


[English](#)

## Solar-Report

[Diese Seite drucken](#)
[Branche](#) [Bücher](#) [Geld](#) [Impressum](#) [Initiative](#) [Lexikon](#) [Pinnwand](#) [Service](#) [Solar-Magazin](#) [Solarstore](#) [Termine](#) [Wissen](#)


### Solar-Magazin

- . [Solar-Report](#)
- . [Solar-News](#)
- . [Solar-Links](#)
- . [Anlage / Produkt des Monats](#)
- . [Solarserver-Standpunkt](#)
- . [Akteure](#)
- . [Solar-Interviews](#)
- . [Archiv:](#)
  - . [Solarstrom](#)
  - . [Solarwärme](#)
  - . [Solares Bauen](#)
  - . [Bioenergie](#)
  - . [Brennstoffzelle](#)
  - . [Nachrichten](#)
  - . [Newsletter](#)
- . [Ihr Vorschlag](#)

### Solar-Reports:

- . [Konzentrator-Photovoltaik: Der Weg zu hohen Wirkungsgraden](#)
- . [Große Solarwärmanlagen für warmes Wasser und Heizungsunterstützung](#)
- . [Große Solarstrom-Kraftwerke: der Trend geht zu Dünnschicht-Modulen](#)
- . [Gebäudeintegrierte Photovoltaik: Ein Nischenmarkt mit Perspektive](#)
- . [Photovoltaik-Industrie wächst stark, trotz aller Hindernisse](#)
- . [Pellets und Solar: Ökologische und ökonomische Heizung für Neu- und Altbauten](#)



Suche im Solarserver

### Konzentrator-Photovoltaik: Der Weg zu hohen Wirkungsgraden

von Francisca Rubio & Pedro Banda,  
ISFOC, Puertollano, Spanien  
23.04.2009

Die Kosten von Photovoltaikanlagen beeinflussen sowohl den Markt als auch die Notwendigkeit von Förderprogrammen, wie beispielsweise Einspeisetarifsystemen. Konzentrator-Photovoltaik (Concentrator Photovoltaics, kurz CPV) eröffnet zwei Wege zu einer kostengünstigen Energieversorgung der Zukunft: einerseits bietet sie Systeme mit hohen Wirkungsgraden und andererseits hat sie das größte Potenzial zur Senkung der Produktionskosten. Der Ansatz, die Kosten von Photovoltaiksystemen durch die Nutzung konzentrierender optischer Systeme zu senken, wird seit den 70er Jahren des 20. Jahrhunderts verfolgt. Doch außer den so gut wie nicht vorhandenen Märkten verhinderten bislang mehrere Probleme die erfolgreiche Einführung der CPV. Dieser Bericht verfolgt und schreibt den Lösungsansatz fort, dass der Ersatz der photovoltaisch aktiven Fläche - die teuerste Komponente - durch bekannte und billigere optische Elemente der Schlüssel zum Erfolg sein wird. Der Solar-Report ist eine gekürzte Version der Erstveröffentlichung in "Photovoltaics International" Ausgabe 2 / 2008.

Solar-Report als [PDF-Dokument](#)



### SPEED Solar

Maßgeschneidert für die Aufgaben:

- Bestandsführung und Reporting in Wp und Stück
- Stochastische Produktion

**ai**  
ai informatics



Kleine Solarzellen in großen Kraftwerken: CPV-Systeme von Concentrix in Spanien. Quelle: Concentrix Solar GmbH



