

Dezember 2005

# 20<sup>th</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition Barcelona 06. - 10. 06. 2005

ausgearbeitet durch:  
**NET Nowak Energie & Technologie AG**



20th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition  
20th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition

Titelbild:

**449 kWp Solar Pergola der Architekten Martinez Lapeña und Elias Torres  
beim International Convention Centre CCIB, Barcelona**

*Bildquelle NET AG*

ausgearbeitet durch:

**NET Nowak Energie & Technologie AG**

Waldweg 8, CH - 1717 St. Ursen (Schweiz)

Tel. +41 (0) 26 494 00 30, Fax. +41 (0) 26 494 00 34, [info@netenergy.ch](mailto:info@netenergy.ch) [www.netenergy.ch](http://www.netenergy.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](mailto:office@bfe.admin.ch) [www.energie-schweiz.ch](http://www.energie-schweiz.ch)

# Die "20<sup>th</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition" aus Schweizer Sicht

## Inhaltsverzeichnis

<b>S. Nowak</b>	
Übersicht.....	2
<b>H. Kiess</b>	
High Efficiency Solar Cells and Novel Concepts, Crystalline Silicon Solar Cells .....	7
<b>D. Dominé, N. Wyrsh, J. Steinhauser, J. Bailat, A. Shah, C. Ballif</b>	
Thin-film silicon solar cells - especially amorphous and microcrystalline silicon solar cells.....	11
<b>D. Abou-Ras, D. Brémaud, M. Kaelin, D. Rudmann, A.N. Tiwari</b>	
CIGS- & CdTe-based thin-film solar cells .....	17
<b>A. Realini</b>	
PV module market .....	20
<b>H. Häberlin, L. Borgna</b>	
Neues auf dem Gebiet der PV-Systemtechnik.....	25
<b>P. Hüser</b>	
Global Aspects.....	33
<b>S. Gnos</b>	
Ausstellung.....	36
<b>Anhang, Liste der Schweizer Beiträge .....</b>	<b>46</b>

## Die 20. Europäische Photovoltaikkonferenz in Barcelona – die Photovoltaik wird von ihrem eigenen Erfolg eingeholt!

### Übersicht

**S. Nowak, Programmleiter Photovoltaik BFE**

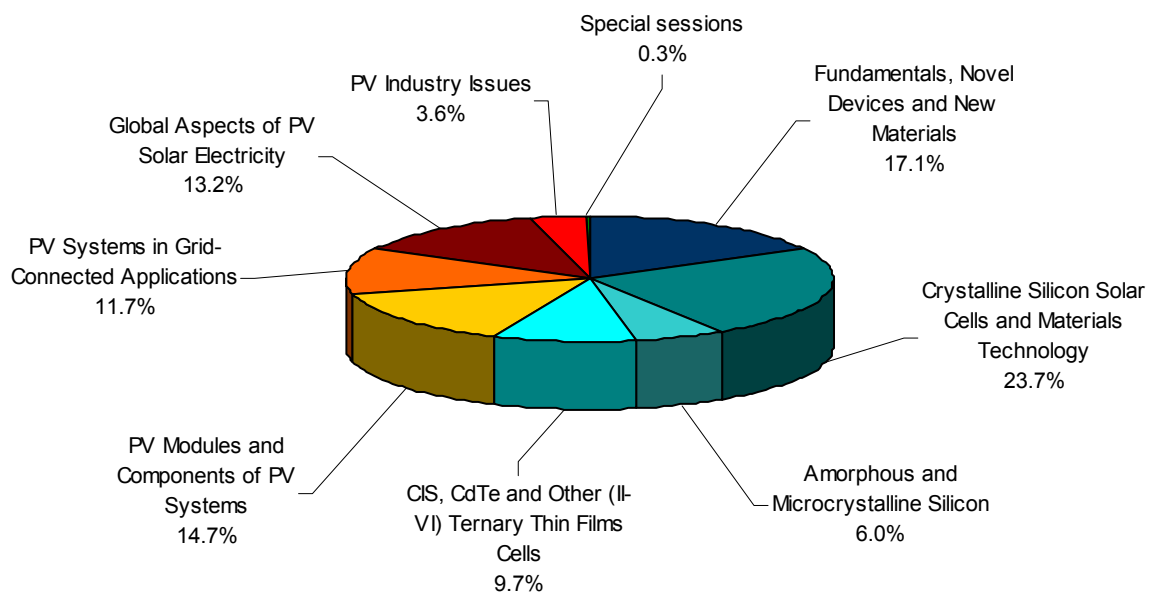
**c/o NET Nowak Energie & Technologie AG,  
Waldweg 8, 1717 St. Ursen**

**Tel.: +41 26 494 00 30, Fax: +41 26 494 00 34**

**Email: stefan.nowak@netenergy.ch**

### Allgemeines

Die wachsende Photovoltaikgemeinde Europas und zahlreicher weiterer Länder traf sich zwischen dem 6. und 10. Juni 2005 in Barcelona zur nunmehr 20. Europäischen und gleichzeitig einer der bisher grössten Photovoltaikkonferenzen (<http://www.photovoltaic-conference.com>). Die Konferenz verzeichnete insgesamt 2'151 eingeschriebene Teilnehmer aus 76 Ländern und es wurden 1080 Konferenzbeiträge, davon 270 mündlich, präsentiert. Die thematische Gliederung ist in Figur 1 dargestellt.



Figur 1: Thematische Gliederung der Beiträge an der 20. Europäischen Photovoltaikkonferenz

Einmal mehr wurde die Konferenz von einer eindrucklichen Industrieausstellung mit insgesamt 270 Ausstellern begleitet. Es waren neue Aussteller präsent und eine Reihe von neuen Produkten wurde vorgestellt. Verschiedene Begleitveranstaltungen rundeten die reich befrachtete wissenschaftlich-technologische Konferenz ab. Das umfassende Programm und die hohe Wahrscheinlichkeit, fast alle bekannten und noch viel mehr unbekannte Gesichter zu treffen, machten Barcelona eine Reise wert. Aufgrund der hohen Beteiligung war dies auch eine ausgezeichnete Gelegenheit, um Kontakte zu knüpfen und zu pflegen bzw. projektbezogene Treffen abzuhalten.

Das neu gebaute Konferenzzentrum CCIB war dem Ansturm bestens gewachsen, wirkte die Konferenz trotz ihrer beachtlichen Grösse in den riesigen Gebäuden zum Teil doch beinahe verloren. Platz gab es an dieser Konferenz auf jeden Fall genug, und wer aufgrund des gedrängten Programms eine Pause brauchte, konnte draussen an der Sonne bei frischer Brise Energie tanken.

## Wissenschaftlich-technische Entwicklungen

Gut die Hälfte der Konferenzbeiträge befasste sich mit den verschiedenen Typen von Solarzellen (vgl. Zusammenfassungen von H. Kiess, D. Dominé et al., D. Abou-Ras et al.). Im Unterschied zu anderen internationalen Konferenzen (USA und Asien) wird damit auf den Europäischen Konferenzen auch grosses Gewicht auf systemtechnische Aspekte und Rahmenbedingungen gelegt. 30% der Konferenzbeiträge befassten sich mit Silizium als Grundmaterial, wobei das kristalline Silizium zahlenmässig bei weitem dominierte (255 Beiträge). Bei den Dünnschichtsolarzellen verzeichneten die II-VI Verbindungen deutlich mehr Beiträge als das amorphe bzw. mikrokristalline Silizium (104 gegenüber 65).

Das kristalline Silizium dominiert nicht nur die Konferenzbeiträge sondern weiterhin auch den Markt. Das allgegenwärtige Thema in Barcelona war aber hier der inzwischen zum Problem Nr.1 gewordene Engpass beim Rohsilizium. Dieser Engpass führt zu enormem Druck für die Industrie, Produktionskapazitäten können nicht ausgelastet werden, Produkte können nicht geliefert werden und zu den meisten Verdruss steigen damit naturgemäss auch die Preise, ein höchst unliebsames Signal. Dabei ist es natürlich nicht so, dass Silizium eine wirkliche Mangelware darstellt, bekanntlich gibt es davon sprichwörtlich wie „Sand am Meer.“ Aufgrund des schnellen Marktwachstums der Photovoltaik wurde aber die sich abzeichnende Verknappung des Rohsiliziums früher als erwartet erreicht, insbesondere früher als die neu geplanten Fertigungskapazitäten von Silizium bereit stehen. Es wird allgemein erwartet, dass diese Situation während 2006 anhalten und frühestens 2007 eine Entspannung auftreten wird. Trotzdem wird damit gerechnet, dass insbesondere das multikristalline Silizium weiter marktführend sein wird. Für die Dünnschichtsolarzellen entsteht aber aufgrund dieser angespannten Situation ein interessantes „window of opportunity“ – sprich Chancen für diese Technologien.

Bei den technischen Parametern des kristallinen Siliziums sind die bisherigen Rekordwerte unverändert (vgl. Zusammenfassung H. Kiess). Der Schwerpunkt der Entwicklungen verlagert sich zunehmend auf die industrielle Prozessführung, grössere Wafer (20 x 20 cm), die Steigerung des Wirkungsgrades industrieller Produkte (> 20%) und insbesondere die Reduktion des Siliziumeinsatzes. Bei letzterem wird erwartet, dass die Dicke der Siliziumwafer von heute typischerweise 300 µm in den kommenden Jahren auf 100 µm reduziert wird. Die Handhabung von immer grösseren und immer dünneren Wafern stellt technologisch eine grosse Herausforderung dar. Als Alternative zu gesägten Wafern stellen Siliziumbänder eine Option dar. So wurden in Barcelona ein weiteres Mal die „sliver“ Zellen von Origin vorgestellt – ihre Dicke beträgt noch 50 µm. Diese Zellen werden vielfach diskutiert, konkrete Produkte sind allerdings selbst für Testzwecke nicht erhältlich.

Im Bereich der Silizium Dünnschicht Solarzellen (vgl. Zusammenfassung D. Dominé et al.) stehen technologisch betrachtet schnelle Abscheideverfahren, die grossflächige Deposition und der Lichteintrag in den Fensterschichten im Vordergrund. Seitens der Industrie sind verschiedene Tendenzen zu beobachten. Zum einen finden Investitionen in neue Fertigungskapazitäten statt, diese sind aber vor allem ausserhalb Europas auszumachen, konkret in den USA und Japan. Zum anderen sind wachsende Aktivitäten und konkrete Resultate bei Equipmentherstellern, insbesondere bei Unaxis und Applied Films, zu verzeichnen. Damit sollte sich die Verfügbarkeit von ganzen Fertigungsstrassen für Silizium Dünnschicht Solarzellen zusehends verbessern und sich der Situation bei kristallinen Solarzellen nähern.

Auf der Entwicklungsseite der Solarzellen selbst hält das grosse Interesse an der am IMT Neuchâtel entwickelten mikromorphen Solarzelle weltweit an. Eine bedeutende Entwicklung könnten aber auch die dünnen kristallinen Silizium Solarzellen darstellen. In diesem Bereich gibt die Firma CSG SOLAR besonders zu reden. Ebenso werden die kugelförmigen „spherical cells“ hier viel diskutiert. Zusammen mit den oben erwähnten „sliver cells“ stellen diese das Grenzgebiet zu den klassischen kristallinen Silizium Solarzellen dar. Grosses Interesse war letztlich in der Ausstellung der Firma VHF-Technologies mit ihren flexiblen amorphen Solarzellen beschieden.

Konferenzbeiträge zu Solarzellen auf der Basis von Verbindungshalbleitern (insbesondere CIGS, CdTe) waren wie immer gut vertreten (vgl. Zusammenfassung D. Abou-Ras et al.). Technologisch sind beim CIGS besonders die Grenzschichten von Interesse; diese haben grossen Einfluss auf den Wirkungsgrad der Solarzelle. Bei den flexiblen CIGS Solarzellen stehen die Arbeiten der ETHZ Gruppe mit an vorderster Stelle, das HMI in Hamburg und das ZSW in Stuttgart verfolgen dieses Gebiet aber ebenso. Als neues Thema wurde von der Universität Delft eine Verbindung der Farbstoffzelle („Grätzelzelle“) mit

CIS vorgestellt. Dabei übernimmt das CIS die Funktion des Absorbermaterials anstelle des Farbstoffs bzw. des Elektrolyten. Einen bedeutenden Raum nahmen bei den CdTe-Zellen, welche in Barcelona besser vertreten waren als das Jahr zuvor in Paris, die vertiefte Analyse der Umweltaspekte und konsequentes Umweltmanagement inkl. Recycling ein. Eine Materialvariante stellt die Kupfer-Indium-Sulfid Solarzelle ( $\text{CuInS}_2$  im Gegensatz zu  $\text{CuInSe}_2$ , Abkürzung ebenfalls CIS) dar, welche durch das Unternehmen Sulfurcell entwickelt wird.

Bei der industriellen Umsetzung können bei den II-VI Verbindungshalbleitern stete Fortschritte und Steigerung der Fertigungskapazitäten festgestellt werden. Würth Solar kündigte den Aufbau einer 15 MW CIGS Fertigungslinie an, während First Solar ihre Produktionskapazität für CdTe-Zellen auf beachtliche 75 MW erhöht.

Bei den Solarmodulen waren einmal mehr besonders in der Ausstellung viele neue Produkte bzw. Produktvarianten zu sehen (vgl. Zusammenfassung von A. Realini). Besonderes Interesse fanden die wachsende Anzahl chinesischer Aussteller, sowie die Firmen CSG Solar, Origin, Sulfurcell und VHF-Technologies (vgl. oben). Im Bereich der organischen bzw. Farbstoffsolarzellen ist die Firma Konarka hervorzuheben.

Der Bereich der Systemtechnik (vgl. Zusammenfassung H. Häberlin et al.) bestätigt die allgemeinen Trends der letzten Jahre: Es besteht eine grosse und stets wachsende Vielfalt von Wechselrichterprodukten, wobei angesichts der Marktverhältnisse die Netzverbund-Wechselrichter dominieren. Durch den boomenden Markt wird zum einen die Produktpalette von grossen Wechselrichtern erweitert, sowie zum anderen Lücken bei den kleineren Geräten geschlossen. Insgesamt können Verbesserungen bei den Spezifikationen (z.B. DC-Spezifikationen, Eingangsspannungsbereich, MPP Tracking) beobachtet werden. Aus systemtechnischer Sicht (Stichwort Bypassdioden) ebenfalls interessant sind die Trends zu grösseren Solarzellen (20x20cm) und grösseren Solarmodulen (120-300 W).

Die Beiträge zum Thema „Global aspects“ (vgl. Zusammenfassung P. Hüsler) erlaubten eine gute Übersicht über die Markt- und Förderlandschaft der Photovoltaik, die entsprechenden Ansätze sowie konkrete Erfolge und Schwierigkeiten. Als Meilenstein wurde immer wieder der 2004 erstmals erreichte Modulumsatz von mehr als 1 GW aufgeführt, nicht ohne die damit einhergehenden Engpässe im Markt und die Preisentwicklung zu erwähnen. Die allgemein erwartete Verbreitung der Marktbasis, welche bisher durch die Dominanz der Märkte in Japan, Deutschland und den USA charakterisiert war, scheint sich nun zu realisieren, so z.B. in Spanien, Italien und Portugal. Auch in Griechenland wird die Einführung einer Einspeisevergütung intensiv diskutiert. In einem speziellen Konferenzthema wurden die Anwendungen und Rahmenbedingungen der Photovoltaik in Entwicklungsländern diskutiert. Neu und bezeichnend für den gegenwärtigen Trend der Photovoltaik wurden Industrieaspekte als eigenes Konferenzthema behandelt.

## Ausstellung

Die begleitende Industrieausstellung umfasste auf 9000 m<sup>2</sup> Fläche über 250 Aussteller aus der ganzen Welt und war damit erneut die bisher grösste und umfassendste Ausstellung dieser Art (vgl. Zusammenfassung S. Gnos). Sie bot umfassende Informationen von den Basismaterialien zur Photovoltaik-Zellenfertigung, Herstellungsausrüstung, Herstellungsmaterial über PV Zellen, bis hin zu den Modulen und Wechselrichtern. Im Vergleich zur letztjährigen Ausstellung fand eine leichte Verlagerung hin zu Herstellungsequipment bzw. Produktionslinien statt. Weiter stellten sich eine grosse Anzahl von nationalen und internationalen Organisationen, Forschungszentren und Institutionen vor. Der anwendungsnahe Bereich der PV Montage- und Integrationssysteme war hier weniger vertreten und ist an praxisorientierten Ausstellungen wie z.B. der Intersolar stärker präsent. Hingegen bot diese Ausstellung eine eindruckliche Gelegenheit, sich der wachsenden und zunehmend global operierenden industriellen Dimension der Photovoltaik bewusst zu werden.

## Schweizer Beiträge und Aussteller

Die Schweiz war in Barcelona wiederum gut vertreten. Die insgesamt 40 Konferenzbeiträge mit Schweizer Beteiligung umfassten 4 Plenarvorträge, 15 mündliche Beiträge und 21 Posterbeiträge (siehe Anhang). Diese Beiträge belegten den weiterhin hohen Stand der Schweizer Photovoltaik im internationalen Vergleich, sowohl in der Forschung wie in der Anwendung. Folgende Schweizer Firmen und Organisationen waren zudem in der Ausstellung vertreten:

- ASP AG
- Belval SA
- Colt AG
- HCT Shaping Systems SA
- Huber + Suhner AG
- IEA PVPS Programm
- Meyer + Burger AG
- Multi-Contact AG
- Sputnik Engineering AG
- Studer Innotec SA
- Swiss Wafers AG
- Swiss Solar Systems 3S AG
- Unaxis AG (Lichtenstein)
- VHF-Technologies SA (Flexcell)

Damit waren die wesentlichen Akteure seitens der Schweizer Photovoltaik Industrie vertreten. Die meisten dieser Unternehmen verzeichnen einen stark wachsenden Exportabsatz, welcher in der Regel bei über 90% des Umsatzes liegt. Die Schweizer Aussteller äussersten sich durchwegs positiv über den Verlauf der Ausstellung.

## Begleitveranstaltungen

Verschiedene Begleitveranstaltungen ergänzten das wissenschaftliche Konferenzprogramm:

- PV Integration in Architecture – ein Workshop zur Photovoltaik Gebäudeintegration
- Power for the World – ein Workshop zum Thema Photovoltaik in Entwicklungsländern
- Environmental Health & Safety Issues of PV – IEA PVPS Workshop  
<http://www.oja-services.nl/iea-pvps/ws050608/intro.htm>
- European Political Scenarios for a Sustainable Photovoltaic Energy – Forum mit Vertretern aus Industrie und Politik
- New Concepts in Photovoltaics – Spezielle Session im Rahmen des EU- Projektes Fullspectrum  
<http://www.fullspectrum-eu.org/>

## EU Initiativen

Spezielle Beachtung fand die neu geschaffene Europäische Photovoltaik Technologie Plattform <http://www.eupvplatform.org/>, welche aufgrund des Vision-Report des Photovoltaic Technology Research Advisory Council (PV TRAC) eingerichtet wurde. Technologie Plattformen sind ein neues Instrument der Europäischen Kommission, welches für ausgewählte Technologien eine breitere Trägererschaft und eine gemeinsame Strategie der beteiligten Akteure ermöglichen soll, indem typischerweise Forschungskreise, Industrie, der Finanzsektor und staatliche Stellen in einer gemeinsam getragenen

Plattform eingebunden sind und die notwendigen F&E Anstrengungen sowie die Massnahmen zur Umsetzung koordiniert angehen. Von besonderer Bedeutung ist dabei einerseits die starke Einbindung der Industrie, welche im Rahmen der Technologie-Plattformen eine tragende Rolle spielt. Andererseits wird im Rahmen einer Technologie-Plattform ein strategischer Forschungsplan definiert und umgesetzt. Dieser ist für die Photovoltaik insbesondere auf die Ausgestaltung des 7. Rahmenforschungsprogramms der EU von Wichtigkeit.

Ebenfalls vorgestellt wurde das neue EU-Projekt PV-ERA-NET <http://www.pv-era.net>. In diesem Projekt wird die internationale Zusammenarbeit zwischen verschiedenen Europäischen Photovoltaik Programmen thematisiert. PV-ERA-NET gliedert sich in die Aktivitäten des Europäischen Forschungsraumes (*European Research Area*) ein und soll die direkte Zusammenarbeit zwischen nationalen Programmen fördern. Damit soll es inskünftig einfacher werden, gemeinsame bi- oder multilaterale Forschungsprojekte zwischen verschiedenen nationalen Programmen durchzuführen.

