


[English](#)

Anlage des Monats

[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](#)

Solaranlagen und Produkte der Vormonate:

- . [US-Unternehmen Solyndra entwickelt zylindrische CIGS-Dünnschichtmodule](#)
- . [Null-Energiehaus mit Photovoltaik und Wärmepumpe](#)
- . [Solares Bauen: juwi-Unternehmenssitz im energieeffizientesten Bürogebäude der Welt](#)
- . [Weltgrößte Freiflächen- Solarstromanlage mit CIS-Technologie](#)
- . [Mit Dünnschicht-Photovoltaik auf dem Weg zum weltweit größten Solarpark](#)
- . [Solar-Folien als Alternative für Dächer und Wiesen](#)



Suche im Solarserver

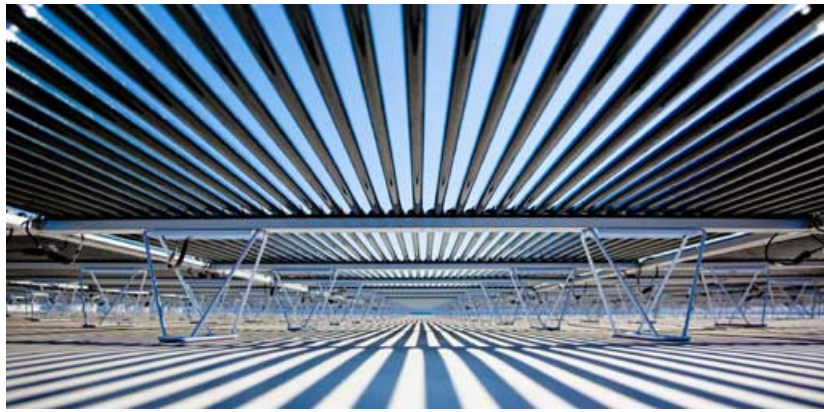
Photovoltaik-Innovation: US-Unternehmen Solyndra entwickelt zylindrische CIGS-Dünnschichtmodule

06.04.2009

Bis Ende 2008 war Solyndra Inc. einer jener Hersteller von Dünnschicht-Photovoltaik, die überwiegend unter Ausschluss der Öffentlichkeit forschten und entwickelten. Das Hauptquartier mit seiner glänzenden Fassade und dem prominent platzierten Firmenlogo erinnert technisch aufgeschlossene Pendler an der Schnellstraße I-880 nahe Fremont im US-Bundesstaat Kalifornien, daran, wie wenig man über das Unternehmen wusste. Doch nun ist Solyndra aus dem Schatten getreten, auch wenn das Unternehmen seine diskrete Produktpolitik noch nicht ganz aufgegeben hat. Seit einer sorgfältig geplanten und durchgeführten Präsentation für Medien und Analysten weiß die Öffentlichkeit, dass die Welt für diesen Hersteller von Dünnschichtmodulen auf der Basis von Kupfer-Indium-Gallium-Diselenid (CIGS) nicht flach ist - zumindest was die Form von Solarmodulen betrifft. Als Solar-Anlage des Monats präsentiert der Solarserver die Produktion und Produkte des innovativen Herstellers in Zusammenarbeit mit Photovoltaics International, USA. Der Beitrag von Tom Cheyney, Senior-Herausgeber des Magazins ist eine gekürzte und bearbeitete Version einer dreiteiligen Blog-Serie über Solyndra, die ursprünglich auf der Internetplattform PV-Tech.org veröffentlicht wurde. Der Originalbeitrag wurde veröffentlicht in "Photovoltaics International" Ausgabe 2 / 2008.

Solar-Anlage des Monats als [PDF-Dokument](#)





Blick unter eine Photovoltaikanlage mit Modulen von Solyndra. Quelle: Solyndra Inc.

Wie viele Hersteller von Dünnschicht-Photovoltaik schätzt Solyndra Glas als Trägermaterial, doch die meterlangen, zylindrisch geformten Module des Unternehmens ähneln eher einer Leuchtstoffröhre und sind nicht einfach nur ein weiteres CIGS-Modul.