## Die Erfolgskomponenten: Hochleistungssolarzellen, kostengünstige Optik und präzise Nachführung

Um die Leistung konzentrierender Photovoltaiksysteme zu optimieren, müssen die Solarzellen einen hohen Wirkungsgrad haben – weit höher als die 20 % Umwandlungseffizienz im Labor, die in den ersten Jahren der Forschung und Entwicklung als Spitzenwert erreicht wurden. Die Solarzellentechnologie erlaubte damals keine hohe Konzentration - maximal waren 40 % möglich - und die optischen Elemente waren aus diesem Grunde recht einfach. Die Technologie auf Siliziumbasis mit ihren niedrigen Wirkungsgraden verhinderte eine deutliche Verkleinerung der Solarzellenfläche, die Temperaturbeständigkeit war gering, was zu Ertragsrückgängen aufgrund nachlassender Modulleistung (Degradation) führte. Im SOLERAS-Projekt in Saudi Arabien, das von den Sandia Labors in den 1980er installiert wurde, degradierten die Systeme in sechs Jahren um bis zu 20 Prozent. Die wesentliche Ursache war, dass sich die Lamine bei hohen Temperaturen auflösten. Eine weitere Schwierigkeit ergab sich aus der Verwendung veralteter Nachführtechnologie, die Probleme hinsichtlich der Steuerung und Kontrolle mit sich brachte. Trotz dieser Schwierigkeiten wurde die Anlage 18 Jahre lang betrieben.



Der Erfolg der CPV-Technologie hängt wesentlich von drei Komponenten ab: Hochleistungssolarzellen, Optik und Nachführung. Bei allen drei Elementen wurden in den letzten fünf Jahren deutliche Fortschritte erzielt und damit kommerzielle Systeme entwickelt, die wettbewerbsfähig sind.



## Winzige Solarzellen mit hohem Wirkungsgrad



Die Zelltechnologie wurde deutlich verbessert und der Wirkungsgrad gesteigert. Siliziumbasierte Solarzellen mit Rückseitenkontakten erreichten einen Rekordwirkungsgrad von 27,6 % und einige Hersteller wie Amonix oder Guascor Foton arbeiten mit solchen Zellen bei 400facher Konzentration. Den größten Fortschritt bedeuten jedoch Solarzellen auf Grundlage von III-V-Halbleitern. Solarzellen aus III-V-Elementen wie Galliumarsenid (GaAs), Indium, Aluminium und Phosphor verbessern das Temperaturverhalten der Zelle. GaAs hat einen Temperaturkoeffizienten von  $1.76 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}$ , Silizium von  $3.21 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}$ . Der Temperaturkoeffizient bezieht den sinkenden Wirkungsgrad einer Solarzelle bei steigender Umgebungstemperatur.

Die III-V-Technologie ermöglichte zudem die Entwicklung von Stapelsolarzellen mit mehreren Schichten und p-n-Übergängen. Diese Zellen nutzen das Solarstrahlungsspektrum besser aus, weil jede Schicht optimiert wurde, um bestimmte Wellenlängen zu absorbieren. Auf Grundlage der Farbempfindlichkeit liegt der theoretisch maximale Wirkungsgrad von Siliziumzellen bei 40 %, Stapelsolarzellen hingegen können in der Theorie maximal 86 % erreichen. Die gegenwärtigen Rekordinhaber sind Spectrolab (40,7 %) und das National Renewable

Energy Laboratory (40,8 %). Das Fraunhofer ISE erreichte Anfang 2009 sogar einen Wirkungsgrad von 41,1 %.

Diese hohe Umwandlungseffizienz ermöglicht kleinere Zellflächen, die bis auf einen Quadratcentimeter reduziert werden können. Sogar Zellflächen von einem Quadratmillimeter sind möglich, wie beispielsweise in den Systemen von Isofotón oder Concentrix. Mit der kleineren Fläche verbessert sich das thermische Verhalten und der serielle Widerstand wird geringer. Im Moment arbeiten sämtliche Systeme mit Stapelzellen mit einer mehr als 350-fachen Konzentration, der Großteil sogar mit einem Faktor, der größer ist als 450 (Concentrix, Solfocus, Arima...). Einige bündeln das Sonnenlicht 1.000-fach (Isofotón). Der Weg zu höheren Konzentrationsfaktoren ist also frei.

