zu lösen und die Anforderungen in Bezug auf das thermische Zyklen und die Umweltbelastungstest zu bestehen. Die Kosten einer Modulproduktion können (laut Forschungsgruppe BP Solar Sunbury on Thames, FhISE Freiburg, Soltec Leuven, Bayer Krefeld, IES Madrid und Univ. Lisboa) um 25 % gesenkt werden, wenn mit der Reduktion der Zelldicke gleichzeitig ein um 2 % höherer Zellwirkungsgrad erreicht wird als mit dicken Zellen, die nach dem gegenwärtigen Stand der Technik produziert werden.

Dünne Zellen lassen sich auch mit Hilfe einer neuen Sägetechnik (Synova, Lausanne) mit geringem Sägeverlust von nur ca. 50 μm herstellen. (Dies wurde in einem Vortrag vom FhISE betont und die Herstellbarkeit von Bauelementen auf dünnem Silizium mittels einer flexiblen, in eine Plastik eingebetteten, einkristallinen Si-Scheibe von 10 Zoll Durchmesser gezeigt.) Diese Sägetechnik besteht darin, dass ein dünner Ätz- und Laserstrahl das Material durchschneidet. Da dabei keine oder nur minime Sägeschäden entstehen, entfällt bei dieser Sägemethode das Abätzen des Sägeschadens. Die Sägegeschwindigkeit beträgt ca. 6 cm/min bei einem 2 cm dicken Si-Stab; sie ist natürlich bei größerer Dicke des Materials entsprechend kleiner. Diese Sägetechnik scheint mir entwicklungsfähig und vielversprechend zu sein.

Andere Methoden zur industriellen Herstellung dünner Si-Solarzellen bestehen im Ziehen von Bändern (Evergreen-Technik) oder von Oktagons (ASE, jetzt neu RWE-Solutions). Hier ergibt sich praktisch kein Sägeverlust, wobei die Konkurrenzfähigkeit zum Sägen von gegossenen Blöcken oder von Einkristallen mit nachfolgendem Ätzen der Scheiben noch nicht klar entschieden ist. Multikristalline Filme werden auch bei Astropower hergestellt. Alle diese Methoden werden kommerziell genutzt; Zellen und Paneele mit solchen Zellen sind auf dem Markt erhältlich.

Die Herstellung einkristalliner, dünner Silizium Filme im Bereich von 5 bis 50 μm Dicke ist in der Laborphase. Die Filme werden alle auf einem Substrat – billiges Silizium, Graphit oder Glas – abgeschieden, wobei das Substrat die Temperatur und Art der Abscheidung bestimmt, bei niederen Temperaturen liquid phase epitaxy, bei hohen chemical vapor deposition.

Die Transfertechnik wird gegenwärtig auch intensiv untersucht: Es wird eine dünne, einkristalline Siliziumschicht auf einem Si-Wafer abgeschieden, dann abgelöst und auf ein Glassubstrat übertragen. Hier soll die hohe Qualität der abgelösten Schicht zum Tragen kommen (d.h. hoher Wirkungsgrad bei Schichtdicken im Bereich von 30 μm oder weniger). Da der Si-Wafer wieder verwendet werden kann und das Glassubstrat billig ist, kann man sich eine kommerzielle Technologie auf dieser Basis vorstellen. Verschiedene Techniken, den Film vom Si-Wafer abzulösen, werden entwickelt und untersucht, im wesentlichen von Sony, Mitsubishi, Institut für Solare Elektronik, etc.

Die von J. Pankove in den 70iger Jahren erstmals publizierte Beobachtung, dass a-Si:H einkristallines Si besser als SiO_2 passiviert, findet nun auch Eingang in die Zellherstellung. Der Wafer wird auf der Vorder- und Rückseite mit a-Si:H beschichtet, wobei auf der Vorderseite eine Heterostruktur gebildet wird. Die Verfahrenstemperaturen liegen unter 200 $^{\circ}\text{C}$, wodurch die reduzierten Kosten der Zellfertigung und die kürzere Energierücklaufzeit bei diesem Herstellungsverfahren offensichtlich werden. Sanyo erzielte bislang die besten Resultate mit dieser Technik:

Mit Cz-Silizium wurde auf 101 cm² großen Wafern ein Wirkungsgrad von 20.7 % erzielt. Die Langzeitstabilität der Zellen ist mir unbekannt.

Silizium für Solarzellen

Wie ist die Solarindustrie gegliedert? Es gibt weltweit ungefähr 7 Hersteller von 'electronic grade silicon', 15 Waferhersteller, 25 Zellenproduzenten, und 100 Modulhersteller. Die 10 größten Waferhersteller produzieren 92 % der Wafer insgesamt. Dies sind Sharp (54), SolarWorld (44), BP Solar (40), Kyocera (36), Shell/Siemens (29), AstroPower (18), Sanyo (15), ASE (14), Photowatt (12) und Mitsubishi (12); in Klammern ist die Jahresproduktion im Jahr 2000 in MW angegeben. Man darf davon ausgehen, dass diese Firmen auch zu den größten Zellherstellern gehören. Das Silizium für Solarzellen ist Material, welches den Spezifikationen für die Herstellung von Halbleiterbauelementen nicht entspricht. Die Kapazität der Produktion für electronic grade Si liegt bei etwa 26 000 t/a, während im Jahr 2001 die Solarindustrie ca. 4000 t abnehmen wird. Einem künftigen Engpass in der Siliziumversorgung wird man nur begegnen können durch Reduktion der Siliziummenge pro MW, neue Quellen für Solarsilizium und neue Silizium-Dünnschicht Technologien.

Bei der gegenwärtigen Dicke der Zellen von 330 µm werden 17 t/MW gebraucht, wovon sich 5 t, also nur 30 % davon, in Form von Solarzellen in den Modulen befinden. Bei einer Dicke von 275 µm ist der Bedarf noch 10 t/MW. Dünnere Zellen, höherer Wirkungsgrad, weniger Verschnitt und höhere Ausbeute sind daher gefordert; diese Maßnahmen werden aber vermutlich nicht ausreichen, den wachsenden Markt mit Silizium zu versorgen. Es sind daher folgende Szenarien in Diskussion: Regulierung von selber durch Zunahme des Bedarfs an electronic grade Si und damit einhergehend ein ausreichender Nachschub für die Solarindustrie (Abhängigkeit der Solarindustrie von der Halbleiterindustrie ist nicht unbedingt erwünscht), Verwendung von electronic grade Si für Solarzellen (ist mit 35 – 45 \$/kg zu teuer), Aufbau einer unabhängigen Versorgung für solar grade Si. Für die unabhängige Versorgung ist ein kommerzielles Verfahren noch nicht aufgebaut, soll aber nach dem Verfahren, das von Bayer entwickelt wurde, einen Siliziumnachschub zu einem Preis von 12 – 13 Euro/kg ermöglichen. Da Bayer offensichtlich eine Produktion nicht in Angriff nehmen will, sind die Patente an SolarWorld verkauft worden. SolarWorld will die Produktion in Gang bringen, allerdings nicht im Alleingang, sondern in Zusammenarbeit mit weiteren Partnern (Sahara Projekt). Das Verfahren von Bayer verwendet für die Abscheidung des Siliziums aus der Gasphase einen fluidized bed reactor; es entsteht dabei grobkörniges Silizium, welches zu kristallinem oder multikristallinem Silizium weiter verarbeitet wird. Ein weiteres Verfahren, welches SolarWorld mit einem Partner aus USA untersucht, soll die Abscheidung multikristallinen Siliziums aus der Gasphase in großen Blöcken ermöglichen. Es wird damit gerechnet, dass solar grade Si im Jahr 2005 in einer Menge von 1000 t zur Verfügung stehen wird.

Solarzellen höchsten Wirkungsgrades

Solarzellen mit Wirkungsgrad über 25 % sind Tandem- oder Tripelzellen aus III-V Halbleitern. Sie sind entweder für die Raumfahrt gedacht oder für terrestrischen Anwendungen unter Konzentration des Sonnenlichts. Wirkungsgrade sind der folgenden Tabelle zu entnehmen:

	Monozelle GaAs	Tandemzelle GaInP/GaAs	Tripelzelle GaInP/GaAs/InGaP /Ge	Quintozelle (Theorie) GaInP/GaInP/GaAs/GaInAs/ GaInAsN/Ge
AM 0	21 %	27 %	29 %	34 %
AM 1.5	31 %		31.7 % und 33.3 % als Stapelzelle	

Der starke Impuls für die Herstellung solcher Zellen kommt im wesentlichen aus der Raumfahrt.

Solarzellen der 3. Generation

Dieses Thema wurde in mehreren theoretischen Beiträgen behandelt. Es umfasst im wesentlichen folgendes: Tandemzellen, Nutzung heißer Ladungsträger (inverser Auger Prozeß), Materialien mit Mehrfachbändern, Störstellen-Photovoltaik, Thermophotovoltaik. Alle diese Prozesse sollen zu Wirkungsgraden führen, die über den gegenwärtig erreichbaren liegen. In Gesprächen, die allerdings nicht in Details gehen konnten, wurden gewisse Einwände von mir in Abrede gestellt, da sie in der Theorie berücksichtigt seien und das Ergebnis der Berechnungen nicht beeinflussen würden.

Photonen ausreichender Energie führen zu heißen Ladungsträgern, welche durch Stoßionisation (inverser Auger Effekt) weitere Ladungsträger erzeugen. Dadurch wird pro eingestrahltm Photon mehr als nur ein Elektron-Loch Paar erzeugt. Quantum dot Zellen sollen geeignete Kandidaten für die Nutzung dieses Effekts sein. Materialien mit mehreren Bändern oder Störstellenbändern sollen im wesentlichen wie Tandemzellen funktionieren, d. h. der Übergang vom Störstellenband in das Leitungsband und vom Valenzband ins Störstellenband soll durch niederenergetische Photonen, der vom Valenzband ins Leitungsband durch hochenergetische Photonen zustande kommen (Abb. 1). Die Verluste über Phononenemission, d. h. die Wärmezeugung wird geringer und deswegen der Wirkungsgrad der Zelle höher. Die solare Thermophotovoltaik soll über einen **aktiven** Zwischenabsorber (Thermophotonics) bei Absorbtemperaturen im Bereich von 300 K bis 1200 K Wirkungsgrade zwischen 28 und 47.5 % erreichen, wenn sowohl für den Zwischenabsorber als auch die Solarzelle Silizium verwendet wird. Das thermophotonische Bauelement besteht aus zwei Dioden (Abb. 2), wobei die absorbierende Diode in Sperrrichtung, die emittierende in Vorwärtsrichtung gepolt ist und zwar so, dass der Energieverbrauch des thermophotonischen Bauelements Null ist. Die Emission der Diode hat eine Bandbreite von kT und wird von einer Solarzelle entsprechenden Bandabstands mit einem sehr hohen Wirkungsgrad in elektrische Leistung umgesetzt.

Abb. 1: Störstellenband PV

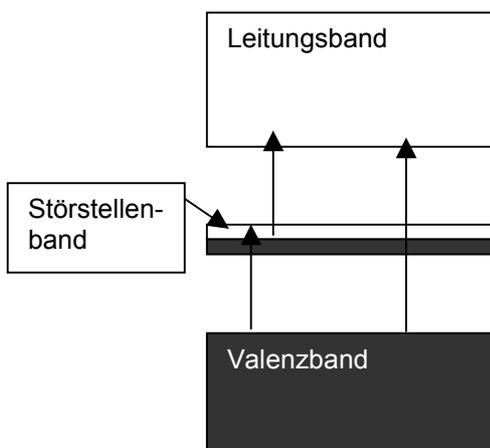
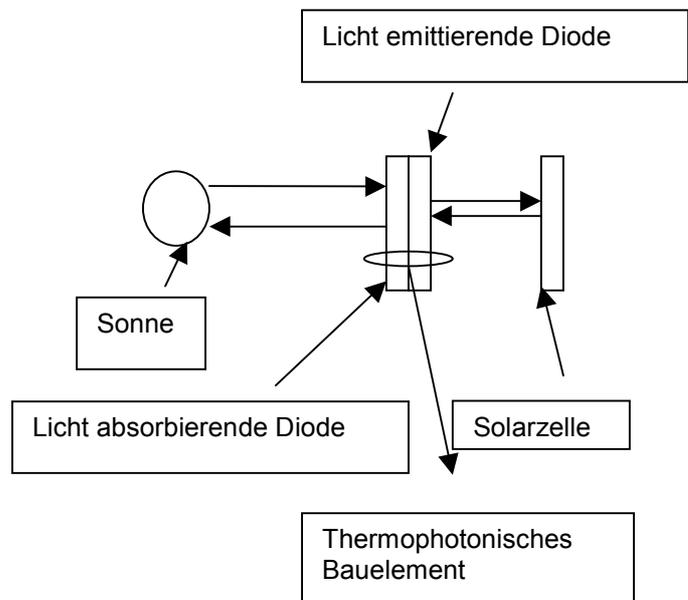


Abb. 2: Thermophotonics und Thermophotovoltaik



Amorphous and microcrystalline silicon solar cells

Arvind Shah

Institut de Microtechnique (IMT), Université de Neuchâtel,

Breguet 2, 2000 Neuchâtel

Tel.: +41 32 718 33 30; Fax: +41 32 718 32 01

Email: arvind.shah@unine.ch

Conference participation by the significant “players” in this field was limited, because many U.S. and Japanese research laboratories and Industries did not at all announce any papers, and two of the leading Japanese firms (Kaneka, Sanyo) withdrew at the last minute their oral papers. There were, in fact, relatively few participants from outside Europe, certainly also because of the international political situation (terrorist attack of 11.09.01). Thus, mainly European laboratories were represented in this conference – this was a pity, because Europe is not the most active region for the field of thin-film silicon; Japan has clearly become the leading region here!

A particular role was played by the member-laboratories of the “DOIT” Consortium (the Consortium that is developing, together with IMT Neuchâtel, a 30 x 30 cm² microcrystalline / amorphous or “micromorph” module, within the framework of a Research Project of the European Community): Indeed, the plenary session on amorphous and microcrystalline silicon consisted almost exclusively of contributions from members of the DOIT Consortium, i.e. of contributions from IMT Neuchâtel, Academy of Sciences, Prague and Forschungsanstalt Jülich.

As a general comment, one can say that there was not much spectacular innovation reported here, but a lot about consolidation, understanding and stepwise technical improvement of processes and devices. Amorphous and microcrystalline silicon is, thus, becoming a field that is attaining a certain degree of technical maturity.

This fact was also reflected by the **Exhibition**, where many producers displayed amorphous silicon modules and two Japanese producers (Kaneka and Sharp) presented micromorph (i.e. amorphous / microcrystalline) tandem modules. A video display showing the fully automated production of Kaneka’s amorphous and micromorph modules was indeed very impressive. Also impressive are the claimed / promised results for Kaneka’s micromorph modules – according to the datasheet: over 9% total area stabilized efficiency and 10% aperture area efficiency. We know, however, from measurements at our own lab and at Phototronics (Putzbrunn, D) that these claims were not yet fully met by the first prototypes from their pilot line production that had been (accidentally?) available for sale in Europe in the beginning of 2001. Sale of (improved) micromorph modules from Kaneka’s actual production line is now announced for spring 2002. In the case of Sharp, the “new-generation” module displayed by them seemed visually clearly to be a micromorph module (because of its black colour) but the Sharp staff refused to confirm this suspicion.

O. Ikki of Ressources Total System (Tokyo) announced in his invited talk on “Progress and Future Outlook of PV Market in Japan”, the entry of new companies into the field of PV manufacturing: e.g. Mitsubishi Heavy Industries and Nisshin Steel (together with Canon). From the recent PVSEC-12 conference in Korea, we (inofficially) know that both companies intend to manufacture “hybrid” i.e. micromorph tandem modules. In fact, Mitsubishi, Sharp and Kaneka are working on the pin-glass /superstrate version, whereas Canon / Nisshin Steel have chosen the nip-stainless steel substrate version.