### **Schlussbemerkungen**

Die 20. Europäische Photovoltaikkonferenz war ein weiterer Meilenstein in der internationalen Konferenzwelt. Sie erlaubte einen einzigartigen Überblick über die aktuellen wissenschaftlichen Erkenntnisse und Entwicklungen, die Anwendungserfahrungen und die zunehmende industrielle Dimension der Photovoltaik. Der intensive Austausch zwischen Wissenschaft, Industrie und Förderpolitik ist das Erfolgsrezept dieser Konferenz, welches immer mehr Teilnehmer in seinen Bann zieht.

### **Nächste Konferenzen**

Einige der nächsten internationalen Konferenztermine für die Photovoltaik sind:

- 3. Solarsilizium-Konferenz, 3. April 2006, München <http://www.photon-magazine.com/>
- 4<sup>th</sup> World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, 7. – 12. Mai 2006, Hawaii <http://www.wcpec.org/>
- 3rd European PV Hybrid and Minigrid Conference, 11.-12. Mai 2006, Aix-en-Provence <http://www.otti.de/pdf/guenther/ipv2075cfp.pdf>
- Intersolar 2006, 22.- 24. Juni 2006, Freiburg i.B. <http://www.intersolar.de/>
- 21<sup>st</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, 4. – 8. September 2006, Dresden <http://www.photovoltaic-conference.com/>
- 7<sup>th</sup> World Thermophotovoltaic Conference, 25.-27. September 2006, Madrid <http://www.ies.upm.es/tpv7/index.html>

## High Efficiency Solar Cells and Novel Concepts, Crystalline Silicon Solar Cells

H. Kiess

im unteren Tollacher 11, 8162 Steinmaur  
Tel.: +41 44 853 01 60, Email: hkiess@dplanet.ch

### 1. Solar Cells of Third Generation and Novel Concepts

The term 'solar cells of third generation' has been coined in considering the expected progress in solar cells:

Presently, crystalline silicon solar cells are at the leading edge, have high efficiency of up to 20 % in industrial production, referring to high quality and hence low defect density silicon. These cells are called '**solar cells of first generation**'. They represent a viable technical solution and industrial basis for electricity generation by solar irradiation. However, solar cells produced with crystalline Si are labour and material intensive and prices for solar panels are believed not to fall below 1 US  $\$/W_p$  using this technology.

Less material and a simpler cell technology are expected from depositing the cell material in thin layers directly on a substrate: cell materials are a-Si:H, microcrystalline Si, layer structure of a-Si:H and microcrystalline Si, CdTe, CuIn(Ga)S, CuInS/Se etc. all of which promise simplified processing. Prices are expected to come down as far as 0.5 US  $\$/W_p$ . At present, pilot plants and plants in the range of 10  $MW_p$  output per year are operative, so these are all in a start-up phase if compared to production capacities built up for crystalline Si solar cells. Since this technology is considered to be the technology of the near future, these cells have been called the '**cells of second generation**'. Low cost and low energy input are the advantage, efficiencies in the range of 10 % are reported for industrially manufactured panels, the lower efficiency being probably due to the defects inherent in the lower quality processing methods.

'**Solar cells of the third generation**' are to overcome the efficiency limit imposed to the single band gap materials as commonly used for the first and second generation. According to the calculations of Shockley and Queisser, single band gap cells are limited to 31 % efficiency under 1 sun illumination and to 40 % under maximal concentration. Measures to be taken to achieve a quantitative step in solar cell efficiency can be envisaged, if one looks at the loss mechanisms inherent for single band gap solar cells (Figure 1):

- photons of energy smaller than the band gap are not absorbed
- energy loss by phonon emission of photons larger than the band gap
- recombination losses and in addition (not indicated in Figure 1)
- junction and contact voltage losses

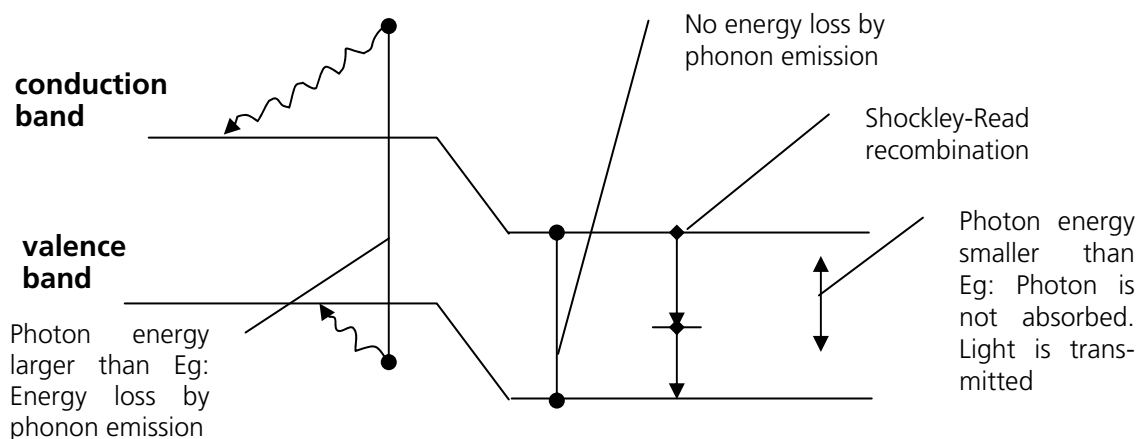


Fig. 1

In principle the limits to efficiency, imposed by thermal losses and optical transmission, can be reduced by 1) multi threshold solar devices and special processes and by 2) modification of the solar spectrum with luminescent materials.

- 1) Multi threshold devices are usually made by stacks of cells with different band gaps; they allow a better utilization of the incident solar light since the energy loss by phonon emission is reduced. A multiple threshold device can also, in principle, be visualized to consist of one material of appropriate band structure. Thermal losses could also be lowered if highly photo-excited carriers undergo the inverse Auger process (impact ionisation); this effect would lead to more than one electron-hole pair per absorbed photon and thus to higher short circuit currents. Slowing down the decay of highly excited carriers to the band edges may allow to collect them prior to thermalization at energy selective contacts as hot electrons, thereby increasing the voltage of the cell.
- 2) A 'narrowing' of the sun's spectrum (2) can be achieved if high energy photons of the spectrum are absorbed by a luminescent material which emits more than one low energy photon at or slightly above the band gap of the solar cell (so called down conversion), and if several photons at energies below the band gap are absorbed by a material which emits just one photon at or slightly greater than the band gap of the solar cell (so called up conversion).
- 3) Thermo-photoelectric conversion, polymeric and organic materials for photovoltaics range as novelty.

Most advanced multi threshold devices are triple cells fabricated on the basis of III-V compounds. III-V compounds allow to tailor band gaps allowing to place the thresholds for absorption in the solar spectrum such that the light absorbed by each of the three cells ensures current continuity in the device and low energy loss by phonon emission. A step in order to commercialise a system for terrestrial applications based on triple cells is planned by A. Bett from the FhISE in cooperation with other institutions. The triple cell is based on III-V compounds, has an efficiency of 35.2 % under concentration of  $c = 500$ . Advantages over conventional Si technology are: up to 1000 cells can be manufactured on one single wafer, efficiency is far beyond that of a Si solar cell, energy pay back time for the system is shorter than 8-10 months compared to about 2 years for a Si plant, module cost inclusive tracker, power inverter and installation are estimated to be  $2.6 \text{ €}/\text{W}_p$  for a  $10 \text{ MW}_p$  plant. The disadvantage is: the complete system requires high accuracy tracking of the sun with a low acceptance angle of below  $1^\circ$ . This is to be achieved with Fresnel optics, the optical efficiency of which is 0.8 to 0.85. The efficiency of the system would thus end up between 28 % and 30 % at concentration of  $c = 500$ . Obviously, plant sites must have a high amount of direct irradiation, i. e. light scattering in the atmosphere by haze or clouds has to be low.

Triple cells for space applications are reported to reach efficiencies under concentration of 37.9 % (NREL), 39 % (Spectrolab, USA), and in industrial environment (RWE) the efficiency achieved was 28 % with end of life efficiency of 24 %. It is not clear to me, whether these efficiencies refer all to AM 0 at  $1 \text{ kW}/\text{m}^2$  incident radiation and whether differences in efficiency are due to differences in concentration.

First steps to fabricate multi threshold cells by band gap engineering of silicon based materials are investigated by M. Green and his coworkers: Layer structures of Si with  $\text{SiO}_x$  or  $\text{Si}_y\text{N}_x$ , or  $\text{SiC}_x$  were deposited with layer thicknesses in the range of 2 to 5 nm arriving thus at quantum wells with different electronic structure. Alternatively, quantum dots of Si were incorporated into the silicon compounds as matrix. All of this is aimed at obtaining superlattices and, in principle this may allow to achieve band gap control and possibly also the formation of energy selective contacts. Experimental work has been started. Luminescence, percolation and transport measurements have been performed. Nevertheless, proof of the concept to prepare solar cells of these novel photovoltaic materials is not expected before the year 2008. Similar studies have been made in laboratories in the US and in Japan.

Up conversion was theoretically investigated for erbium doped converters on Si. The conclusion was that an efficiency improvement of less than 1 % (relative) is to be expected: not surprising, due to the narrow absorption line of erbium. Other combinations of materials will have to be taken into consideration. The idea of having the sun light absorbed by organic dyes, reemitted and conducted by total

reflection to the solar cell is reinvestigated by T. Markwart (University of Southampton). Improvement of the efficiency may be obtained by weak concentration of the light and possibly by a 'narrowing' of the spectrum.

Novel concepts are discussed for polymer based photovoltaics (J. M. Kroon, ECN Petten, The Netherlands) and tested: Blends of polymer A with polymer B, polymers with fullerenes, and polymers with inorganics. Blends are to increase the photoactive area. Annealing e. g. at 110 °C improves the crystallinity and has a positive effect on the efficiency. Cells with PCBM and C70 fullerenes have reached an efficiency of 3 %.

One special session in the afternoon, organized by A. Luke, was devoted to novel concepts. It was concerned with aspects of III-V triple cells and their intended terrestrial commercialisation in a complete system (see above A. Bett, FhISE). The presentation of the program on the solar thermophotovoltaic power converter by V.M. Andreev from the Ioffe Physico-Technical Institute in St. Petersburg stressed the point of using GaSb solar cells at 2000 K emitter temperature and a cut-off at wavelengths > 1820 nm. The cell efficiency would then reach 26 %. Appropriate selective mirrors, absorbers and emitters are required. A program to strengthen research for the use of organic materials, of dye sensitised TiO<sub>2</sub> cells and of polymers for solar applications was advertised by H. Ossenbrink. A. Marti and A. Luke promoted the idea of engineering a photovoltaic material which would be equivalent to that of triple cells. This would be possible by having in the gap of a semiconductor a small half-filled band: three optical transitions and hence a multi threshold device can be envisaged, using only one 'semiconductor'.

## 2. Crystalline Silicon Solar Cells

The efforts in silicon solar cell research are intensely correlated with the needs of industry:

- 1) To find cost-effective processes for solar grade silicon in order to meet the shortage in Si.
- 2) To use less Si by reducing the thickness of cells from present 300 µm to below 100 µm without sacrificing efficiency, yield in production and without increasing cost.
- 3) To use less Si by ribbon growth techniques as compared to wafering of conventional Cz-single crystals or multi crystalline ingots.
- 4) To improve efficiency to  $\geq 20$  % in an industrial environment, requiring detailed knowledge of impurities in Si, passivation processes, and light-induced degradation of the efficiency.
- 5) Environmental issues.

1) Investigations on the manufacturing of cost and energy effective solar grade silicon have been continued and pilot productions are in operation. Production of solar grade Si using fluidised bed reactors was presented by two companies, Silicon Technologies, Norway, and by Wacker Chemie, Germany. Both companies have pilot productions. Some details of Wacker: 2 reactors in operation with more than 100 t per year output, the energy consumption is claimed to be only 33 % of the normal process, the quality for solar grade Si should be 10 ppbw, however, 10<sup>-1</sup> ppbw is achievable. A yearly output of 500 t per year is required for economical reasons. In contrast, Joint Solar Silicon, at Freiberg and Degussa at Rheinfelden Germany, avoid the fluidised bed reactor and directly produce silicon powder by pyrolysis of monosilane. The crux of this process is to increase the yield in powder production and to densify the powder. The process is claimed to be economical in energy. The output is 20 – 100 t/year in 2005 and is to be increased to 800 t/year by 2007. To put the production capacities in perspective: 100 t of Si are required for a 10 MW<sub>p</sub> plant which has again to be compared with the world wide production capacities for silicon solar cells in 2004 of close to 900 MW<sub>p</sub>.

2) Sliver cells have again been discussed by A. Blakers, Australian National University, like at the conference in Paris last year, and by P. Verlinden, Origin Energy, Australia. Details of this technique to fabricate thin crystalline Si solar cells were summarized in the report on the 19th European Photovoltaic Solar Energy Conference in Paris in 2004. The silicon consumption is said to be about

one quarter compared to conventional cell technique, the cell efficiency is >19 %, module efficiency between 13 % to 18 %, depending on the packing density of the slivers in the cell. Cells with high voltages and correspondingly modules with voltages of up to 1000 V can be manufactured, which would be desirable for systems. Despite the praise of this technology – at present no sliver cells or modules are available on the market neither for test purposes nor for small systems.

Thin single crystalline Si solar cells often bow after having been processed. In order to avoid bowing, schemes have to be developed so that the processing of the front and rear side of the cells is balanced in thermal expansion in order to prevent the bowing. Alternatively, it was shown, that bowing of a solar cell can be reversed permanently by exposing them to low temperatures blowing cold air of  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$  against it. Cell parameters are claimed not to be affected by this procedure.

Other contributions were concerned with growth of crystalline Si layers on cheap substrates e.g. cheap ceramic substrate (500  $\mu\text{m}$ )/SiC layer (1  $\mu\text{m}$ )/ intermediate p+ Si seeding layer (5  $\mu\text{m}$ )/p Si epi layer as base (20  $\mu\text{m}$ )/n Si emitter. The results seemed to be encouraging, with cell efficiencies of 13 – 14 % and sufficiently high speed of processing. Ribbons of silicon grown on substrates by ECN, Petten, were investigated and a process for screen-printed contacts, developed at the University of Konstanz, investigated.

3) RWE reported about thin Si cells of 150  $\mu\text{m}$  thickness manufactured with the EFG-ribbon growth technique. Reducing thickness as well as avoiding kerf loss due to sawing significantly reduces the consumption of silicon compared to the regular process of wafer fabrication. Texturing, antireflection coatings, and weakly doped Si (3  $\Omega\text{cm}$ ) as base material were used to obtain cells with efficiencies > 16 %.

4) Detailed knowledge of impurities and structural defects in Si, of passivation processes, and of the light-induced degradation of the efficiency are required if one wants to improve the efficiency of cells and if the quality of cells during fabrication is to remain on a constant and high level. So, string ribbon silicon of Evergreen, USA, was subject to a detailed investigation with LBIC (laser beam induced currents) and EBSD (electron back scattered diffraction) with synchrotron radiation. The results were compared with those of cast silicon. Metal impurities are distributed differently in cast and ribbon silicon, the cooling rates strongly affect the distribution and structural defects. In vogue are high speed, contactfree and spatially resolved methods to determine the relevant parameters of cells. Such techniques are desirable for control of manufacturing processes and their impact on the quality of cells. Thus, a whole session was devoted to the various methods developed by several groups.

Passivation of the surfaces of cells was an important issue. It was, in particular, pointed out that passivation layers on the rear side have multiple functions, not to solely reduce surface recombination, but also to serve as a layer for reflecting long wavelength light in order to increase the optical path length in the cell. In addition, the thermal budget for deposition is an issue, the stability of the layers and how well diffusion of unwanted impurities is prevented. a-Si:H was used for passivating the front and rear face of cells, leading to efficiencies of 20.1 %. Also investigated and compared were layers of thin  $\text{SiO}_x + \text{SiN}_x$ ,  $\text{SiO}_2$  and  $\text{SiC}_x$ . The silicon carbide layers  $\text{SiC}_x$  proved to be a good alternative to the others with cell efficiencies reaching values above 20 %.

SunPower, California, was first to promote and fabricate 20 % cells on an industrial basis. Sharp has now announced and undertaken steps to manufacture also 20 % efficient silicon cells.

n-type Cz-silicon was again under discussion for the fabrication of cells, because it does not show the unwanted initial degradation of cells fabricated from p-type Cz-silicon. Similarly, this question was also posed for multicrystalline Si. Surface contamination by metallic impurities of n-type crystalline Si was investigated and how it affected solar cell performance after oxidation and diffusion.

5) PV-industry is close to a worldwide output of 1  $\text{GW}_p$  per year. The more solar industry grows and the more solar systems will be installed, the more possible environmental impacts will become an issue. Therefore, emission factors, take back of modules and the choices of technology in comparison of life cycle and environmental impact have been discussed.

## Thin-film silicon solar cells - especially amorphous and microcrystalline silicon solar cells

**D. Dominé, N. Wyrsh, J. Steinhauser, J. Bailat, A. Shah, C. Ballif**

**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**

### General situation

**Large-area (~1m<sup>2</sup>) amorphous silicon modules on glass substrates** are now available from several companies, such as RWE Schott Solar (D), Kaneka (J), Mitsubishi Heavy Industries (J), EPV (USA). Stabilized efficiencies of these commercial products are still relatively low; total area module efficiency is around 6 % in the best cases, and has not been significantly increased in the past few years. Production volumes have, however been augmented, and fabrication costs have significantly decreased. E.g. EPV claims to have fabrication costs that are clearly below 2 \$ /W<sub>p</sub>. "See-through" semitransparent modules can be bought from RWE Schott Solar and from MSK (J); the latter is based on original modules produced by Kaneka.

An interesting "see-through" module prototype, based on IMT's tandem (micromorph) concept, could be seen at the booth of **Sharp (J)**. Sharp is world-wide the largest producer of PV modules. They gave for the first time a scientific/technical presentation at an International PV Conference on their thin-film silicon R & D activities. These activities are based on the microcrystalline/amorphous silicon i.e. "micromorph" tandem concept. They project for their present 0.5 m<sup>2</sup> prototype module a stabilized efficiency of 11 %. They, however, gave no details on any possible production plans.

The **largest producer of amorphous silicon modules** is (as far as can be judged) **Unisolar Corp. (USA)** with 30 MW<sub>p</sub>/year of installed production capacity and with plans for production extension: they produce triple-junction amorphous silicon-germanium cells deposited on stainless steel substrates. Their efficiencies for commercial modules are around 7 %. It is difficult to know their actual production volume which is probably somewhere around 20 MW<sub>p</sub>/year. They have now quit the OEM (original equipment manufacturer) market and are, thus, almost exclusively producing for Building Integrated Photovoltaics (BIPV). For these applications (mainly roofs) they collaborate with several other companies, specifically involved in the integration part. Several examples of large-size modules could be seen at their booth.

The step back of Unisolar from the OEM market and the reliability problems of the flexible CIGS cells made by ICP Solar Technologies is helping **Flexcell (VHF Technologies, CH)** to get spotlight. Their new set of products (Sunpack, Sunboard and Sunslick – rollable, semi-rigid and flexible modules) attracted a lot of attention making their small booth one of the busiest ones in the exhibition. This interest will possibly lead to a major increase in their production capacity. Flexcell is producing their single-junction modules on low-cost plastic substrates. **Fuji (J)** gave a presentation on their amorphous double-junction modules on polyimide; they claim to be just launching large-scale production. They were, however, not present at the exhibition.

There is clearly a very strong and growing interest from Universities, independent research laboratories and, more significantly, also from Industrial laboratories, in the **microcrystalline/amorphous (micromorph) tandem solar cell** concept, originally introduced by IMT Neuchâtel. The main focus of thin-film silicon solar cell research reported at the conference falls into this area. Evidently one hopes to boost module efficiency by adopting this concept. A large group from Nankai University (China) was present at the conference; they also are concentrating on the micromorph tandem solar cell. It is evident that the micromorph concept is not fully ready for large-scale cost-effective industrialisation.

Three main R & D networks are, in fact, working on the up-scaling and industrialisation of micro-morph technology:

- **Forschungszentrum Jülich (D)**, together with various German Industries, especially also with Applied Films, Alzenau.
- **AIST, Tsukuba (J)**, together with various Japanese Industries, especially with Mitsubishi Heavy Industries
- **Unaxis Solar/IMT Neuchâtel.**

The **main issues** studied in thin-film silicon solar cell research are now related to:

- **High-rate deposition** of amorphous and of microcrystalline silicon; here Very High Frequency (VHF) plasma deposition (as originally introduced by IMT Neuchâtel) is now almost universally used in one form or other. The high-pressure depletion (HPD) regime, pioneered by Japanese groups (and followed up by Forschungszentrum Jülich) contributes to a further increase in deposition rates, although it apparently does bring in some additional problems for industrial upscaling (homogeneity, powder formation, hydrogen consumption);
- **Large-area deposition** of amorphous and of microcrystalline silicon, with the help of special, sophisticated plasma reactor designs;
- **Light trapping (current enhancement)**, especially in connection with textured transparent conductive oxides (TCO) layers, used as electrical contact layers; however, other optical enhancement schemes (intermediate layers for index matching, anti-reflection schemes, diffraction gratings and high-performance back reflectors) are also being systematically investigated.

