

Session 5: Schweizer Industrie im Aufbruch –Erfahrungen auf dem Photovoltaik Weltmarkt

## **Führende Produktionsanlagen für die Solarmodulfertigung**

Dr. Patrick Hofer-Noser; CEO 3S Swiss Solar Systems AG in Lyss

### **Einleitung**

Dieser Vortrag wird im Rahmen der 7. Schweizerischen Photovoltaik Tagung am 8. & 9. November 2007 gehalten. In der Schweiz wird ab 2008 die kostendeckende Vergütung für Solarstrom eingeführt. Während die Schweiz bis in die späten neunziger Jahre des letzten Jahrhunderts führend war in der pro Kopf installierten Photovoltaik, wurde sie nun von vielen Ländern überholt. Die Zulieferfirmen müssen sich auf den Exportmarkt fokussieren auf dem das grosse Wachstum stattfindet.

Im Rahmen dieses Vortrages wird ein Überblick über den Fortschritt der Modulproduktion gegeben. Der Autor hofft, dass sich in Zukunft in der Schweiz eine oder mehrere Grossproduktionen ansiedeln. Somit hätten die Schweizerischen Fördermittel, welche in den letzten Jahrzehnten des letzten Jahrhunderts in die Photovoltaikforschung geflossen sind, dank dem damit geschaffenen Know-how zu einem nachhaltigen Wachstum entlang der gesamten Wertschöpfungskette der Photovoltaik innerhalb der Schweizerischen Volkswirtschaft mit beigetragen.

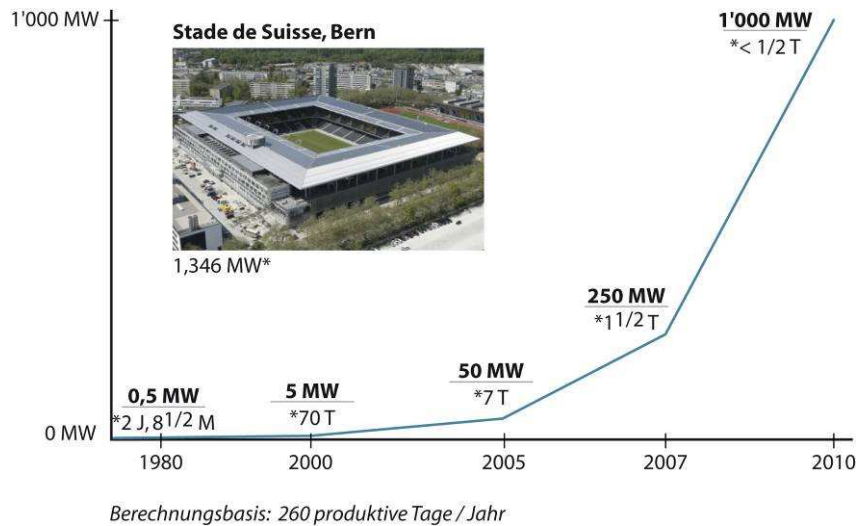
3S Swiss Solar Systems ist der technologische Weltmarktführer für manuelle und semiautomatische Produktionsanlagen zur Fertigung von Solarmodulen. In Zusammenarbeit mit Kooperationspartnern integriert 3S Swiss Solar Systems ihre Produktionsanlagen auch in schlüsselfertige vollautomatisierte Produktionslinien.

Als ein Unternehmen der Solarindustrie, entwickelt und plant 3S Swiss Solar Systems innovative gebäudeintegrierte Solarsysteme. Deren Herstellung und Vermarktung wird lizenziert an Kunden, die Produktionsanlagen der 3S Swiss Solar Systems einsetzen. Diese Solarsysteme werden aber auf den eigenen Produktionsanlagen hergestellt, und direkt oder über Wiederverkäufer vermarktet. Die aus der Konzeption und Produktion von Solarmodulen gewonnenen Kenntnisse fließen direkt in die Weiterentwicklung der Produktionsanlagen ein.