Photovoltaik-Röhren für kommerzielle Solarstromanlagen auf Dächern

Während eines Besuchs bei Solyndra (Abbildung 2) informierten kürzlich der Technikvorstand Chris Gronet und Kelly Truman, stellvertretender Vorstand für Marketing, Vertrieb und Geschäftsentwicklung, über die Technologie, das Herstellungsverfahren und die Pläne des Unternehmens im Markt der gewerblich betriebenen Aufdach-Photovoltaikanlagen. Gronet betonte, das Marktpotenzial betrage allein in den USA bis zu 30 Milliarden Quadratfuß (rund 2,7 Milliarden m²), was einer Photovoltaik-Kapazität von 150 Gigawatt (GW) sowie einem Marktvolumen von rund 650 Milliarden Dollar entspreche. Mehr als 90 Millionen Quadratmeter Dachfläche würden jedes Jahr in den USA mit reflektierenden Materialien eingedeckt, zum Beispiel auf Kühlhäusern. Und nun eröffne sich die Chance, auf diesen Flächen mit Photovoltaik neue Energie- und Einkommensquellen zu erschließen.



Abb. 2: Solyndra-Hauptquartier in Fremont (Kalifornien). Abb.3: Die zylindrischen PV-Module von Solyndra enthalten 150 CIGS-Solarzellen und sind mit einer Glas-Metall-Kappe versiegelt. Quelle: Solyndra Inc.

Gronet präsentierte eines der Röhrenmodule (Abbildung 3), die entscheidend waren, um die Aufmerksamkeit von Risikokapitalgebern und privaten Investoren zu wecken, die bis jetzt rund 600 Millionen Dollar in Solyndra investiert haben. Der Glaszylinder ist schwarz, sein Umfang beträgt etwa einen Zoll (2,5 cm) und das Modul lässt sich am besten als Röhre in einer weiteren Röhre beschreiben. Es ist zu erkennen, dass die innen liegende CIGS-Einheit über eine Reihe von gewirbelten, spiralförmigen Linien verfügt, welche die 150 Zellen im Inneren der Röhre voneinander trennen. Den Hohlraum zwischen dem inneren und äußeren Glaszylinder füllt eine in der Industrie verbreitete Flüssigkeit, die vom Geschäftsführer als "optischer Verbindungswirkstoff" beschrieben wird.

Raum für Innovationen:
Bannerwerbung im
Großformat,
für 200 Euro pro Monat.

Jetzt buchen:
07071/93871-01



[Fertighaus bauen](#)
Finden Sie hier Ihr
Fertighaus
Bauunternehmen!

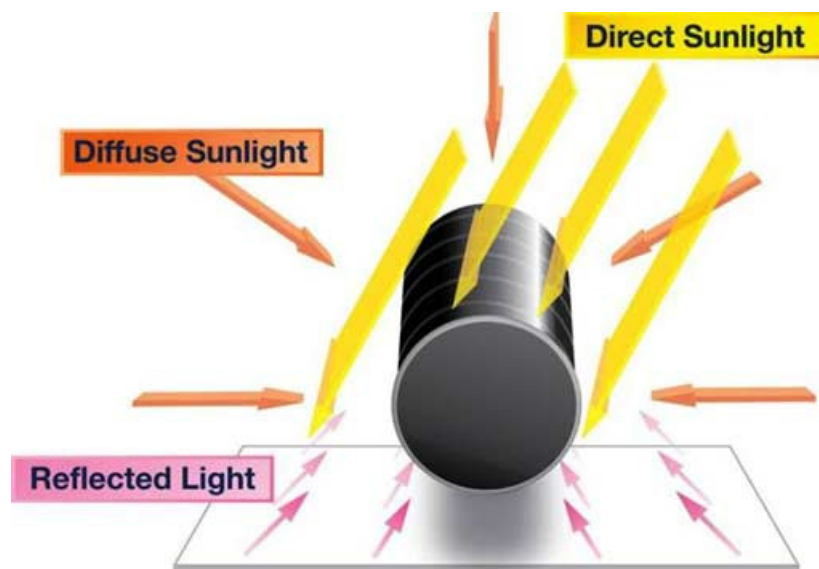
Anzeigen

Sie kann das Sonnenlicht zwar nur schwach bündeln, konzentriert es aber tatsächlich um das 1,5-Fache.

Das Modul enthält keine beweglichen Teile, da die äußere Röhre die Sonnenstrahlen von selbst bricht und auf die innere Trägerschicht lenkt, wo es die Absorber-Schichten aufnehmen. Die Abschlusskappen der Röhren sind die einzigen mechanischen Komponenten. Sie werden mit einem von Solyndra selbst entwickelten Glas-Metall-Verbundverfahren (ohne die Nutzung von Elastomeren) luftdicht versiegelt und mit Helium auf undichte Stellen getestet, so der Technikvorstand.