**Equipment manufacturers**, especially Unaxis (CH) and Applied Films (D), are developing dedicated production equipment for thin-film silicon module production. Thus, a gap is being filled and the situation for thin-film silicon photovoltaics may gradually approach the situation in wafer-based crystalline silicon PV, where many equipment manufacturers have been active and offer turn-key solutions, since several years already.

There exist a **few selected technologies** that can be considered to be **“thin crystalline silicon technologies”**, but are **not** based on plasma-deposited microcrystalline silicon:

- **“Crystalline silicon on glass”** from CSG Co. (former Pacific Solar); this concept was exposed at a large booth in the exhibition. It is based on a 2  $\mu\text{m}$  thick recrystallised silicon layer, deposited first in amorphous form. Module efficiencies of 8 % are expected.
- **“Spherical Solar”** that uses tiny ball-shaped monocrystalline silicon solar cells embedded in a metallic film, in order to make flexible modules.
- The **“Sliver”** concept, invented by the Australian National University and licensed to Origin Energy Company. It relies on thin (50  $\mu\text{m}$  thick) micro-machined monocrystalline silicon solar cells, which can be assembled into flexible or rigid modules. The cells are 1 to 2 mm wide and are encapsulated with a spacing between two adjacent cells. The inventors claim that they can obtain a 10-fold reduction in silicon consumption compared to classical wafer-based technology. Module efficiencies are comprised between 13 and 18 %, depending on the width of the spacing between the cells.

“Crystalline silicon on glass” and “spherical silicon” were only present in the exhibition and it is therefore difficult to obtain reliable scientific/technical information on them. It is also not really possible, for outsiders like us, to judge the fabrication costs that will result from these three original solar cell concepts.

## Highlights from oral and poster presentations

**B. Rech of Forschungszentrum (FZ) Jülich** gave a comprehensive overview on thin-film silicon PV. Different light-trapping methods were recalled: Asahi-U type APCVD SnO<sub>2</sub>, surface-textured glass (presented by N.-P. Harder et al. during the 19<sup>th</sup> EU-PVSEC); and (with much more details), sputtered-etched ZnO:Al.

A 10x10 cm<sup>2</sup> micromorph module deposited on “high rate” sputtered-etched ZnO:Al front TCO (developed by IST, Braunschweig; estimated TCO cost: 0.1 €/Wp) with 10.4% initial aperture efficiency was presented. This result can be compared to results obtained with a micromorph module deposited on “standard” sputtered-etched ZnO:Al:

10.8 % initial aperture efficiency and 10.1 % stable aperture efficiency.

A flexible micromorph module deposited by FZ Jülich on the substrates from **Akzo Nobel Chemicals** (*suitable for roll-to-roll technology*) obtained 9.0 % initial efficiency.

Results obtained by **T. Kilper et al (FZ Jülich)** concerning high growth rate of  $\mu\text{-Si:H}$  by means of VHF PECVD, in the high-pressure depletion (HPD) regime, can be recapitulated as follows:

- $\mu\text{-Si:H}$  1 cm<sup>2</sup> cell at 13.56 MHz: 9.4 % efficiency with 0.5 nm/sec deposition rate,
- $\mu\text{-Si:H}$  1 cm<sup>2</sup> cell at 40.68 MHz: 9.2 % efficiency with 1 nm/sec deposition rate,
- $\mu\text{-Si:H}$  1 cm<sup>2</sup> cell at 40.68 MHz: 7.9 % efficiency with 2 nm/sec deposition rate.

These cells were deposited and structured over the 30x30 cm<sup>2</sup> substrate area, showing a good homogeneity. This study showed that high discharge power (>0.6 W/cm<sup>2</sup>), high pressures (5 to 10 Torr) and small electrode distance (<15 mm) can be advantageously used to obtain high  $\mu\text{-Si:H}$  growth rates. Additionally, it was noted that the optimal deposition regime for 40.68 MHz shifts to lower deposition pressures and higher silane concentrations. The advantage of using plasma excitation frequencies in the VHF range, in order to obtain high deposition rates, was clearly mentioned.

**S. Wieder (Applied Films, D)** presented, in collaboration with **FZ Jülich** and **FAP Dresden**, a large-area 13.56 MHz PECVD system for mass production of amorphous and microcrystalline silicon solar cells. Their electrode surface is 134x74 cm<sup>2</sup>. The following results were announced:

- a-Si:H 1 cm<sup>2</sup> cell deposited at 0.15 nm/s: 7.4 % stabilized efficiency,
- micromorph 1 cm<sup>2</sup> cell with  $\mu\text{-Si:H}$  deposited at 0.5 nm/s: 9.7 % stabilized efficiency,
- micromorph module (30x30 cm<sup>2</sup>): 10.1 % initial aperture efficiency.

**V. Sittinger, J. Hüpkes et al.** of the **Fraunhofer Institut (IST), Braunschweig** gave a noteworthy poster presentation on the fabrication of Al-doped ZnO by reactive magnetron sputtering in a “TwinMag” system (at an excitation frequency of 40 kHz, electrodes are side by side and the substrates move in front of them). Best results were obtained with a ZnO target doped at 0.5% wt of Al. The substrates are then textured by wet chemical etching in a HCl bath. Upscaling is still to be done; deposition rates are around 50 nm/min; process control and shunt problems are yet to be fully solved. This work was done in collaboration with FZ Jülich.

**T. Matsui (AIST, Tsukuba, J)** presented, in collaboration with **Mitsubishi Heavy Industries**, results obtained with a **novel antireflection (AR) inter-bilayer for p-i-n** thin film silicon solar cells. The bilayer consists of sputtered TiO<sub>2</sub> and ZnO layers inserted at the TCO/Si interface. For this study, Asahi-U type SnO<sub>2</sub> was used as TCO for a-Si:H solar cells, while sputtered-etched ZnO:Ga (~300nm) was used for  $\mu\text{-Si:H}$  cells. The 30-60 nm thick TiO<sub>2</sub> layer acts as an index matching layer ( $n=2.54$  at  $\lambda=550$  nm) between TCO and silicon layers. On the other hand, the 10 nm thick ZnO film protects

the TiO<sub>2</sub> from reduction by hydrogen plasma during the a-Si:H or  $\mu$ c-Si:H PECVD deposition process. This 10 nm thick film is thin enough to maintain “anti-reflection (AR)” conditions. The bilayer coating was found not only to reduce the reflectance at the TCO/Si interface, but also to reduce the optical absorption loss in the TCO. The optimised TiO<sub>2</sub> thickness allows the authors to improve their solar cell Quantum Efficiency (QE) over the whole spectral range, achieving a maximum QE of 92 % at  $\lambda = 550$  nm, with a reflectance of only 5.6 %. The remaining reflectance can be attributed to the air/glass and glass/TCO interfaces, leading to a remarkably high “internal” QE of 97.5 %. The use of the bilayers results in a 6 % and 10 % increase in current density  $J_{sc}$  for a-Si:H and  $\mu$ c-Si:H cells, respectively. The cell efficiencies obtained during this study were as follows:

- a-Si:H cell: 10.0 % without and 10.4 % with bilayer (initial),
- $\mu$ c-Si:H cell: 7.54 % without and 8.48 % with bilayer (>2 nm/sec dep. rate).

More recent results from AIST (J) were presented, as well:

- a-Si:H cell: 9.2 % with bilayer (stabilized),
- $\mu$ c-Si:H cell: 9.1 % with bilayer (2.3 nm/sec deposition rate).

**K. Kishimoto (Sharp Corp., J)** presented their “**super see-through**” solar cell module consisting of a semi-transparent module (see-through lines scribed on the module) with LEDs embedded in the same panel (used to provide illumination during night time hours). He presented large-area uniformity results obtained by the “short-pulsed” VHF plasma CVD method on 560x925 mm<sup>2</sup> substrates: 1cm<sup>2</sup> size  $\mu$ c-Si:H cells showed an average efficiency of 7.77±8.0% over the whole substrate area for the short-pulsed method, whereas 7.42±16.8% was obtained for the continuous plasma method. Therefore, the *pulsed VHF plasma CVD method reduces the distribution (inhomogeneity) of cell efficiencies over the substrate area by a factor of 2*. Light-induced degradation of their a-Si:H/ $\mu$ c-Si:H (micromorph) tandem solar cells led to a relative decrease of the conversion efficiency of less than 10%; this degradation being mainly due to a reduction of the fill factor. For micromorph modules, the following efficiencies were announced:

- conventional micromorph module (560mm x 925mm):  
12.14 % initial efficiency (11 % projected stable efficiency),
- “super see-through” micromorph module with 10 % transparency:  
10.05 % initial efficiency (9.2 % projected stable efficiency).

**Feng Zhu, Xinhua Geng et al.** of **Nankai University, Tianjin (China)** gave a poster presentation on the effect of the p  $\mu$ c-Si:H layer crystallinity on the  $V_{oc}$  and FF of  $\mu$ c-Si:H pin solar cells deposited by VHF-PECVD. *It was shown that highly microcrystalline p-layers improve both FF and  $V_{oc}$  of the solar cells*. For the p-layers with the highest microcrystalline volume fractions, the ideality factor n of the p-i-n diode increases (from approximately 1.5 to 2). The authors state that this is due to voids/defects at the p-i interface, further “tuning” of the i-layer should solve that issue. They obtained an efficiency of 9.2 %.

**J. Meier (Unaxis SPTec, Neuchâtel, CH)** in collaboration with **Unaxis Balzers** and **IMT Neuchâtel**, presented the status of up-scaling work performed in 40.68 MHz single-chamber KAI-S, KAI-M and KAI-1200 PECVD reactors. In the KAI-S reactor, 35x45 cm<sup>2</sup>  $\mu$ c-Si:H films were homogeneously deposited at a growth rate of 1.5 nm/s, whereas homogeneous 1.4 m<sup>2</sup>  $\mu$ c-Si:H films were deposited at 0.5 nm/s in the KAI-1200 reactor.

In order to fabricate p-i-n solar cells and modules, Asahi-U type SnO<sub>2</sub>, AFG SnO<sub>2</sub> and in-house LPCVD ZnO were used as front TCO. The *diffusive white back reflector constituted by an in-house LPCVD ZnO layer and a white dielectric reflector layer*, which is very attractive from the point of view of manufacturing and investment costs, was compared to sputtered ITO/Al and ITO/Ag back reflectors.

For an a-Si:H p-i-n cell on AFG TCO, this comparison showed a *remarkable improvement of the photocurrent* (almost 7.5 % and 12 % compared to ITO/Ag and ITO/Al, respectively).

The outdoor reliability of encapsulated a-Si:H p-i-n modules deposited on AFG SnO<sub>2</sub> and back-contacted with an in-house LPCVD-ZnO white reflector was demonstrated by giving results obtained during the *damp heat (DH) test*: A 30x22 cm<sup>2</sup> module passed the 1000 h DH test without any degradation of efficiency (a 10x10 cm<sup>2</sup> module passed even a 1500 h prolonged DH test). Since in the "superstrate" configuration (i.e. for thin-film silicon modules on glass substrates), the back TCO is more exposed to moisture than the front TCO, this result is indeed an encouraging signal for the use of LPCVD ZnO.

The *first industrial-size a-Si:H p-i-n module of Unaxis* was presented (deposited on an AFG 1.4 m<sup>2</sup> substrate in the KAI-1200 reactor), as well as a smaller a-Si:H p-i-n module and test cells deposited in the KAI-M:

- a-Si:H module (AFG 1.4 m<sup>2</sup> substrate): 7.3 % initial aperture efficiency,
- a-Si:H module (Asahi-U 30x22 cm<sup>2</sup> substrate): 9.4 % initial aperture efficiency,
- a-Si:H 1cm<sup>2</sup> cell (Asahi-U 30x22 cm<sup>2</sup> substrate): 10.4 % initial efficiency,  
8.6 % after 430 h of light soaking.

For  $\mu$ c-Si:H p-i-n test cells deposited on LPCVD ZnO in the KAI-M, in two different growth regimes, the  $V_{oc}$  values were recently improved to 500 mV. The following efficiencies were announced:

- $\mu$ c-Si:H cell (1  $\mu$ m thick i-layer) deposited at 0.66 nm/s: 5.8 % efficiency,
- $\mu$ c-Si:H cell (1  $\mu$ m thick i-layer) deposited at 0.28 nm/s: 6.3 % efficiency.

Micromorph tandem test cells deposited on Asahi-U type SnO<sub>2</sub> and on in-house LPCVD ZnO were also presented, with bottom  $\mu$ c-Si:H cells deposited at 0.69 nm/s:

- Micromorph tandem cell on Asahi-U SnO<sub>2</sub>: 10.7 % initial efficiency ( $V_{oc}$ =1.335V),
- Micromorph tandem cell on LPCVD-ZnO: 10.1 % initial efficiency ( $V_{oc}$ =1.303V).

A 63 cm<sup>2</sup> *laser-patterned micromorph mini module with 9.3 % initial aperture efficiency* was finally presented. This module being still based on a micromorph tandem cell with poor  $V_{oc}$  (1.23V), the above micromorph tandem test cell results indicate that, with further optimisation related to LPCVD ZnO, the 10 % stable efficiency mark for micromorph module should soon be achieved by Unaxis.

**M. Shimisowa (Fuji Electric, J)** presented production technology for large-area **flexible amorphous silicon solar cell and modules**. He demonstrated a a-Si:H thickness uniformity of  $\pm 10$  % over a 1 meter wide flexible film substrate (polyimide). He showed how, with their 13 MHz PECVD system, the *peak to peak voltage  $V_{pp}$  is used as an optimization tool* to increase the deposition rate while keeping the degradation ratio low.

The following result was achieved, with a degradation ratio of 24.8 %:

- a-Si:H cell (300nm thick i-layer) deposited at 0.52 nm/s: 6.81 % stabilized efficiency.

**B. Stannowski (Akzo Nobel Chemicals, NL)** presented their roll-to-roll technology for manufacturing **flexible PV modules**, based on chemically post-etched Al substrates. The following results were announced:

- a-Si:H/a-SiH flexible tandem module (30x20 cm<sup>2</sup>): 7.2 % stabilized aperture efficiency
- Micromorph flexible tandem module: 9.0 % initial efficiency (deposited at FZ Jülich).

**T. Takagi (Ishikawajima-Harima Heavy Industries, J)** presented microcrystalline silicon cells fabricated in an **array antenna type VHF-PECVD system**. The system consists of three 1.2x1.6 m<sup>2</sup> chambers. The antenna excitation frequency is 85 MHz. The following cell efficiencies and deposition rates were announced:

- $\mu\text{-Si:H}$  cell (2.4  $\mu\text{m}$  thick i-layer) deposited at 0.15 nm/s: 8.04 %,
- $\mu\text{-Si:H}$  cell (2.6  $\mu\text{m}$  thick i-layer) deposited at 0.32 nm/s: 7.53 %,
- a-Si:H cell (350 nm thick i-layer) deposited at 0.27 nm/s: 8.48 %,
- Micromorph cell with  $\mu\text{-Si:H}$  deposited at 0.15 nm/s: 10.90 %.

The above cell efficiencies are certainly initial values. To be noted that the deposition rates presented here are rather low, in spite of the use of VHF. The array antenna, on the other hand, is an original design that helps obtain homogeneous large-area deposition under VHF excitation.

**IMT Neuchâtel** was present with 4 contributions (2 orals, 2 posters):

- **F. Meillaud** on «**Light-induced degradation of thin-film microcrystalline silicon solar cells**» (presented by A. Shah): The main result here is that  $\mu\text{-Si:H}$  cells deposited in the transition region show a slight amount of light-induced degradation (between 2 and 5 % efficiency reduction after 1000 hours of light-soaking, for a 2  $\mu\text{m}$  thick cell having an i-layer with a Raman crystallinity of 60%); however, degradation very much depends on the exact deposition sequence and conditions. Other groups have made similar observations. (The microcrystalline bottom cell within a micromorph tandem will degrade even less, if at all, because it is only exposed to "filtered " light.)
- **J. Bailat** on «**Recent development of solar cells on low-cost plastic substrates**»: n-i-p a-Si:H solar cells with 7 % stable efficiency, and micromorph tandem cells with 8.3 % initial efficiency were deposited on nano-textured PET (with different gratings embossed by OVD Kinegram). This paper contributed to the strong interest for the booth of Flexcell / VHF Technologies.
- **D. Dominé** gave results of a study on the **intermediate reflector for p-i-n micromorph tandem solar cells**. He demonstrated that a 100 nm thick ZnO intermediate reflector increases the current density of the top amorphous solar cell by 3 mA/cm<sup>2</sup>. The loss of current-density in the microcrystalline bottom cell is, however, about 4 mA/cm<sup>2</sup>. Up to 100 nm, the effect of the intermediate reflector on current densities is proportional to its thickness. On the other hand, the use of rough front TCO (see also paragraph below), was beneficial for the current density of the bottom cell. Both effects could be used together to match the current-densities of the top and bottom cells.
- **J. Steinhauser** described the effect of the roughness of the ZnO layer deposited by LP-CVD on the current-density of microcrystalline p-i-n solar cells: the current density was varied from 15 to 21 mA/cm<sup>2</sup> for cells deposited with the same deposition conditions on a smooth ZnO layer (1.4  $\mu\text{m}$  thick, highly doped) and a rough ZnO layer (6  $\mu\text{m}$  thick, undoped), respectively.

## CIGS- & CdTe-based thin-film solar cells

**D. Abou-Ras, D. Brémaud, M. Kaelin, D. Rudmann, A.N. Tiwari**  
**Thin-Film Physics Group, Laboratory for Solid State Physics, ETH Zürich,**  
**Technopark, 8005 Zurich**  
**Tel.: +41 1 445 14 74; Fax: +41 1 445 14 99**  
**Email: rudmann@phys.ethz.ch**

Numerous oral and visual presentations in the area of thin-film solar cells based on chalcopyrite materials (CIGS, CdTe) were given in conference topic 4 (CIS, CdTe, and other ternary thin-film cells). Several further contributions appeared in other topics, especially topic 1 (fundamentals, novel devices, new materials). In total, about 130 papers were presented in this field. The Thin Film Physics Group, ETHZ presented 3 oral, including a late news, and two poster papers.

### Progress of industry

Some emphasis in the reports from industry was given on the implementation of alternative buffer layers (i.e., buffer layers other than CdS) into pilot production lines for CIGS modules. Shell Solar (T.P. Niesen et al.) presented module results for CBD-Zn(S,OH) buffer layers on Cu(In,Ga)(S,Se)<sub>2</sub> absorbers, where 10.5 % (11.4 %) efficiency was achieved with 30×30 cm<sup>2</sup> (10×10 cm<sup>2</sup>) module size and 13.2 % were achieved on cell level. With sputtered (Zn,Mg)O layers as a replacement for CdS/i-ZnO layers, cells and modules with 11.7 % and 9.1 % were developed, respectively. For future, also spraying of In<sub>2</sub>S<sub>3</sub> buffer layers using the ILGAR deposition method appears attractive, as presented by Allsop and co-workers (HMI, Berlin). They have achieved 14.7 % efficiency, a value equal to or even higher than achieved with conventional CBD-CdS buffer layers. With conventional buffer layers, Shell Solar now processes 60×90 cm<sup>2</sup> modules with average efficiencies of 12.5 % (max. 13.1 %), which is even slightly higher than the efficiencies achieved with 30×30 cm<sup>2</sup> modules (12.3 %; max. 13.4 %; J. Palm et al.).

Powalla and Gross gave an overview of the progress made at Würth Solar and at ZSW Stuttgart. In 2004, they achieved a production yield of 80 %, resulting in 1.3 MW<sub>p</sub> production. The best efficiency for 60×120 cm<sup>2</sup> modules achieved so far is 13.0 % with CBD-CdS buffer layers. On 30×30 cm<sup>2</sup> size, 12.7 % efficiency was achieved with alternative ALD-Zn(O,S) buffer layers. Würth Solar furthermore announced up-scaling of their production capacity to 15 MW<sub>p</sub> for which 55 Mio. € investment has been secured. J. Kessler presented the EDF and CNRS, France sponsored CISEL project, which aims to produce low-cost CIGS layers deposited by electro-deposition. So far efficiencies up to 11.5 % were achieved with small-area cells. Efforts are underway to replace ammonia in the CBD procedure by the less volatile sodium citrate.