A further Japanese industry that has also started research work on micromorph solar cells is Kyocera: they gave an oral presentation on their work: the results themselves were not very impressive; what was interesting is that they, too, have started a research program on such tandem solar cells and are using VHF-plasma to produce them. What was also interesting was the justification given at the beginning of the talk: Wafer-based crystalline silicon is suffering increasingly from a supply problem w.r.t. feedstock, amorphous silicon has too low stabilized efficiencies, so the way out of this dilemma is given by micromorph modules (i.e. modules combining amorphous and microcrystalline silicon).

In the following are some particularly interesting detailed results reported by various research groups:

The **Jülich** group (Bernd Rech and co-workers) has been looking at high-rate deposition of microcrystalline silicon by PECVD (plasma-enhanced chemical vapour deposition) at 13.56 MHz, by increasing the reactor pressure (to around 10 Torr) and the plasma power. Thereby, they obtained small-size single-junction microcrystalline solar cells with 8.1% efficiency at a rate of 9 Å / sec.

Full micromorph tandem test cells (size 1 cm²) were then deposited (at 5 Å/sec for the μ -Si:H intrinsic layers) in a 30 x 30 cm² reactor with initial efficiencies of up to 11.9 % ($V_{oc} = 1.36$ V, $J_{sc} = 12.1$ mA/cm², FF = 71.7%). This work is similar to that reported earlier by Matsuda's group in Tsukuba (Japan) based on their so-called "High-Pressure Depletion (HPD)" regime. It means that instead of increasing the plasma excitation frequency (as we do at IMT Neuchâtel), one can increase gas pressure, in order to be able to increase deposition rate without excessive damage by ion bombardment. However, a concern that so far persists, for this deposition regime, is excessive gas usage, especially of hydrogen – this could constitute a major cost factor. As far as solar cell performances are concerned, the HPD regime at 13.56 MHz plasma excitation frequency leads to results that are comparable, but so far slightly inferior than those obtained by IMT Neuchâtel and by other laboratories with VHF plasma.

In a joint collaborative effort, together with RWE Solar GmbH (Phototronics) Putzbrunn, the Jülich group has developed their first modules on a substrate of 30 x 30 cm² area, using 13.56 MHz plasma excitation frequency as well as textured (wet-etched) ZnO: Al coated glass substrates. This proof of concept was achieved by using the established laser patterning techniques of RWE Solar GmbH (Phototronics) and an active area efficiency of 9.3% was obtained.

The Jülich group (F. Finger and co-workers) also reported on a single-junction μ -Si:H cell deposited at a low deposition rate (in the range of 1Å/sec) by the Hot Wire Method, where they achieved **a record value of Voc (598 mV)** and at the same time a high value of the fill factor (71.4%); with a short-circuit current of 19.9 mA/cm² this cell had an efficiency of 8.5%; in a similar cell a short-circuit current of 22 mA/cm² was reached, giving a total efficiency of 9.1%. If this high V_{oc} -FF combination could be incorporated into traditional micromorph cell designs, then a significant improvement in overall efficiency should become possible.

Furthermore, the Jülich group also reported on their work on Al-doped ZnO, deposited by DC or RF sputtering and subsequently texture-etched. This work goes back to an idea launched by J. Anna Selvan and Herbert Keppner of IMT Neuchâtel and is now actively pursued by a German national consortium of research laboratories and Industries (Forschungsanstalt Jülich, Fraunhofer Institut Braunschweig, RWE Solar GmbH Phototonics and Applied Films GmbH). The thickness of the front ZnO for a microcrystalline / micromorph solar cell has to be tailored to obtain optimal overall solar cell performance, and 750 nm (before etching) was at present found to be the best compromise. We at IMT Neuchâtel are ourselves now following up mainly another method: the deposition of B-doped ZnO by low-pressure chemical vapor deposition (LP-CVD), because of two reasons (a) we believe that Industrial upscaling is simpler and cheaper for LP-CVD and (b) optical (i.e. light trapping) performances of this type of ZnO layers has so far been superior to those of Al-doped sputtered ZnO layers.

The **Prague group** (M. Vanecek, J. Kocka and co-workers) reported on the optical properties of thin-film silicon solar cells (both on modeling as well as on new measurement methods). What clearly emerges is that one needs to have improved light scattering through rough TCO layers in order to obtain micromorph solar cells with better performances (i.e. with higher short-circuit currents). This means not only rougher TCO layers, but especially TCO layers with higher mobility. Only if the electron mobility of the TCO layers is high enough, can one obtain a combination of a high conductivity and a low free carrier absorption (i.e. a low absorption in the infrared), - and such a combination is indeed needed to enhance solar cell performance. It would seem that with PECVD (plasma-enhanced chemical vapor deposition) of ZnO, such higher mobilities would, in fact, be possible (this was reported earlier by R. Groenen et al. of Eindhoven University, see papers in Applied Surface Science 6735 (2000) 1-4 and Thin Solid Films (2001)).

We at **IMT Neuchâtel** presented (apart from being co-authors in several other papers) four main contributions of our own:

A plenary lecture (by A. Shah et al.) was given on the present stand of microcrystalline single-junction solar cells and micromorph tandems in the superstrate (glass-pin) configuration. Thereby, one of the accents was on trying to link growth, microstructure and cell performance. TEM (Transmission electron microscopy) images of typical "optimized" $\mu\text{c-Si:H}$ solar cells on glass-ZnO "superstrates" show that the silicon crystallites grow at first perpendicular to the ZnO facets, then develop within conical conglomerates that extend throughout the whole microcrystalline layer. Cracks can be seen even for high- V_{oc} cells, as deposited near the microcrystalline / amorphous transition, although they are not as pronounced as in the case of low- V_{oc} cells deposited at high ratios of hydrogen to silane in the plasma reactor. It is still not very clear how exactly the observed microstructure affects solar cell performance. This is a topic being studied also by other labs, but so far without any clear-cut results. Another highlight of this talk was the presentation of the high- V_{oc} micromorph tandem cells (size 1 cm^2) recently developed by our group. These cells attain the following initial characteristics: $V_{oc}=1.413\text{V}$, $FF=73.3\%$, $J_{sc}=11.9\text{ mA/cm}^2$ ($\eta=12.3\%$). Whereas V_{oc} and FF values can be considered to be very good, the current density J_{sc} (obtained here with a $2\mu\text{m}$ thick $\mu\text{c-Si:H}$ i-layer) clearly needs further improvement, by even better light trapping. Indeed, the main way to further increase micromorph tandem solar cell efficiency is now through an increase in J_{sc} by an improvement of light trapping and of back reflection, i.e. by optical confinement methods.

An oral presentation (J. Guillet, V. Daudrix et al.) dealt, on the other hand, with the problems of amorphous solar cells and microcrystalline / micromorph solar cells in the substrate nip-configuration. This configuration is needed if an opaque substrate (e.g. stainless steel) or if a substrate that is not light resistant (e.g. various types of plastic foils) are used. The paper treated two main issues: the first issue was the improvement of light-trapping by using a substrate consisting of stainless steel, rough Ag (deposited at 400°C) and sputtered ZnO:Al; thereby, a haze factor as high as 93% is obtained and the current density of $\mu\text{-Si:H}$ test cells could be increased by about 1/6 by the roughening of the Ag layer. The second issue was the improvement of stability and short-circuit current density of the amorphous top cell by optimizing the hydrogen dilution ratio and using higher deposition temperatures for the i-layer. Whereas a low value of hydrogen dilution (around 1:1 to 1:2 for the hydrogen to silane gas phase ratio) seems to be an excellent choice w.r.t. cell performance **and** deposition rate, the increase in deposition temperature gave rise to new problems (e.g. chemical diffusion) that could so far not be solved. Clearly, there is a need for further research work in the field of nip micromorph tandems.

A poster (by C. Droz et al.) dealt specifically with crystallinity studies (based on Raman spectroscopy) on a series of nip-type $\mu\text{-Si:H}$ solar cells; thanks to bifacial illumination (illumination from both sides), and to the use of short-wavelength (blue) input light, the crystallinity of the n/i interface (where microcrystalline silicon growth starts) and that of the i/p interface could be separately studied. We hope this will give us hints on how to improve the cell performance (i.e. V_{oc} and J_{sc}) of these nip cells further.

Another poster of IMT (R. Tscharnner et al.) was devoted to the performance analysis of the rooftop a-Si:H/a-Si:H tandem PV module installation on IMT's laboratory building. Excellent annual energy yields values of around 1000 kWh/kWp were obtained; the stability of the installation is satisfactory; after an initial relative efficiency degradation of 15% in the first year of operation, subsequent degradation was around 1% per year in the following years. One may note that the relatively good performance of amorphous silicon modules w.r.t annual energy yield in kWh/ kWp has been remarked by several other investigators, too; it can be traced back to various physical factors, such as the lower temperature coefficient (compared with crystalline silicon modules), and the reduced drop in efficiency at low light levels.

Other interesting developments in the field that deserve to be mentioned are :

The implementation of a large-area VHF (Very High Frequency) PECVD deposition system was described by **FAP Dresden** (F. Kuske et al.). This system involves a moving substrate below a VHF line source of 55 cm length. It was necessary at VHF frequencies (of 50 to 100 MHz) to take special steps to avoid increased generation of heat by electrical losses: the complete VHF multi-power electrical feeding system is implemented outside the vacuum chamber at atmospheric pressure and low temperature. Furthermore, special impedance transformation methods had to be installed.

C. Eisele et al. of **TU Munich** described the use of periodic light coupler gratings for a-Si:H solar cells in the glass-ZnO: Al – pin configuration. They use periodically structured ZnO:Al layers and vary the grating period and the groove length; the structure is obtained by a photoresist mask in connection with an HCl etch bath. The effect of the gratings is to reduce the overall reflectance of the glass /ZnO / solar cell system to values below 10%. These results are comparable to those obtained with a statistically textured substrate. This is, in fact, a bit disappointing!

M. Rebien et al. of **Hahn Meitner Institut Berlin** described the light-trapping performance of $\mu\text{-Si:H}$ solar cells deposited on rough glass substrates. The glass substrates are roughened by a lapping technique using 3 and 9 μm -sized slurries. Experimental comparison between the two types of slurries shows little difference. The optical pathlength is increased fivefold by the roughening of the glass.

Roughened glass was also used for their $\mu\text{-Si:H}$ solar cells by K. Fukui et al of **Kyocera Co.**, but in their case the glass was roughened by reactive ion etching.

To **conclude**, one can state that the most exciting topics within the field of thin-film silicon are at the moment:

- Microcrystalline silicon layers and cells deposited at low temperatures
- Light-trapping schemes

There is considerable research work done here by various research laboratories in Europe, and especially in Germany – but the main push towards Industrialisation is now clearly coming from Japan and was reflected by the Exhibition and not by the Scientific part of the Conference. Indeed, we can expect significant action towards improved micromorph modules from Japanese firms within the next few years. Unless European Industry now “wakes up”, it may become very difficult to catch up with these dynamic and well-targeted Japanese Industries, who are determined to turn thin-film silicon into one of the most important future photovoltaic technologies.

Thin film solar cells based on compound semiconductors

A.N. Tiwari, D. Bätzner, M. Kaelin

Thin Film Physics Group, Laboratory for Solid State Physics, ETH Zürich,

Technoparkstr.1, 8005 Zurich

Tel.: +41 1 445 14 74; Fax: +41 1 445 14 99

Email: tiwari@phys.ethz.ch

Presentations from industries demonstrated the high maturity and advancement of CdTe and chalcopyrites $\text{Cu}(\text{In,Ga})\text{Se}_2$ (called CIGS) technology for large-scale industrial production for terrestrial applications. These polycrystalline thin film solar cells are drawing considerable interest for space applications because of their superior radiation tolerance compared to conventional Si and GaAs solar cells. There were papers on the development of processes for high efficiency cells and modules, addressing various issues of manufacturing, characterization of material and junction properties and modelling of transport properties. Four papers (1 oral and 4 posters) were presented by our group.

CIGS solar cells

Record on superstrate CIGS: A 12.8% conversion efficiency for a superstrate CIGS solar cell has been reported by Nakada et al. The key issue to achieve this high efficiencies in superstrate configuration is a graded bandgap and the inclusion of sodium sulfide during the CIGS deposition. A nearly perfect encapsulation without an additional cover glass is the advantage of the superstrate solar cell. In addition, this technology may allow the fabrication of mechanically stacked multi-junction CIGS solar cells.

Industrial status: Powalla et al. (ZSW, Stuttgart) presented results of the ZSW baseline process (30 cm x 30 cm) and of the Würth Solar pilot line production of modules of 120 cm x 60 cm. The ZSW baseline statistics for 30 cm x 30 cm modules shows an optimised average efficiency of 11%. Also first flexible modules have been fabricated in collaboration with ETHZ and universities of Uppsala and Stuttgart.

The CIGS production plant at Würth Solar GmbH has made a good progress on the efficiency, uniformity and yield of modules on 60 x 120 cm² substrates. They have optimized the metal, absorber, buffer, and TCO deposition processes; the layer characteristics are rather stable and suitable for production. The average module efficiency is about 8% with a distribution of 10%. The goal is to achieve a 12% efficiency in 2002. First products are delivered to the customers as several hundred kW's have been produced in 2001. They have plans to scale up the annual production capacity to over 10MWp by 2003.

Showa Shell (Japan) presented results on their 30 cm x 30 cm module production. The process is based on the deposition of elemental layers with a subsequent selenization and sulfurization treatment. Open voltages over 600 mV for the cells could be obtained for the first time for such a two stage process. The average efficiency of the modules is 11.9 % with a maximum at 13.1%.

Probst (Siemens Solar, Germany) described the RTP selenization of metal layers on 60 x 90 cm² substrates produced in the pilot-production line. They have achieved good composition and thickness uniformity and have developed 13.5% efficiency solar cells. They have produced 8-10 W mini-modules. Their selenization processes of Siemens-USA and Siemens-Germany are different.

R&D on CIGS materials and cells: Eisele (HMI, Berlin) investigated the composition and structure of Cd free Zn(Se,OH)/Zn(OH)₂ buffer layers, which have been used for cells with efficiencies up to 15%. After a Zn treatment of the absorber layer the Zn(Se,OH) is deposited by CBD. The Zn treatment incorporates hydroxide species which are partly converted to Oxide and H₂O by annealing at 100°C after the CBD. The evidence of ZnSe nanocrystallites in the buffer and in the solution precipitate indicates a homogeneous growth process.

The potential of (Zn,Mg)O as window layer was tested by Glatzel (HMI, Berlin) in order to eliminate the CdS buffer layer. Different absorber materials with and without CdS buffer have been studied with the new window material to show the impact of this layer. A complete Cd free Cell with an efficiency of 10% was obtained. An advantage of this method is the complete dry in-line production of the solar cell.

Hashimoto (Matsushita Electric, Japan) showed an increased short circuit currents for cells with a very thin CdS layer (10nm) followed by Zn(Mg)O layer for an optimised offset between the absorber and the window layer.

Balbul (IPE, Stuttgart) investigated phase segregations in the CIS and CGS absorber material. The phase segregation can be controlled by the Se rate and they proposed a model for the reaction of the secondary phases and explained the Na diffusion by a exchange reaction between the Ga in the absorber and the Na in the Glass.

Kessler (Angström Solar Center, Sweden) investigated different Cu-rich to Cu-poor transitions. An interesting process is established in which the conditions of the film growth are Cu-poor/Cu-rich/Cu-off. This transitions permit the End Point Detection Method to be used for phase transition monitoring.

Low cost processes: Chraibi (Marocco) described a one step electrodeposition process for CIS films. The phase composition of the film could be adjusted with the deposition potential and the electrolyte composition. An annealing was done to increase the grain size and to improve the crystallinity.

Kaelin et al (ETHZ and Solaronix SA) presented a poster with the results of selenized Nanoparticle precursor layers of different types. All the precursors could be converted to the CIGS phase, but only elemental metal precursors showed no impurity phases. The precursor material was deposited by low-cost non-vacuum methods such as spraying, screen printing or doctor blade.