Photovoltaik-Röhre sammelt mehr Sonnenlicht

Die Röhrenform sei für die Photovoltaik sehr vorteilhaft, betonte Gronet. Die Photonen würden unabhängig vom Einfallswinkel sozusagen automatisch gesammelt, indirektes Licht werde aus fast jeder Richtung eingefangen. Sonnenstrahlen, die zunächst nicht von dem PV-Zylinder absorbiert werden, würden eingefangen, wenn sie von der weißen Folie reflektiert werden, die sich unter der Röhre befindet (Abbildung 4). Die runde Konstruktion sei auch hinsichtlich der Kühlung der Module vorteilhaft (Konvektion) und die Röhren würden auf dem Dach nicht so stark verschmutzt wie herkömmliche flache Module.



Die röhrenartige Konstruktion der Solyndra-Module verbessert die Absorption von direktem, gestreutem und reflektiertem Sonnenlicht. Quelle: Solyndra Inc.

Das komprimierte Ausgangsmaterial ermögliche es Solyndra "die dünnsten Schichten überhaupt" herzustellen, so Gronet. Die Absorber-Schicht sei zweimal so dünn wie bei vergleichbaren Anwendungen. Hinsichtlich der CIGS-Schichten seien inzwischen Stärken zwischen 1,0 und 2,5 Mikrometer erreicht worden - und viel dünner als ein Mikrometer sei kaum möglich. Dennoch sei es wahrscheinlich, dass Solyndra mit der Gasphasenabscheidung eine Schichtstärke erreiche, die unter einem Mikrometer liegt. Das Unternehmen könne sowohl weniger Material einsetzen als auch das Beschichtungsverfahren verkürzen und somit den Materialdurchsatz erhöhen und die Herstellungskosten senken.

Der Wirkungsgrad der inneren Zelle liegt nach Angaben des Geschäftsführers "zwischen 12 und 14 Prozent". Über den Modulwirkungsgrad wollte Gronet jedoch nicht sprechen. Solyndra messe - wegen unterschiedlicher Temperatur-, Wind- und Sonneneinstrahlungsbedingungen auf dem Dach - die Effizienz nicht auf Modulebene. Er betonte, Solyndra konzentriere sich vielmehr auf den Wirkungsgrad des Gesamtsystems und nicht auf dessen einzelne Komponenten.

Eigene Terminologie für "Modul" und "Paneel"

Während für große Teile der Solarindustrie die Begriffe "Modul" und "Paneel" austauschbar sind, hat Solyndra eine differenzierte eigene Terminologie eingeführt. Vierzig der Röhren oder "Module" bildeten ein "Paneel" mit einem 1,80 Meter langen und 1,08 Meter breiten, relativ einfachen Rahmen, der sich rund 30 Zentimeter über der Dachhaut befindet und diese nicht durchdringt. Die komplette Einheit wiegt etwa 32 kg.

Bislang geht jeweils die Hälfte der Kosten von Photovoltaikanlagen auf das Konto der Module beziehungsweise der Montage. Gronet wollte sich aber nicht zu den gegenwärtigen und künftigen Kosten pro Watt installierter Leistung äußern und betonte stattdessen das einfache Design des Systems, die unkomplizierte Installation und den hohen Solarstromertrag pro Dach.

Kunden hätten bestätigt, dass die Solyndra-Paneele in einem Drittel der Zeit installiert werden könnten, die für herkömmliche Flachmodule erforderlich ist und die Montagekosten halbiert werden könnten. Die Paneele wirken leicht und tragbar; das von Solyndra selbst entwickelte Befestigungssystem kann mit einfachem Hand- oder Elektrowerkzeug verschraubt werden. Die Paneele zu positionieren, die Gleichstrom-Anschlüsse zu verbinden und das Erdungsband zu installieren, erfordere wenig Zeit. Um ein Paneel mit einem anderen zu verbinden, genüge eine schlichte Klammer.