In the exhibition area, Würth Solar (Germany) and Sulfur cell (Germany) presented progress in chalcopyrite thin film modules, while First Solar (USA & Germany) presented progress in the CdTe production. First Solar is up-scaling the production to 75 MW capacity, which is a remarkable progress for CdTe thin film PV technology. Such an ambitious expansion proves the technological potential and acceptance of the CdTe technology.

### Flexible solar cells

Reports on CIGS solar cells deposited on alternative (i.e. non-glass) substrates attracted much interest. Kaufmann et al. (HMI) presented improvements in transferring small area cell technology to large cells and modules on Ti foils. They achieved a total area efficiency of 15.0 % on cells with 27.1 cm<sup>2</sup> area (no ARC). Modules with 130 cm<sup>2</sup> area (108.4 cm<sup>2</sup> aperture area) with roof-tile-like integration exhibited efficiencies up to 10.5 % (12.6 % considering only aperture area).

F. Kessler (ZSW) presented also progress in flexible module development. With monolithically integrated modules (422 cm<sup>2</sup> area; scribing by photolithography) they achieved on Ti foils a  $V_{oc}$  of 13.5 V, but an efficiency of only 2.8 %, and on polyimide foils a  $V_{oc}$  of 18.7 V and efficiency of 5.2 %. Results on small-area cells on Ti foils optimized for space applications were presented by D. Herrmann (ZSW). With standard CBD-CdS buffer layers, efficiencies of 14.2 % (0.5 cm<sup>2</sup> area) and 13.8 % (27.1 cm<sup>2</sup>) were achieved. With In<sub>2</sub>S<sub>3</sub> buffer layers an efficiency of 10.7 % was reached with small cell areas (0.56 cm<sup>2</sup>). ISFH presented CIGS growth results on coated-textile like substrates.

The Thin-Film Physics Group of ETH Zürich (D. Brémaud, D. Rudmann et al.) presented a world record on polyimide substrates. A total-area efficiency of 14.1 % was achieved (without ARC). With anti-reflection coating, this efficiency is expected to exceed 15 %. Furthermore, the successful processing of CIGS solar cells on aluminium foils was reported for the first time. An efficiency of 6.6 % has been achieved. Since no Na was incorporated into these cells, further improvements are expected for the future.

### Alternative buffer layers

Another focus in this symposium was on alternative buffer layers for CIGS solar cells, i.e., buffer layers which are Cd free. Furthermore, alternative buffer layers furthermore preferentially exhibit wider band gaps than the standard CBD-CdS and allow deposition with dry (vacuum) processes.

U. Malm et al. (ÅSC, Uppsala) presented results on the long-term stability of CIGS thin-film solar cells using different buffer layer materials: CdS, In<sub>2</sub>S<sub>3</sub>, and Zn(O,S), deposited by chemical vapour deposition, CBD, and by atomic layer deposition. These authors suggested that the degradation mechanism in CIGS thin-film solar cells, which leads to a decrease in the  $V_{oc}$ , takes place in the bulk of the CIGS layer, and is governed by the CIGS material itself.

In<sub>2</sub>S<sub>3</sub> deposited by various techniques is a promising candidate for a buffer-layer material in Cd-free, high-efficiency CIGS solar cells. Hariskos et al. (ZSW, Stuttgart) presented results from CIGS solar cells with sputtered In<sub>2</sub>S<sub>3</sub> buffers yielding efficiencies of up to 13.3 %, compared with best reference cells showing efficiencies of up to 14.4 %. On a 10×10 cm<sup>2</sup> module, these authors achieved efficiencies of up to 11.2 %. Allsop et al. (HMI, Berlin) presented results from Cu(In,Ga)(S,Se)<sub>2</sub> cells with In<sub>2</sub>S<sub>3</sub> buffers deposited by a spray ion-layer gas-reaction (ILGAR) method. These cells reach efficiencies of up to 14.8 %.

In order to improve the understanding of CIGS/In<sub>2</sub>S<sub>3</sub> heterojunctions, D. Abou-Ras et al. (ETH Zürich/IPE Stuttgart) studied these heterojunctions by means of transmission electron microscopy and its related techniques. They showed that air-annealing of the finished solar cells at 200°C for several minutes, which enhances efficiencies, induces a strong Cu depletion on the CIGS side of the interface, leading to a compositionally degraded interface between CIGS and In<sub>2</sub>S<sub>3</sub>. Moreover, it was shown that substrate temperatures during the In<sub>2</sub>S<sub>3</sub> deposition of higher than about 250°C led to the formation of CuIn<sub>5</sub>S<sub>8</sub> at the interface between CIGS and In<sub>2</sub>S<sub>3</sub>, irrespective of the In<sub>2</sub>S<sub>3</sub> deposition method. In a related presentation, N. Barreau et al. (LAMP, Nantes) concluded that copper diffusion across CIGS/In<sub>2</sub>S<sub>3</sub> heterojunctions is the main parameter controlling the junction position inside the absorber layer, and consequently the  $V_{oc}$  of the devices. Furthermore, copper diffusing into the buffer layers also reduces  $J_{sc}$ .

Also CIGS and CIS solar cells with Zn(O,S) and ZnS buffer layers deposited by various techniques were shown to yield high efficiencies. C. Platzer-Björkman et al. (ÅSC, Uppsala) have demonstrated a high reproducibility of devices with Zn(O,S) buffers deposited by ALD. An average cell efficiency of 15.4 % was achieved, which compares favourably with the average efficiency of 15.1 % for CBD-CdS reference devices. Ennaoui et al. (HMI, Berlin) reported efficiencies for CIS solar cells with CBD-ZnS buffers exceeding 11 %. By applying a novel CBD process, ZnS-based buffer layers were shown to have the potential of being as good as CdS buffers.

## Environmental aspects, building integration

Hansen and co-workers presented the approach of First Solar to address environmental issues related to the use of Cd in CdTe solar modules. 100 % of the Cd and Te used for module production are mining by-products. The use of Cd from mining waste streams for CdTe module production is considered by the US department of energy to be the safest way to redeploy Cd. Closed-loop processing at First Solar does not allow any emissions to the environment. In addition, a pre-funded program has been started for reclaiming and recycling spent modules and manufacturing scraps. This fund is separate from the company, hence the program is secured even for the case that First Solar should cease to exist. First Solar's CdTe technology is quite successful as they are scaling up production capacity to 75 MW.

Fthenakis et al. presented updated technical data of emission factors in the recovery and production of heavy metals. Many companies have improved their environment impact factors significantly in the last 10-15 y, most of all due to the introduction of new technologies. World-wide, approximately 30 % of the produced aluminium is gained by recycling, which needs about 20 times less energy than the recovery from bauxite. The growing fraction of recycled Al (used for module frames!) and the reduction of emissions of heavy metals affect the life cycle environmental assessment of thin-film solar modules beneficially. Fthenakis also presented an extraction and separation (purity 99.99%) process for Cd and Te from CdTe modules at a cost below 1 US-cent/W<sub>p</sub>. A similar type of process is being investigated for CIGS modules.

W. Knaupp (PV-plan, Stuttgart) presented the installation of a 98 kW-power plant on the façade of a new silo tower of a grain mill in Germany. The ground area used is only 170 m<sup>2</sup>. The dark appearance of the CIGS modules was considered very important by the architects for aesthetic reasons.

## Novel concepts

Goossens and co-workers from Delft University showed recent results on their solid state Grätzel solar cell where CuInS<sub>2</sub> is used as absorber material instead of organic dyes and electrolytes. In order to infiltrate the nano-porous TiO<sub>2</sub> structure with CIS, atomic layer deposition and spray pyrolysis deposition were used. This structure results in a so-called 3D solar cell where the light absorption always takes place near to the p-n junction. Using thin buffer layers of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and In<sub>2</sub>S<sub>3</sub> between the TiO<sub>2</sub> and CIS layer allowed achievement of efficiencies up to 5 % with such devices. Goossens also pointed out the low purity of the precursor material used for the spray pyrolysis. Chemicals with only 97% purity were used and though are much cheaper than the high purity materials commonly used in solar cell processing. Kaelin and co-workers (ETH Zürich) presented a similar concept where their liquid CIGS precursors were infiltrated into the pores of TiO<sub>2</sub> nano-crystal layers by simple and fast doctor blade coating.

Nakada et al. (AGU) presented new results on bifacial solar cells which allow power generation from front- and back-side illumination due to a transparent TCO back contact. Optimization of the absorber layer thickness and gallium concentration profile led to 20 % equivalent cell efficiency.

Noufi et al. (NREL) presented achievements in tandem solar cell development where the focus was on efficient top cells with a high band gap. Top cells with efficiencies of up to 13.9 % were shown for band gaps of 1.5 eV and higher. While monolithic tandem structures yielded 4-5 % efficiency, mechanically stacked cells with efficiencies up to 15.3 % were presented by combining CdTe and CIGS solar cells. The long-term target is to demonstrate a polycrystalline tandem thin-film solar cell with 25 % efficiency.

## PV module market

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: antonella.realini@supsi.ch

- 272 exhibitors from 31 countries - 12 from Switzerland (4.4%).
- 58 exhibitors are cell and/or PV module manufacturers – 2 from Switzerland (3.4%).
- 59 exhibitors supply equipments for cells and/or modules production - 2 from Switzerland (3.4%).

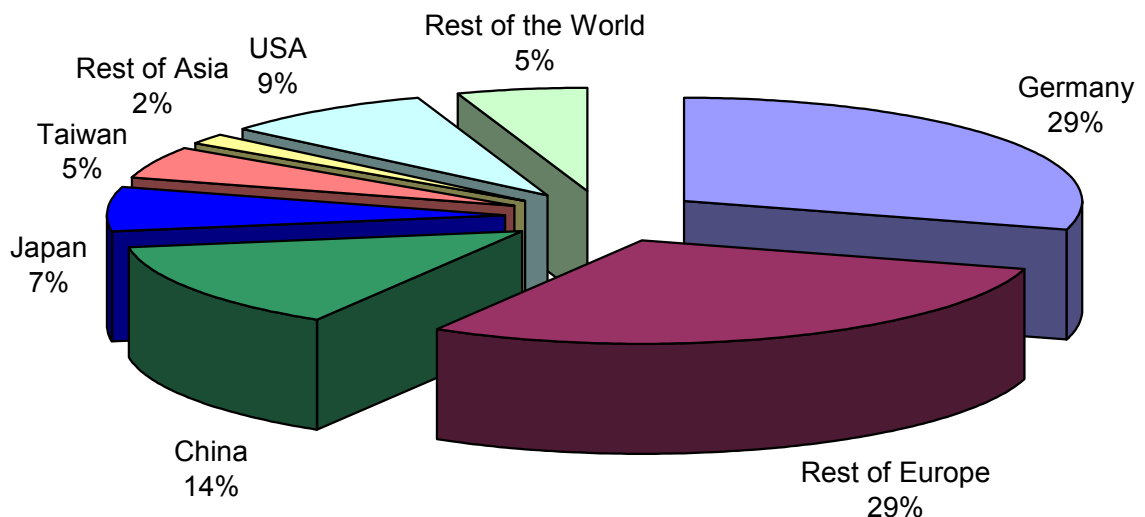
Number of exhibitors greatly increased: +16.7% with respect to the 19<sup>th</sup> EPVSEC in Paris (June 2004) and +104.5% with respect to the 17<sup>th</sup> EPVSEC in Munich (October 2001); respectively +23.4% (Paris) and +65.7% (München) regarding PV cells & modules manufacturers.

With respect to previous exhibition numerous companies supplying equipment for cells & modules production were present (59 out of 272).

Germany was the country with most exhibitors; both modules manufacturers and production equipment suppliers (96 exhibitors out of 272  $\Rightarrow$  35.3%).

A total of 22 Chinese exhibitors were present (8.1%).

### PV cells & modules: manufacturers distribution (58)



### List of PV cell & module manufacturers

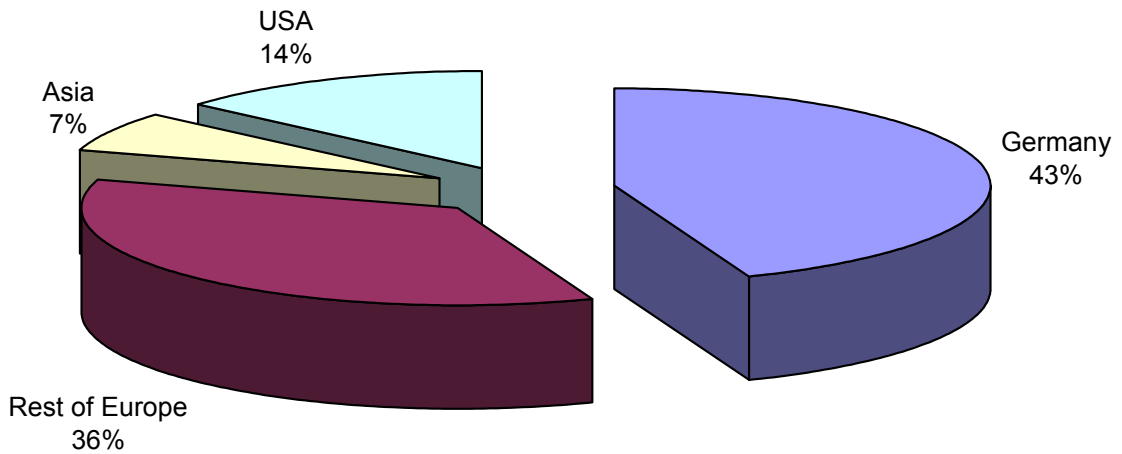
Company	Country	Internet
3-S	Switzerland	www.3-s.ch
Aleo Solar	Germany	www.aleo-solar.de
ASS	Germany	www.ass-gmbh.net
Atersa	Spain	www.atersa.com
Axitec Solar	Germany	www.axitecsolar.com
Azur Solar	United Kingdom	www.azur-solar.com
Beijing Hope Industry	China	
BP Solar	United Kingdom	www.bpsolar.com
Chaori Solar Energy	China	
CSG Solar	Germany	www.csgsolar.com
Depasol	Italy	www.depasol.it
Elma Phytol	Russia	www.elma-phytol.ru
Energy Solutions	Greece	www.energysolutions.gr
Eni Technologie	Italy	www.enitecologie.it
EPV	USA	www.epv.net
ErSol Solar Energy	Germany	www.ersol.de
E-Ton	Taiwan	www.e-tonsolar.com
Flexcell / VHF Technologies	Switzerland	www.flexcell.com
GE Energy	USA	www.gepower.com/solar
Isofoton	Spain	www.isofoton.com
Konarka	USA	www.konarka.com
Kyocera	Japan	www.kyocera.co.jp
LC Solar	United Kingdom	www.lc-solar.com
Microsol International	UAE	www.microsolinternational.com
Mitsubishi Electric	Japan	http://global.mitsubishielectric.com/solar/
Motech	Taiwan	www.motechind.com
MSK Corporation	Japan	www.msk.ne.jp
Origin Energy Solar	Australia	www.sliver.com.au
Photowatt	France	www.photowatt.com
Q-cells	Germany	www.q-cells.com
RWE Schott	Germany	www.rweschottsolar.com
Scheuten Solar	Germany	www.scheutensolar.de
Shanghai Solar Energy S&T Co.	China	
Sharp	Japan	www.sharp-world.com/solar
Shell Solar	Germany	www.shell.com/solar
Siliken	Spain	www.siliken.com
Solar Wind Europe	Spain/Russia	www.solar-windeurope.com
Solara	Germany	www.solara.de
Solartec	Czech Republic	www.czrea.org

Company	Country	Internet
Solartron	Taiwan	www.solartron.co.th
Solarwatt	Germany	www.solarwatt.de
Solarworld	Germany	www.solarworld.de
Solon	Germany	www.solonag.com
Soltech Corporation	China	www.soltechpv.com
Spherical Solar Power	Canada	www.sspsolar.com
Sulfurcell	Germany	www.sulfurcell.de
Sunpower	USA	www.sunpowercorp.com
Suntaics	Germany	www.suntaics.com
Suntech	China	www.suntech-power.com
Sunways	Germany	www.sunways.de
Telecom-STV	Russia	www.telstv.ru
Titan Energy Systems	India	www.titan-energy.com
TOTAL Energie	France	www.total-energie.com
Trina Solar	China	www.trinasolar.com
Uni-Solar	USA	www.uni-solar.com
Würth Solar	Germany	www.wuerth-solar.de
Xi'An REW Co.	China	www.rew.com.cn
Yingli Solar	China	www.yinglisolar.com

### News from modules manufacturers:

- Numerous Chinese exhibitors were present, offering, above all, c-Si standard modules.
- **CSG Solar AG** offers a "Crystalline Silicon on Glass" module, in which an extremely thin layer of silicon is deposited directly onto a glass sheet suitable for mounting outdoors. This approach bypasses the need for expensive, energy-intensive silicon wafers that are often in short supply. CSG Solar expects to release its first product for sale in 2006.
- **Origin** presented 40W, 60W and 70W SLIVER® modules. Production, started in December 2004, is already committed for 2005, with large modules to be released in 2006.
- **Sulfurcell Solartechnik GmbH** is the first company developing and producing Copper-Indium-Sulfide thin-film PV modules (same CIS acronym, but  $\text{CuInS}_2$  instead of  $\text{CuInSe}_2$ ). The Sulfurcell device seems to have excellent stability (no detectable degradation both in the dry-heat-test nor under sunlight) and medium efficiency. No data about modules I-V characteristics were done.
- **VHF-Technologies SA** proposes ultra thin, highly flexible and lightweight Flexcell modules for low power applications. Very High Frequency plasma technology is used to deposit amorphous silicon onto plastic substrates.
- Working with nano-materials **Konarka** develops photovoltaic devices that are printed on plastic rolls. This product is lower cost, flexible and lightweight. It can be easily integrated as power generation component for a variety of products.

**PV cells & modules production equipment: suppliers distribution (59)**



**List of equipment suppliers**

Company	Country	Internet
Ami Solar Cell	USA	<a href="http://www.ami-presco.com">www.ami-presco.com</a>
Applied Films	Germany	<a href="http://www.appliedfilms.com">www.appliedfilms.com</a>
Arnold gruppe	Germany	<a href="http://www.arnold-gruppe.de">www.arnold-gruppe.de</a>
Astec	Germany	<a href="http://www.astec-ger.com">www.astec-ger.com</a>
Asys	Germany	<a href="http://www.asys.de">www.asys.de</a>
Baccini	Italy	<a href="http://www.baccini.com">www.baccini.com</a>
BOC Edwards	United Kingdom	<a href="http://www.bocedwards-cme.co.uk">www.bocedwards-cme.co.uk</a>
Boostsolar	China	<a href="http://www.boostsolar.com">www.boostsolar.com</a>
Bronway Technology	United Kingdom	<a href="http://www.bronway.com">www.bronway.com</a>
Centrotherm	Germany	<a href="http://www.centrotherm.info">www.centrotherm.info</a>
Despatch Industries	USA	<a href="http://www.despatch.com/ir.asp">www.despatch.com/ir.asp</a>
Dubuit machines	France	<a href="http://www.dubuit.com">www.dubuit.com</a>
ECM	France	<a href="http://www.ecm-ip.com">www.ecm-ip.com</a>
Ecoprogetti	Italy	<a href="http://www.ecoprogetti.com">www.ecoprogetti.com</a>
Exitech	United Kingdom	<a href="http://www.exitech.co.uk">www.exitech.co.uk</a>
Gorosabel	Spain	<a href="http://www.solardam.com">www.solardam.com</a>
GP Solar	Germany	<a href="http://www.gpsolar.de">www.gpsolar.de</a>
GS Electronic	Germany	<a href="http://www.gselectronic.de">www.gselectronic.de</a>
GT Solar	USA	<a href="http://www.gtsolar.com">www.gtsolar.com</a>
HCT Shaping Systems	Switzerland	<a href="http://www.hct.ch">www.hct.ch</a>
iB Vogt	Germany	<a href="http://www.ib-vogt.com">www.ib-vogt.com</a>
ICOS	Belgium	<a href="http://www.icos.be">www.icos.be</a>

<b>Company</b>	<b>Country</b>	<b>Internet</b>
InnoLas	Germany	www.innolas.com
Kayex	USA	www.kayex.com
Koenen	Germany	www.koenen.de
Manz Automation	Germany	www.manz-automation.com
MCI	France	
Meier Vakuumtechnik	Germany	www.meier-group.com
Meyer Burger	Switzerland	www.meyerburger.ch
MiniTec	Germany	www.minitec.de
NPC	Japan	www.npcgroup.net
Olbricht	Germany	www.olbricht.de
OTB Solar	The Netherlands	www.otb-solar.com
PANAMAC	Italy	www.panamac.it
PPS Solar	Germany	www.pps-solar.de
Qinhuangdao Orient	China	www.qhdorient.com
Qualiflow Naratech Co.	Korea	www.qntech.co.kr
Ramgraber	Germany	www.ramgraber.de
Rena	Germany	www.rena.de
Rofin	Germany	www.rofin.com
Rosenthal	USA	www.rosenthalmfg.com
Roth & Rau	Germany	www.roth-rau.de
Schmid	Germany	www.schmid-online.de
SCR Engineering	Czech Republic	www.scrsemi.com
Semco Engineering	France	www.semcoeng.com
SierraTherm	USA	www.sierratherm.com
Somont	Germany	www.somont.com
Spire Solar	USA	www.spirecorp.com
Stangl	Germany	www.stangl.de
SVCS	Czech Republic	www.svcs.cz
Team Technik	Germany	www.teamtechnik.com
Tecno FIMES	Italy	www.tecnofimes.com
Telecom-STV	Russia	www.telstv.ru
Tempress	The Netherlands	www.tempress.nl
Thermal Processing	USA	www.thermalprocessingsolutions.com
Trumpf Laser	Germany	www.trumpf-laser.com
Unaxis	Liechtenstein	www.solar.unaxis.com
Von Ardenne	Germany	www.vonardenne.biz

## Neues auf dem Gebiet der PV-Systemtechnik

H. Häberlin, L. Borgna

Berner Fachhochschule - Hochschule für Technik und Informatik HTI

Jlcoweg 1, 3400 Burgdorf

Tel.: +41 34 426 68 53; Fax: +41 34 426 68 13

Email: [heinrich.haerberlin@hti.bfh.ch](mailto:heinrich.haerberlin@hti.bfh.ch) , <http://www.pvtest.ch>

### 1. Bemerkungen aus systemtechnischer Sicht zur Entwicklung bei Solarmodulen

**Kristalline Module:** Viele Hersteller bieten inzwischen Grossmodule aus mono- und polykristallinen Zellen im Bereich 120W – 300W an. Die Grösse kristalliner Zellen geht dabei oft bis 15cm·15cm. Seit einigen Jahren zeigen einige Firmen sogar Zellen von 20cm·20cm. Nachdem wegen des Bypassdiode-Kühlungs-Problems lange Zeit keine Module angeboten wurden, die aus solchen 20cm·20cm-Zellen bestehen, bringt nun die Firma **aleo** als erste Firma im Juli 2005 ein polykristallines Modul mit 36 20cm·20cm-Zellen auf den Markt ( $I_{sc} = 14,15$  A). Es wird interessant sein, zu beobachten, ob die gewählte Lösung des Bypassdiode-Problems sich in der Praxis bewährt. Damit sind nun Ein-String-Anlagen mit Wechselrichtern bis 6 kW möglich.