Flexible solar cells: Development of flexible solar cells is an emerging field because it offers many advantages in production and extends many possibilities for diverse applications.

CIGS cells on metal foils were presented from Herrero et al. (CIEMAT, Madrid) and Hartmann et al. (Uni Stuttgart, Germany). The foils of titanium, ferritic steel, and Kovar were covered by a sol gel SiO₂ layer working as a barrier layer preventing the metal substrate components to diffuse into the solar cell. Efficiencies over 11% were obtained with all substrates, with the best result of 12.5 % on titanium substrates.

Dhere et al. (Florida Solar Energy Center) developed an 8.8% solar cell on a 127 micron thick stainless steel foil. The higher surface roughness of thinner steel foils is made responsible for the poor efficiency (4.5%) on 20 micron thick stainless steel foils.

CIGS for space application: CIGS solar cells exhibit excellent stability against high energy radiations. Rau (Uni Stuttgart) investigated the defect generation in electron irradiated cells. For a degradation of 25 % in efficiency a quantity of 10¹⁸ electrons per cm² with energies of 1 MeV are needed. A full recover of the device performance was observed upon annealing of the cells at 130°C to 160°C, which corresponds to a relaxation time of about one month at 330°C.

CdTe solar cells

World record efficiency improvement: Wu et al. NREL, USA presented the development of 16.5% efficiency CdTe/CdS solar cells on areas of approximately 1 cm^2 . The improvement in the record efficiency, after a gap of about 8 years, was possible because of the increase in the transmission and therefore the QE in the blue part of the spectrum with the help of alternative TCOs and window layers like Cd_2SnO_4 and Zn_2SnO_4 . The CdS window layer is grown by CBD, which allows thin windows and a further thinning of CdS by diffusion due to the activation process with CdCl_2 . A series of cells with areas around 1 cm^2 and efficiencies above 16% have been achieved.

Romeo et al., Parma Uni. presented an investigation of alternative TCOs for CdTe/CdS solar cells consisting of $\text{In}_2\text{O}_3:\text{F}$ (FIO). These cells are reported to be very stable under test at 10 suns. Efficiencies of 14% have been achieved with a FF of around 65%, which is low at the moment but subject and potential of further optimisation.

Klein et al. presented studies on the interface properties of CdTe. Due to their results from XPS measurements at different depth they conclude, that no band offset at the CdS/CdTe interface occurs and the CdTe at the interface is n-type (buried homo junction). Between CdS and the TCO ($\text{SnO}:\text{F}$) a band offset is apparent.

Burgelman et al. (Gent) presented the characterization results on the ageing of CdTe solar cells and correlated the electrical properties with diffusion of impurities from the back contacts and oxygen. Agostinelli et al. (ISPRA) presented their work on voltage dependent quantum efficiency measurements. The quantum efficiencies reach values well above unity in the blue part when biased. Then the current gets negative in respect to the photocurrent. There is two possible explanations for this. Either it is the photoconductivity of CdS and an impurity photovoltaic effect that causes a strong amplification in the current or a barrier at the front due to band offset can support the carrier replenishment, which is a transistor-like structure in the CdTe cell.

Terheggen et al. (ETHZ) investigated the S-diffusion at the CdS/CdTe interface. They found that only S diffuses to CdTe, but no Te to the CdS side. Cl from the CdCl_2 treatment can be seen at the interface, but not at the grain boundaries. EDX mapping suggests the existence of a TeCl phase at the interface.

Bätzner et al. (ETHZ) investigated the performance of different cell types in dependence of irradiance. CdTe/CdS from ETH perform better at low irradiance $\sim 1 \text{ W/m}^2$ than the other cell technologies investigated. The diode quality increases at low irradiances. Therefore this type of cells is very suited for low light level applications.

Anderson et al. (JRC, ISPRA) developed a model for the FF of CdTe modules in dependence of irradiance on the basis of measurements on CdTe and poly-Si modules. This is very helpful for energy rating simulations.

Agostinelli et al. investigated the determination of diffusion length in CdTe cells. Extracting L_p with QE or CV-IV (Gärtner) approach leads to over-estimation of L_p . Therefore the diffusion length in CdTe should always be below $1 \mu\text{m}$.

CdTe solar cells for space: Bätzner et al. (ETHZ) made an extended study on radiation hardness of CdTe/CdS cells. These cells are very stable against electron & proton irradiation of high fluences. In comparison to commercially used space cells of Si and GaAs the onset where performance degradation occurs is generally at fluences, which are 2-3 orders of magnitude higher for CdTe cells. Damage for low energy protons starting at 10^{13} cm^{-2} , damage for high energy electrons starting at some 10^{16} cm^{-2} . Efficiencies even increase at medium fluence, which is due to recombination centre passivation. As well as CIGS cells the CdTe cells recover fast from damage.

Romeo et al. (ETHZ) presented their achievements for CdTe/CdS cells on flexible substrates. They processed cells of more than 11% on a highly flexible polyimide. Together with the good radiation hardness they emphasised the excellent potential of these cells for space application.

Industrial status of CdTe solar cells: Bonnet et al. from ANTEC Solar reported about the 10 MW annual production capacity manufacturing plant in Rudisleben, Germany. After the initial difficulties with glass breakage the whole inline system is up now running 2-3 days a week, due to man power and necessary fine tuning of the processes. Full production (6 days a week/ 3shifts) is expected to run from Jan. 02. Efficiencies on $1.2 \times 0.6 \text{ m}^2$ are currently around 7%. Production of 8-9% efficiency modules are expected in future.

First Solar Inc. USA presented their current production status, video of manufacturing plant and plans of the 100 MW capacity production plant.

Status and requirements of space cells: GaAs cells start to degrade at 10^{12} cm^{-2} for protons and 10^{15} cm^{-2} for electrons, whereas Si cells are less resistant against irradiation. Solar cells made of CIGS are similar in their radiation hardness to the CdTe cells and both types of thin film cells recover fast from any damage. Their comparable low efficiencies of 10-15% are not that important for space applications, since high "end of life" efficiency, low cost, and a high specific power (kW/Kg) are more important. Solar generator manufacturers for space expect thin film cells to be flexible and therefore superior in module design, transportation and deployment issues.

Depending on a specific space mission cells have to operate at 300°C and 15 suns (Mercury) or at much lower intensities than 1 sun and at temperatures of as low as -150°C (Mars). For those missions high efficiency multi-junction GaAs solar cells are usually chosen, with efficiencies up to 28%.

Institutions in the USA together with NASA are investigating thin film tandem solar cells of CdTe/CIS. This approach can combine the superior radiation hardness of the thin film solar cells and their high specific power by increasing the efficiency at the same time.

Thermophotovoltaik, Topik an der Konferenz in München, 2001

H. Kiess

im unteren Tollacher 11, 8162 Steinmaur
Tel.: +41 1 85 3 01 60; Fax: +41 1 854 05 28
Email: hkiess@dplanet.ch

Obwohl nur mit wenigen Beiträgen an der Konferenz vertreten, hat die Thermophotovoltaik Aufmerksamkeit hervorgerufen. Dies wird dadurch offensichtlich, dass gleich zwei Poster mit Beiträgen zu diesem Thema (beide ausgewählten Poster stammten aus dem Paul Scherrer Institut!) für Awards vorgeschlagen wurden, ein Indiz für das Interesse und die sich anbahnende Wichtigkeit dieser Technik.

Thermophotovoltaik gehört in die Reihe der Koproduktionstechniken - Wärme/Elektrizität. Die in Gas- oder Ölheizungen mittels eines Emitters erzeugte Strahlung wird durch photovoltaische Zellen in Elektrizität umgewandelt. Am Paul Scherrer Institut (PSI) wurden kommerzielle Si-Solarzellen und Yb_2O_3 Emitter verwendet, deren Emissionsbande praktisch mit der Bandkante des Siliziums zusammen fällt. Fraas, JX Crystals Inc., USA, verwendet GaSb Photozellen, kombiniert mit einem Wolfram Emitter, dessen Oberfläche mit einem Antireflexbelag versehen ist. Dadurch lässt sich auch Licht in Kombination mit den GaSb Zellen nutzen, welches langwelliger ist als das bei der vom PSI gewählten Kombination.

Das PSI hat mit einer kommerziellen Hoval Gasheizung bei Betrieb mit 12 kW und 20 kW thermophotovoltaisch eine elektrische Leistung von 120 W bzw. von 164 W erzielt, also Wirkungsgrade bis zu 1 %. In kleineren experimentellen, allerdings besser optimierten Systemen ließ sich der Wirkungsgrad auf 2.8 % erhöhen; 5 % Wirkungsgrad sollten mit konventionellen Bauteilen in jedoch weiter verbesserten Systemen erzielbar sein. Etwas niedrigere Wirkungsgrade werden von Fraas berichtet.

Auf den ersten Blick mag die abgegebene elektrische Leistung gering erscheinen. Eine Leistung von 120 bis 150 W reicht jedoch aus, die Hoval Gasheizung unabhängig vom Netz zu betreiben. Der Vorteil ist offensichtlich: Weiterlaufen der Heizung bei Ausfall des öffentlichen Netzes, was in Fällen von tagelangem Wegbleiben des Stroms kalte Wohnungen und Sekundärschäden verhindert. Dass ein langer Stromausfall durchaus auftreten kann, zeigte sich, als nach dem Sturm Lothar die Stromversorgung in gewissen Gebieten Frank-reichs über mehrere Tage ausfiel. Da die Investitionskosten für eine solche netzunabhängige Heizung niedriger sind als für eine Heizung mit Anschluß an das Netz, fragt man sich, warum eine industrielle Umsetzung in Europa nicht rascher an die Hand genommen wird.

Liegt der Wirkungsgrad bei 5 %, dann würde ein 20 kW Brenner eine elektrische Leistung von 1 kW abgeben. Der für das Betreiben der Heizung nicht benötigte Strom kann dann ins Netz fließen und eventuell zusätzlich einen Batteriespeicher betriebsbereit halten, der als Notstromaggregat dienen könnte. Selbstredend, ein solches Heizsystem würde immer dann Strom erzeugen, wenn ein höherer Bedarf vorhanden ist, nämlich in den kalten und dunklen Wintermonaten. Unter dem gegenwärtigen Heizungsbedarf in der Schweiz ließen sich 6 % des gesamten jährlichen Elektrizitätsverbrauchs auf diese Art erzeugen, vorausgesetzt, dass alle Heizungen mit einem thermophotovoltaischen System versehen wären.

Außer diesen Beiträgen war in München auch die Optimierung von Photozellen für die Thermophotovoltaik das Thema. Die hohen Strahlungsdichten verursachen höhere Photoströme als bei einer Sonneneinstrahlung unter AM 1.5. Um unter diesen Bedingungen einen guten Füllfaktor und damit einen hohen Wirkungsgrad zu gewährleisten, müssen die Seriewiderstände sehr niedrig sein. Außerdem sollte Strahlung, welche von den Photozellen nicht in elektrischen Strom umgewandelt wird, auf den Emitter zurückreflektiert und dort wieder absorbiert werden (Photonrecycling). Über solche Optimierungen für Si-Zellen wurde vom Institut für Solarenergieforschung, Emmerthal, Deutschland, und für GaSb-Zellen vom Ioffe Physico-Technical Institute, St. Petersburg, Russland, berichtet.

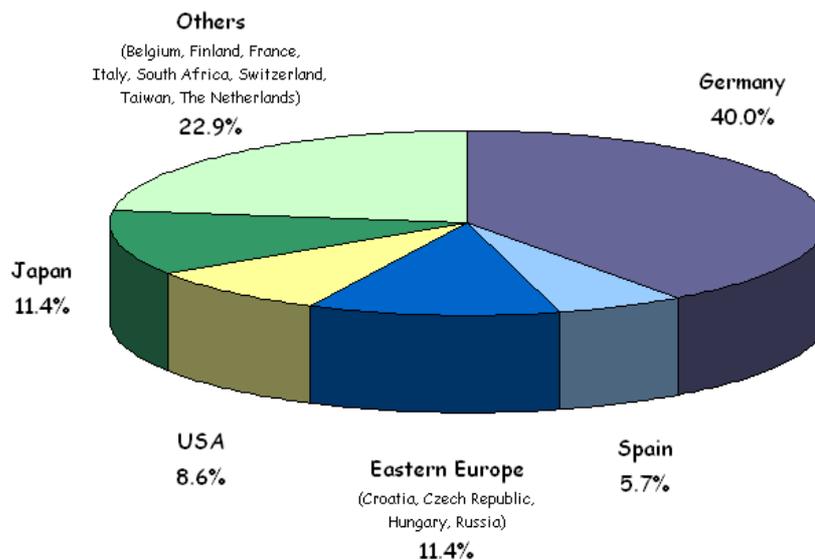
PV modules on the market

N. Cereghetti and A. Realini,
University of Applied Sciences of Southern Switzerland (SUPSI) LEEE-TISO,
6952 Canobbio-Lugano
Tel.: +41 91 935 13 55; Fax: +41 91 935 13 49
Email: nerio.cereghetti@dct.supsi.ch

- 132 exhibitors – 11 from Switzerland (8.3%)
- 35 (26.5%) cells/modules manufacturers: 74.3% in Europe (40.0% in Germany)



PV cell/module manufacturers distribution



- **Germany** was the country with most exhibitors. This could be explained by the substantial boost given by the German “**100.000 PV roof**” program to photovoltaic and to the important incentive represented by the PV-generated kWh purchase price of **0.99DM**. At present, Germany represents the third country, after Japan and USA, in terms of installed capacity of photovoltaic technology (about 160 MWp). For 2001, German PV sales market is forecast to grow by 40%.
- With respect to the other European PV Conferences, less exhibitors from **USA** was present. This could be due to the facts happened the 11th September in New York (safety reasons).
- Several Japanese exhibitors were present at the Conference (while no one of them exhibited during last European PVSEC). In **Japan**, the PV market made great progress in these last years; at present, it leads the world in terms of production and introduced capacity of PV system. This phenomenon is due to the several **actions** introduced by national government and local governments, **to promote research and development of PV energy**. These activities are stimulating the Japanese PV market not only in Japan but also in the world.

COMPANY	COUNTRY	INTERNET
Antec Solar GmbH	Germany	www.antec-solar.de
Astropower Inc.	USA	www.astropower.com
Atersa	Spain	www.atersa.com
BP Solar	USA	www.bpsolar.com
ErSol Solar Energy AG	Germany	www.ersol.de
Eurosolare SpA	Italy	www.eurosolare.it
Evergreen Solar	USA	www.evergreensolar.com
Free Energy Europe BV	The Netherlands	www.free-energy.net
IKARUS Solar AG	Germany	www.ikarus-solar.de
Isofoton SA	Spain	www.isofoton.com
Kaneka Corporation	Japan	www.kaneka.co.jp
Kyocera	Japan	www.kc-solar.co.jp
Marvotech Solar (Liselo)	South Africa	www.liselosolar.co.za
Motech Industries Inc.	Taiwan	www.motechind.com
Naps System Oy	Finland	www.napssystems.com
Photowatt International SA	France	www.photowatt.com
Q –Cells AG	Germany	www.q-cells.com
Ralos Vertriebs GmbH	Germany	www.ralos.de
RWE Solar GmbH	Germany	www.ase-international.com
Sanyo	Japan	www.sanyo.co.jp
Sharp Corporation	Japan	www.sharp-world.com
Siemens & Shell Solar	Germany	www.siemenssolar.com
Solar Cells Ltd.	Croatia	www.solar-cells.net
Solara AG	Germany	www.solara.de
Solar-Fabrik GmbH	Germany	www.solar-fabrik.de
Solarwatt GmbH	Germany	www.solarwatt.de
Solon AG	Germany	www.solonag.com
Solterra SA	Switzerland	www.solterra.ch
Sunset Solar GmbH	Germany	
Sunways AG	Germany	www.sunways.de
TELECOM-STV Co.	Russia	www.telstv.ru
TerraSolar Ltd.	Hungary	www.terrasolar.com
Trimex Tesla	Czech Republic	www.trimex-tesla.cz
Uni-Solar	Belgium	www.uni-solar.com
Würth Solar GmbH	Germany	www.wuerth-solar.de

News from modules manufacturers:

- Evergreen Solar

At the PV-Conference in Munich, Evergreen Solar presented its **new Cedar Line** of products, including the **EC-50** series (EC-47, EC-51, EC-55) as well as the **EC-100** series (EC-94, EC-102, and EC-110) of solar modules. These panels incorporate solar cells having higher conversion efficiency than those in the Company's previous products. The shift from 2.2-inch-wide ribbon to 3.2-inch-wide ribbon (both processed into 6-inch-long wafers) represents a productivity increase of more than 40% in the wafer fabrication process. The increase in solar cell conversion efficiency from 10% to 12% represents a 20% increase in power per square inch. The modules have received certification from Underwriters Laboratories and also IEEE 1262 and IEC 61215 certifications from Arizona State University Photovoltaic Testing Laboratory.