Dieser Vortrag fokussiert auf die c-si Technologie für schlüsselfertige Produktionslinien sowie auf den Bereich Testen und Lamination für a-si Linien, da der Vortrag von OC Oerlikon komplette Dünnschichtlinien vorstellt.

### **Geschichtliche Entwicklung der Produktionskapazitäten**

Die Grösse der einzelnen Produktionsstätten für Solarmodule ist in den letzten Jahren stark gewachsen. Zur besseren Veranschaulichung wurde die installierte Leistung von 1.3MWp des Stade de Suisse in Bern als Masseinheit verwendet. In Bild 1 wird verglichen, wieviel Zeit in der weltgrössten Fabrik (an einem Standort) benötigt wird, um alle Module für eine Stade de Suisse Einheit zu bauen. Währenddem im Jahr 1980 die grösste Firma noch über 2 Jahre gebraucht hätte, benötigt die deutsche Conergy Ende 2007 gerade noch 1.5 Tage, um die gesamte Anzahl Solarmodule zu produzieren.

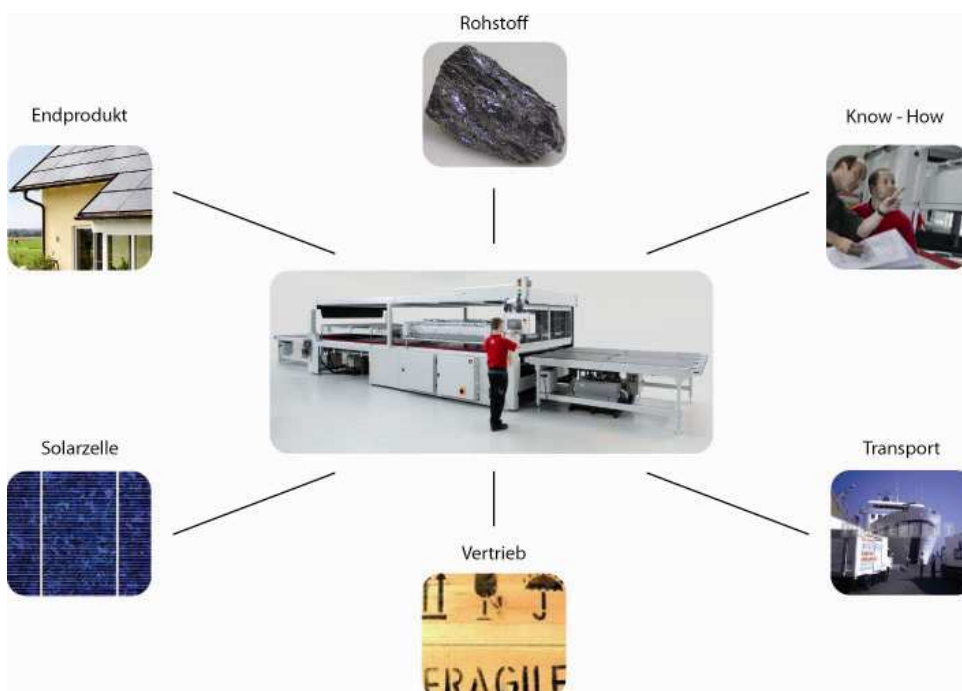


**Bild 1 - Zeit, die gebraucht wird, um in der grössten Modulfabrik (an einem Standort) der Welt die gleiche Anzahl Module zu produzieren, die auf dem Stade des Suisse installiert wurden**

## Randbedingungen für die Auslegung einer Modulproduktion

Zur Konzeption einer optimierten Modulproduktion müssen alle Rahmenbedingungen einbezogen werden. Beispiele solcher Rahmenbedingungen sind in Bild 2 dargestellt. Dies gilt sowohl für die Herstellung von Dünnschicht- als auch von c-si-Solarmodulen. Das Ausgangsmaterial für die Modulproduktion ist in jedem Fall eine Zelle.

Bei Dünnschichtmodulen ist das randentschichtete und kontaktierte Solarmodul das Ausgangsmaterial für die Modulproduktion. Der Grad der Fertigstellung entspricht somit dem einer querverschalteten Zellmatrix bei c-si Modulen.