Röhre an Röhre: Solyndra-Paneele sollen große Dachflächen bedecken. Quelle: Solyndra Inc

Zur Befestigung des Solyndra-Systems sei kein zusätzlicher Ballast erforderlich und die Dachhaut werde nicht verletzt, betont der Hersteller. Das Montagesystem folge den Konturen eines durchschnittlichen, nicht unbedingt ganz flachen Dachs, erzählte Kelly Truman. Das erlaube es in der Regel, die Paneele auch oberhalb möglicher Hindernissen zu montieren. Ein Team von fünf Arbeitern kann laut Gronet pro Tag Solyndra-Paneele mit einer Leistung von rund 40 Kilowatt installieren. Auch könne das System genauso leicht wieder auseinander genommen werden, wie es zusammengesetzt wird. Das bedeute Mobilität und Flexibilität, zum Beispiel wenn die Photovoltaik-Anlage an einen anderen Ort verlegt werden soll oder Arbeiten am Dach erforderlich werden.

Hoch automatisierte Produktionsanlagen

Beim Betreten der Solyndra-Fabrik 1, fallen sofort einige Dinge auf: Es handelt sich um eine ziemlich, aber nicht ungewöhnlich große Anlage mit rund 16.200 m² Grundfläche, mit wenig weiterem Raum für zusätzliche Geräte. Alles ist ordentlich und sauber, doch längst nicht so extrem wie in den Reinräumen von Halbleiter- oder Festplattenfabriken.



Die Fabrik ist hoch automatisiert. Sie arbeitet mit Robotern und Förderbändern verschiedener Größen und Formen - von fahrerlosen Transportfahrzeugen, die auf dem Boden vorbeihuschen bis hin zu Robotern, die mit ihrem kräftigen Armen Paletten zusammenstellen - und zwar mit einer Präzision, die nur Industrierobotern eigen ist, und deren Bewegungen dennoch an Menschen erinnern (Abbildung 5). 25er-Stapel von Röhrenmodulablagen - jede enthält 48 CIGS-PV-Zylinder - sind an verschiedenen Plätzen auf dem Boden deponiert.

Die Solyndra-Fabrik arbeitet mit einem selbst entwickelten Produktions- und Prozesssteuerungssystem. Quelle: Solyndra Inc.

Das Unternehmen eröffnete die Fabrik bei Fremont im Februar 2007 und bereits im Spätsommer liefen laut Kelly Truman die ersten Photovoltaik-Röhrenmodule vom Band. Im Laufe des nächsten Jahres konzentrierte sich das Team auf die Verbesserung der Leistung und des Ertrags. Chris Gronet berichtete, dass die ersten Solyndra-Paneele im Juli 2008 ausgeliefert wurden und Demonstrationsanlagen an mehr als zehn Standorten in den USA und Europa betrieben werden, um die Leistung des Systems zu überprüfen.

Vom "Front-end" zum "Back-end"

Das Unternehmen beziffert die Kapazität seiner "Front-end"-Fabrik mit 110 Megawatt. Solyndra hat diese Terminologie aus der Halbleiterindustrie übernommen, um die Produktion der inneren Röhre mit den Absorbern von der Weiterverarbeitung (Back-end) am Ende der Straße in Milpitas abzugrenzen. Dort wird eine weitere Röhre über die innere gestülpt, dann werden die Endkappen montiert und die Röhre versiegelt, die optische Verbindungsflüssigkeit wird zwischen innere und äußere Röhre eingespritzt und die fertigen Module werden in die Pannelrahmen eingesetzt - 40 Stück auf einmal. Truman zeigte die große Anlage, in der die ankommenden Sodalime-Glasröhren gesäubert und zur Weiterverarbeitung vorbereitet werden. Die weltweite Produktionskapazität für diese Art Glas sei durchaus ausreichend, seit die medizintechnische und pharmazeutische Industrie auf Reagenzgläser und Ampullen aus Kunststoff umgestiegen ist "Hier gibt es sogar einen Angebotsüberschuss in der Glasindustrie", erläuterte Truman.

Die Roboter transportieren die Röhren zur Molybdän-Beschichtungsanlage, wo die metallischen Rückseitenkontakte auf die Glas-Trägerschichten gesetzt werden, wie das auch mit CIGS auf flachem Glas oder flexibler Folie gemacht wird. Die einzelnen, per Funk (RFID) erkannten Röhren werden mit großer Sorgfalt gedreht, um einen einheitlichen Dünnsfilm zu erhalten.