- Kaneka Corporation

Kaneka has come up with a revolutionary technology: an **amorphous solar cell** that overcomes the decline in summertime electricity output of conventional silicon crystal solar cells. The new cell is only about 0.3 microns thick, far less than the 200 microns or so of its silicon crystal counterpart, which greatly shortens the time needed to produce sufficient electricity to offset the amount of power required to manufacture these cells. Sales of an ultra-thin hybrid silicon solar cell began in April 2001, focusing more attention to the innovative photovoltaic system of Kaneka.

- Ralos GmbH

The Ralos GmbH was **created in May 2001** by the union of four solar companies with experience of many years in the solar market, renowned. The four founder companies concentrated in the past on different emphasis within the area of the solar technique. By bringing in the different fields of activity the Ralos GmbH has a global supply and covers the entire area of the solar technique. Only high-quality cells with a very close performance tolerance are used. Single-crystalline and multi-crystalline cells are available, which are manufactured in own production. The modules are equipped according to standard with MC plugs, in order to guarantee a fast and safe assembly. A double-walled frame profile was used, whereby distorting of the framework is impossible. The distance between frameworks and cell is largely enough, in order to avoid a shadow of the cells with accumulations of dirt at the frame profile.

- RWE Solar GmbH

September 1, 2001: after the name change from **TESSAG** to RWE Solutions AG, the Angewandte Solarenergie **ASE** announced the new relation to its parent company (TESSAG) and renamed to RWE Solar GmbH. ASE covers three product areas in solar electricity technology: wafers, solar cells and modules for the terrestrial market, thin layer solar cells, special modules based on amorphous silicon and high performance solar cells for aerospace. RWE Solutions AG in Frankfurt on the Main, which developed from the TESSAG Technische Systeme & Services AG, is the leading service provider for the technical energy infrastructure for industrial and power utility companies. As the RWE lead company for services, the RWE Solutions AG provides integrated total solutions in the areas of energy, utility supply and services.

- Siemens & Shell Solar

Since **April 2001**, a co-operation between Siemens Solar GmbH (Siemens) and Shell Renewables (Shell) has been started. The shareholdings in the **new joint venture** is: Siemens A.G. 34%, E.ON Energie AG 33% and Shell 33%. The company develops, manufactures and markets single-crystalline solar cells (TOPS™), modules (mc-Si, poly-Si and CIS) and systems. Siemens & Shell Solar has supplied solar cells and modules with a peak power of almost 250 MW (1/5 of total solar power installed worldwide). The company's R&D activities are focused on the introduction of a thin film technology based on Copper Indium Diselenide (CIS).

- Solara AG

At the PV-Conference in Munich, SOLARA presented for the first time solar panels from its **new plant in Wismar** to the public. The newly build SOLARA Sonnenstromfabrik Wismar plant will have a capacity of 24 MW after the first steps. 200 jobs will be formed in the German factory. The production has begun on two lines in rented facilities. In the second half of next year the new SOLARA plant will be constructed to step up eight production lines. The production, research and development at the Sonnenstromfabrik is done in close cooperation with renowned universities, institutes and Photowatt. The goal is to become one of the most innovative solar manufacturer in Europe based on new technologies and highly automated processes.

- Solterra SA

At the PV-Conference in Munich, Solterra presented its **new product**: a PV solar roofing tile composed of 9 sc-Si cells on a **printed circuit** (18 Wp). A very light tile, quick and simply to assemble, with the ability of achieving several electrical configurations: 6, 12, 24 V.

München und Gebäudeintegrierte Solarstrom-Systeme: ein Ausblick

Christian Meier

energiebüro® - Die Solarplaner,

Limmatstrasse 230, 8005 Zürich

Tel.: +41 1 242 80 60; Fax: +41 1 242 80 86

Email: info@energieburo.ch

Ein wichtiges Ziel von gebäudeintegrierten Solarstrom-Systeme (GISS) ist es, die Preise für Solarstrom weiter zu senken. Dazu können bei gebäudeintegrierten Solarstrom-Anlagen die Solarmodule eine Doppelfunktion übernehmen: zur Stromerzeugung UND als Bauelemente, als tragendes Element (z.B. Dachplatten), zum Abschluss des Baukörpers gegen die Witterung (z.B. Fassadenelemente), als Elemente zur vermehrten Synergienutzung (z.B. Tageslichtnutzung), usw.

Damit fallen nicht nur die Kosten für die Aufständigung der Module weg, sondern zusätzlich können den Solarelementen die entfallenden Kosten für weitere Bauelemente sowie für deren Montage gutgeschrieben werden. So kann GISS auf längere Sicht konkurrenzlos billig werden.

Im Gegensatz dazu steht der Eindruck, der in München entstanden ist: etablierte Anbieter zeigen nur ihre bisherigen Standardmodule und neue Anbieter warten mit wenigen Ausnahmen mit bereits Dagewesenem auf. Auf Seite der Konferenzthemen war Gebäudeintegration es nicht Wert, als eigenständiges, spezifisches Thema in einer der Postersessions oder in den Präsentationen Eingang zu finden.

Dies steht im deutlichen Gegensatz zu den Anforderungen des zukünftigen Marktes für Gebäudeintegration von Solarstromanlagen:

Anforderungen des zukünftigen Marktes für GISS

1. Grössere Flexibilität, um Kundenbedürfnisse besser zu erfüllen

- grössere Flexibilität in der schnellen und kostengünstigen Änderung der Moduleproduktionslinien, um günstig kundenspezifische Module herzustellen
- grössere Flexibilität in der Anpassung der Montagesysteme im weitesten Sinne an die örtlichen Baubegebenheiten
- grössere Flexibilität im Spannungs- und Strombereich der Module zur Anpassung an nachgeschaltete Komponenten
- grössere Flexibilität in der Handhabung der Teilbeschattungen von Modulen

2. Grössere Auswahl an Komponenten

- grössere Auswahl an Fassadenmodulen
- grössere Auswahl für Schrägdachlösungen
 - Aufdachsysteme
 - Indachsysteme
- grössere Auswahl an Structural-Galzing-Lösungen
- grössere Auswahl an Beschattungssystemen
 - feste Systeme
 - bewegliche Systeme
- grössere Auswahl an einfachen, praxiserprobten, günstigen Montagesystemen

3. Bessere Verfügbarkeit und Lieferung der Komponenten

- stabile Versorgung, stabile Preise
- bessere, montagegerechtere, bausituationskonforme Verpackung und Anlieferung der Komponenten
- bessere Termintreue
- bessere Qualitätssicherung
- geringere Produktstreue
- bessere und zuverlässigere Daten und Unterlagen zu den Komponenten
- bessere Anpassung der Schnittstellen (mechanisch, elektrisch) an die Bausituation

4. Vom Produktedenken zur Systemlösung

- Bessere, den neuen Anwendungen von GISS angepasste Garantiebestimmungen sowie deren Handhabung
- Bessere Ausrichtung der Liefer- und Haftungsbestimmungen auf deren Anwendung als Bauteil eines Werkes

5. Anwendungsorientierte Forschung und Entwicklung

- Forschung und Entwicklung zur Kostenreduktion bei der Herstellung von Modulen
- Forschung und Entwicklung zur Reduktion des Siliziumbedarfes in den Zellen
- Forschung und Entwicklung zur einfacheren Herstellung von kundenspezifischen Modulen
- Forschung und Entwicklung zur Verbreiterung der Produktpalette bei gebäudeintegrierten Systemen
- Forschung und Entwicklung zur flexibleren Handhabung von Strom und Spannungen, Teilbeschattungen, Interkompatibilität zwischen Modulen und Invertern, udgl.

6. Standardisierung

- Harmonisierung der internationalen Standard für GISS
- Entwicklung von Industriestandards für die Rahmung von Modulen
- Entwicklung von Industriestandards für Montage, Halterung, Integration in die Gebäudehülle
- Entwicklung von Industriestandards für weitere Anwendungen in der Gebäudehülle

Neues auf dem Gebiet der PV-Systemtechnik

H. Häberlin, L. Borgna
Berner Fachhochschule
Jlcoweg 1, 3400 Burgdorf
Tel.: +41 34 426 68 11; Fax: +41 34 426 68 13
Email: heinrich.haerberlin@hta-bu.bfh.ch

Bemerkungen aus systemtechnischer Sicht zur Entwicklung bei Solarmodulen

- **Grossmodule:** Viele Hersteller bieten inzwischen Grossmodule aus mono-und polykristallinen Zellen im Bereich 120W – 300W an. Grossmodule werden dabei nicht nur aus kristallinen Zellen hergestellt. Die Grösse kristalliner Zellen geht dabei oft bis 15cm·15cm. Die Firma Astropower zeigte sogar Module mit polykristallinen Zellen von gegen 20cm·20cm. Grosse Zellen haben entsprechend hohe Strangströme I_{SC} bis 8A oder gar bis gegen 11A zur Folge. So hohe Strangströme sind wegen der im Falle eines Stromflusses notwendigen Kühlung aber ein Problem für in Modulanschlussdosen integrierte Bypassdioden. Astropower verwendet deshalb Schottky-Dioden, die noch auf ein kleines Kühlprintchen in der Dose montiert sind. Schottky-Dioden haben aber nur eine geringe Spannungsfestigkeit, d.h. damit ausgerüstete Module sind empfindlicher gegen Blitzschläge. Andere Hersteller von Modulen mit grossen Zellen verwenden teilweise mehrere parallel geschaltete Dioden, was elektrotechnisch auch nicht ganz sauber ist.
Unisolar bietet auch a-Si-Grossmodule (in langen Streifen für Dächer und Fassaden) bis 256W an.
- **Montagesysteme:** Neben den schon lange bekannten Solardachziegeln von Newtec und dem System von Braas werden verschiedene andere Montagesysteme zur Dachintegration angeboten. SOLRIF (von Enecolo / Schweizer) wird nicht nur in der Schweiz, sondern auch in Lizenz in Deutschland produziert. ARCON / SOLCELLER aus Dänemark bietet ebenfalls ein Dachintegrationssystem an. Ein Schnellmontagesysteme für Aufdachmontage, welches die Kabelführung in den Montageprofilen erlaubt, wird von Krannich Solartechnik angeboten.
- **Energieertrag:** Verschiedene Beiträge haben gezeigt, dass zumindest neue Anlagen mit Unisolar-Tripelzellen und Siemens-CIS-Zellen einen zum Teil mehr als 10% höheren Energieertrag pro installiertes Watt Spitzenleistung aufweisen. Damit konnte diese in der Unisolar-Werbung gemachte Aussage mindestens für neue Anlagen offenbar durch unabhängige Messungen bestätigt werden.

Verbindungssysteme

- **MC-Abzweigstecker:** Multicontact hat einen Abzweigstecker herausgebracht, welcher die Parallelschaltung von Strängen erlaubt. Damit können im Prinzip Solargeneratoren mit bis zu drei parallelen Strängen mit der nötigen Sorgfalt ohne Feldanschlusskästen realisiert werden, was eine wesentliche Vereinfachung darstellt. Für Anlagen, bei denen ein guter Blitzschutz gewünscht wird, sind aber trotzdem auf der Solargeneratorseite noch Varistoren erforderlich. Praktisch alle Solarmodulhersteller bieten in der Zwischenzeit Module mit MC Steckern an. Auch viele neue Wechselrichter sind auf der DC-Seite mit MC-Buchsen ausgerüstet.
- **Multicontact** bietet neu etwas billigere, aber weniger temperaturfeste und weniger brandresistente Verbindungskabel mit MC-Steckern an.
- **Tyco Electronics** versucht mit einem neuen, im Gegensatz zum MC Stecker verriegelbaren Stecker (SOLARLOK) ebenfalls Marktanteile zu gewinnen.

Netzverbund-Wechselrichter

Auf dem Markt für Netzverbund-Wechselrichter besteht ein vielfältiges Angebot mit folgenden Tendenzen:

- grosse IGBT-Wechselrichter mit Ausgangsleistungen von 20kVA bis 300kVA, die im Master-Slave-Betrieb in Einheiten von bis zu 1,2MVA betrieben werden können (Siemens). Hersteller von mittleren und grösseren Wechselrichtern waren in München aber nur schwach vertreten.
- Wegen des stark wachsenden Marktes in Deutschland und Holland gibt es viele Neuentwicklungen von Wechselrichtern (1-phasig) im Bereich 1000W - 5000W. Generell ist ein Trend zu weiten DC-Eingangsspannungsbereichen zu beobachten. Bei grösseren Leistungen besteht oft die Möglichkeit, mehrere Strings (2 - 5) direkt parallel anzuschliessen (mehr als 3 ohne Sicherungen oder Dioden direkt parallel geschaltete Strings sind jedoch aus systemtechnischer Sicht problematisch!).
- Auf dem Gebiet der Netzverbundwechselrichter weisen von den Herstellern aus der Schweiz nur noch die Firmen Sputnik und asp (bei Rosendahl Energietechnik GmbH) eine gewisse internationale Marktpräsenz auf.
- Bei Neuentwicklungen werden trotz des höheren möglichen Wirkungsgrades nicht nur Wechselrichter ohne Trafo (z.B. Convert 2000, Convert 4000, Blue Planet 2600, Blue Planet 5000, Sunny Boy 2000, Sunny Boy 5000 Multi-String), sondern auch Wechselrichter mit (HF) Trafo angeboten (Fronius IG, Sunmaster QS 3200 und 5000, OKE-5, Soladin 120). Neu wird die galvanische Trennung zum Teil mit DC-DC-Wandlern mit HF-Trafo realisiert, was wesentliche Gewichtseinsparungen ermöglicht.
- Weitere Neuentwicklungen von deutschen Firmen sind im Gang (Markteinführung in Staffelstein 2002)
- Generell ist zu kritisieren, dass auf den meisten Wechselrichter-Datenblättern die wichtige Angabe, ob ein Gerät mit oder ohne galvanische Trennung vorliegt, recht mühsam aufzufinden ist (meist nur irgendwo im Text versteckt). In den Datenblättern eines grossen Herstellers fehlt diese Angabe sogar ganz, es können nur auf Grund der Wirkungsgradangabe indirekt Rückschlüsse gezogen werden.
- String-Wechselrichter für modularen Aufbau mit Eingangsleistungen von 700W bis 3000W werden von vielen Wechselrichterherstellern angeboten. Viele dieser Geräte weisen eine galvanische Trennung auf. Die String-Wechselrichter zeichnen sich durch ein grosses DC-Eingangsspannungsfenster $\Delta U_{DC} = 100V - 450V$ aus, d.h. sie erlauben eine Variation der Modulanzahl in einem Strang in einem weiten Bereich. Zudem ist die maximale DC-Eingangsspannung bei den meisten Wechselrichter hoch, typische Werte sind hier $U_{DCmax} = 200V$ bis zu 850V (hohe Modulanzahl in einem Strang möglich). Viele String-Wechselrichter besitzen ein wetterfestes Gehäuse (Schutzart IP65) zur Aussenmontage.
- Einige grössere Geräte (Sunny Boy 5000 Multi-String, Sunmaster QS 3200 und 5000) werden mit 2 - 3 separaten Stringanschlüssen angeboten, die je über einen separaten Maximum-Power-Tracker verfügen, d.h. die Strings können unabhängig voneinander (bezüglich Anzahl Module pro String, Modulart, Orientierung der Teilgeneratoren) realisiert werden.
- Nachdem sich die ENS wegen verschiedener, auch in Deutschland nun anerkannter Mängel international nicht durchsetzen konnte, wird nun eine verbesserte, adaptive Version vorgeschlagen.
- Verschiedene Hersteller bieten Modul- resp. kleine Mini-String-Wechselrichter im Bereich 100W - 500W für wenige Module an, die nicht mehr direkt auf die Modulrückseite geklebt werden. Dies ist eine sehr sinnvolle Entwicklung, denn direkt auf Module geklebte Modulwechselrichter werden unnötigem thermischem Stress unterworfen, was sich ungünstig auf die Lebensdauer auswirkt. Besonders interessant ist der 12V-Version des OKE5 von NKF, der für einige parallel geschaltete Module von 12V ausgelegt ist. Dadurch können die Mismatch-Verluste bei Teilbeschattungen minimal gehalten werden.
- Mastervolt bietet einen *steckbaren* Modulwechselrichter für Indoor-Anwendungen von 120W an.