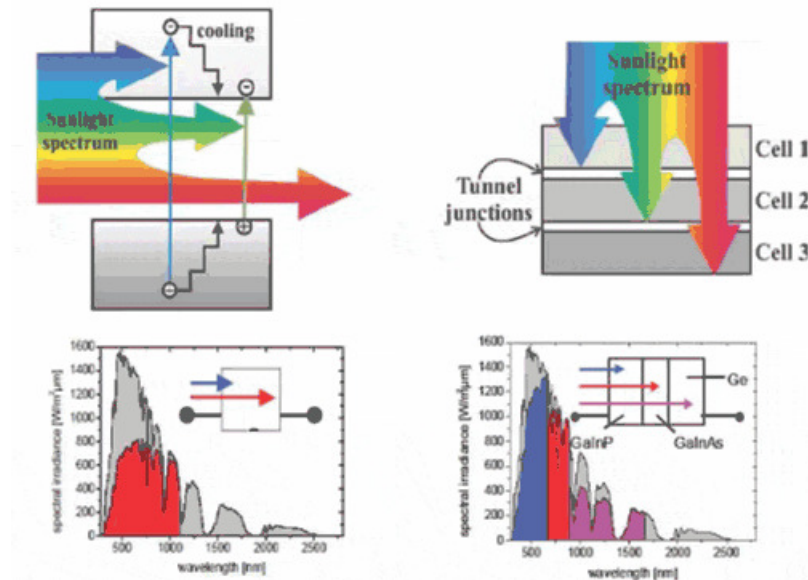


Abb. 1: Das Solarspektrum von Silizium- und Stapelsolarzellen (mit freundlicher Erlaubnis von A. Luque; CONSOLIDER-Projekt)

## Wärmemanagement entscheidend

Das Wärmemanagement bleibt eine Herausforderung für die CPV-Systeme. Die meisten nutzen thermische Elemente (Wärmeableiter) zur passiven Kühlung. Größtenteils werden die Zellen auf Aluminiumplatten montiert, die sich als guter elektrischer Isolator und hervorragender Wärmeleiter auszeichnen. Um das Temperaturverhalten zu verbessern, werden auch sehr kleine Kupfer- oder Aluminiumplatten eingesetzt. Weitere Konzepte leiten die Wärme direkt zum Metallgehäuse des Moduls und wiederum andere arbeiten mit dazwischen geschalteten Kühlsystemen. In großen Parabolspiegelsystemen, wie beispielsweise von Solar Systems (Australien), werden aktive Kühlsysteme benötigt, weil alle Zellen eng beieinander liegen und die Wärmeableitung geringer ist.

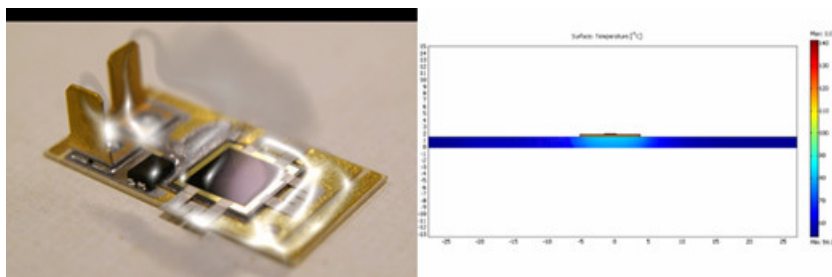


Abb. 2: Solarzelle mit Wärmeableiter aus Aluminium; Wärmesimulation (Veröffentlichung mit freundlicher Erlaubnis von Renovalia CPV)

## Optik ist billiger als Halbleiter

Optische Konstruktionen, welche die hohen Anforderungen an hochkonzentrierende Systeme erfüllen, sind der Schlüssel zu neuen CPV-Systemen. Herkömmliche Systeme nutzen flache Fresnel-Linsen, wie zum Beispiel die Anlagen von Sandia, Ramon Areces und Euclides. Auch in aktuellen Systemen ist die Fresnel-Linse die erste Wahl für Unternehmen wie beispielsweise Concentrix, Amonix, Guascor, Emcore, Arima ECO, Renovalia CPV, Sol 3G und Entech.