**Bild 2 - Rahmenbedingungen**

Um eine Kostensenkung beim Endkunden zu erreichen, müssen der Transport und die Installation berücksichtigt werden. Es spielt in diesem Zusammenhang eine Rolle, ob die Module über Großhändler an Installateure verkauft und schlussendlich in dachintegrierten Anlagen von einigen kW installiert (Bild 3 rechts) werden, oder ob die Module für einen Solarpark mit mehreren 100kW verbaut werden (Bild 3 links). Sowohl die Verpackung als auch die Logistik unterscheiden sich maßgeblich. Sind zum Beispiel alle Module einzeln in Kartonschachteln verpackt, schlägt sich der höhere Aufwand in höheren Produktionskosten nieder. Ferner führt dies bei Großanlagen zu einer erheblichen Menge an Verpackungsmaterial, das auf der Baustelle entsorgt werden muss. Sind die Packungseinheiten Paletten, so kann dies im Einzelhandel und bei Kleinanlagen zum Umpacken und damit zu Mehrkosten führen. Bei den meisten c-si Produktionslinien gibt es einen Produktmix, währenddem die Dünnschichtlinien aufgrund der Abmessungen der Reaktoren für die Abscheidung vorzugsweise eine Produktgröße herstellen.



**Bild 3 - Unterschiedliche Märkte führen z.B. zu unterschiedlicher Verpackung: links Standardmodulanlage der Edisun Power AG; rechts Gebäudeintegrierte Anlage mit MegaSlate®**

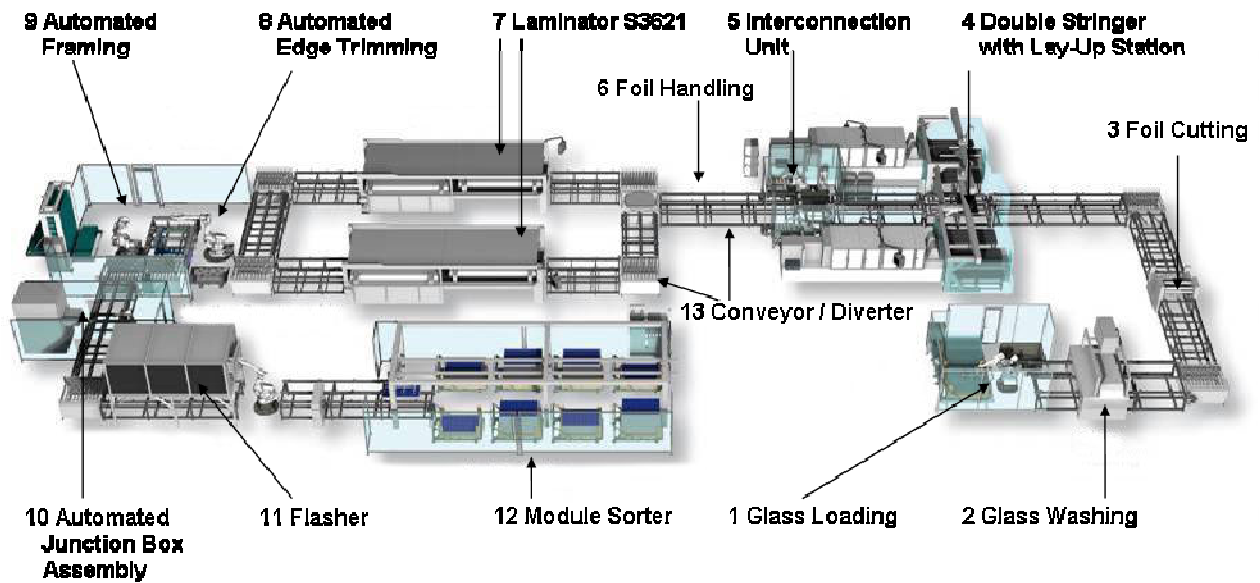
### 1.1 Aufeinander abgestimmte Maschinenkapazitäten

Damit eine Produktionseinrichtung optimal betrieben werden kann, müssen die Kapazitäten der einzelnen Maschinen aufeinander abgestimmt werden.