Auswahl von neueren Wechselrichtern für netzgekoppelte PV-Anlagen

Hersteller/Land	Bezeichnung	Typ	Leistung	U _{DC} -Fenster
Mastervolt (NL)	Soladin 120	Modul-WR (indoor)	120W _{DC}	24V-40V (z.B.)
	Sunmaster QS 1200	String	850W _{DC}	100V - 380V
	Sunmaster QS 2000	String	1500W _{DC}	100V - 380V
	Sunmaster QS 3200	Multi-String (2)	2500W _{DC}	100V - 380V
	Sunmaster QS 5000	Multi-String (3)	3750W _{DC}	100V - 380V
KACO (D)	Blue Planet 2600	trafoslos	2600W _{AC}	350V - 600V
	Blue Planet 5000	trafoslos	5200W _{AC}	350V - 600V
Philips (NL)	PSI 300	Mini-String-WR	300W _{AC}	45V-100V
Fronius (A)	Sunrise-IG 15	konventionell	1300W _{AC}	150V - 400V
	Sunrise-IG 20	konventionell	1800W _{AC}	150V - 400V
	Sunrise-IG 30	konventionell	2500W _{AC}	150V - 400V
	Sunrise-IG 40	konventionell	3500W _{AC}	150V - 400V
	Sunrise-IG 60	konventionell	4600W _{AC}	150V - 400V
Sputnik (CH) / Solarfabrik (D)	Convert 2000	trafoslos	1800W _{AC}	90V - 430V
	Convert 4000	trafoslos	3800W _{AC}	400V - 750V
SMA (D)	Sunny Boy 2000	String-WR	1800W _{AC}	125V - 500V
	Sunny Boy 3000	String-WR (Trafo)	2600W _{AC}	268V - 500V
	Sunny Boy 5000	Multi-String (3)	4600W _{AC}	150V - 750V
NKF (NL)	OK5-LV	Mini-String-WR	500W _{DC}	12V - 25V
	OK5-MV	Mini-String-WR	500W _{DC}	48V - 120V

Sinus-Wechselrichter für Inselanlagen

Neben herkömmlichen Insel-Wechselrichtern werden immer mehr Inselwechselrichter mit Zusatzfunktionen angeboten. Sie enthalten beispielsweise auch einen Solar-Laderegler oder ein eingebautes, von einer externen AC-Quelle gespeistes Ladegerät. Nach Anschluss eines Solargenerators und eines Akkumulators können derartige Multifunktions-Inselwechselrichter als PV-Anlage mit AC-Ausgang verwendet werden. Wird am externen AC-Eingang das Netz angeschlossen, können sie als Langzeit-USV verwendet werden. Solche Geräte enthalten oft auch Hilfskontakte zum Start eines Dieselgenerators bei entladenerm Akku. Wird ein derartiger Dieselgenerator am externen AC-Eingang angeschlossen, entsteht eine komplette PV-Hybridanlage mit AC-Ausgang.

Sinus-Wechselrichter verdrängen die früheren Rechteck-, Trapez- und Treppen-Wechselrichter immer mehr. Ein Problem bei den meisten Geräten ist die Tatsache, dass sich mangels verbindlicher Normen die Hersteller nicht um die elektromagnetische Verträglichkeit solcher Geräte kümmern, so dass diese angeschlossene Verbraucher durch leitungsgebundene oder die Umgebung durch abgestrahlte Hochfrequenz stören können.

- ASP (CH) bietet weiterhin Inselwechselrichter im Bereich 150W – 3500W für Akku-Spannungen von 12V bis 60V an. Daneben werden TOP CLASS Combi Sinus-Wechselrichter für 1300W und 2200W mit integriertem Batterie-Ladegerät angeboten.
- Mastervolt (NL) bietet wie ASP auch Sinus-Wechselrichter mit integriertem Batterie-Laderegler an. Die Nominalleistung der Geräte beträgt 1500VA und 5000VA.
- Fronius (A) und Steca (D) bieten den Sinus-Wechselrichter SOLARIX (550W und 900W) mit integriertem Solar-Laderegler für Inselanlagen an (max. Modulstrom: 25A, Akku-U: 12V resp. 24V).

- Studer (CH) ergänzt seine vielen Modelle von Sinus-Insel-Wechselrichtern mit und ohne Zusatzfunktionen für Systemspannungen von 12V – 48V durch die Low-Cost Serie AJ (Leistung 200W – 2000W), zu welchen als Option ebenfalls integrierte Solarladeregler erhältlich sind.
- Trace Engineering (USA) bietet Multifunktions-Wechselrichter (230V) mit modifiziertem Sinus für unterschiedliche Hybrid-Anwendungen an.
- Siemens / Sunpower (D) bieten neben Hybrid-Wechselrichtern der Serie PV-UP auch neu die Reihe Sun Profi Emergency an. Diese Wechselrichter sind Netzverbund-Wechselrichter mit integriertem Solarladeregler und USV-Funktion. Im Normalfall wird die angeschlossene Last aus dem Netz gespeist, der angeschlossene Akku vom PV-Generator geladen und ein allfälliger Energie-Überschuss ins Netz eingespeist. Bei Netzausfall ist dank einer Umschaltung auf Inselbetrieb ein Notstrombetrieb möglich. Mit der Liberalisierung der Stromnetze auch in Europa ist dies mittelfristig möglicherweise ein Zukunftsmarkt.

Beispiele von Multifunktions-Sinus-Wechselrichtern für Inselanlagen (tabellarisch)

Hersteller/Land	Bezeichnung	Zusatzfunktion	Leistung
ASP (CH)	TOP CLASS TOPcharge	Batterie-Laderegler mit eingebautem 230V-Ladegerät	1300VA 2200VA
Mastervolt (NL)	DAKAR-Combi 12/1500 DAKAR-Combi 24/3000 DAKAR-Combi 48/5000	Batterie-Laderegler mit eingebautem 230V-Ladegerät	1500VA 3000VA 5000VA
Fronius (A)	Solarix Sinus	Solarladeregler	550W / 900W
Studer (CH)	COMPACT C1312 COMPACT C2324 COMPACT C3548 HP-COMPACT HPC5048 AJ200 AJ400 AJ800 AJ2000	Batterie-Laderegler mit eingebautem 230V-Ladegerät, Solarladeregler als Option AJ-Serie: Solarladeregler als Option (AJ-Serie = neue low-cost-Version der SI-Serie)	1300W 2300W 3500W 5000W 200W 400W 800W 2000W
Siemens/ Sunpower	PV UP Hybrid Inverter Sun Profi Emergency	Batterie-Laderegler mit eingebautem Ladegerät, eingebauter Solarladeregler Netzeinspeise-Wechselrichter mit Solarladeregler und USV-Funktion (wenn Akku vorhanden)	1500W-20000W (Relativ geringe Überlastbarkeit) 1500W – 6000W (Relativ geringe Überlastbarkeit)

Neue stromsparende DC-Lampen für SHS

Neben verschiedenen stromsparenden DC-Verbrauchern bieten Steca (und der Spin-Off Phocos) LED-Lampen für SHS-Anlagen an, welche bei einer Leistungsaufnahme von nur 0,4W – 1,2W bereits eine beachtliche Helligkeit aufweisen.

Verschiedene weitere Aspekte der PV-Systemtechnik

- **AC-Power-Bus für grössere Inselsysteme:**

Von verschiedener Seite wird für mittlere und grössere Inselsysteme die Verwendung eines AC-Energie-Busses in Form eines Dreiphasen-Netzes 230V / 400V vorgeschlagen, an dem alle Energieerzeuger (PV-Generatoren mit Netzwechselrichter, Windgeneratoren, Dieseldiesengeneratoren, Energiespeichereinheiten mit Akku und bidirektionalem Ladegerät / Wechselrichter usw.) und alle Verbraucher angeschlossen sind. Solange dies einwandfrei funktioniert, ist dies alles sicher technisch sehr elegant und die angeschlossenen Konsumenten haben den Komfort eines Netzes. Wegen der technischen Komplexität eines solchen Systems ist es allerdings fraglich, ob sich solche Systeme für sehr abgelegene Gebiete in Drittweltländern wirklich eignen, denn die lokale Wartung dürfte sehr schwierig sein. Von erfahrenen Praktikern auf diesem Gebiet (z.B. die Firma CMR (E)) wird dagegen betont, dass für abgelegene Gebiete einfach zu wartende, möglichst auf Gleichstrom niedriger Spannung basierende Systeme mit möglichst wenig Elektronik vorzuziehen seien.

- Für die **Messung der Leistung von PV-Generatoren im Feld** werden nun neben dem in Staffelstein vorgestellten, etwas knapp dimensionierten Gerät der Firma pve nun auch Geräte für Anlagen mit grösseren Spannungen und Strömen angeboten. Das Gerät cetisPV-CTF1 der Firma h.a.l.m elektronik (D) kann nach dem Datenblatt PV-Generatoren bis 1000V und 100A ausmessen. Da eine Strahlungsmessung angeschlossen werden kann, ist sicher auch irgend eine Umrechnung auf STC möglich. Allerdings wird auch hier keine Angabe über die erreichbare absolute Genauigkeit der so bestimmten STC-Leistung des Generators angegeben.
- **EMV:** In zwei verschiedenen EU-Projekten (ESDEPS und PV-EMI) wurden ausführliche Feldmessungen der von PV-Generatoren abgestrahlten hochfrequenten Störungen durchgeführt. Daraus wurden gemeinsam Vorschläge für neue Grenzwerte und Messverfahren für die DC-Seite von elektronischen Komponenten von PV-Anlagen abgeleitet.
- Ausführliche Messungen der von **simulierten Blitzströmen in Solarmodulen und Solargeneratoren induzierten Spannungen** haben gezeigt, dass bei Modulen mit Metallrahmen die induzierten Spannungen typischerweise um einen Faktor 3 – 5 kleiner sind als bei ungerahmten Modulen.
- Sehr erfreulich ist die Tatsache, dass sich dank der Bemühungen der IEA PVPS Task 2 die **normierte Darstellung des Energieertrags von PV-Anlagen** weiter verbreitet und dass nun endlich auch normierte Ertragsdaten aus verschiedenen andern europäischen Ländern vorliegen. Es wäre schön, wenn solche Daten auch aus weiteren Ländern und Kontinenten verfügbar wären. Erstaunlich ist in diesem Zusammenhang der relativ geringe normierte Energieertrag von manchen Anlagen in Italien, der kaum grösser ist als der von guten Anlagen in der Schweiz.
- Nachdem der DC-AC-Umwandlungswirkungsgrad von Wechselrichtern inzwischen recht hoch ist, wurden von verschiedenen Forschungsstellen auch präzise Messungen des **MPP-Tracking-Wirkungsgrades** durchgeführt. Dazu sind hochstabile **Solargenerator-Simulatoren** mit gutem dynamischem Verhalten erforderlich. Verschiedene Gruppen arbeiten mit Simulatoren im Bereich bis 1 kW. Eine japanische Gruppe, eine Gruppe in Belgien und Arsenal Wien arbeiten mit Simulatoren bis etwa 6kW. Im internationalen Vergleich beachtlich ist die Leistung des neuen PV-Generator-Simulators der HTA Burgdorf (Grenzdaten: 40A, 25kW, 750V, Regelzeit vom Leerlauf zum MPP < 300µs), der dank des linearen Schaltungsprinzips auch bezüglich EMV ein ausgezeichnetes Verhalten zeigt.

17. Europäische PV Konferenz München - Industrielle Ausstellung

Stephan Gnos

**NET Nowak Energie & Technologie AG,
Waldweg 8, CH-1717 St. Ursen
Tel.: +41 26 494 00 30, Fax: +41 26 494 00 34
E-mail: stephan.gnos.net@bluewin.ch**

Einleitung

Die 17. Europäische Photovoltaik Konferenz vom 22. - 26. Oktober 2001 in München widerspiegelt deutlich das aktuelle rasante Wachstum der PV Branche in Europa, insbesondere in Deutschland, und die Erwartung weiterer deutlicher Wachstumsraten in Zukunft. Gerade im Produktionsbereich diverser PV Komponenten scheinen Grössenordnungen erreicht, wo Herstellungsprozesse vermehrt automatisiert, bzw. vermehrt für Anbieter von Technologien und Produkten aus dem Bereich Prozessautomation interessant werden. Dies zeigen sowohl die verschiedenen Aussteller in diesem Bereich, wie auch die diversen, in Vorträgen vorgestellten hoch automatisierten Prozesse bei der Zellen-, bzw. der Modulproduktion. Im Prinzip sind alle Zelltechnologien davon betroffen, wobei bei Modulen mit kristallinen Zellen die einzelnen Prozessschritte nach Möglichkeit verringert und automatisiert werden, im Bereich der Dünnschichttechnologien die vollautomatische Produktion von ganzen Modulen im Vordergrund steht. Es versteht sich von selbst, dass diverse automatische Messverfahren angeboten wurden, die online in die Produktionslinien integriert laufend die Qualitätssicherung übernehmen.



Inline Ofen für Diffusionsprozesse



Messequipment für QS Massnahmen

Bei der industriellen Herstellung von Zellen und Modulen werden anhand verschiedener Vorträge neben der vermehrten Prozessautomation z.B. in den Bereichen Antireflexbeschichtungen oder bei Passivierungsprozessen auch neue, verbesserte Verfahren in Linie eingesetzt, die zusammen mit allgemeinen Prozessoptimierungen laufend weitere Erhöhungen des Wirkungsgrads mit sich bringen. Bei der industriellen Herstellung von Zellen und Modulen nannten verschiedene Hersteller allgemein folgende Punkte als zentral für eine erfolgreiche Produktion:

- Zuverlässigkeit der Produktionslinie;
- hohe Produktionsgeschwindigkeit;
- hoher Wirkungsgrad;
- hohe, gleichbleibende Qualität;
- tiefe Produktionskosten.

Es ist einleuchtend, dass Zellen und Module, die gleichzeitig mit hoher Qualität, hohem Wirkungsgrad zu tiefen Kosten produziert werden, fast schon automatisch konkurrenzfähig sind.