Fresnel-Linsen werden als Schlüsselkomponente bewertet, weil sie einen einfachen Systemaufbau ermöglichen, ihre System-Eigenschaften gut zu simulieren sind und vor allem weil sie günstig zu haben sind. Dennoch müssen sich die Hersteller solcher Linsen einigen Herausforderungen stellen, wenn es um hochkonzentrierende CPV-Anlagen geht. Um Fresnel-Linsen zu fertigen, werden verschiedene Verfahren angewendet, vom Spritz- oder Druckguss (zwei Methoden die durch schwierige Feineinstellung charakterisiert sind) bis hin zu Polymer-Filmen (Silikone), die in der Regel recht teuer sind. Um die Einfallswinkel eines optischen Systems zu erweitern kann auch ein zweites Element verwendet werden. Dabei handelt es sich meist um ein Glas oder ein Metallprisma, die beide die Lichtbündelung und Absorption erhöhen. Doch auch optische Systeme ohne ein zweites Element können hohe Wirkungsgrade erzielen.

Der Einsatz von Spiegeln ist eine weitere Möglichkeit, die in verschiedener Weise genutzt werden kann: Zum Beispiel in Parabolschüsseln, auf deren Boden die Zellen montiert sind (wie bei den Anlagen von Solar Systems) oder mit einem Parabolspiegel pro Zelle, der zusätzlich reflektiertes Licht aufnehmen kann, wie dies bei den Systemen von Solfocus der Fall ist.

Zusätzlich können auch nicht bildgebende Verfahren wie die Lichtbrechung angewendet werden, wie z.B. das "Total Internal Reflexion System (TIR)", mit dem Isofotón arbeitet. In den vergangenen Jahren wurden auch neue optische Konzepte entwickelt, die Reflexion und Brechung kombinieren und besonders hohe Konzentrationsfaktoren bei einem großen Einfallswinkel ermöglichen.

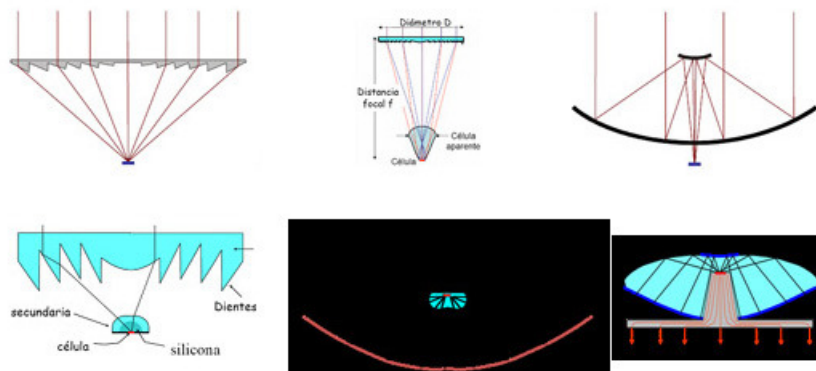


Abb. 3: Verschiedene optische Konzepte: von der einfachen Fresnel-Linse über Spiegel bis hin zur TIR, XR und RXI-Optik.

## Nachführsysteme

Abhängig vom Einfallswinkel der Optik müssen Nachführsysteme mehr oder weniger genau sein und der jeweiligen Modultechnologie angepasst werden. Bis zu einem Konzentrationsfaktor von 2,5 ist keine Nachführung erforderlich. Für mittlere Konzentrationsfaktoren (bis zu 40-fache Bündelung) können einachsige Tracker genutzt werden, mit denen die Module auf der Nord-Süd-Achse oder von Osten nach Westen nachgeführt werden, wie beispielsweise beim Euclides-System. Für hochkonzentrierende Systeme ist eine zweiachsige, extrem exakte Nachführung unerlässlich.

Die Steuerung des Nachführsystems kann in offenen Zyklen (nach dem Sonnenstand, astronomische Nachführung) oder in geschlossenen "Loops" (mit Lichtsensoren) erfolgen. Mit diesen Kontrollmethoden können zwar Nachführfehler exakt bestimmt werden, die Genauigkeit der Nachführung kann jedoch abnehmen, wenn in offenen Regelkreisen kontrolliert wird und das System nicht exakt installiert und ausgerichtet ist. Ein System mit geschlossenem Regelkreis hingegen wird nicht genau arbeiten, wenn zum Beispiel Wolken den Sensor verschatten. Deshalb arbeiten Systeme auf dem neuesten Stand der Technik mit einer zweifachen Steuerung und kombinieren Regelsysteme auf Grundlage des Laufs der Sonne mit der Messung der Strahlungsintensität oder mit Sensoren zur Leistungsüberwachung.