Sunpower bietet ein Modul mit bis zu 21,5% Zellenwirkungsgrad und 16,9% Modulwirkungsgrad an. Angekündigt ist bereits ein Modul SPR220 mit 220 W mit gleichen Dimensionen und einem Modulwirkungsgrad von 17,7%. Gemäss einem Vortrag von R.M. Swanson von Sunpower am 10.6.05 ist in einigen Jahren mit einer weiteren Steigerung des Wirkungsgrades von einigen Prozent auf Modulwirkungsgrade von über 20% zu rechnen.

### 2. Netzverbund-Wechselrichter

Von den zahlreichen in der Marktübersicht im Photon 3/2005 erwähnten Herstellern waren längst nicht alle in Barcelona vertreten. Die Vielfalt war dennoch beeindruckend. Auf dem Markt für Netzverbund-Wechselrichter besteht ein vielfältiges Angebot mit folgenden Tendenzen:

- Verschiedene Hersteller bieten grosse IGBT-Wechselrichter mit Ausgangsleistungen von 20kVA bis 400kVA, die im Master-Slave-Betrieb in Einheiten von bis zu 1,6MVA betrieben werden können (Siemens). Sputnik bietet neu ein breites Spektrum von Wechselrichtern mit AC-Nennleistungen von 2 - 300 kW an. Ganz neu auf dem Markt ist das größte Gerät Solarmax 300C an ( $P_{AC} = 300$ kW). Damit ist die Firma definitiv in die Liga der Grossen (Siemens, SMA) vorgestossen. Sputnik hat zudem alle Geräte überarbeitet (C-Serie) und bezieht die Typenbezeichnungen bei den dreiphasigen Geräten nun auf die AC-Nennleistung. SMA hat mit dem Sunny Mini Central 6000 die Lücke zwischen den grössten einphasigen Geräten (Sunny Boy 5000TL, 4,6kW) und dem kleinsten dreiphasigen Gerät SC60 (60kW) geschlossen. Dieses Gerät weist für ein Gerät mit galvanischer Trennung einen sehr hohen, bereits von neutraler Stelle bestätigten Wirkungsgrad auf. Neu werden auch die etwas kleineren analog aufgebauten Geräte SB 3300 und SB 3800 angeboten, die ebenfalls sehr hohe Wirkungsgrade aufweisen. Bereits in Staffelstein 2005 hat SMA die Entwicklung eines neuen traflosen Wechselrichters angekündigt, der einen Spitzenwirkungsgrad von 98% erreichen soll. Fronius bietet neu auch einen modular aufgebauten Zentral-Wechselrichter IG400 (32 kW<sub>AC</sub> resp. IG 500 (40 kW<sub>AC</sub>) an.
- Wegen des stark wachsenden Marktes in Deutschland gibt es weiterhin laufend Neuentwicklungen von Wechselrichtern (1-phasig) im Bereich 1000 W – 5000 W. Generell ist ein Trend zu weiten bis sehr weiten DC-Eingangsspannungsbereichen zu beobachten, allerdings liegen die Eingangsspannungsbereiche neuerer trafloser Wechselrichter teilweise nicht mehr so hoch wie früher (z.B. bei neueren Geräten von Sputnik z.B. noch 90 – 600 V statt wie früher 400 – 800 V). Wie bereits vor einigen Jahren in verschiedenen Publikationen über Wechselrichter gezeigt wurde, ist bei solch weiten Eingangsspannungsbereichen der Wirkungsgrad natürlich von der

DC-Spannung abhängig. In mindestens zwei Beiträgen (von Baumgartner resp. Häberlin) wurde wiederum auf diese Tatsache hingewiesen und gefordert, dass die Hersteller für die optimale Systemauslegung entsprechende Angaben liefern sollten. Auf den Datenblättern sind entsprechende Angaben nach wie vor kaum zu finden, dagegen werden in ausführlicheren Firmenunterlagen oder Betriebsanleitungen von einigen Herstellern teilweise solche Angaben gemacht.

- Verbesserte DC-Spannungsspezifikationen: Sputnik gibt für die neuen Zentralwechselrichter der C-Serie neben dem MPP-Spannungsbereich neu bereits auf dem Datenblatt für die PV-Generator-Dimensionierung auch den empfohlenen MPP-Spannungswert bei STC an  $\Rightarrow$  wesentliche Erleichterung bei der Grobkonzeption einer PV Anlage!
- Von den Herstellern aus der Schweiz versucht auf dem Gebiet der Netzverbundwechselrichter neben der Firma Sputnik auch ASP wieder eine gewisse internationale Marktpräsenz zu erreichen. Sie hat für 2006 einen neuen trafolosen Wechselrichter (SATIS) angekündigt, der offenbar ein Einphasen-Chopper-Gerät sein wird ( $P_{AC}$  ca. 3,7kW, Eingangsspannungsbereich 350V ... 620V,  $\eta$  ca. 95%).
- Sunways hat den DC-Eingangsspannungsbereich erhöht (neu MPPT: 350V – 750V,  $U_{DCmax} = 850V$ ).
- Viele Wechselrichterhersteller bieten nun standardmäßig 5 Jahre Garantie an, KACO 6 Jahre und die neu aufgetretene Firma Sustainable Energy (CA) sogar 10 Jahre!
- Einige in Paris neu aufgetretene Hersteller waren in Barcelona nicht mehr vertreten, dagegen traten neu einige andere Hersteller (z.B. Atersa, Ingeteam/Ingecon, Exendis, Powerstoc, Xantrex) auf.
- Einige Anbieter konzentrierten sich wegen des neuen spanischen Einspeisegesetzes sehr stark auf den spanischen Markt und legten nur Unterlagen in Spanisch auf! Generell scheint der spanische Markt nun für viele Anbieter sehr attraktiv zu sein und wird entsprechend intensiv bearbeitet.
- In zwei Vorträgen von Arsenal (R. Bründlinger) wurde einerseits gezeigt, daß viele handelsübliche Netzwechselrichter ziemlich empfindlich auf kurzzeitige Netzspannungseinbrüche reagieren und andererseits Vorschläge für aus kurzzeitigen Strahlungsmessungen abgeleitete Testsequenzen zum Test des dynamischen Maximum-Power-Point-Tracking Wirkungsgrades von Wechselrichtern gemacht.
- In einem Vortrag der HTI Burgdorf wurde gezeigt, daß sich das gesamte Betriebsverhalten von Netzverbund-Wechselrichtern durch die Einführung der neuen Größe „Totaler Wirkungsgrad“, der auch Informationen über das Maximum-Power-Point-Tracking enthält und von der Leistung und der DC-Spannung abhängt, viel besser als mit dem blossen DC-AC-Umwandlungswirkungsgrad beschreiben lässt.
- Generell ist zu kritisieren, dass auf den vielen Wechselrichter-Datenblättern die wichtige Angabe, ob ein Gerät mit oder ohne galvanische Trennung vorliegt, oft immer noch recht mühsam aufzufinden ist (meist nur irgendwo im Text versteckt). Eine deutliche Verbesserung diesbezüglich ist bei SMA zu verzeichnen (TL als Zusatz = trafolos).
- String-Wechselrichter für modularen Aufbau mit Eingangsleistungen von 700W bis 6000W werden von vielen Wechselrichterherstellern angeboten. Manche dieser Geräte weisen eine galvanische Trennung auf. Die String-Wechselrichter zeichnen sich durch ein grosses DC-Eingangsspannungsfenster (z.B.  $\Delta U_{DC} = 100V - 500V$ ) aus, d.h. sie erlauben eine Variation der Modulanzahl in einem Strang in einem weiten Bereich. Einige Geräte würden sogar bereits mit den Strömen von Solarmodulen mit 20cm-20cm Zellen fertig. Die maximale DC-Eingangsspannung ist bei den meisten String-Wechselrichtern hoch, typische Werte sind hier  $U_{DCmax} = 200V$  bis zu 850V (hohe Modulanzahl in einem Strang möglich). Manche String-Wechselrichter besitzen ein wetterfestes Gehäuse zur Aussenmontage.
- Einige grössere Geräte (Sunny Boy 4200TL und 5000TL Multi-String, Sunmaster QS 3200, 5000, 6400) werden mit 2 - 4 separaten Stringanschlüssen angeboten, die je über einen separaten Maximum-Power-Tracker verfügen, d.h. die Strings können unabhängig voneinander

(bezüglich Anzahl Module pro String, Modularität, Orientierung der Teilgeneratoren) realisiert werden.

- Immer mehr Hersteller bieten auch zu ihren Geräten passende Visualisierungs- und Überwachungssysteme für PC, Handy (SMS-Fehlermeldungen) und Internet an.

### 3.1 Auswahl von aktuell erhältlichen Wechselrichtern für netzgekoppelte PV-Anlagen (neue Gerätetypen: fett)

Hersteller/Land	Bezeichnung	Spezielles	Leistung	U <sub>DC</sub> –Fenster (MPPT)
ASP (CH)	TCG2500/6	Trafo, neu ENS	2500W	82V - 120V
	TCG4000/6	Trafo, neu ENS	4000W	82V - 120V
	TCS1500	Trafo, neu ENS	1500W	75V - 225V
Atersa (E)	<b>CILCO-3000</b>	trafolos?	2750W <sub>AC</sub>	250V – 550V
	<b>CICLO-6000</b>	trafolos?	4600W <sub>AC</sub>	250V – 550V
Exendis (NL)	<b>Gridfit 1900</b>	HF-Trafo	1900W <sub>AC</sub>	180V - 350V
	<b>Gridfit 2200</b>	HF-Trafo	2200W <sub>AC</sub>	200V - 350V
	<b>Gridfit 2500</b>	HF-Trafo	2500W <sub>AC</sub>	150V - 350V
Fronius (A)	Sunrise-IG 15	galv. getrennt (HF)	1300W <sub>AC</sub>	150V - 400V
	Sunrise-IG 20	galv. getrennt (HF)	1800W <sub>AC</sub>	150V - 400V
	Sunrise-IG 30	galv. getrennt (HF)	2500W <sub>AC</sub>	150V - 400V
	Sunrise-IG 40	galv. getrennt (HF)	3500W <sub>AC</sub>	150V - 400V
	Sunrise-IG 60	galv. getrennt (HF)	4600W <sub>AC</sub>	150V - 400V
	<b>Sunrise IG 400</b> <b>Sunrise IG 500</b>	galv. getrennt (HF) galv. getrennt (HF)	32 kW <sub>AC</sub> 40kW <sub>AC</sub>	210V - 420V 210V - 420V
Ingecon Sun (E)	<b>Sun 2.5</b>	Trafo-WR	2500W <sub>AC</sub>	125V – 450V
	<b>Sun 3.3</b>	Trafo-WR	3300W <sub>AC</sub>	125V – 450V
	<b>Sun 5</b>	Trafo-WR	5000W <sub>AC</sub>	125V – 450V
	<b>Sun 2.5 TL</b>	trafolos	2500W <sub>AC</sub>	125V – 400V
	<b>Sun 3.3 TL</b>	trafolos	3300W <sub>AC</sub>	125V – 400V
	<b>Sun 5 TL</b>	trafolos	5000W <sub>AC</sub>	125V – 400V
	<b>Sun 80</b>	3-ph mit Trafo	80kW <sub>AC</sub>	450V – 750V
	<b>Sun 100</b>	3-ph mit Trafo	100kW <sub>AC</sub>	450V – 750V
KACO (D)	PVI 1501i	galv. getrennt (HF) BiSi (statt ENS)	1500W <sub>AC</sub>	125V - 400V
	<b>PVI 3501i</b>	(wie 1501i)		125V - 400V
	<b>PVI 4501i</b>	(wie 1501i)		125V - 400V
	Blue Planet 2500i	trafolos, 3ph-VDEW	3300W <sub>AC</sub>	350V - 600V
	Blue Planet 3500i	trafolos, 3ph-VDEW	4600W <sub>AC</sub>	350V - 600V
	Blue Planet 4000i	trafolos, 3ph-VDEW	4400W <sub>AC</sub>	350V - 600V
	Blue Planet 4500i	trafolos, 3ph-VDEW	4600W <sub>AC</sub>	350V - 600V
	Blue Planet 5000i	trafolos, 3ph-VDEW	5200W <sub>AC</sub>	350V - 600V
Kyocera (JP)	KC1.8i	mit Trafo + ENS	<b>1650W</b> <sub>AC</sub>	100V - 350V
	KC3.6i	mit Trafo + ENS	<b>3300W</b> <sub>AC</sub>	100V - 350V
	KC5.4i	mit Trafo + ENS	<b>4600W</b> <sub>AC</sub>	100V – 350V

Hersteller/Land	Bezeichnung	Spezielles	Leistung	U <sub>DC</sub> –Fenster (MPPT)
Magnetek (USA)	<b>PVI-2000OUTD</b>	trafolos, mit ENS	2000W <sub>AC</sub>	90V – 580V
	<b>PVI-3600OUTD</b>	trafolos, mit ENS	3600W <sub>AC</sub>	90V – 580V
Mastervolt (NL)	Sunmaster QS 1200	String , HF-Trafo	900W <sub>AC</sub>	100V - 380V
	Sunmaster QS 2000	String , HF-Trafo	1600W <sub>AC</sub>	100V - 380V
	Sunmaster QS 3200	Multi-String (2), HF	2600W <sub>AC</sub>	100V - 380V
	Sunm. QS 3200MAX-I	Multi-String (2), HF	2600W <sub>AC</sub>	70V – 260V
	Sunmaster QS 6400	Multi-String (4), HF	5200W <sub>AC</sub>	100V - 380V
	<b>Sunm. QS 6400MAX-I</b>	Multi-String (4), HF	5200W <sub>AC</sub>	70V – 260V
Philips (NL)	EVO 300	String-WR trafolos	300W <sub>AC</sub>	45V - 135V
	EVO 500	String-WR trafolos	500W <sub>AC</sub>	45V - 230V
	EVO 2000	Multi-String (2), HF	2000W <sub>AC</sub>	80V - 420V
Sustainable Energy (CA)	<b>Sunergy ESP 5</b>	mit Trafos (2) 10 Jahre (!) Garantie	5200W <sub>AC</sub>	60V – 100V
Sputnik (CH)	<b>Solarmax 2000C</b>	trafolos	1800W <sub>AC</sub>	90V - 560V
	<b>Solarmax 3000C</b>	trafolos	2500W <sub>AC</sub>	90V - 560V
	<b>Solarmax 4000C</b>	trafolos	3800W <sub>AC</sub>	400V - 850V
	<b>Solarmax 6000C</b>	trafolos	4600W <sub>AC</sub>	90V - 560V
	<b>Solarmax 20C</b>	3-ph mit Trafo	20kW <sub>AC</sub>	450V - 800V
	<b>Solarmax 25C</b>	3-ph mit Trafo	25kW <sub>AC</sub>	450V - 800V
	<b>Solarmax 30C</b>	3-ph mit Trafo	29.95kW <sub>AC</sub> (!)	450V - 800V
	<b>Solarmax 35C</b>	3-ph mit Trafo	35kW <sub>AC</sub>	450V - 800V
	<b>Solarmax 50C</b>	3-ph mit Trafo	50kW <sub>AC</sub>	480V - 800V
	<b>Solarmax 80C</b>	3-ph mit Trafo	80kW <sub>AC</sub>	480V - 800V
	<b>Solarmax 100C</b>	3-ph mit Trafo	100kW <sub>AC</sub>	480V - 800V
<b>Solarmax 300C</b>	3-ph mit Trafo	300kW <sub>AC</sub>	480V - 800V	
SMA (D)	Sunny Boy 700	String-WR (Trafo)	460W <sub>AC</sub>	75V - 150V
	Sunny Boy 700	String-WR (Trafo)	600W <sub>AC</sub>	100V - 200V
	Sunny Boy 700	String-WR (Trafo)	700W <sub>AC</sub>	125V - 250V
	Sunny Boy 1100E	String-WR (Trafo)	1000W <sub>AC</sub>	139V - 400V
	Sunny Boy 1100LV	String-WR (Trafo)	1000W <sub>AC</sub>	24V - 60V
	Sunny Boy 1700E	String-WR (Trafo)	1500W <sub>AC</sub>	139V – 400V
	Sunny Boy 2100TL	trafolos	1900W <sub>AC</sub>	125V – 600V
	Sunny Boy 2500	String-WR (Trafo)	2200W <sub>AC</sub>	224V – 600V
	Sunny Boy 2800i	String-WR (Trafo)	2500W <sub>AC</sub>	224V – 600V
	Sunny Boy 3000	Multi-String (3)	2600W <sub>AC</sub>	268V – 600V
	<b>Sunny Boy 3300TL</b>	trafolos, 1 String	3000W <sub>AC</sub>	125V – 750V
	Sunny Boy 4200TL	trafolos, 2 Strings	4000W <sub>AC</sub>	125V – 750V
	Sunny Boy 5000TL	trafolos, 3 Strings	4600W <sub>AC</sub>	125V – 750V
	<b>SB3000</b>	String-WR (Trafo)	3300W	200V - 500V
	<b>SB3800</b>	String-WR (Trafo)	4100W	200V – 500V
	<b>SMC 5000</b>	1/3 3-Phasen-WR	5000W <sub>AC</sub>	250V – 600V
	<b>SMC 6000</b>	1/3 3-Phasen-WR	5500 W <sub>AC</sub>	250V – 600V
	SC60	3-ph mit Trafo	60kW <sub>AC</sub>	450V – 800V
SC90	3-ph mit Trafo	90kW <sub>AC</sub>	450V – 800V	