Die Ausstellung im Überblick

Insgesamt präsentierten rund 130 Aussteller ihre Produkte. Dabei wurden vom Wafer bis zur Zertifizierung von PV Anlagen sehr umfassend so gut wie alle für die Photovoltaik relevanten Gebiete abgedeckt. Im Überblick können die verschiedenen Gebiete wie folgt aufgeteilt werden,

- Ausgangsmaterialien zur Herstellung von PV Modulen (Wafer, Zellen, EVA, Folien etc.);
- Herstellungsequipment für Zellen und Module, Prozessautomation;
- Verfahren zur Qualitätssicherung;
- Komponenten für Photovoltaik Anlagen (Module, Wechselrichter, Kabel und Stecker, Montagesysteme usw.);
- Überwachungssysteme für PV Anlagen;
- Internationale Organisationen, Forschungsinstitute, Firmen aus dem Consulting Bereich,

wobei die letzten beiden Gruppen am schwächsten vertreten waren. Den Schwerpunkt bildeten die Gebiete Herstellungsequipment für Zellen und Module inkl. Prozessautomation und, Komponenten von Photovoltaik Anlagen, insbesondere die PV Module. Folgend einige Eindrücke der Ausstellung:



Eingangsbereich mit verschiedenen Ständen



Stand der Solarfabrik



Stand von BP Solar



Module nach Mass am St. Gobain Stand



Einkristall bei Pillar Company



Messeequipment von Semilab



Wechselrichter Convert 2000



Modul Typ 'Flughafen Zürich Dock Midfield'

Allein im Bereich Photovoltaik Module stellten über 30 verschiedene Hersteller ihre Produkte aus. Davon konzentrieren sich ca. 2/3 nur auf die kristalline Technik. Der restliche Drittel teilt sich je hälftig auf in Hersteller von nur Dünnschicht-Modulen und Hersteller, die gleichzeitig kristalline und Dünnschicht-Module im Programm führen. Im kristallinen Bereich sind zur Zeit Module mit monokristallinen Zellen am stärksten vertreten, gefolgt von Modulen mit multikristallinen Zellen und Zellen aus Bandziehverfahren. Bei den ausgestellten Dünnschicht Modulen handelte es sich zum grössten Teil um Module mit Dünnschicht Si-Zellen (amorph, mikromorph). Anbieter von nicht Silizium Dünnschicht-Modulen (CIS oder CdTe) waren die Ausnahme. Da sowohl bei den kristallinen, wie auch bei den Dünnschicht-Modulen in der industriellen Produktion Wirkungsgradverbesserungen erzielt werden konnten, wird sich das Preis / Leistungsverhältnis der beiden Typen im Vergleich in nächster Zeit nicht erheblich verschieben. Im Dünnschichtbereich selbst sind einerseits Module mit möglichst geringen Kosten, andererseits Module mit möglichst hohem Wirkungsgrad gefragt. Daher werden in Zukunft verschiedene Dünnschicht-Technologien je nach Anwendung nebeneinander Platz haben. Inwiefern innerhalb der verschiedenen Dünnschicht-Technologien neben Preis / Leistungsargumenten weitere Faktoren kaufentscheidend sind, ist unklar. Mit dem expliziten Hinweis von Herstellern von Modulen mit Dünnschichtzellen, dass ihre Produkte schwermetallfrei sind, werden im Marketing Bereich auf jeden Fall Anstrengungen auf den verschiedensten Gebieten unternommen, sich gegenüber Konkurrenten abzugrenzen.

Schweizer Aussteller

Die Schweizer PV Branche war an der Ausstellung direkt mit eigenen Ständen in den Bereichen Ausgangsmaterialien (Zellen), Herstellungsequipment (Drahtsägen), Verfahren zur Qualitätssicherung (Sonnensimulatoren), Anlagekomponenten (Wechselrichter, Module, Integrationssysteme, Kabel, Stecker, Komponenten für Inselssysteme) und internationale Organisationen vertreten. Indirekt ausgestellt (Fertigung in Lizenz, Produkte aus Kooperation mit europäischen Firmen) wurden in erster Linie Produkte in den Bereichen Wechselrichter und Module für die Gebäudeintegration.

Folgende Schweizer Firmen waren an der Ausstellung mit eigenen Ständen vertreten, in alphabetischer Reihenfolge:

Firma	Ausstellungsschwerpunkt	Adresse	Homepage
Cyphelly & Cie	Inselanwendungen	P.O. Box 18, CH-2416 Les Brenets	
Enecolo AG / Ernst Schweizer AG	Dachintegrationsrahmen SOLRIF	Lindhofstr. 52, CH 8617 Mönchaltorf Bahnhofplatz 11, CH- 8908 Hedingen	http://www.solarstrom.ch , http://www.schweizer-metallbau.ch
HCT Shaping Systems SA	Drahtsägemaschinen	Route de Genève 42, CH-1033 Cheseaux	http://www.hct.ch
Meyer und Burger AG	Drahtsägemaschinen	Alte Bernstrasse 146 A, P.O. Box 56, CH-3613 Steffisburg	http://www.meyerburger.ch
Multi-Contact AG	Stecker, Kabel	Postfach, CH-4123 Allschwil 1	http://www.multi-contact.com
PASAN-BELVAL SA	Sonnen Simulatoren, Zellen Tester	Sous-la-Roche, C.P. 5 CH-2042 Valagin	http://www.belval.com/pasan
Solterra SA	Zellen und Module	P.O. Box 1333, CH 6830 Chiasso	http://www.solterra.ch
Studer Solar- technik	Inselwechselrichter	Rue des Casernes 57, 1950 Sion	http://www.studer-inno.com
Internationale Organisationen mit Sitz in der Schweiz			
IEA-PVPS	Internationaler Erfahrungs- austausch	c/o NET AG, Waldweg 8, 1717 St. Ursen	http://www.iea-pvps.org
IECQ	Zertifizierung	Box 131, CH-1211 Geneva	http://www.iecq.org
PV GAP	Qualitätssicherung	Box 131, CH 1211 Geneva	http://www.pvgap.org

Folgend einige Eindrücke:



Multi Contact AG



Enecolo AG / Schweizer AG



Studer Solartechnik



Pasan Belval SA



Meyer & Burger AG



HCT Shaping Systems SA



Cyphelly & Cie

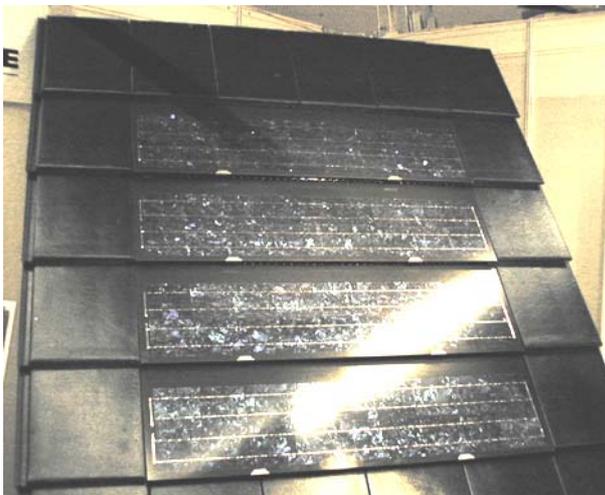
Photovoltaik Dachsysteme

Im Bereich der Photovoltaik **Aufdachsysteme** wurden diverse altbekannte Systeme und einige wenige neue Systeme ausgestellt, bei denen die Module meist auf bekannte Weise in ein System von vertikalen, häufig kombiniert mit horizontalen Profilen, montiert werden. Eine Ausnahme bildete das Plug&Power™ rooftop photovoltaic System, das im Oktober 2001 mit dem Green Globe Award for Innovation in Solar Energy, vergeben durch das SEDA (The Sustainable Energy Development Authority of New South Wales) ausgezeichnet wurde. Neu an diesem System ist die Montage der Grundprofile, bei der für die Befestigung der Schrauben direkt durch die Dachabdeckung wie z.B. durch Zielgel gebohrt wird. Für eine möglichst einfache Montage der Module sind die Befestigungen auf der einen Seite drehbar gelagert.

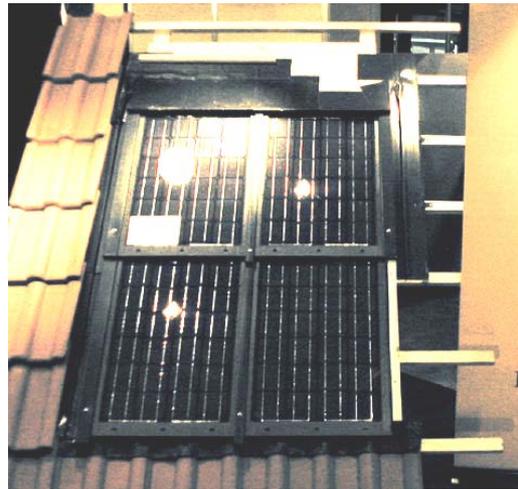


Aufdachsystem Plug & Power, Quelle: Pacific Solar

Bei den **dachintegrierten PV Systemen**, waren einerseits bekannte PV Dachziegel und Schiefer, in verschiedenen Dimensionen und Integrationsvarianten ausgestellt. Auf kristalliner Basis z.B. das Braas System, oder der Newtec Solardachziegel.

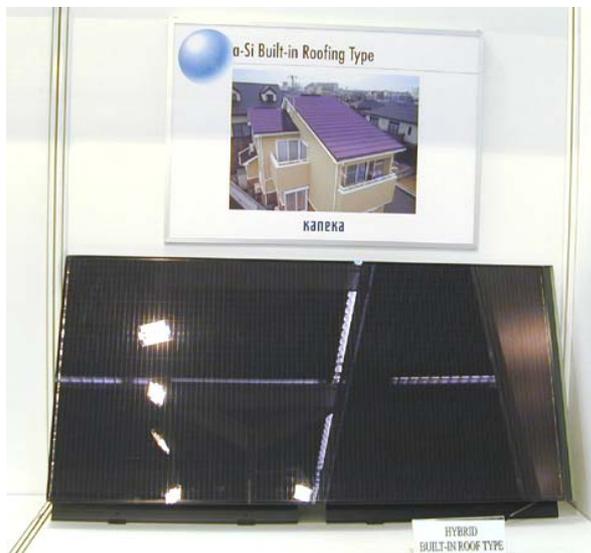


System Braas

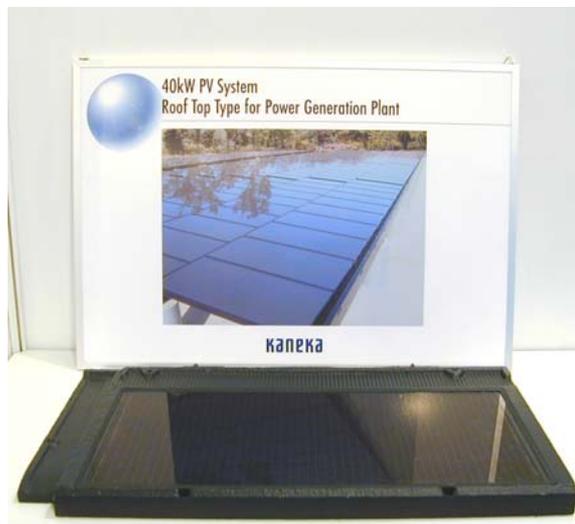


System Newtec

Auf Dünnschicht Basis waren u.a. die bekannten Produkte mit Trippelzellen von Unisolar ausgestellt. Kaneka präsentierte ein 'hybrides' (mikromorph) Modul für die Dachintegration sowie ein Solardachziegel mit derselben Zellentechnologie:



Kaneka Modul für die Dachintegration



PV Dachziegel von Kaneka

Im Bereich Dachintegrationsrahmen für preisgünstige Standardmodule fielen in erster Linie das SOLRIF Integrationsystem und das Integrationsystem Solardach III von ReGen auf.



Das SOLRIF System war bei verschiedenen Anbietern zu sehen



Integrationssystem Solardach III von ReGen mit Dünnschicht Modulen

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass diese Ausstellung mit vielen internationalen Ausstellern sehr gut besetzt war, und umfangreich fast alle auf dem Markt präsenten wichtigen Photovoltaik Produkte zu sehen waren. Trotz nicht vernachlässigbarer Abhängigkeit der Photovoltaikbranche von diversen nationalen und internationalen Förderprogrammen, wird die nähere Entwicklung im Photovoltaikbereich von Ausstellerseite im Allgemeinen positiv beurteilt.

Marktentwicklung PV

Pius Hüsler

Nova Energie GmbH,

Schachenallee 29, 5000 Aarau

Tel.: +41 62 834 03 00; Fax: +41 62 834 03 23

Email: pius.huessler@novaenergie.ch

Allgemein

Der Markt ist auf einem eher hohen Preisniveau in sehr guter Verfassung. Es wird für 2001 eine Steigerung gegenüber dem Vorjahr um etwa 25 bis 35 % erwartet, d.h. von knapp 300MWp in 2000 auf etwa 350 bis 400 MWp in 2001.

Auch für 2002 sind die Aussichten gut, ohne dass bereits jetzt Aussagen zum Volumen gemacht werden. Die Wachstumsraten, die publiziert werden, liegen im Bereich von 17.5% (Bank Sarasin), 23% (EPIA, European PV Industries Association) bis 25% und mehr von verschiedenen Herstellern und anderen Auguren.

Die Preise für Module bewegen sich auf recht hohem Niveau entgegen den noch vor 2-3 Jahren gemachten Aussagen. Es ist davon auszugehen, dass dieses Niveau noch einige Zeit (1-3 Jahre) hoch bleiben wird, bis die Produktionskapazität der Nachfrage wieder besser gerecht wird. Prognosen sind jedoch sehr schwierig, da die Nachfrage massiv durch Nationalstaatliche Programme beeinflusst wird. Gemäss „Learning Curve“ müsste der Preis bei steigender Produktion (wie in den letzten Jahren geschehen) jährlich um etwa 5% sinken. Ein Zellenhersteller rechnet in seinem Businessplan für neue Investitionen mit jährlich um etwa 3% sinkenden Preisen für die nächsten Jahre. Die EPIA rechnet damit, in 2010 bei etwa 2 Euro/Wp zu sein. Diese beiden Aussagen decken sich einigermassen, wenn vom Preisniveau 1999 aus gerechnet wird.

Ein Flaschenhals für die nächsten Jahre könnte der Mangel an Solar Grade Silizium SoG-Si sein. Eine Lösung ist im Moment nicht in Sicht, d.h. dass einerseits der Preis für SoG-Si hoch bleiben wird (im Moment bei etwa 27USD/kg) und die Branche auch bei diesen Preisen Lieferschwierigkeiten hat. Die „Abfälle“ aus der Chip-Industrie genügen nicht mehr.

Zu den einzelnen Märkten

Japan: Für 2001 wird mit einem weiteren Wachstum gerechnet von ca. 114 MWp in 2000 auf etwa 150 MWp in 2001 und 150-200 MWp in 2002. Ende Finanzjahr 2002 (März 2003) geht das jetzige Subventionsprogramm zu Ende. Was nachher folgt ist noch unklar. Zur Diskussion steht eine Portfoliovariante ähnlich wie in einzelnen Staaten der USA oder allenfalls wieder direkte Subvention. Wenn das Budget für 2002 wie eingegeben durchkommt (mit Steigerung für PV gegenüber 2001) ist davon auszugehen, dass trotz Rezession auch nachher Geld für PV vorhanden sein wird.

USA: In Kalifornien wird ein Boom erwartet für PV. Die Förderung mit 4.5USD/Wp ist sehr hoch (City of Los Angeles 6 USD/Wp in bestimmten Fällen) und sollte endlich greifen. Das Problem sind eher die Lieferanten, weil der Markt ausverkauft ist und die neuen Fabriken erst in Planung sind.