Durchsatzkritische Prozesse sind in der nachfolgenden Tabelle 1 dargestellt. Ebenso die Einflussgrößen, auf die eingewirkt werden kann. Die automatische Modulproduktionslinie, welche in Bild 4 dargestellt ist, verwendet aufeinander optimal abgestimmte Maschinen.

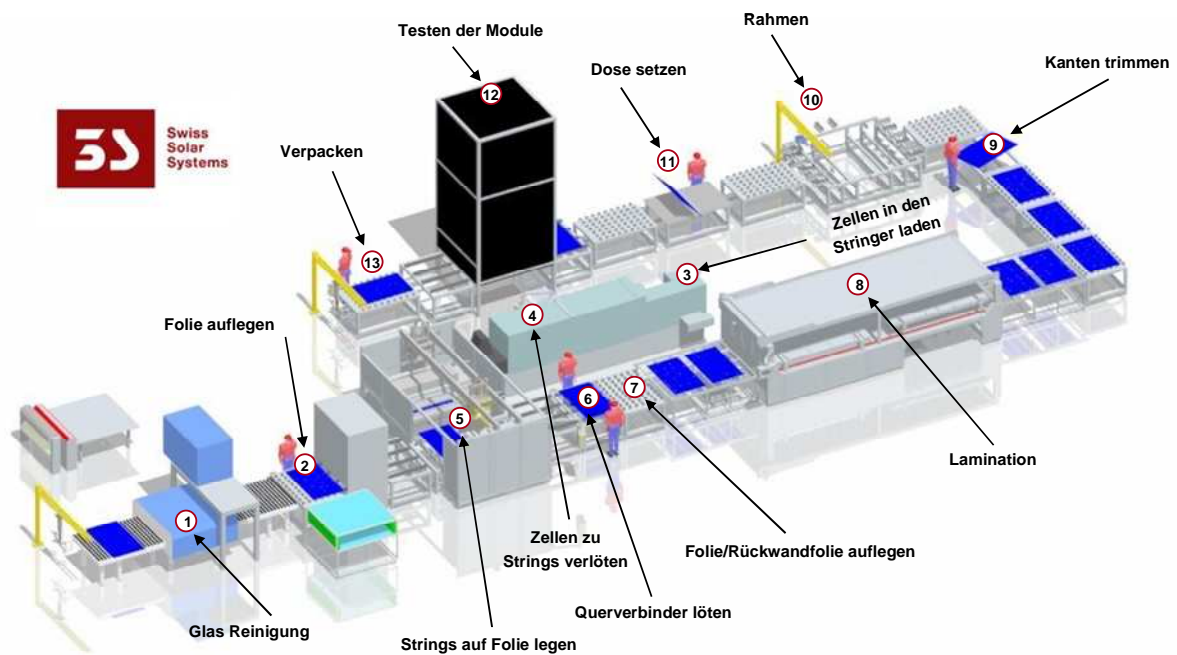
Modulinie	Durchsatzbestimmend	Einflussgrößen
Stringer	Taktzeit pro Zelle	Lötzeit, Vorschubgeschwindigkeit
Querverschaltung	Lötpunkte, Layout	Elektrische Verschaltung
Laminator	Prozesszeit des Verkapslungsmaterial	Flächenausnutzung, Temperatur
Rahmung	Rahmungskonzept	Materialtyp
Dosen setzen	Ev. Vernetzungszeiten von Vergussmassen	
Testen	Bei c-si unkritisch	

**Tabelle 1 - Durchsatzbestimmende Funktionen einer Modulproduktion**



**Bild 4 - Vollautomatische Modulproduktionslinie 40MW/J (mit Kooperationspartner Schmid)**

Der Einfluss einer Produktänderung auf die Linienkapazität und Linienauslegung wird anhand einer semiautomatischen 15MW/J Produktionslinie (Bild 5) dargestellt. Die Überlegungen gelten sinngemäss auch für eine vollautomatische Linie (Bild 4).