Hersteller/Land	Bezeichnung	Spezielles	Leistung	U <sub>DC</sub> –Fenster (MPPT)
SMA (D)	SC150	3-ph mit Trafo	150kW <sub>AC</sub>	450V – 800V
	SC200	3-ph mit Trafo	200kW <sub>AC</sub>	450V – 800V
	SC250	3-ph mit Trafo	250kW <sub>AC</sub>	450V – 800V
Siemens (D)	<b>SITOP Solar 1100</b>	trafolos, ENS	1100W <sub>AC</sub>	200V – 630V
	SITOP Solar 1500	trafolos, ENS	1500W <sub>AC</sub>	200V – 630V
	SITOP Solar 2300	trafolos, ENS	2300W <sub>AC</sub>	200V – 630V
	SITOP Solar 4600	trafolos, ENS	4600W <sub>AC</sub>	200V – 630V
	SINVERT Solar 30	3-ph mit Trafo	30kW <sub>AC</sub>	450V – 780V
	SINVERT Solar 60	3-ph mit Trafo	60kW <sub>AC</sub>	450V – 780V
	SINVERT Solar 100	3-ph mit Trafo	100kW <sub>AC</sub>	450V – 780V
	SINVERT Solar 200	3-ph mit Trafo	200kW <sub>AC</sub>	450V – 780V
	SINVERT Solar 300	3-ph mit Trafo	300kW <sub>AC</sub>	450V – 780V
SINVERT Solar 400	3-ph mit Trafo	400kW <sub>AC</sub>	450V – 780V	
Sunways (D)	NT2600	trafolos, 3ph VDEW	2200W <sub>AC</sub>	350V – <b>750V</b>
	NT4000	trafolos, 3ph VDEW	3300W <sub>AC</sub>	350V – <b>750V</b>
	<b>NT5000</b>	trafolos, 3ph VDEW	4000W <sub>AC</sub>	350V – 750V
	NT6000	trafolos, 3ph VDEW	4600W <sub>AC</sub>	350V – <b>750V</b>
Solarstoc (D)	<b>PS 1200</b>	galv. getrennt (HF)	825W <sub>AC</sub>	100V – 350V
	<b>PS 2000</b>	galv. getrennt (HF)	1650W <sub>AC</sub>	100V – 350V
	<b>PS 3000</b>	galv. getrennt (HF)	2750W <sub>AC</sub>	100V – 350V
	<b>PS 4000</b>	galv. getrennt (HF)	3300W <sub>AC</sub>	100V – 350V
	<b>PS 5000</b>	galv. getrennt (HF)	4000W <sub>AC</sub>	100V – 350V
	<b>PS 6000</b>	galv. getrennt (HF)	4600W <sub>AC</sub>	100V – 350V (auch HV-Versionen mit 200V - 500V lieferbar)
Xantrex (CA)	<b>GT3.0E</b>	mit Trafo	3000W <sub>AC</sub>	330V – 600V
	<b>GT100E</b>	3-ph mit Trafo	100kW <sub>AC</sub>	195V – 550V

#### 4. Sinus-Wechselrichter für Inselanlagen

Wegen des in Europa herrschenden Booms für netzgekoppelte Anlagen waren in Barcelona vergleichsweise wenige Hersteller von Insel-Wechselrichtern vertreten. Wie bereits in München 2001 und Paris 2004 beobachtet, werden neben herkömmlichen Insel-Wechselrichtern auch Inselwechselrichter mit Zusatzfunktionen angeboten. Sie enthalten beispielsweise auch einen Solar-Laderegler oder ein eingebautes, von einer externen AC-Quelle gespeistes Ladegerät (z.B. von Studer oder ASP). Nach Anschluss eines Solargenerators, evtl. eines externen Ladereglers 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 Dieselsegenerators bei entlademem Akku. Wird ein derartiger Dieselsegenerator am externen AC-Eingang angeschlossen, entsteht eine komplette PV-Hybridanlage mit AC-Ausgang.

Neu werden auch Kombinationen für PV-Anlagen für Netz- und Inselbetrieb angeboten, die normalerweise ihre überschüssige Energie ins Netz einspeisen, bei Netzausfall aber in der Lage sind, für bestimmte Verbraucher einen Inselbetrieb durchzuführen. Studer/CH vermarktet derartige Systeme unter

dem Namen SOLSAFE Antiblackout-System (mit einem Studer-Inselwechselrichter aus der COMPACT-Serie mit einem externem Netzwechselrichter und Umschalter).

Sinus-Wechselrichter haben die früheren Rechteck-, Trapez- und Treppen-Wechselrichter praktisch verdrängt. Ein weiterhin bestehendes Problem bei vielen 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 in die Umgebung abgestrahlte Hochfrequenz stören können. Studer gibt an, daß dieses lange bestehende Problem durch einen Redesign bei den neueren Geräten nun gelöst sei.

- ASP (CH) bietet weiterhin Inselwechselrichter im Bereich 150W – 3500W für Akku-Spannungen von 12V bis 110V an. Daneben werden TOP CLASS Combi Sinus-Wechselrichter für 1300W und 2200W mit integriertem Batterie-Ladegerät sowie der Wechselrichter ATON (160VA resp. 320VA für 10 min) mit integriertem Laderegler für 12V-SHS Systeme angeboten.
- Mastervolt (NL) bietet wie ASP und Studer auch Sinus-Wechselrichter mit integriertem Batterie-Laderegler an. Die Nominalleistung der Geräte beträgt 1500VA und 5000VA.
- Fronius (A) und Steca (D) bieten weiterhin den Sinus-Wechselrichter SOLARIX (550W und 900W) mit integriertem Solar-Laderegler für Inselanlagen an (max. Modulstrom: 25A, Akku-U: 12V resp. 24V).
- Studer (CH) hat seine vielen Modelle von Sinus-Insel-Wechselrichtern mit und ohne Zusatzfunktionen für Systemspannungen von 12V – 48V überarbeitet und vermarktet nun aktiv sein Anti-Blackout-System SOLSAFE. Angesichts der latenten Vernachlässigung der Technik und der Übertragungsnetze infolge der Strommarktliberalisierung dürfte sich zumindest mittelfristig eine steigende Nachfrage nach solchen Systemen ergeben.
- Neu auf dem Markt ist Out Back Power aus den USA (MPP-Tracking-Laderegler und Insel-Wechselrichter).
- Ebenso neu ist AET Albasolar (E) mit 8 Inselwechselrichtern für 12V und 24V:  
12V: ISA150 (150VA), ISA300 (300 VA), ISA550 (550 VA), ISA 850 (850 VA)  
24V: ISA 700 (700 VA), ISA 1000 (1000VA) ISA 2000 (2000VA), ISA 2700 (2700VA)

#### 4.1 Beispiele von Multifunktions-Sinus-Wechselrichtern für Inselanlagen (tabellarisch) (neue Gerätetypen: fett)

Hersteller / Land	Bezeichnung	Zusatzfunktion	Leistung
ASP (CH)	TOP CLASS TOPcharge ATON (12V) TC 1.5/12 bis TC35/48	Batterie-Laderegler mit eingebautem 230V-Ladegerät WR/Laderegler für SHS-Systeme Diverse Sinus-Wechselrichter für 12V, 24V, 36V, 48V und 110V	1300VA 2200VA 160VA (320VA 10') 150W bis 3500W
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)	<b>XPC 1400-12</b> <b>XPC 2200-24</b>	Batterie-Laderegler mit eingebautem 230V-Ladegerät	1100VA 1600VA

Hersteller / Land	Bezeichnung	Zusatzfunktion	Leistung
Studer (CH)	<b>XPC 2200-48</b>	Solarladeregler als Option	2200VA
	<b>C1600-12</b>	Batterie-Laderegler mit eingebautem 230V-Ladegerät	1300VA
	<b>C2600-24</b>		2300VA
	<b>C4000-48</b>	Solarladeregler als Option	3500VA
	<b>HPC2800-12</b>	(mit ext. Solar-Laderegler)	2500VA
	<b>HPC4400-24</b>	(mit ext. Solar-Laderegler)	4000VA
	<b>HPC6000-48</b>	(mit ext. Solar-Laderegler)	5000VA
	<b>HPC8000-48</b>	(mit ext. Solar-Laderegler)	7000VA
	AJ275 (12V) bis AJ2400 (24V)	<b>AJ-Serie für 12V, 24V und 48V:</b> Solarladeregler als Option (AJ-Serie = neue low-cost-Version der SI-Serie)	200VA bis 2000VA
Out Back (USA)	<b>FX2012ET (12V)</b>	Batterie-Laderegler mit eingebautem 230V-Ladegerät	2000 VA
	<b>FX2024ET (24V)</b>		2000 VA
	<b>FX2348ET (48V)</b>		2300 VA

## 4.2 Neue stromsparende DC-Lampen für SHS

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

## 4.3 Laderegler mit Maximum-Power-Point Tracking

Neben den von der Firma Muntwyler/Zollikofen seit vielen Jahren angebotenen MPPT-Laderegler der Marke Maximizer bietet mit Out Back Power Systems nun ein neuer Anbieter aus USA einen MPPT-Laderegler für Inselanlagen mit Systemspannungen von 12V, 24 V, 36V, 48 V und 60V an. Der maximale Ladestrom beträgt dabei 60 A, die maximale Eingangsspannung 150V.

## 5. Verschiedene weitere Aspekte der PV-Systemtechnik

- **Nachführungen/Tracker:** Neben den seit einigen Jahren gezeigten, eher wackeligen und kaum sturmfesten Konstruktionen einiger deutscher Hersteller von zweiachsigen Nachführungen werden nun auch solidere Konstruktionen gezeigt und angeboten, die einigermaßen sturmfest sein dürften. Beispiele: Solon Mover, vor dem Tagungsgebäude aufgestellt, oder die ein- und zweiachsigen Nachführungen von Energés/Wattsun. Durch wirklich stabile, sturmfeste Nachführungen könnte nicht nur der spezifische Energieertrag, sondern auch die Anzahl Volllaststunden einer PV-Anlage und damit langfristig die ins Stromnetz ohne Probleme einspeisbare PV-Energie erhöht werden.
- Nachdem der DC-AC-Umwandlungswirkungsgrad von Wechselrichtern inzwischen recht hoch ist, sind auch präzise Messungen des **MPP-Tracking-Wirkungsgrades** von Interesse. Ein schlechtes MPP-Tracking kann im Jahresmittel Energieverluste von bis zu einigen Prozent zur Folge haben. Erfreulicherweise wurde das Problem des MPPT-Trackings in einigen Beiträgen angesprochen, von den Herstellern sind aber weiterhin keine entsprechenden Angaben erhältlich.

- **AC-Power-Bus für grössere Inselsysteme:**  
Von verschiedener Seite (ISET,SMA) 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, Dieselgeneratoren, Energiespeichereinheiten mit Akku und bidirektionalem Ladegerät / Wechselrichter usw.) und alle Verbraucher angeschlossen sind. SMA bietet dazu neben dem bisherigen Kompaktgerät Sunny Island 4248 (4200W, für Akkuspannung 48V) neu ein etwas kleineres Gerät **Sunny Island 3324** (3300W, für Akkuspannung 24V) an.
- Weiterhin relativ selten vertreten waren **normierte Darstellungen des Energieertrags von PV-Anlagen**. Immerhin ist die Angabe der Performance Ratio als Qualitätsmerkmal von PV-Anlagen inzwischen weit verbreitet. Allerdings sollte zur Sicherstellung der Vergleichbarkeit immer angegeben werden, wie die Strahlung gemessen wurde, da zwischen Strahlungsmessungen mit Referenzzellen und Pyranometern beträchtliche Unterschiede bestehen können.
- In einem Posterbeitrag von Phocos wurde berichtet, daß an verschiedenen Orten **Langzeitschäden am Solargenerator von Inselanlagen** beobachtet wurden, die mit **Shuntreglern** ausgerüstet waren (Überhitzung durch Hot-Spots bei einzelnen Zellen im Kurzschlussfall, allmähliche Vergrößerung zunächst minimaler Streuungen des Stromes zwischen den einzelnen Zellen von Modulen). Deshalb sei es vorsichtiger, Serieregler zu verwenden.
- **Beanspruchung der Isolation von Modulen und Verkabelungen durch steile Spannungsflanken von Einphasen-Chopper-Wechselrichtern:** Verschiedene persönliche Diskussionen mit Vertretern von Modul- und Kabelhersteller sowie Testlabors haben gezeigt, daß die Hersteller ihre Produkte nur mit DC- und AC-Prüfspannungen sowie mit einzelnen 1,2µs/50µs-Impulsspannungen testen. Die bei Einphasen-Chopperrn 100 mal pro Sekunde auftretenden steilen Spannungsflanken (im Bereich bis zu 100V/µs) stellen aber eine neue, durch die bisherigen Tests überhaupt nicht erfaßte Beanspruchung der Isolationsmaterialien dar, die in PV-Anlagen langfristig zu Problemen führen könnte. Zudem sind derart steile Flanken auch aus Sicht der elektromagnetischen Verträglichkeit problematisch. Bei den Fachleuten, die sich mit Isolationsmaterialien auskennen, herrscht da ein sehr ungutes Gefühl. Eine gesunde Skepsis gegenüber dem Einsatz solcher Wechselrichter scheint vorläufig angezeigt. Bei einer weiteren Verbreitung dieser Geräte wären entsprechende Tests der verwendeten Isolationen in Modulen und Verkabelungen dringend zu empfehlen.
- **China kommt:** Besonders auffällig gegenüber der nur ein Jahr zurückliegenden Ausstellung in Paris war die stark steigende Zahl von Anbietern aus China. Es sind nun praktisch alle Komponenten der PV-Systemtechnik aus chinesischer Eigenproduktion erhältlich und es sind teilweise auch gut englisch sprechende, technisch relativ kompetente Leute an den Ständen zu finden. Wenn auch die Qualität der Produkte stimmt, kann so mittelfristig eine ernsthafte Konkurrenz zu den etablierten westlichen PV-Firmen entstehen.

## Global Aspects

**P. Hüsser**

**Nova Energie GmbH,  
Schachenallee 29, 5000 Aarau,  
Tel.: +41 62 834 03 00; Fax: +41 62 834 03 23  
Email: Pius.huesser@novaenergie.ch**

### **PV is a commodity!**

Commodity:

1) Waren, Rohstoffe; Angloamerikanische Bezeichnung für meist börsengehandelte Massenwaren wie Getreide, Fleischwaren und Metalle.

2) Bezeichnung für eine standardisierte, handelbare Ware.

Der internationale Photovoltaik-Markt bewegt sich in neuen Sphären. Im Jahre 2004 wurde eine wichtige Benchmark überschritten: Das Produktionsvolumen überstieg mit ca. 1.15 Gigawatt erstmals die 1 GW Marke und in Japan überstieg die installierte Leistung ebenfalls 1 GWp.

Wer gültige Bezugsrechte für mehrere Megawatt hatte, konnte über Nacht (fast) zum Millionär werden.

In den letzten Jahren und insbesondere in den letzten Monaten werden immer häufiger „Stock research analysis“ von namhaften Banken publiziert. Auch ein Zeichen, dass die Branche langsam erwachsen wird.

Auslöser dieser Wachstumsbeschleunigung ist sicher Deutschland. Mit der kostendeckenden Vergütung wurde ein Fördermodell geschaffen, das Investitionssicherheit sowohl auf der Installationsseite, wie auch auf der Produktionsseite bietet.

Daneben ist die Nachfrage im japanischen Markt trotz sehr tiefen Förderbeiträgen von Jahr zu Jahr steigend (auf sehr hohem Niveau).

Der dritt wichtigste Markt befindet sich im Moment in den USA, insbesondere in Kalifornien, die jährlich installierte Leistung wird dieses Jahr die 100 MW Marke übersteigen.

### **Was sind die wichtigsten Markttreiber:**

In Deutschland ist es sicherlich das Einspeisegesetz, welches attraktive Bedingungen auch für Kapitalanleger bietet.

In den USA wird der Markt vor allem über Direktbeiträge gefördert. Daneben gibt es in einzelnen Staaten auch noch Quotenregelungen für Erneuerbare Energie resp. obligatorische Förderfonds wie im Fall des Stadtwerkes von Los Angeles (LADWP) als Kompensation für die Nicht-Privatisierung.

Der Markt in Japan zeichnet sich durch eine hohe Stabilität der Förderpolitik mit langfristiger Zielsetzung aus. Der Förderbeitrag wurde in den letzten 10 Jahren kontinuierlich reduziert und beträgt im Moment für Kleinanlagen (2 - 5 kWp) noch etwa 3% (drei Prozent!) der Investitionskosten. Trotz der erneuten Reduktion ab 1. April 2005 ist die Zahl der Gesuche nur leicht zurückgegangen. Dies vor allem auch, weil die Bauindustrie im Neubaubereich Fertighäuser inkl. PV zu sehr attraktiven Bedingungen anbietet.

Der sogenannte Off-Grid-Market (ohne Netzanschluss) ist vor allem ein Drittwelt-Markt mit einem kontinuierlichen Wachstum von etwa 15% pro Jahr. Das Marktvolumen beträgt bereits mehr als 100 MWp pro Jahr (weltweit).

## Hemmnisse:

Die beschleunigte Nachfrage aus Deutschland hat in den letzten 1 1/2 Jahren auf der Produktionsseite zu Kapazitätsproblemen geführt. Insbesondere stand nicht mehr genügend „Solar Grade Silicon“, der Rohstoff aus dem Wafer, Zellen und schlussendlich Solarmodule gefertigt werden, zur Verfügung. Der Aufbau von Produktionskapazitäten in der Zellen- und Modulfertigung geht relativ schnell und mit einigermaßen moderaten Investitionskosten. Für die Aufbereitung des metallurgischen Siliziums zu solarem Silizium sind jedoch sehr hohe Investitionen notwendig und die Vorlaufzeit ist auch relativ lange (ca. 2 Jahre). Dazu kommt, dass die „Abfälle“ aus der Chipfabrikation (Elektronik, Computer) endgültig nicht mehr genügen, um die Nachfrage der Photovoltaik-Industrie zu decken.

Dies alles führte im letzten Jahr anstatt zu fallenden Preisen wegen der Produktionsausweitung zu einer Preisversteifung bis zu leichten Preiserhöhungen. Diese Situation wird nach Meinung von Marktbeobachtern noch bis etwa 2007 anhalten.

## Die Situation in einzelnen Ländern:

**Spanien:** Die letztes Jahr eingeführte Einspeisevergütung scheint langsam zu greifen. Erste grössere Projekte wurden bereits oder sind in der Schlussphase der Realisierung. Die Aussichten für die nächsten Jahre werden als sehr gut beurteilt.

**Portugal:** Die Einführung einer kostendeckenden Vergütung ist in Vorbereitung. Die Bedingungen sind jedoch noch unklar. Unabhängig davon laufen Projektierungsarbeiten an riesigen Projekten im Bereich von 50 - 60 MWp.

**Italien:** Per 28. Juni 2005 ist ein neues Dekret in Kraft getreten, das bis zu einer maximal installierten Leistung von 100 MWp die kostendeckende Vergütung vorsieht. Für kleinere Anlagen (bis 20 resp. bis 50 kWp) sind fixe Preise pro kWh vorgegeben, ab 50 kWp bis 1000 kWp erfolgt die Vergabe via einem Ausschreibemodell.

**Frankreich:** Die Einspeisevergütung wird gegenüber der bisherigen Regelung um 50% erhöht, d.h. auf 22.5 Euro-Cents/kWh. Daneben gibt es weiterhin steuerliche Begünstigungen und je nach Region zusätzliche Unterstützung. Die Inkraftsetzung dieser Regelung steht jedoch noch aus.

**China:** Im Reich der Mitte werden nicht nur Module gefertigt (letztes Jahr etwa 78 MWp) sondern auch installiert, vornehmlich Inselanlagen zur Elektrifizierung entlegener Dörfer. Ende 2004 lag die installierte Leistung bei etwa 74 MWp, davon nur etwa 300 kW im Netzverbund. Kürzlich wurde eine 1 MWp – Anlage im Netzverbund in Shenzen fertig gestellt (Gebäudeintegriert). Im Moment ist die Einführung eines neuen Gesetzes (kostendeckende Vergütung) im Gange. Die installierte Leistung soll 2010 etwa 500 MWp erreichen.

**California:** Kampagne für sogenannte ZENH-Häuser (zero energy new homes) in dem riesigen Markt von neuen Häusern in Kalifornien (100 000 – 200 000 pro Jahr). Der Spitzenleistungsbedarf dieser Häuser soll von 3-4 kW auf weniger als 1 kW gesenkt werden, dies sowohl mit Energieeffizienzmassnahmen (Wärmedämmung, Haustechnik) als auch Solarstrom.

**Washington State:** Einführung eines grosszügigen Rückspeise-Vergütung für kleinere Anlagen in Abhängigkeit vom Produktionsort der Anlagekomponenten. Die Vergütung kann bis mehr als 50 US-Cents pro kWh betragen. Die Vertragsdauer beträgt 10 Jahre.

**Südkorea:** Kostendeckende Vergütung mit fixen Preisen (716,40 KRW/KWh = 88 Rp/kWh) während 15 Jahren. Das Ganze ist mit einer Deckelung von 20 MWp gekoppelt. Der Einspeisetarif soll 2006 wieder überprüft werden.