Europa

- Deutschland: Der Zuwachs wird nicht mehr so gross sein wie letztes Jahr, aber die absoluten Zahlen sind trotzdem beachtlich. Wahrscheinlich werden etwa 50 – 70MWp installiert. Dies wird mindestens bis 2003 anhalten. Im Moment gibt es fast wöchentlich Ankündigungen über geplante neue Wafer-, Zellen- und Modulfabriken.
- Holland: Neues Förderprogramm (max. 4.25€/Wp) zugeschnitten vor allem auf den privaten Sektor (Hauseigentümer). Die PV-Gemeinde in Holland ist sich nicht einig, ob dieses Programm gut ist oder nicht. Auf jeden Fall sind grosse Projekte wie Amersfort anscheinend nicht mehr möglich, da eine GU diese Subventionen nicht beantragen kann. Um den vollen Fördersatz zu erhalten, müssen im Haus auch effizienzsteigernde Massnahmen wie verbesserte Isolation usw. durchgeführt werden!
- Italien: Das 10'000 – Dächer-Programm ist gestartet und wird in den nächsten Jahren zur Installation von doch einer recht beachtlichen Menge von Anlagen führen. Die Subventionen betragen 75%, bei speziellen Anlagen wie Gebäudeintegration sogar noch mehr.
- Frankreich: Vorzugstarife sollen für PV eingeführt werden, jedoch auf tieferem Niveau als in Deutschland: 1 FF/kWh auf dem Festland und für Korsika soll der doppelte Tarif gelten. Darüber hinaus kann die ADEME voraussichtlich einen erheblichen Förderbeitrag an die Investition leisten. Dadurch entstehen insgesamt interessante Förderbedingungen. Bei grösseren Anlagen (>15KW) muss der Inverter sehr strenge Auflagen bezüglich VAR-Ausgleich erfüllen. Im Moment gibt es noch keine solchen Inverter auf dem Markt.
- Schweiz: Planer und Installateure rechnen mit keinem Wachstum, glauben aber, dass die Solarstrombörse das Niveau der Vorjahre wird halten können.
- Dritte Welt: Der Markt wird wahrscheinlich stetig wachsen, ausser es wird einfach massiv Geld für die Förderung gesprochen. Da die Infrastruktur jedoch nicht so schnell aufgebaut resp. verbessert werden kann, ist nicht mit einem vergleichbar starken Wachstum wie in Europa, Japan und den USA zu rechnen.

Konklusion

Insgesamt ein sehr beachtliches Wachstum unter widrigen Umständen: zu hohe Preise, Liefer-schwierigkeiten der Modulhersteller, Bottleneck für SoG-Si in Sicht.

Es sieht aber so aus, dass die Industrie daran glaubt, dass das Wachstum nachhaltig sein wird trotz massivem Mitteleinsatz der öffentlichen Hand.

PV in developing countries

Daniel Ruoss
Enecolo AG,
Lindhofstrasse 52, 8617 Mönchaltorf
Tel.: +41 1 994 90 01; Fax: +41 1 994 90 05
Email: info@enecolo.ch

Photovoltaik (PV) in Entwicklungsländern wird zunehmend ein wichtigeres Thema auch für die führenden Industrienationen. Im Vergleich zu anderen Themen weist ‚PV in developing countries‘ an der 17. Europäischen PV Konferenz mit rund 10% prozentual den gleichen Stellenwert auf wie z.B. die Gebäudeintegration. Dieser Trend wird über die nächsten Jahre sicher anhalten und noch ansteigen. Verschiedene Organisationen (G8, Weltbank, IFC, UNDP und weitere) versuchen akzeptable Rahmenbedingungen einzuführen um damit den Markt zu stimulieren und der Solartechnik zum Durchbruch zu verhelfen. Das Potential in den Entwicklungsländer ist enorm; es werden Zahlen im Bereich von mehreren hundert GWp projiziert. Verständlicherweise bereiten sich die PV- Schlüsselfirmen, wie Shell, BP, Isophoton, Siemens und weitere auf den Markt vor und engagieren sich bereits aktiv in verschiedenen Projekten. Die meisten Projekte werden noch massiv durch die Weltbank, die EU, etc. finanziell unterstützt und schliessen nicht immer mit positiven Resultaten ab. Die Situation zeigt, dass sich der Markt noch klar in der Anfangsphase ‚laufen lernen‘ befindet. Verschiedene Schwierigkeiten können aufgeführt werden; Finanzierungsmodelle, Vermarktung, Qualität, Ausbildung um nur einige zu nennen. Unbestritten gewinnen aber alle Mitwirkenden entscheidende Erfahrungen und Marktanteile, um nachher sofort in der Phase ‚sich aufrichten und gehen‘ ihre Position im Markt zu verstärken.

Wie reagiert die Schweiz auf diesen neuen kommenden Markt. Seitens Bundesämtern wurde das Thema auch erkannt und im März 2001 ist ein erster Workshop durchgeführt worden. Dieser sollte eine Plattform zum Erfahrungsaustausch innerhalb der Schweiz bilden und die nationalen Expertisen aufzeigen und stärken. Mit spezifischen Erfahrungen, welche auch am Workshop erkannt wurden, kann sich die Schweiz an dem kommenden Markt beteiligen und eine aktivere Rolle übernehmen. Zwecks Information über den aktuellsten Stand wurden die Beiträge und ein Forum während der 17. Europäischen PV Konferenz in München besucht und diese Zusammenfassung abgeleitet.

Haltung Europa

Anstelle von ‚Power for developing countries‘ wird ein neuer Slogan proklamiert ‚Power for Peace‘. Die EU und auch die G8 Task Force sehen, dass die Zukunft weg vom Öl führen sollte, hier sind aber fundamentale Probleme zu lösen, welche meistens politisch basiert sind. Die Entwicklungsländer stehen im Schatten der grossen Industrienationen (Japan, USA und Europa), welche den Wechsel zu erneuerbaren Energien anfangen zu vollziehen. Darum sollte ‚Power for Peace‘ ein internationales Programm werden, mit Hauptausrichtung Entwicklungsländer. Aktionen: Gebrauch von allen möglichen Marketinginstrumenten, Bewusstseinsbildung betreffend dem Thema in der Politik, EW's, etc. und Definition der verschiedenen Rollen der involvierten Firmen. Dies sind Arbeiten, welche durch die G8 Task Force vorangetrieben werden sollten! (Vortrag W. Palz, EU DG-TREN)

Forum ‚PV for developing countries and emerging economics‘

Gut besucht, sehr informativ und interaktiv gestaltete sich dieses Forum, welches in dieser Form zum ersten Male durchgeführt wurde. Leider wurde den eingeladenen Gästen mit realen Projekten und Erfahrungen zu wenig Zeit eingeräumt, sodass wieder einmal die bekannten Akteure zu Worte kamen und diskutierten (sehr Industrienationenlastig).

Seitens Finanzierungsmechanismen wurden zwei Modelle vorgestellt; IFC-GEF mit der ‚PV market transformation initiative‘, welche innovative Geschäftsmodelle weltweit unterstützt. Des Weiteren die Solar Development Group (SDG) mit ihren zwei Abteilungen ‚capital‘ und ‚foundation‘. Wichtig ist bei allen Finanzierungsinstituten ausgereifte Geschäftsmodelle aufzuzeigen und ein starkes Engagement seitens der Industrie und Banken vorzulegen. Alle Informationen zu diesen Kapitalgebern sind auf dem Internet erhältlich.

Verschiedene Grossfirmen zeigten ihre Erfahrungen mit PV in Entwicklungsländern auf. Bevorzugt werden Vermietungsmodelle oder Systeme gegen eine Energiegebühr zu installieren. Hier ist ein kommerzieller Markt vorhanden, welcher sich aber noch klar im Nischenbereich aufhält. Es ist das Engagement von lokalen Kreditinstituten zu gewinnen. Um kommerziell diese Produkte zu vertreiben und zu unterhalten, ist es elementar sich auf eine grosse Bevölkerungsdichte auszurichten.

Betreffend Gebühren werden von den Firmen verschiedene Zahlen gemeldet, z.B. sollen in Bolivien rund 10 U\$/Monate angemessen und die Nachfrage vorhanden sein (Shell). Auf breiter Basis zeigt sich aber, dass eine Gebühr von rund 3 bis max. 5 U\$/ Monate realistisch ist und häufig angewendet wird.

Aussagen / Gedanken zum Thema während dem Forum

- Es ist elementar die Partnerbeziehung zur Verbreitung und Implementierung von SHS auf allen Stufen zu pflegen. Wir müssen die Technologie in die Hände der Empfänger legen....nur so spielt ein gesamtes Dorf richtig mit und die Nachhaltigkeit kann funktionieren.
- Weiter müssen Technologien verwendet werden, welche eine Erfolgsgeschichte und Qualität aufweisen können. Die Projekte in welchen gute Erfahrungen gemacht wurden und ein Modell funktioniert sollten zu ‚solaren Botschaftern‘ erkoren werden und kommuniziert werden (z.B. an Konferenzen, Informationskampagnen).
- Auf Finanzierungsstufe werden 0% Kredit gefordert (bei der Weltbank, IFC, SDG) und direkte Zahlungen für die Vorbereitungskosten. Die Struktur der Finanzierungsinstituten wird von den meisten Teilnehmern als konfus beurteilt. 90% der Zahlungen werden durch die Banken den ‚Keyplayers‘, wie Shell, BP, etc. zugesprochen. Es werden eine gerechtere Verteilung und nicht überteuerte Projekte gefordert.
- Interessant ist die Betrachtung in einem angesprochenen Land (Nigeria); die Leute können heute zwischen 3 Anbietern von Mobiltelefonen wählen, PV wird aber nicht als ebenbürtiges Produkt angesehen wegen dem Image. Die Leute verfolgen den 1. Welt- Ansatz (mit den Mobiltelefonen) und PV ist (gemäss dem Image) ausgerichtet für ‚arme‘ Leute => somit 3. Welt. Hier sollte global verstärkt Werbung und Aufklärung über den Einsatz, das Image und den Nutzen bei den möglichen Konsumenten gemacht werden.

Erfahrungen aus den diversen Vorträgen

- Es sind nicht immer ausländische Berater gefragt, die Experten haben die Möglichkeiten der Einheimischen oft unterschätzt und meistens nicht einmal aufgenommen. Die Benutzer der Systeme müssen die Kontrolle über die Technik nehmen, dies bedeutet Ausbildung und Training wie die Technik, die Installation und der Betrieb funktioniert. Experten (ausländische) trainieren national oder lokal Interessierte, welche dann das Know-how in die ländlichen Dörfer bringen und dort die Bevölkerung schulen. Wird dies korrekt verfolgt kann jedes Gemeindemitglied betreffend dem Erfolg der Systemnachhaltigkeit verantwortlich gemacht werden. Wichtig ist auch hier besonderes Augenmerk den Frauen zu geben und diese stärker für den Unterhalt und evtl. auch für die finanzielle Rückgewinnung einzusetzen als Männer. Die Gemeinde als Kollektiv bestimmt über den Erfolg eines Projektes! (Barefoot- Approach im Himalaya)
- Betreffend Finanzierung zeigt sich in den meisten Vorträgen, dass immer noch rund 50% der Hardware subventioniert wurden und die restlichen Aufwendungen über zinsgünstige Kredite abgezahlt werden. Gebühren von 3- 5 US\$/Monat über einen Zeitraum von 10 Jahren werden meistens genannt.
- Die Qualität der Produkte und die Lebenszeit bleiben zentrale Themen. In Indien zum Beispiel wurde ein Inselektifizierungsprogramm von rund 100 kW durch die Regierung nur mit der Bedingung von zusätzlichen 5 Jahren Unterhalt und Produktgarantie in Auftrag gegeben. Auch hier wichtig; den Benutzern die Kontrolle über die Technik zu vermitteln und sie korrekt auszubilden. Der Benutzer soll verantwortlich sein für das System, aber aus eigenem Interesse und nicht durch das Projekt aufgezwungen!

Aussichten

PV kann eine der Lösungen sein zur Linderung der Armut in Entwicklungsländern. Hierzu ist aber das grenzüberschreitende Interesse von Partnerschaften und Kooperation zwischen Firmen und Ländern gefordert. Zudem zeigt sich, dass dringendst ein Gesamtarbeitsplan auf globaler Stufe gefragt ist. Dieser soll die Umsetzung der Elektrifizierung von rund 2 Milliarden Leuten adressieren aber nicht aus dem Blickwinkel eines Versorgers sondern eines Konsumenten. Die Industrienationen dürfen nicht nur das Ziel haben Energie zu verkaufen, wir müssen auch den Konsumenten verstehen. Hier ist eine internationale Zusammenarbeit gefordert und nicht auf EU (G8 Task Force)- Niveau oder anderen Gruppen innerhalb Industrienationen, es sollten Vertreter von NGO's und Endkonsumenten mitreden. Nur so kann ein Konsens gefunden werden und möglichst effizient ein globaler Arbeitsplan aufgesetzt werden.

Wir müssen die Bedürfnisse der Angesprochenen richtig verstehen (von ihrer Seite und nicht durch uns definiert), akzeptieren und dann den Konsumenten als zentrales Element in die Umsetzung plazieren.

Anhang

Liste der Schweizer Beiträge

P Plenary Session
O Oral Presentation
V Visual Presentation
L Lecture

Titel	Autoren	P	O	V	L
Evolution of Inverters for Grid Connected PV-Systems from 1989 to 2000	<ul style="list-style-type: none"> H. Haeberlin, HTA Burgdorf, Switzerland 		X		
PV City Guide – Implementing Photovoltaics in the Urban Environment	<ul style="list-style-type: none"> M. Gutschner & S. Nowak, NET Nowak Energy & Technology AG, St. Ursen, Switzerland M. Barker, Institut Cerdà, Barcelona, Spain T. Schoen & K. Eising, Ecofys, Utrecht, The Netherlands P. Ruyssevelt & T. Blewett-Silcock, ESD, Neston, United Kingdom E. Kjellsson, Lund University, Sweden G. Tondi & E. Lutter, ETA, Italy K. Steemers, CAR, Cambridge, United Kingdom P. Schilken, Energie-Cités, Besançon, France 		X		
Study of a 20-Years Old PV Plant (MTBF Project)	<ul style="list-style-type: none"> Realini, E. Burà, N. Cereghetti, D. Chianese, S. Rezzonico & G. Travaglini, LEEE-TISO, Canobbio, Switzerland T. Sample & H. Ossenbrink, European Commission, DG JRC, Ispra 		X		
Radiation Hardness of CdTe/CdS Solar Cells	<ul style="list-style-type: none"> D.L. Bätzner, A. Romeo, H. Zogg & A.N. Tiwari, ETHZ, Zürich, Switzerland 		X		
The Nuts and Bolts of the European PV Market – Lessons Learnt and Conclusions for the Future	<ul style="list-style-type: none"> T. Nordmann, TNC Consulting, Erlenbach, Switzerland E. Koot, Ekomatic Solar Energy Consultancy, The Netherlands G. Stryi-Hipp, Deutscher Fachverband Solarenergie, Germany 	X			
Added Values of Photovoltaic Power Systems	<ul style="list-style-type: none"> P. Huesser, Aarau, Switzerland P. Cowley, IT Power, Eversley, United Kingdom M. van Schalkwijk, NOVEM, Utrecht, The Netherlands 	X			
Development of a Small TPV Prototype System with an Efficiency > 2 %	<ul style="list-style-type: none"> B. Bitnar, W. Durisch, J.-C. Mayor, H. Sigg, H.R. Tschudi, G. Palfinger & J. Gobrecht Paul Scherrer Institut, Villingen, Switzerland 		X		