Abb 4: Das System von Euclides. Abb. 5: Zweiachsig nachgeführtes System.

## Das Institut für konzentrierende Photovoltaiksysteme ISFOC

Der technologische Fortschritt und die Entwicklung des Photovoltaik-Marktes haben mittlerweile den Einsatz der CPV im großen Stil ermöglicht. Hochleistungssolarzellen sind verfügbar, neue optische Konzepte oder Verfahren wurden entwickelt, neue Tracking-Systeme haben sich bewährt. Auf der Grundlage bewährter Technik und mit industrieller Produktionstechnik können konzentrierende Photovoltaikanlagen im Kraftwerksmaßstab gebaut werden.

Damit dies Wirklichkeit wird, wurde im September 2006 das ISFOC gegründet, als Ergebnis des Forschungs- und Entwicklungsplans des spanischen Forschungsministeriums, der Regierung der Region La Mancha und des Solarenergieinstituts der Universität von Madrid. Das spanische Forschungs- und Bildungsministerium finanziert das Vorhaben.

Um Erfahrungen mit der Technologie zu sammeln wird das ISFOC eine Reihe von CPV-Kraftwerken mit einer Gesamtleistung von 3 Megawatt (MW) betreiben, in denen unterschiedliche Technologien eingesetzt werden. In der ersten Testphase beteiligten sich Unternehmen wie Isofotón (Spanien), Solfocus (USA) und Concentrix (Deutschland). An der zweiten Phase nehmen Emcore (USA), Sol 3G (Spanien), Arima Eco (Taiwan) und Renovalia CPV (Spanien) teil.

Mehr als ein Megawatt Leistung wurde im ersten Bauabschnitt bereits installiert und an das Netz angeschlossen. Ziel der Pilotanlagen ist, die Industrie beim Aufbau von Produktionslinien zu unterstützen und belastbare Informationen zur Zuverlässigkeit, Eignung und Produktion der einzelnen Technologien zu liefern.



Abb. 6. CPV-Kraftwerke des ISFOC in Puertollano. Quelle. Denis Lenardic; pvresources.com

## Standards und Tests für CPV-Systeme, Ausblick

Im Dezember 2007 wurde die erste Norm für CPV-Anlagen festgelegt (IEC 62108). Auf ihrer Grundlage werden elektrische und mechanische Tests ausgeführt und die Anlagen unter verschiedenen klimatischen Bedingungen analysiert.

Technologie, Standards und Pilotanlagen zeigen, dass die CPV-Industrie außerordentliche Fortschritte macht. Die Zahl der CPC- und Zellhersteller stieg in den letzten beiden Jahren merklich und mittlerweile wurden beträchtliche Kapazitäten installiert.

Die CPV steht nun am Beginn der kommerziellen Nutzung und eröffnet enorme Wachstumspotenziale. Da der Weltmarkt noch von staatlichen Förderprogrammen abhängt, sind spezielle Maßnahmen für ihr Wachstum erforderlich, unabhängig von der Unterstützung für andere erneuerbare Energiequellen. Wir erwarten, dass der erste Einsatz die Möglichkeiten dieser Technologie aufzeigt, um mit angemessenen Kosten und entsprechender Produktivität kurzfristig Netzparität zu erreichen.

Über die Autoren

Francisca Rubio ist diplomierte Elektroingenieurin (Universität Granada) und arbeitete zehn Jahre in den Bereichen Elektronik und LED in der Forschungsabteilung von Valeo Lighting in Martos, wo sie LED-Scheinwerfer für die Automobilindustrie entwickelte. Seit September 2006 ist sie Chefin der Forschungs- und Entwicklungsabteilung des ISFOC.

Dr. Pedro Banda studierte Elektrotechnik an der Universität Melbourne (Australien) und graduierte als Telekommunikationsingenieur an der TU Madrid. Seinen Erfahrungshintergrund bildet die Halbleiterindustrie, in der er führende Positionen innehatte, z.B. bei Lucent Technologies, BP Solar (Spanien) und IMEC (Belgien). Banda ist Generaldirektor des ISFOC.