Vorteilhafte Einspeisevergütungen für Solarstrom sind im Trend; nicht nur die oben erwähnten Länder sondern in vielen weiteren Staaten ist die kostendeckende Vergütung ein Thema. Zum Teil werden „nur“ Vorzugsbedingungen wie erhöhte Einspeisetarife (Frankreich, Tschechien usw.) beschlossen, andere Staaten diskutieren Mischformen mit Investitionsbeihilfen und höheren Rücknahmetarifen.

**Ausblick:**

Die Börse hat immer recht! Wenn man die Kursentwicklung von Deutschen Solaraktion verfolgt, kann man davon ausgehen, dass auch ein möglicher Regierungswechsel in Deutschland keine wesentlichen Änderungen am Einspeisegesetz für Solarstrom bringen wird.

Auf der anderen Seite ist der Markt nicht nur von Deutschland abhängig. Ein moderates Wachstum zwischen 15% und 30% in den nächsten Jahren kann auch ohne den starken Einfluss von Deutschland erwartet werden.

Die Verkaufspreise für Module werden weiterhin hoch bleiben, solange der Flaschenhals „solar grade silicon“ nicht gelöst werden kann. Ab 2007/2008 ist jedoch mit rasch sinkenden Preisen zu rechnen. Gemäss US-Aussagen betragen die Produktionskosten in den USA für Solarmodule im letzten Jahr etwa USD 2.20 – USD 2.50.

Der Verkaufspreis in Europa liegt für grosse Mengen (1 MWp) bei etwa 3.0 €. Das heisst, das Potential für grössere Preissenkungen ist weiterhin vorhanden. Dies ist umso wichtiger, als dass in einzelnen Märkten die Schwelle zur Profitabilität ohne staatliche Förderung in Reichweite ist (Japan: Hohe Haushaltspreise in Kombination mit Sommer-Bedarfsspitzen). Damit ist auch mit einem weiterhin starken Marktwachstum nach 2010 zu erwarten.

## Ausstellung

**S. Gnos**

**NET Nowak Energie und Technologie AG,  
Waldweg 8, CH-1717 St. Ursen**

**Tel.: +41 (0)26 494 00 30, Fax: +41 (0)26 494 00 34**

**Email: [stephan.gnos@netenergy.ch](mailto:stephan.gnos@netenergy.ch)**

### Einleitung

- Die diesjährige Ausstellung zur 20. EU Konferenz in Barcelona hatte gegenüber dem letzten Jahr nochmals eine Zunahme von Ausstellern zu verzeichnen. Insgesamt boten über 250 Firmen aus der ganzen Welt ihre Produkte und Dienstleistungen an. Damit gilt auch dieses Jahr wieder, dass es sich in Barcelona um die bisher grösste und umfassendste Ausstellung dieser Art gehandelt hat. Die Ausstellung bot viele Informationen zu Ausgangsmaterialien der Photovoltaik-Zellenfertigung, zu Produktionsequipment, zu diversen Herstellungsmaterialien (Einkapselungsmaterial, Folien etc.), zu PV Zellen, bis hin zu Modulen, Wechselrichtern, Kabeln und Steckern. Weiter waren Firmen aus den Bereichen Beratung, Planung, Handel von Material und Realisierung von Anlagen vertreten. Zusätzlich stellten sich nationale und internationale Organisationen, Forschungszentren oder Institutionen zur Verbreitung von PV Informationen vor. Wiederum ein klarer Schwerpunkt bildeten die Bereiche Zellen und Module, inkl. Produktionslinien und Produktionsmaterial.
- Im Vergleich zur letztjährigen Ausstellung fand eine leichte Verlagerung hin zu Herstellungsequipment, bzw. Produktionslinien statt. Weiter fortgesetzt hat sich der Trend, dass immer mehr Firmen eine breitere Produktpalette anbieten. Ein Beispiel sind verschiedene Modulhersteller, die neu neben ihren Modulen auch Wechselrichter im Angebot haben. Gut vertreten waren Firmen aus dem asiatischen Raum. Inzwischen decken diese Firmen aus Japan, China, Taiwan, Korea und Indien das komplette PV Spektrum ab.
- Aus Schweizer Sicht speziell hervorzuheben ist die gute Präsentation der Schweizer Stände. Schweizer Firmen fielen oft durch ein besonderes Standdesign, durch gut präsentierte Neuheiten oder einen gut sichtbaren grösseren Gemeinschaftsstand anstelle von mehreren kleinen Ständen auf. Insgesamt verbreiteten die Schweizer Aussteller eine optimistische Stimmung.



Der Unaxis-Stand mit auffallendem Standdesign in orange im Vordergrund hob sich deutlich von den diversen Standardständen ab

## Zu diesem Bericht

Dieser Bericht befasst sich thematisch mit den folgenden Schwerpunkten:

- Produktionsanlagen und -material
- Messausrüstung für die Produktion
- Zellen und Module
- Wechselrichter
- Kabel- und Stecker
- Organisationen / Forschungszentren
- Diverse Produkte

Diese Sektoren werden jeweils kurz im Allgemeinen, hauptsächlich aber aus Schweizer Sicht mit Bezug auf Schweizer Firmen betrachtet.

## Produktionsanlagen und -material

Im Bereich der Produktionsanlagen werden vermehrt ganze Linien oder grössere Abschnitte von immer höher automatisierten Fertigungsstrassen angeboten. Grob unterschieden werden kann in Anbieter mit Produktionslinien für kristalline Zellen, Produktionslinien für Module mit kristallinen Zellen, Produktionslinien für Dünnschichtzellenmodule und Anbieter spezialisiert auf gewisse Teile von Fertigungslinien, dies vor allem in den Bereichen Drahtsägemaschinen, Lasersysteme, teilweise bei den Laminatoren oder dem Zellenhandling. Weiterhin gilt das Augenmerk insgesamt der Effizienzsteigerung und der Senkung der Produktionskosten.

Im Bereich Produktion waren Schweizer Firmen gut vertreten:

Meyer + Burger bieten eine breite Palette von Sägen für die Halbleiter-, Solar- sowie die optische und keramische Industrie an. Höchste Produktivität (hoher Durchsatz, hohe Ausbeute) bei bester Qualität sind die wichtigsten Merkmale dieser Sägen ([www.meyerburger.ch/](http://www.meyerburger.ch/)).

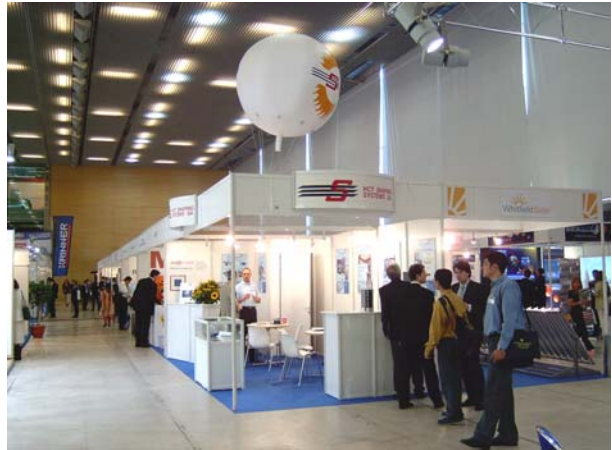
Höchste Produktivität bei bester Qualität sind auch die Markenzeichen der Firma HCT Shaping Systems. HCT bietet eine breite Anzahl von Produkten für die Herstellung von Wafern für die Halbleiter- und Solarindustrie an. In Barcelona wurde neu eine Drahtsäge vorgestellt, mit der aus runden Siliziumkristallen bei minimalen Materialverlusten Siliziumquader hergestellt werden können ([www.hct.ch/](http://www.hct.ch/)).

Unaxis bietet Produktionslösungen für amorphe und mikromorphe Dünnschichtzellenmodule an, die auf bewährten Produktionsmethoden für Flachbildschirme aufbauen. Bei der aktuell angespannten Marktsituation beim Silizium für kristalline Solarzellen steigt allgemein das Interesse an der Dünnschichttechnologie ([www.unaxis.com/solar/](http://www.unaxis.com/solar/)).

Swiss Solar Systems 3S, hauptsächlich tätig in den Bereichen Sondermaschinenbau für die Photovoltaikindustrie und Modulproduktion/Anlagenprojektierung, stellte unter anderem die neueste Evolutionsstufe Ihres vollautomatischen Laminators für Solarmodule vor, der flexibel für die Produktion verschiedenster Solarmodule höchster Qualität eingesetzt werden kann ([www.3-s.ch/](http://www.3-s.ch/)).



Meyer + Burger



HCT Shaping Systems



Unaxis

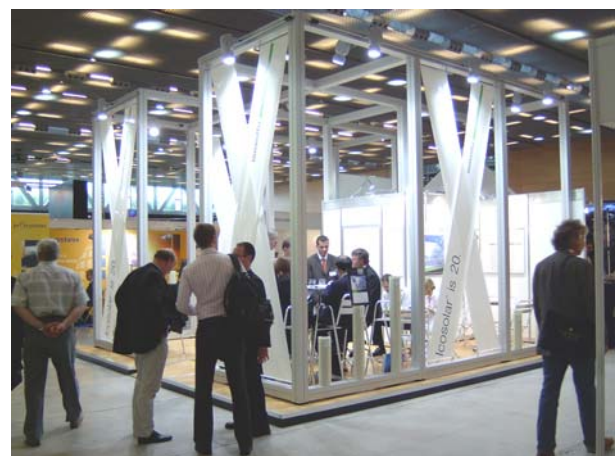


Swiss Solar Systems 3S

Aus der riesigen Anzahl der in diesem Segment tätigen ausländischen Firmen seien hier exemplarisch die Firma Roth&Rau mit Anlagen zur Beschichtung von kristallinen Solarzellen auf Siliziumbasis sowie kompletten Automatisierungslösungen und die Firma Isovolta mit ihren Icosolar Kunststoffverbundfolien für die Modulproduktion erwähnt.



Roth&amp;Rau



Isovolta

## Messausrüstung für die Produktion

Der Bereich von in-line und off-line Messequipment ist im Vergleich zu Sektoren wie dem Produktionsequipment, der Zellen und Module oder der Wechselrichter überschaubarer. Je nach Art der Anwendung sind Produkte für die Integration in automatisierte Produktionslinien oder mit manueller Bedienung gefragt. Die Kunden kommen hauptsächlich aus den Bereichen Produktion von Solarzellen und -modulen und Prüf- und Testlabors. Die Schweizer Firma Belval ist seit den 1980-er Jahren mit den Pasan Geräten gut etabliert. Neben den bekannten Testgeräten und Zellsortern stellte Belval neu einen einfachen Zelltester und einen Sonnensimulator mit kleinerem Ausleuchtungsbereich der Klasse A für Modulhersteller vor. Gegenüber der grösseren Simulatorversion für Forschungslabore und Testinstitute ist der neue Simulator rund 60 Prozent günstiger im Anschaffungspreis und auch preiswerter im Unterhalt ([www.belval.com](http://www.belval.com)). Mit den weltweit grossen Wachstumsraten bei den Solarstromanwendungen treten auch im Messbereich vermehrt Firmen aus andern Industrieenanwendungen wie die Firma Gorosabel auf.



Belval



Gorosabel

## Zellen und Module

Der Bereich Zellen und Module belegte rund 1/3 der ganzen Ausstellung und wurde klar von der kristallinen Technologie dominiert. Dabei kommen immer grössere Zellen zum Einsatz. Als nächste Herausforderung steht für die Branche die Umsetzung der 8-Zoll-Zellentechnologie an. Module mit Leistungen zwischen 160 bis gegen 200 Wp sind inzwischen Standard, wobei auch Module mit bis zu 300 Wp verfügbar sind. Auffallend ist, dass immer mehr Modulhersteller gleichzeitig Wechselrichter im Angebot haben.

Es folgen ausgewählte Beispiele von vorgestellten Prototypen und neuen Modulen. Einen umfassenden Überblick zu den ausstellenden Firmen mit ihren Produkten und bieten die entsprechenden Tagungsunterlagen (vgl. auch Bericht TISO: PV Module Market).

Konarka zeigte organische Solarzellen auf Plastiksubstrat, die zusammen mit der Firma Leonhard Kurz in den nächsten Jahren weiterentwickelt werden sollen.

Die Firma CSG Solar stellt den Produktionsbeginn von Dünnschicht CSG (Crystalline Silicon on Glass) 110 Watt Modulen u.a. mit Unaxis Produktionsequipment ab 2006 in Thalheim (D) in Aussicht.

Ebenfalls ab 2006 startet die Firma Sulfurcell in Berlin die Produktion von neuen CIS (Kupfer-Indium-Sulfid) 55 Wp Modulen.

Ab Ende 2005 beginnt die Firma Soltech in Beijing (Cn) u.a. mit der Produktion von amorphen 60 Wp Modulen.

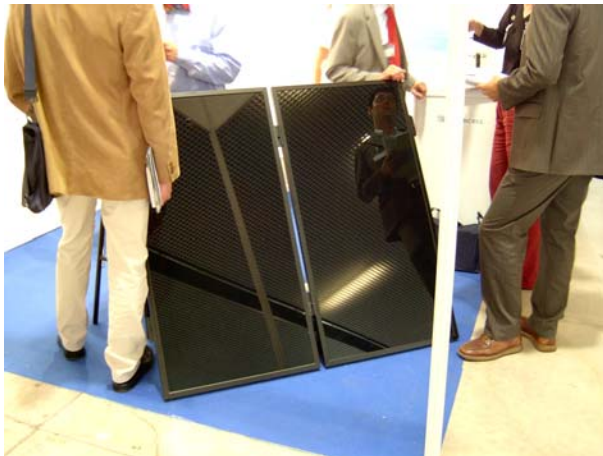
Weiter will die Firma Origin in Adelaide (Au) ebenfalls ab 2006 die ersten 'Sliver-Zellen-Module' grösser als 70 Wp produzieren.



Konarka



CSG Solar



Sulfurcell



Origin

Sharp stellte an ihrem Stand neben den bekannten Produkten 3 Prototypen aus. Dabei handelt es sich um ein Modul mit rückseitenkontaktierten Zellen mit einem angestrebten Zellenwirkungsgrad von 20%, um ein Modul mit mikromorphen Zellen mit 10% Wirkungsgrad, sowie um ein Modul mit auf einem Substrat hergestellten kostengünstigen multikristallinen Siliziumzellen.

Bei Shell Solar war zusätzlich zu den gängigen Modellen ein Prototyp eines 80 Wp CIS Moduls ausgestellt, was für die Realisierung von grösseren Anlagen z.B. im Gebäudebereich durch den reduzierten Verkabelungsaufwand klare Vorteile gegenüber den aktuellen 40 Wp CIS Modulen bringen würde.

Spheral Solar will zuerst flexible Module für den Freizeitbereich auf den Markt bringen, und in der Folge in den Bereichen der Power Module und der Gebäudeintegration Fuss fassen.

Bei Kyocera waren neue Module mit blauschwarzen multikristallinen Zellen mit verbessertem Wirkungsgrad und 3 Leiterbahnen pro Zelle ausgestellt.

Nicht mehr neu, aber optisch interessant bleiben die tiefschwarzen rückseitig kontaktierten Zellen von Sunpower.

Im Bereich der Gebäudeintegration fallen die 'XXL Biosol InDach Elemente' mit Unisolarmodulen und Solrif Rahmen ([www.solrif.ch](http://www.solrif.ch)) auf, die in der Schweiz von Sunwatt Bio ([www.sunwatt.ch](http://www.sunwatt.ch)) unter dem Namen Héliotuille Sunwatt vermarktet werden.

Vertretene Firmen aus der Schweiz auf diesem Gebiet: Die Firma Swiss Wafers ([www.swisswafers.ch](http://www.swisswafers.ch)) bot mono- und polykristalline Wafern an. Die Firma Flexcell zeigte PV Folien, flexible Module zum Laden von Akkus sowie diverse Produktideen für die Gebäudeintegration. Und die Firma Colt ([www.coltgroup.com](http://www.coltgroup.com)) war mit den bekannten PV Beschattungselementen mit weiterentwickelten Folien-Folien Modulen mit kristallinen Zellen vertreten.



Sharp



Biosol XXL InDach Elemente



Flexcell



Colt

## Wechselrichter

Der Wechselrichterbereich ist immer noch stark in Bewegung. Weiterhin treten neue Firmen mit ihren Wechselrichtern am Markt auf, werden von etablierten Firmen neue Leistungsklassen angeboten, Lücken im Sortiment geschlossen, oder stellen etablierte Firmen ganze Serien von weiterentwickelten Geräten vor. Insgesamt sind die Hersteller bestrebt, die Zuverlässigkeit und die Wirkungsgrade zu verbessern, oder etwa die DC Eingangsspannungsbereiche weiter zu vergrößern (vgl. auch Bericht HTI Burgdorf: Neues auf dem Gebiet der PV-Systemtechnik). Stetig steigende Garantieleistungen sind indirekt Zeichen von verbesserter Standfestigkeit der aktuellen Geräte. Marktführer bei den Wechselrichtern bleibt weiterhin die Firma SMA.

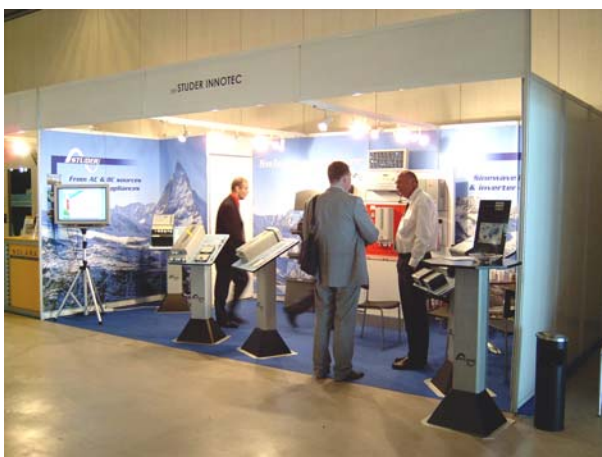
Aus Schweizer Sicht besonders hervorzuheben ist der Wechselrichterhersteller Sputnik ([www.solarmax.com](http://www.solarmax.com)), der einerseits neu einen 300 kWp Wechselrichter anbietet, und andererseits die ganze Produktpalette überarbeitet hat. Die Firma ASP, hat neben den bekannten Geräten einen Prototyp ohne Trafo vorgestellt ([www.asp-ag.com](http://www.asp-ag.com)), und die Firma Studer Innotec ([www.studer-inno.com](http://www.studer-inno.com)) stellte weiterentwickelte Geräte mit verbesserter Speicherung der Datenkonfiguration bei einem Leitungsunterbruch zwischen Wechselrichter und Batterie vor.



Solarmax



ASP



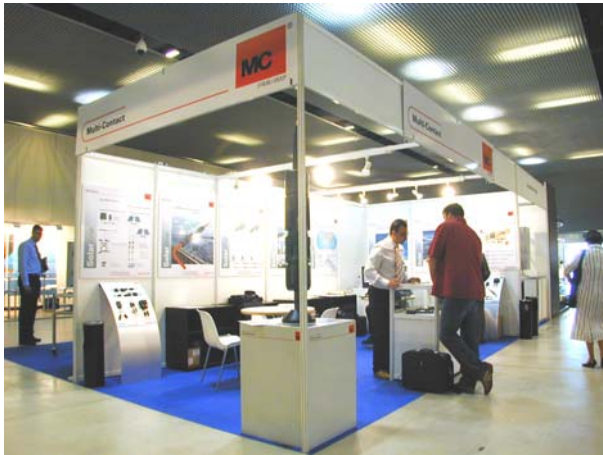
Studer Innotec



SMA

## Kabel- und Stecker

Bei den Kabeln und Steckern ist die Schweiz mit den Firmen Multi-Contact ([www.multi-contact.com](http://www.multi-contact.com)) und Huber+Suhner ([www.hubersuhner.com](http://www.hubersuhner.com)) traditionell stark vertreten. Nicht zu vergessen sind aber auch Firmen wie Tyco Electronics, die sich mit einer umfassenden Palette an Kabeln, Steckern und Dosen in den letzten Jahren in diesem Segment etabliert hat.



Multi-Contact



Huber+Suhner

## Organisationen / Forschungszentren

Die gute Vertretung von nationalen und internationalen Organisationen, von diversen Forschungsinstituten oder Firmen die zur Verbreitung von PV Fachwissen, Hintergrundinformationen oder von Informationen zur aktuellen Politik im PV Bereich beitragen, ist durch die Ausrichtung einer Europäischen PV Fachkonferenz gegeben. Das Spektrum beinhaltet beispielsweise das renommierte Fraunhofer Institut, die Europäische Vereinigung der PV Industrie EPIA, die EU Kommission oder das Photovoltaik Magazin Photon. Umfassende Informationen zu diesem Thema bieten die entsprechenden Tagungsunterlagen.