Titel	Autoren	P	O	V	L
Interference Voltages Induced by Magnetic Fields of Simulated Lightning Currents in Photovoltaic Modules and Arrays	<ul style="list-style-type: none"> H. Haeberlin, Hochschule für Technik und Architektur (HTA), Burgdorf, Switzerland 		X		
First Experiences from the Electrification of Rural Villages in Spain with Multi-User Solar Hybrid Grids (MSG)	<ul style="list-style-type: none"> X. Vallvé & I. Vosseler, Trama Tecnambiental, Barcelona, Spain J. Serrano, Asociación SEBA, Barcelona, Spain M. Vázquez, Universida de Vigo, Spain P. Schweizer-Ries, Fraunhofer ISE, Freiburg, Germany H. Mosler, Universität Zürich, Switzerland 		X		
Long-Term Stability of Dye-Sensitized Solar Cells	<ul style="list-style-type: none"> A. Hinsch, ECN, Petten, The Netherlands/ Freiburg Materials Research Center, Germany J. Kroon, ECN, Petten, The Netherlands R. Kern & R. Sastrawan, Freiburg Materials Research Center, Germany A. Meyer, Solaronix, Aubonne, Switzerland I. Uhlendorf, Institut für Angewandte Photovoltaic INAP, Gelsenkirchen, Germany 		X		
Radio Interference on the DC Side of PV Systems – Research Results and Limits of RF Emissions	<ul style="list-style-type: none"> N. Henze & T. Degner, ISET, Kassel, Germany H. Häberlin, Hochschule für Technik und Architektur, Burgdorf, Switzerland G. Bopp & S. Schattner, Fraunhofer ISE, Freiburg, Germany 		X		
Achievements of Task 7 of the IEA PV Power Systems Programme: Final Report and Outlook	<ul style="list-style-type: none"> T. Schoen, Ecofys, Utrecht, The Netherlands D. Prasad, University of New South Wales, Sydney, Australia P. Toggweiler, ENECOLO, Mönchaltorf, Switzerland H. Sørensen, Esbensen Consulting Engineers, Virum, Denmark 		X		
253 kWp PV Plant at Hannover-Leinhausen Tram Depot Feeding into Public Transportation DC Low Voltage Grid	<ul style="list-style-type: none"> B. Decker, Solar Engineering Decker & Mack, Hannover, Germany J. Schult, üstra Hannoversche Verkehrsbetriebe, Hannover, Germany M. Schneider, Sunwatt Bio Energie, Chene-Bourg, Switzerland D. Wolff, TransTeC Bauplanungs- und Management, Hannover, Germany 		X		
Towards Higher Efficiency Micromorph Solar Cells: The “Inverted” (Substrate-n-i-p) Configuration	<ul style="list-style-type: none"> J. Guillet, V. Daudrix, L. Feitknecht, X. Niquille, P. Winkler, N. Wyrsh & A. Shah, University of Neuchâtel, Switzerland 		X		

Titel	Autoren	P	O	V	L
PVSAT: Remote Performance Check for Grid Connected PV Systems Using Satellite Data, Evaluation of One Year of Field-Testing	<ul style="list-style-type: none"> J.W.H. Betcke & V.A.P. van Dijk, University of Utrecht, The Netherlands F. Wiezer, Organisatie voor Duurzame Energie, Utrecht, The Netherlands C. Reise & E. Wiemken, Fraunhofer ISE, Freiburg, Germany H. Dufner, Deutscher Fachverband Solarenergie, Freiburg, Germany P. Toggweiler, Enecolo, Mönchaltorf, Switzerland D. Heineman, University of Oldenburg, Germany 		X		
Micromorph Tandem Solar Cells in the Superstrate Configuration (Glass Pin): Status Report and Future Perspectives	<ul style="list-style-type: none"> A.V. Shah, J. Meier, L. Feitknecht, E. Vallat-Sauvain, J. Bailat, U. Graf, S. Dubail & C. Droz, University of Neuchâtel, Switzerland 				X
Improved Optical Model for Thin Film Silicon Solar Cells	<ul style="list-style-type: none"> J. Springer, A. Poruba & M. Vanecek, Academy of Sciences of the Czech Republic, Prague, Czech Republic L. Feitknecht, N. Wyrsh, J. Meier & A. Shah, University of Nauchâtel, Switzerland 	X			
Cost Estimates of Electricity from a TPV Residential Heating System	<ul style="list-style-type: none"> G. Palfinger, B. Bitnar, W. Durisch, J-C. Mayor, D. Grützmacher & J. Gobrecht, Paul Scherrer Institute, Villigen, Switzerland 			X	
Application of Raman Spectroscopy for the Microstructure Characterisation in Microcrystalline Silicon Solar Cells	<ul style="list-style-type: none"> C. Droz, E. Vallat-Sauvain, J. Bailat, L. Feitknecht & A. Shah, University of Neuchâtel, Switzerland 			X	
Fourier Transform Photocurrent Spectroscopy in Thin Film Silicon Solar Cells	<ul style="list-style-type: none"> A. Poruba & M. Vanecek, Academy of Sciences of the Czech Republic, Prague, Czech Republic J. Meier & A. Shah, Neuchâtel University, Switzerland 			X	
Electrification of Isolated Areas by Interconnecting Different Renewable Sources of Energy	<ul style="list-style-type: none"> A.D. Saïdi, Rabat Instituts, Morocco J. Dos Ghali, EPFL-LEME, Lausanne, Switzerland 			X	
The Development of a Socio-Technical Simulation Tool to Enable Sustainable Community Use of a Photovoltaic Stand- Alone System	<ul style="list-style-type: none"> W.M. Brucks & H.-J. Mosler, University of Zurich, Switzerland A.L.M. Joyce, INETI, Lisbon, Portugal 			X	
Structural Properties of CIGS Layes from Selenized Nanoparticle Precursors	<ul style="list-style-type: none"> M. Kaelin, D. Rudmann, H. Zogg & A.N. Tiwari, Thin Film Physics Group, ETHZ, Zürich, Switzerland T. Meyer & A. Meyer, Solaronix, Aubonne, Switzerland 			X	
CdTe/CdS Solar Cell Performance Under Low Light Irradiation	<ul style="list-style-type: none"> D.L. Bätzner, A. Romeo, H. Zogg & A.N. Tiwari, Thin Film Physics Group, ETHZ, Zürich, Switzerland 			X	
Optimisation of Na Concentration in CIGS Solar Cells on Polyimide	<ul style="list-style-type: none"> D. Rudmann, F.-J. Haug, M. Kaelin, H. Zogg & A.N. Tiwari, Thin Film Physics Group, ETHZ, Zürich, Switzerland 			X	

Titel	Autoren	P	O	V	L
Structural and Chemical Studies on CdTe/CdS Thin-Film Solar Cells with Analytical Transmission Electron Microscopy	<ul style="list-style-type: none"> M. Terheggen, H. Heinrich, G. Kostorz, A. Romeo, H. Zogg & A.N. Tiwari, Thin Film Physics Group, ETHZ, Zurich, Switzerland 			X	
Apparent Quantum Efficiency in Chalcogenide Solar Cells	<ul style="list-style-type: none"> G. Agostinelli & E.D. Dunlop, European Commission, DG JRC, Ispra D. Bätzner, Thin Film Physics Group, ETHZ, Zürich, Switzerland 			X	
Performance of the Roof Integrated Amorphous Silicon Plant IMT Neuchâtel	<ul style="list-style-type: none"> R. Tschärner & A. Shah, University of Neuchâtel, Switzerland 			X	
Alpha A1: 1st Private Modular PV/Noise-Barrier System	<ul style="list-style-type: none"> R. Hottiger, Ekotech, Safenwil, Switzerland A.C. Hawkins, A.C. Hawkins Consulting and Services, Erlinsbach, Switzerland 			X	
Problems Related to Appliances in Autonomous PV Applications	<ul style="list-style-type: none"> X. Vallvé & G. Gafas, Trama TecnAmbiental, Barcelona, Spain P. Jacquin, PHK Consultants, Ecully, France K. Dongwhan, Korea University, Seoul, Korea N. Yumoto, YN International, Tokyo, Japan A. Joyce & C. Rodrigues, INETI, Lisbon, Portugal P. Malbranche, GENECE, St. Paul-lez-Durance, France G. de Angelis, Business Unit SFR-ERI, Milano, Italy F. Nieuwenhout, ECN. Petten, The Netherlands P. Krohn, Vattenfall, Älvkarleby, Sweden K. Presnell, Northern Territory Centre for Energy Research, Darwin, Australia I. Stadler, Universität Kassel, Germany D. Turcotte, CANMET, Varennes, Canada A. Holt, IFE, Kjeller, Norway M. Villos, Dynatex, Colombier, Switzerland A.R. Wilshaw, IT Power, Eversley, United Kingdom 			X	
DEMOSITE: The Reference for Photovoltaic Building Integrated Technologies	<ul style="list-style-type: none"> C. Roecker, P. Affolter, A. Müller & F. Schaller, EPFL, Lausanne, Switzerland 			X	
"SOLGREEN II": Fastening Concepts for Green Roofs	<ul style="list-style-type: none"> F. Schaller & C. Roecker, EPFL, Lausanne, Switzerland P. Toggweiler & D. Ruoss, Enecolo, Mönchaltorf, Switzerland A. Haller, P. Weber & E. Schweizer, Schweizer Metallbau, Hedingen, Switzerland J. Bonvin, Solstis, Genève, Switzerland 			X	
"Solface": a Fastening System for Laminates	<ul style="list-style-type: none"> F. Schaller & C. Roecker, EPFL, Lausanne, Switzerland 			X	
Your Own Power Station: Small Plug-In PV Systems	<ul style="list-style-type: none"> A.C. Hawkins, ADEV, Aarau, Switzerland 			X	

Titel	Autoren	P	O	V	L
PV-EC-NET - Thematic Network for Co-ordination of European and National RTD Programmes on Photovoltaic Solar Energy	<ul style="list-style-type: none"> • J.J. Swens, NOVEM, Utrecht, The Netherlands • D. A. Claverie, ADEME, Paris, France • D. Cosaert, IWT, Brussels, Belgium • R. Eaton, DTI, London, United Kingdom • H. Fechner, ARSENAL, Wien, Austria • M. Garozzo, ENEA, Rome, Italy • J. Herrero Rueda, CIEMAT, Madrid, Spain • A. Joyce, INETI, Lisboa, Portugal • M. Malmkvist, STEM, Eskilstuna, Sweden • S. Nowak, NET AG, St. Ursen, Switzerland • P. Passiniemi, NAPS, Vantaa, Finland • S.M. Pietruszko, WUT, Warsaw, Poland • C. Protogeropoulos, CRES, Pikermi, Greece • M. Rantil, FORMAS, Stockholm, Sweden • N. Stump, Forschungszentrum Jülich, Germany • J. Windeleff, ENS, Copenhagen, Denmark 			X	
Accreditation and Certification of European PV Training Programmes	<ul style="list-style-type: none"> • A.R. Wilshaw, IT Power, Eversley, United Kingdom • M. Fitzgerald, ISP Europe, Freiburg, Germany • M. Grottke, WIP-Renewable Energies, Munich, Germany • M. Real, Alpha Real, Zürich, Switzerland • H. Richardson, TNEI, Newcastle-upon-Tyne, United Kingdom • A.L. van Dijk, ECN, Petten, The Netherlands 			X	
Epitaxial Thin Film Solar Cells with Porous Silicon Based Backside Reflector	<ul style="list-style-type: none"> • R.R. Bilyalov, O. Richard & J. Poortmans, IMEC, Leuven, Belgium • M. Kummer & H. von Känel, ETH-Zürich, Switzerland 			X	
Comparison of 5 Solar Photovoltaic Materials under Light Intensities over a 4 Decade Range	<ul style="list-style-type: none"> • J.F. Randall & J. Jacot, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Switzerland • M. Goetz, Neuchâtel, Switzerland • A. Shah, Université de Neuchâtel, Switzerland 			X	
Orientation of Solar Panels to the Elevation of the Sun, Revisited	<ul style="list-style-type: none"> • H. Kiess, Consultant Solar Energy, Steinaur, Switzerland 			X	
Energy Rating of PV Modules	<ul style="list-style-type: none"> • D. Chianese, N. Cereghetti, A. Realini, S. Rezzonico & G. Travaglini, SUPSI, Cannobbio, Switzerland 			X	
Power and Energy Production of PV Modules	<ul style="list-style-type: none"> • N. Cereghetti, D. Chianese, A. Realini, S. Rezzonico & G. Travaglini, SUPSI, Cannobbio, Switzerland 			X	
PV Module Behaviour in Real Conditions: Emphasis on Thin Film Modules	<ul style="list-style-type: none"> • S. Rezzonico, N. Cereghetti, D. Chianese, A. Realini & G. Travaglini, SUPSI, Cannobbio, Switzerland 			X	

Titel	Autoren	P	O	V	L
A New Tool for Performance Analysis and Assessment of PV Systems: The Performance Database of IEA-PVPS Task 2	<ul style="list-style-type: none"> • U. Jahn, Institut für Solarenergieforschung, Erlangen, Germany • S. Castello, ENEA Casaccia, Rome, Italy • R. Dahl, Forschungszentrum Jülich, Germany • A. Frölich & L. Clavadetscher, TNC Consulting, Horgen, Switzerland • M. Heidenreich, Arsenal Research, Wien, Austria • D. Mayer, Ecoles des Mines de Paris, Sophia Antipolis, France • W. Nasse, Solar Engineering, Hannover, Germany • K. Sakuta, AIST, Ibaraki, Japan • T. Sagiura, Japan Quality Assurance Organisation, Shizuoka-Ken, Japan • N.J.C.M. van der Borg, ECN, Petten, The Netherlands 			X	
HorizON Camera Tool & Software	<ul style="list-style-type: none"> • R. Frei & C. Meier, energiebüro, Zürich, Switzerland 			X	
Green and Blue Go Well Together	<ul style="list-style-type: none"> • C. Meier & R. Frei, energiebüro, Zürich, Switzerland 			X	
New DC-LISN for EMC-Measurements on the DC Side of PV Systems: Realisation and First Measurements at Inverters	<ul style="list-style-type: none"> • H. Haeblerlin, HTA Burgdorf, Switzerland 			X	
Building Integration of CIS Thin-Film Solar Modules	<ul style="list-style-type: none"> • J. Springer, ZSW, Stuttgart, Germany • M. Schwamb, Chemetall, Frankfurt, Germany • B. Dimmler, Würth Solar, Marbach, Germany • R. Neukomm, Atlantis Solar System, Bern, Switzerland • C. Schmidt, Glaswerke Arnold, Merkendorf, Germany • L. deRosa, Università di Napoli Federico II, Italy • M. Kohler, Multi-Contact Deutschland, Weil am Rhein, Germany • A. Plessing, Isovolta Österreichische Isolierstoffwerke, Werndorf, Austria • E. Dunlop, European Commission, DG JRC, Ispra 			X	
Monitoring Results of the Adaptive Photovoltaic Daylighting System at Wirtschaftshof Linz	<ul style="list-style-type: none"> • F.H. Klotz & H.-D. Mohring, ZSW, Stuttgart, Germany • W. Mikesch, Colt International, Baar, Switzerland • S. Gintenreiter-Kögl, Linz Service, Austria 			X	

Titel	Autoren	P	O	V	L
IEA International Energy Agency PVPS Task 7 Internet Database about PV-Projects and PV-Products	<ul style="list-style-type: none"> • T. Reijenga & M. Drok, BEAR Architecten, Gouda, The Netherlands • A. Schneider, Berlin, Germany • T: Schoen, F. Leenders & S. Ankone, Ecofys, Utrecht, The Netherlands • D. Ruoss, Enecolo, Mönchaltorf, Switzerland 			X	
With PV Power to Sports Championship - Innovative 150 kWp Roof Top System on the New St. Jakob Sports Stadium in Basel/Switzerland	<ul style="list-style-type: none"> • C. Meier & R. Frei, energiebüro, Zürich, Switzerland 			X	
Potential of CdTe Thin Film Solar Cells for Space Applications	<ul style="list-style-type: none"> • A. Romeo, D.L. Bätzner, H. Zogg & A.N. Tiwari, Thin Film Physics Group, ETHZ, Zürich, Switzerland • W. Hajdas, Paul Scherrer Institute, Villigen, Switzerland 			X	
Progress in The Development of Small Thermophotovoltaic Prototype Systems *	<ul style="list-style-type: none"> • W. Durisch, B. Bitnar, J.-C. Mayor, Fritz von Roth, H. Sigg, H.R. Tschudi, G. Palfinger, Paul Scherrer Institut, Villigen, Switzerland 			X *	
Total		3	13	35	1

* Posterpreis erhalten