Die Solyndra-Fabrik rühmt sich eines unternehmenseigenen Produktionskontrollsystems mit einem Arsenal von Sensoren, die ein geschlossenes Mess-System bilden, das an die Herstellung von Flachbildschirmen oder Chipfabriken erinnert. "Wir haben eine Menge kundenspezifischer Messtechnik integriert", erklärt Truman. "Jede einzelne Röhre wird in jedem anfallenden Produktionsschritt getestet, von der Beschichtung bis hin zu Endmontage. Die Fertigung kann vollständig zurückverfolgt werden und jede Röhre hat ihre eigene Kennung".



Foto: Solyndra-Paneele. Quelle: Solyndra Inc.

Nachdem die Molybdänschichten aufgedampft und kurz überprüft wurden, werden die PV-Zylinder per Roboter zur wichtigsten Anlage gebracht: der CIGS-Absorberanlage. Solyndra hat das 45-MW-System mit Hilfe von Subunternehmen entworfen und gebaut, das sich eindrucksvoll, über rund 30 Meter erstreckt. Das Unternehmen nutzt ein Dampfbeschichtungsverfahren, um Kupfer, Indium, Gallium und Diselenide abzuscheiden, weil damit die höchsten Wirkungsgrade erreicht würden. Sobald die CIGS-Halbleiterschicht aufgebracht ist, bewegen sich die Röhren zu einer Anlage, welche die Kontakte anbringt. Solyndra nutzt ein selbst entwickeltes nasschemisches Verfahren, das die Röhren mit einer Nanoschicht aus Cadmiumsulfid besprüht (anscheinend wird aber daran gearbeitet, auf Cadmium zu verzichten). Am Ende wird die transparente Halbleiterschicht (TCO), laut Solyndra ein optimiertes Gemisch aus Zinkoxid und Aluminium (i-ZnO/Al:ZnO), darauf zerstäubt. Dann wandern die Röhren zu den Laserstrukturierungs-Anlagen, die sechs Röhren auf einmal spiralförmig bearbeiten können. Am Ende werde ein linearer Schreibvorgang vollzogen, um jede Zelle genau zu kennzeichnen, erläuterte Truman. Er zeigte, wie die einzelnen Zellen, die noch nicht zylindrisch sind, leicht gebogen werden, bis sie an die Form eines Croissants erinnern. Bevor die Zylinder zur Endmontage an die "Back-end"-Fabrik weitergegeben werden, wird jeder einzelne auf seine Leistung, den Stromertrag und dergleichen getestet, in einem Gerät mit dem alle PV-Hersteller vertraut sind: dem Sonnensimulator mit seinem hellen, pulsierenden Licht.

Trotz des beeindruckenden Auftritts bleiben Fragen

Der Start von Solyndra mag beeindruckend sein, aber einige wichtige Fragen bleiben offen, die der Klärung bedürfen, um die Erfolgsaussichten des Unternehmens umfassend beurteilen zu können.

Nicht nur im Zuge der Kapitalbeschaffung sollte Solyndra seine Preisgestaltung hinsichtlich der Paneele und Systeme offen legen. Es sind zwar etliche Lippenbekenntnisse abgelegt worden hinsichtlich der Fähigkeit des Unternehmens, sich auf vielfältige Definitionen der Netzparität hin zu bewegen - ohne konkrete Zahlen bleibt jedoch alles vage. Solyndra ist nicht bereit, über die laufenden Produktionskosten pro Watt zu sprechen - und schon gar nicht, wie ein optimales Verhältnis von Preis und Leistung erreicht werden soll. Das Unternehmen betreibt zwar eine voll automatisierte und hocheffiziente Fertigungsanlage und arbeitet mit einem Verfahren, das weniger Absorbermaterialien benötigt als andere CIGS-Systeme, doch was auf dem Fabrikgelände zu sehen war, scheint dennoch keine bahnbrechend kostengünstige Methode zu sein.



Die genannten Wirkungsgrade zwischen 12 und 14 Prozent sind sicher wettbewerbsfähig mit Produkten anderer Hersteller, die CIGS, CdTe oder amorphes Silizium verwenden, und sie können auch mit Silizium-Modulen am unteren Ende der Effizienzskala mithalten.

Foto: Paneelfeld mit Solyndra-Modulen.
Quelle: Solyndra Inc.