Aus Schweizer Sicht zu erwähnen ist der allzeit gut frequentierte Stand des IEA PVPS Programms, bei welchem die Schweiz derzeit den Vorsitz hat (NET Nowak Energie & Technologie AG).

Der Europäische Photovoltaik Industrieverband EPIA feiert 2005 seinen 20-jährigen Geburtstag, was entsprechend kommuniziert wurde.



PVPS



EPIA

## Diverse Produkte

Neben den Ausstellern von Zellen, Modulen, Wechselrichtern, Messequipment, Kabeln und Steckern etc. waren auch Anbieter von Montagesystem für die Gebäudeintegration, von nachgeführten Montagesystemen, Wasserpumpen, Gartenlampen usw. vertreten. Allerdings sind diese Bereiche an einer EU PV-Konferenz im Vergleich zu stark praxis- und verbraucherorientierten Veranstaltungen wie der Intersolar traditionell schwächer vertreten.

Aus Schweizer Sicht ist in diesem Bereich die Firma Grundfos ([www.grundfos.com](http://www.grundfos.com)) zu erwähnen.



Grundfos

## Aussicht

Mit der zunehmenden Anzahl von Akteuren auf dem PV Markt wird es für den einzelnen Anbieter immer schwieriger, sich von der Masse abzuheben. Die inzwischen grosse Anzahl von Produkten wird z.B. auch durch die regelmässigen Marktübersichten von Photon verdeutlicht.

In diesem Umfeld gewinnt professionelles Marketing immer mehr an Bedeutung und ist für den Verkauf mindestens ebenso wichtig wie Preis, Qualität und Lebensdauer. Im Prinzip bewegt sich der Photovoltaik Bereich in die Richtung etablierter industrieller Produkte. Der Kunde setzt ein gutes Funktionieren, Lebensdauer und Qualität voraus. Den Unterschied machen Marketing, Preis oder unterschiedliche Optionen aus, welche die verschiedenen Produkte zu bieten haben. Die entsprechenden spezifischen Zertifikate (IEC, TÜV usw.) geben inzwischen auch keine Möglichkeit mehr, sich gegenüber den Konkurrenten profilieren. Sie sind eine Grundvoraussetzung für den Marktzugang. Gleichzeitig sind vor dem Hintergrund der seit Jahren weltweit hohen PV-Wachstumsraten von über 30% grosse Anstrengungen notwendig, um eine griffige Umsetzung der Qualitätssicherung sicherstellen zu können.

Anhand der laufenden und der in den nächsten Jahren erwarteten Aktivitäten im PV Bereich ist auch weiterhin mit viel Bewegung im PV Markt zu rechnen.

### Am Rande erwähnt

Inmitten von über 2000 Besuchern, 270 Vorträgen, 800 Postern und über 250 Ausstellern sind kurze Erholungspausen zur Regeneration definitiv unumgänglich.



Schweizer Akteur bei einer kurzen Siesta

## Anhang

### Liste der Schweizer Beiträge

**P** Plenary Session  
**O** Oral Presentation  
**V** Visual Presentation

Titel	Autoren	P	O	V
Subsidy, Check and Monitoring of PV-Plants: A Happy Ending Story	<ul style="list-style-type: none"> <li>N. Cereghetti, A. Realini &amp; A. Bernasconi SUPSI, Canobbio, Switzerland</li> </ul>		X	
Failure Detection Routine for Grid Connected PV Systems as Part of the PVSAT2 Project	<ul style="list-style-type: none"> <li>S. Stettler, P. Toggweiler Enecolo, Mönchaltorf, Switzerland</li> <li>E. Wiemken, W. Heidenreich Fraunhofer ISE, Freiburg, Germany</li> <li>A.C. de Keizer, W.G.J.H.M. van Sark University of Utrecht, The Netherlands</li> <li>S. Feige, M. Schneider, G. Heilscher Meteo-control, Augsburg, Germany</li> <li>E. Lorenz, A. Drews, D. Heinemann Carl von Ossietzky University, Oldenburg, Germany</li> </ul>		X	
Light-Induced Degradation of Thin-Film Microcrystalline Silicon Solar Cells	<ul style="list-style-type: none"> <li>F. Meillaud, E. Vallat-Sauvain, X. Niquille, M. Dubey, A. Shah, C. Ballif University of Neuchâtel, Switzerland</li> </ul>		X	
Recent Development of Solar Cells on Low-Cost Plastic Substrates	<ul style="list-style-type: none"> <li>V. Terrazzoni-Daudrix, J. Guillet, J. Bailat, F. Freitas, X. Niquille, A. Shah, C. Ballif University of Neuchâtel, Switzerland</li> <li>A. Hansen OVD-Kinegram, Zug, Switzerland</li> <li>D. Fischer, Y. Ziegler, A. Closset VHF-Technologies, Yverdon-les-Bains, Switzerland</li> </ul>		X	
Interfacial Phase Formation at Interfaces Between Cu(In,Ga)Se <sub>2</sub> and In <sub>x</sub> S <sub>y</sub> Deposited by Physical Vapor Deposition	<ul style="list-style-type: none"> <li>D. Abou-Ras, G. Kostorz, A.N. Tiwari ETH-Zurich, Switzerland</li> <li>A. Strohm, H.-W. Schock University of Stuttgart, Germany</li> </ul>		X	
Microcrystalline Silicon Single-Junction and "Micromorph" Tandem Solar Cells Prepared in UNAXIS KAI PECVD Single-Chamber Reactors	<ul style="list-style-type: none"> <li>J. Meier, U. Kroll, J. Spitznagel, S. Benagli, A. Huegli Unaxis SPTec, Neuchâtel, Switzerland</li> <li>T. Roschek, C. Ellert, G. Pfanner, W. Stein, O. Kluth, G. Buechel, J. Springer, A. Buechel Unaxis Balzers, Liechtenstein</li> </ul>	X		
Flat Roof Integration of A-Si Modules Laminated Together with Flexible Polyolefines Membranes	<ul style="list-style-type: none"> <li>D. Chianese, E. Burà, A. Bernasconi SUPSI, Canobbio, Switzerland</li> </ul>		X	
Recent Advances in Dye Sensitized Solar Cells	<ul style="list-style-type: none"> <li>K.R. Thampi, P. Liska, P. Wang, S.M. Zakeeruddin, L. Schmidt-Mende, C. Klein, P. Comte, M. Graetzel EPFL, Lausanne, Switzerland</li> </ul>		X	
CIGS Growth Process for Solar Cells on Flexible Polymer Substrates	<ul style="list-style-type: none"> <li>D. Rudmann, D. Brémaud, M. Kaelin, H. Zogg, A.N. Tiwari ETH-Zurich, Switzerland</li> </ul>		X	
Single Junction GaAs Solar Cells on Ge Virtual Substrates Grown Directly on Silicon by LEPECVD	<ul style="list-style-type: none"> <li>R. Ginige &amp; B. Corbett NMRC, Cork, Ireland</li> <li>J. Hilgarth RWE Space Solar Power, Heilbronn, Germany</li> <li>H. Von Känel EpiSpeed, Zurich, Switzerland</li> <li>G. Isella Politecnico di Milano, Como, Italy</li> </ul>		X	

Titel	Autoren	P	O	V
Total Efficiency $\eta_{tot}$ - A New Quantity for Better Characterisation of Grid-Connected PV Inverters	<ul style="list-style-type: none"> <li>H. Haeblerlin, L. Borgna, M. Kaempfer, U. Zwahlen Berner Fachhochschule HTI, Burgdorf, Switzerland</li> </ul>		X	
Flexible and Lightweight Cu(In,Ga)Se <sub>2</sub> on Al-Foils	<ul style="list-style-type: none"> <li>D. Brémaud, D. Rudmann, H. Zogg, A. N. Tiwari ETH Zürich, Switzerland</li> <li>G. Bilger University of Stuttgart, Germany</li> </ul>		X	
PV-ERA-NET - Programmers' Approach to Strengthen Europe's Position in PV Research and Technology	<ul style="list-style-type: none"> <li>I. Arzberger Forschungszentrum Jülich, Germany</li> <li>A. Claverie ADEME, Sophia Antipolis, France</li> <li>C. Diamanti GSRT, Athens, Greece</li> <li>M. Gutschner, S. Nowak NET, St. Ursen, Switzerland</li> <li>M. Hall STEM, Eskilstuna, Sweden</li> <li>M. Hübner BMVIT, Vienna, Austria</li> <li>M. Montes Ponce de Leon MEC, Madrid, Spain</li> <li>K. Newell DTI, London, United Kingdom</li> <li>C. Protopogopoulos CRES, Athens, Greece</li> <li>M. Rantil Formas, Stockholm, Sweden</li> <li>W. Schöll MVEL, Düsseldorf, Germany</li> <li>H.-G. Schwarz FFF, Vienna, Austria</li> <li>A. Suska-Bulawa MSRIT, Warsaw, Poland</li> <li>J. Swens Senter NOVEM, Utrecht, The Netherlands</li> <li>R. Urban MWF, Düsseldorf, Germany</li> <li>J. Windeleff DEA, Copenhagen, Denmark</li> <li>U. Wolfer BFE, Bern, Switzerland</li> </ul>		X	
Recommendations for PV RTD in European Union New Member States	<ul style="list-style-type: none"> <li>S.M. Pietruszko, A. Mikolajuk Warsaw University of Technology, Poland</li> <li>L. Fara, S. Fara NARE, Bucharest, Romania</li> <li>P. Vitanov, N. Stratieva Bulgarian Academy of Sciences, Sofia, Bulgaria</li> <li>J. Rehak, R. Barinka Solartec, Roznov pod Radhostem, Czech Republic</li> <li>E. Mellikov Technical University of Tallinn, Estonia</li> <li>M. Pálffy Solart-System, Budapest, Hungary</li> <li>P. Shipkovs Latvian Academy of Sciences, Riga, Latvia</li> <li>A. Krotkus SPI, Vilnius, Lithuania</li> <li>V. Šály SUT FEI, Bratislava, Slovakia</li> <li>F. Nematic ApE, Ljubljana, Slovenia</li> <li>J. Swens SenterNOVEM, Sittard, The Netherlands</li> <li>S. Nowak NET, St. Ursen, Switzerland</li> <li>H. Fechner Arsenal, Vienna, Austria</li> <li>C. Protopogopoulos CRES, Athens, Greece</li> </ul>		X	
Operational Performance of GCS: Overview of the Task 2 Results	<ul style="list-style-type: none"> <li>U. Jahn ISFH, Emmerthal, Germany</li> <li>T. Nordmann TNC Consulting, Erlenbach, Switzerland</li> </ul>	X		
Feed-in Tariffs and BIPV: Can we Make a Winning Team?	<ul style="list-style-type: none"> <li>T. Nordmann TNC Consulting, Erlenbach, Switzerland</li> </ul>	X		

Titel	Autoren	P	O	V
PV for Rural Electrification, and the Other (Competing) Options	<ul style="list-style-type: none"> <li>B. McNelis IT Power, Chineham, United Kingdom</li> <li>A. Arter Entec, St. Gallen, Switzerland</li> </ul>		X	
PV Enlargement: European Championship for PV Modules - Over 10 Module Technologies Competing for Best Performance	<ul style="list-style-type: none"> <li>M. Grottko, P. Helm, A. Kiessling WIP-Renewable Energies, Munich, Germany</li> <li>K. Gehrlicher Gehrlicher Umweltschonende Energiesysteme, Munich, Germany</li> <li>G. Becker ATB, Absam, Austria</li> <li>J. Rehak, S. Jakubovic Solartec, Roznov pod Radhostem, Czech Republic</li> <li>L. Ceccherini University of Florence, Italy</li> <li>D. Chianese, G. Friesen LEEE-TISO, Cannobio, Switzerland</li> </ul>		X	
The IEA PVPS Programme - Towards Sustainable Global Deployment of Photovoltaics	<ul style="list-style-type: none"> <li>S. Nowak NET Nowak Energy &amp; Technology, St. Ursen, Switzerland</li> </ul>	X		
Preparation and Characterization of Cu(In,Ga)Se <sub>2</sub> Layers by Selenization of Electrodeposited Cu-In-Ga Precursors	<ul style="list-style-type: none"> <li>J. Kois, S. Bereznev, O. Volobujeva Tallinn Technical University, Estonia</li> <li>M. Ganchev, E. Tzvetkova, N. Stratieva Bulgarian Academy of Sciences, Sofia, Bulgaria</li> <li>M. Kaelin, A. Tiwari ETH-Zurich, Switzerland</li> </ul>			X
Growth and Characterization of CIGS Solar Cells by RF Magnetron Sputtering with Continuous SE Evaporation and End Point Detection	<ul style="list-style-type: none"> <li>A.F. Da Cunha, P.M.P. Salomé, F. Kurdesau University of Aveiro, Portugal</li> <li>D. Rudmann ETH-Zurich, Switzerland</li> </ul>			X
Efficiency of SunPower's SPR-90 Module and Output at a Sunny Site in Jordan	<ul style="list-style-type: none"> <li>W. Durisch, J.-C. Mayor Paul Scherrer Institute, Villigen, Switzerland</li> <li>K.-H. Lam, J. Close The University of Hong Kong, P.R. China</li> </ul>			X
A Selective Rare Earth Emitter Concept for Solar Thermophotovoltaics	<ul style="list-style-type: none"> <li>W. Tobler, W. Durisch Paul Scherrer Institute, Villigen, Switzerland</li> </ul>			X
Inorganic TiO <sub>2</sub> /Cu(In,Ga)Se <sub>2</sub> Nanocomposit Layers for Low-Cost Solar Cells	<ul style="list-style-type: none"> <li>M. Kaelin, D. Rudmann, A.N. Tiwari ETH-Zurich, Switzerland</li> <li>T. Meyer, A. Meyer Solaronix, Aubonne, Switzerland</li> </ul>			X
Optimum DC Operating Voltage for Grid-Connected PV-Plants - Choice of VMPP for Measurement of Efficiency and VMPP-STC at PV Plants for Grid-Connected Inverters with a Wide DC Input Voltage Range	<ul style="list-style-type: none"> <li>H. Häberlin University of Applied Sciences HTI, Burgdorf, Switzerland</li> </ul>			X
Euro Realo Inverter Efficiency: DC-Voltage Dependence	<ul style="list-style-type: none"> <li>F.P. Baumgartner NTB University of Applied Sciences, Buchs, Switzerland</li> </ul>			X
CIGS Solar Modules Contacted by Conducting Adhesives and Ultrasonic Welding	<ul style="list-style-type: none"> <li>K. Herz, S. Schröder, M. Powalla ZSW, Stuttgart, Germany</li> <li>G. Van Wuytswinkel, G. Dreezen, G. Luyck Emerson &amp; Cuming ICI, Westerlo, Belgium</li> <li>H. Schäfer, T. Kowalik, K. Marnitz Fraunhofer IFAM, Bremen, Germany</li> <li>R. Züst Telsonic, Bronschhofen, Switzerland</li> <li>B. Dimmler, F. Krautter Würth Solar, Marbach a. Neckar, Germany</li> </ul>			X

Titel	Autoren	P	O	V
US Mission in Geneva Switzerland Goes BIPV- 1st Fully Integrated Application at an American Diplomatic Post	<ul style="list-style-type: none"> <li>• D. Ruoss Enecolo, Mönchaltorf, Switzerland</li> <li>• S. Leu, S.-M. Störing SunTechnics Fabrisolar, Küsnacht, Switzerland</li> <li>• A. Kottmann BE Netz, Luzern, Switzerland</li> <li>• M. Christensen OBO Department of State, Arlington, USA</li> </ul>			X
PVT Roadmap: A European Guide for the Development and Market Introduction of PVT Technology	<ul style="list-style-type: none"> <li>• M. Bakker, W. Van Helden, H. Zondag ECN, Petten, The Netherlands</li> <li>• P. Affolter Solstis, Lausanne, Switzerland</li> <li>• W. Eisenmann ISFH, Emmerthal, Germany</li> <li>• H. Fechner Arsenal Research, Vienna, Austria</li> <li>• M. Rommel Fraunhofer ISE, Freiburg, Germany</li> <li>• A. Schaap Ecofys, Utrecht, The Netherlands</li> <li>• H. Sorensen Esbensen Radgivende Ingeniører, Copenhagen, Denmark</li> <li>• Y. Tripanagnostopoulos University of Patras, Greece</li> </ul>			X
Edge Isolation of PV Cells Using the Water Jet Guided Laser Technology	<ul style="list-style-type: none"> <li>• D. Perrottet, S. Amorosi, B. Richerzhagen Synova, Ecublens, Switzerland</li> </ul>			X
A Theoretical Modelling of Consumables Usage as a Tool for Cost Reduction in Silicon Wafering Using Multi-Wire Slurry Saw	<ul style="list-style-type: none"> <li>• P.M. Nasch, S. Schneeberger HCT Shaping Systems, Cheseaux-sur-Lausanne, Switzerland</li> </ul>			X
Impact of Incomplete Ionisation on Modelling of c-Si Solar Cells at Room Temperature	<ul style="list-style-type: none"> <li>• P.P. Altermatt Australian National University, Canberra, Australia</li> <li>• A. Schenk, B. Schmithüsen ETH-Zurich, Switzerland</li> <li>• G. Heiser University of NSW, Sydney, Australia</li> </ul>			X
Simulation of Single Junction GaAs Solar Cells Considering Optical Coupling	<ul style="list-style-type: none"> <li>• M. Hermle, B. Mack, A.W. Bett Fraunhofer ISE, Freiburg, Germany</li> <li>• G. Letay Integrated System Engineering, Zurich, Switzerland</li> </ul>			X
Effect of ZnO Layer as Intermediate Reflector in Micromorph Solar Cells	<ul style="list-style-type: none"> <li>• D. Dominé, L. Feitknecht, A. Shah, C. Ballif University of Neuchâtel, Switzerland</li> </ul>			X
Effect of Rough ZnO Layers in Improving Performances of Microcrystalline Silicon Solar Cells	<ul style="list-style-type: none"> <li>• J. Steinhäuser, L. Feitknecht, S. Faÿ, R. Schlüchter, A. Shah, C. Ballif University of Neuchâtel, Switzerland</li> <li>• J. Springer, L. Mullerova-Hodakova, A. Purkt, A. Poruba, M. Vanecek Academy of Science, Prague, Czech Republic</li> </ul>			X
Optical Thickness Monitoring for the a-Si Production Line	<ul style="list-style-type: none"> <li>• S. Janki, F.P. Baumgartner NTB University of Applied Sciences Buchs, Switzerland</li> <li>• C. Ellert Unaxis, Balzers, Liechtenstein</li> </ul>			X
Modification of Amorphous and Microcrystalline Silicon Film Properties after Irradiation with MeV and GeV Protons	<ul style="list-style-type: none"> <li>• H.C. Neitzert, M. Ferrara, G.D. Licciardo, A. Di Bartolomeo University of Salerno, Fisciano, Italy</li> <li>• Y. Ma &amp; W. Fahrner University of Hagen, Germany</li> <li>• E. Bobeico, P. Delli Veneri, L.V. Mercaldo ENEA, Portici, Italy</li> <li>• L. Gialanella, M. Romano, B. Limata INFN, Napoli, Italy</li> <li>• F. Ravotti, M. Glaser CERN, Geneve, Switzerland</li> </ul>			X

Up-Scaling of LP-CVD ZnO to 1.4 m <sup>2</sup> for Silicon Thin Film Solar Module Application	<ul style="list-style-type: none"> <li>• O. Kluth, D. Plesa, H. Kuhn, M. Popeller, T. Roschek, J. Springer, W. Stein, A. Buechel Unaxis, Balzers, Liechtenstein</li> <li>• U. Kroll, A. Huegli, S. Benagli, J. Meier Unaxis SPTec, Neuchâtel, Switzerland</li> </ul>			X
Amorphous Silicon Single-Junction P-I-N-Solar Cells Prepared in Industrial KAI™ PECVD Reactors Using LP-CVD ZnO	<ul style="list-style-type: none"> <li>• S. Benagli, U. Kroll, J. Meier, J. Spitznagel, A. Hügli, G. Androustopoulos Unaxis SPTec, Neuchâtel, Switzerland</li> <li>• T. Roschek, C. Ellert, G. Pfanner, W. Stein, O. Kluth, J. Springer, G. Buechel, A. Buechel Unaxis, Balzers, Liechtenstein</li> </ul>			X
Statistics and Trends in Photovoltaic Applications - Results from the Latest Surveys in Selected IEA-PVPS- and Non-IEA-PVPS Countries Along the PV Value Chain	<ul style="list-style-type: none"> <li>• P. Hüsser Nova Energie, Aarau, Switzerland</li> <li>• I. Kaizuka RTS Corporation, Tokyo, Japan</li> </ul>			X
<b>Total</b>		<b>4</b>	<b>15</b>	<b>21</b>