Übersetzung und redaktionelle Bearbeitung: Rolf Hug, solarserver.de

HERSTELLER	Sitz	Installierte Kapazität (MW; Nov. 2008)	Standort der Anlagen	Produktionskapazität (MW/Jahr)
Abengoa Solar	Spanien	1,2	Spanien	
Guascor foton	Spanien	10,275	Spanien	15
Isofotón	Spanien	0,4	Spanien	5
Renovalia CPV CS La Mancha	Spanien	0	Spanien	11

Meet the faces  
shaping  
today's  
solar  
industry



Anton Milner  
Q-Cells CEO



Richard Feldt  
CEO of Evergreen Solar



Åsmund Fodstad  
VP REC Solar

Anzeigen

[Nachrichten](#)

Aktuelle Nachrichten  
online - epochtimes.de

[Altenpflege](#)

Humanis Altenpflege -  
Pflegedienst und  
Seniorenbetreuung.

<b>Sol 3G</b>	Spanien	1,4	Spanien	12
<b>Concentrix</b>	Deutschland	0,3	Spanien	25
<b>Solfocus</b>	USA	0,5	Spanien	50
<b>EMCORE</b>	USA	0,35	Spanien	10
<b>AMONIX</b>	USA	0,61	USA	
<b>Arima ECO</b>	Taiwan	0,05	Spanien	7,5
<b>Solar Systems</b>	Australien	1,2	Australien	5
<b>GESAMT</b>		<b>16,285</b>		<b>140,5</b>

Ihre [Fotocollage](#) von myprinting.de - Qualität, die überzeugt!

[Pauschalreisen](#)  
Travel24 ist der Fachmann für Pauschalreisen & Urlaubsreisen.

Tabelle 1: Die wichtigsten CPV Hersteller und deren installierte Gesamtkapazität im Vergleich zu ihrer derzeitigen jährlichen Produktionskapazität.

Andere Hersteller	Sitz
<b>Boeing</b>	USA
<b>Concentrating Technologies</b>	USA
<b>Cool earth</b>	USA
<b>Energy Innovations</b>	USA
<b>Enfocus Engineering</b>	USA
<b>Entech</b>	USA
<b>Green volts</b>	USA
<b>JX Crystal</b>	USA
<b>Opel International</b>	USA
<b>Pyron Solar</b>	USA
<b>Semprius</b>	USA
<b>Skyline</b>	USA
<b>Solartech</b>	USA
<b>Soliant Energy</b>	USA
<b>Menova</b>	Kanada
<b>Morgan Solar</b>	Kanada
<b>ENEA</b>	Italien
<b>Magpower</b>	Portugal
<b>Solar Tec AG</b>	Deutschland
<b>Whitfield Solar</b>	Vereinigtes Königreich
<b>Daido Steel</b>	Japan
<b>Sharp Solar</b>	Japan
<b>Everphoton Energy</b>	Taiwan
<b>Green and Gold Energy</b>	Australien

Tabelle 2: Andere CPV Hersteller

### Der Solarserver - Ihr Internetportal zur Sonnenenergie:

[Archiv](#) [Bannerwerbung](#) [Behörden](#) [Berichte](#) [Bücher](#) [Brennstoffzelle](#) [Einkaufen](#) [Fachkräfte](#)  
[Fachliteratur](#) [Firmen](#) [Förderung](#) [Forschung](#) [Geschenke](#) [Initiativen](#) [Interviews](#) [Links](#) [Medien](#) [Messen](#)  
[Nachrichten](#) [Nachschlagen](#) [Photovoltaik](#) [PV-Rechner](#) [Ratgeber](#) [Service](#) [Software](#) [Solaranlagen](#)  
[Solarthermie](#) [Stellenangebote](#) [Veranstaltungen](#) [Verbände](#)

[Branche](#) [Bücher](#) [Geld](#) [Impressum](#) [Initiative](#) [Lexikon](#) [Pinnwand](#) [Service](#) [Solar-Magazin](#) [Solarstore](#) [Termine](#) [Wissen](#)

[nach oben](#)

Letzte Änderung: 9:57 23.4.2009  
[Webdesign](#) [Heindl Internet AG](#)