Was aber aussteht, ist eine externe Bewertung des Wirkungsgrades der Zylinder, etwa durch das National Renewable Energy Laboratory (NREL) oder eine vergleichbare Einrichtung, ganz zu schweigen von umfassenden Tests der Paneele oder der Langzeitstabilität. Zwar haben der Standort und das Klima großen Einfluss auf den Systemwirkungsgrad und letztlich ist der Strom entscheidend, der von den Paneelen produziert wird - und nicht nur, wie gut sie Photonen in Elektronen umwandeln. Aber dennoch wirkt Solyndra's Weigerung, die etablierten Regeln hinsichtlich der Bestimmung des Wirkungsgrades einzuhalten, eher als Taktik.

Die ausgeklügelte Endkappe jeder Röhre scheint eine elegante und robuste Methode, um schädliche Feuchtigkeit fernzuhalten. Aber halten die hermetisch versiegelten Kappen die erforderlichen 20 bis 25 Jahre und können sie so lange mit Silizium- oder anderen Dünnschichtmodulen mithalten? Solyndra hat die Systeme mehrfach geprüft und offensichtlich haben sie die Tests bravourös bestanden. Aber Tests im Labor sind eine Sache, der Feldtest eine ganz andere.

Schließlich bleibt auch noch die Frage nach der Skalierbarkeit. Solyndra berichtete, die erste 40-MW-Produktionslinie in Fabrik 1 arbeite an der Kapazitätsgrenze, was die Zahl der Komponenten begrenzt, die auf den Weg zur Back-end-Fabrik geschickt werden können. Solyndra plant, die Kapazität der zweiten Linie (und künftiger Produktionsstätten) in Schritte von 70 MW aufzubauen, wie dies in der Solarindustrie üblich ist. Vor dem Bau der neuen Fabrik muss Solyndra noch die erste 70-MW-Linie rasch ankurbeln und den Ertrag steigern. Manche Anhänger der CIGS-Technologie zweifeln daran, dass ein Beschichtungsverfahren, wie es in der Fabrik in Fremont angewendet wird, wirtschaftlich zur Großserienproduktion gebracht werden kann. Letzten Endes ist das Etikett nicht dasselbe wie die Laufzeit einer Produktionsanlage. Etliche Unternehmen sind bekannt für ihre niedrige Kapazitätsauslastung. Und CIGS-Unternehmen müssen noch immer beweisen, was sie in Sachen Massenproduktion leisten können, zum Beispiel mit einer stabilen Produktion von 100 MW oder mehr.

Trotz dieser Fragen glauben Kunden wie Phoenix Solar, Solar Power Inc. und GeckoLogic offensichtlich an das Unternehmen und sein Produkt. Denn sie haben zusammen bereits Produkte im Wert von 1,2 Milliarden Dollar geordert. Solyndra muss sich nun wie First Solar darauf konzentrieren, die Produktion hochzufahren und dann seine geplante 420-MW-Fabrik mit sechs Fertigungslinien zu bauen und auszurüsten, um einen Platz im Pantheon der Photovoltaik einzunehmen.



Solyndra-Paneele sollen auch im großen Stil von Deutschen Systemintegratoren installiert werden.
Quelle: Solyndra Inc.

Nachtrag: Kreditbürgschaft erlaubt Baubeginn für 500

MW-Produktion

Am 20.03.2009, berichtete Solyndra, das es als erstes Solar-Unternehmen in den USA eine Kreditbürgschaft des US-Energieministeriums (Department of Energy; DoE) nach Vorgabe des Abschnitts XVII im Rahmen des "Energy Policy Act" von 2005 erhalten werde und die 535 Millionen US-Dollar (392 Millionen Euro) der Finanzierungsbank des US-Finanzministeriums zum Ausbau seiner Produktionskapazität für Solarmodule in Kalifornien verwenden will. Laut Pressemitteilung deckt die Kreditbürgschaft etwa 73 Prozent der Kosten des Ausbauvorhabens und erlaubt es Solyndra, unmittelbar mit dem Bau der zweiten Solarmodul-Produktion in Kalifornien zu beginnen. Nach Fertigstellung soll das "Fab 2" genannte Werk eine jährliche Produktionskapazität von 500 Megawatt (MW) haben.

Autor: Tom Cheyney, Senior-Herausgeber Photovoltaics International, USA. Übersetzung: Johannes Baral und Rolf Hug

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: 10:36 6.4.2009
[Webdesign](#) [Heindl Internet AG](#)