**Bild 5 - Semiautomatische Modulproduktionslinie mit einer Kapazität von 15MWp/Jahr**

Die in oben dargestellte Linie hat für verschiedene Produkte folgende Eigenschaften:

Modultyp	60 (6x10) Zellen 6" @ 4Wp/Stk.	36 (6x6) Stk 6" @ 4Wp
Nominelle Kapazität	15 MWp	14.6MWp
Arbeitszeit	330 Tage @ 24 Std.	
Anzahl Mitarbeiter	11 pro Schicht	15 pro Schicht
Ausschuss	0.53%	0.53%

Die Auslastung der einzelnen Arbeitsplätze bei der Herstellung eines 60 Zellen Moduls ist in der untenstehenden Tabelle zusammengefasst:

	Glas washing / 1 EVA positioning	Rapid Stringer/ Layup	Bussing	Laminator 2822	Edge trimmi ng/fra ming	J-Box	Tester	Total
<b>Position Nr.</b>	1 + 2	3 - 5	6 - 7	8	9 - 10	11	12	
<b>Max Kapazität MWp</b>	100	15.52	18.48	19.52	15.09	25.73	29.41	
<b>Benötigte Maschinenkap. MWp</b>	14.93	14.93	14.92	14.90	14.90	14.90	14.90	<b>14.90</b>
<b>Umsatz (VP Modul €2.7) T€</b>								<b>40'216</b>
<b>Ausschuss Jahr in %</b>		0.35%	0.04%	0.09%	0.05%	0.01%	0.00%	<b>0.53%</b>
<b>Maschinenaus- nutzung</b>	14.99%	96.66%	81.19%	76.84%	99.40%	58.29%	51.01%	
<b>Personal ohne Logistik</b>	2	0.3	2	0	2	1	0.7	<b>8</b>

**Tabelle 2 - Kapazitätsauslastung der einzelnen Maschinen**

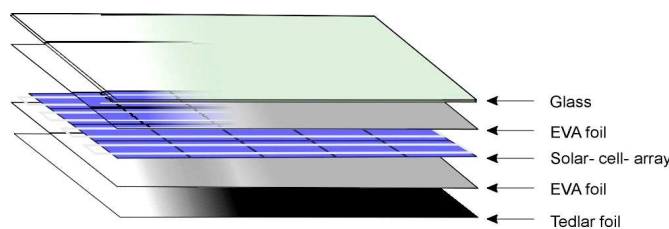
Werden die Produkte geändert verschieben sich die Auslastungen der einzelnen Maschinen, und die Linienkapazität nimmt ab. Die scheinbare Überkapazität des Laminators ist darauf zurückzuführen, dass in dieser Linie auch grössere Produkte verarbeitet werden können, und daher die Dimensionen der Maschine für diese Produkte ausgelegt ist. Zudem hilft die Kapazitätsreserve, die nach einem Stillstand in den Positionen 8-12 aufgelaufenen Produkte verarbeiten zu können. In Position 9-10 kann durch zusätzliches Personal die Kapazität einfach erhöht werden. In diesem Beispiel ist der Stringer Kapazitätsbestimmend.

Nachdem die Einflussfaktoren für die Auslegung einer Modulproduktion besprochen und die Kapazitätsüberlegungen dargestellt wurden, wird nun auf die qualitätsrelevanten Prozesse eingegangen.

Diese erachten wir, auch für die Endkunden, die die Solarmodule einsetzen, als äusserst wichtig. Solarmodule haben eine Gewährleistung von 20 und mehr Jahren. Für den Investor oder Kunden ist es wichtig, dass die Module auch über die Gewährleistung hinaus einwandfrei funktionieren.

## Qualitätsrelevante Prozesse in der Modulproduktion

### Vernetzungsgrad des Kunststoffes innerhalb des Solarmoduls



**Bild 6 - Aufbau eines Solarmoduls**

Der Verkapselungsfolie (z.B. EVA-Folie) muss die Funktionen Feuchtigkeitsschutz und Verbundhaftung für die gesamte Lebensdauer des Solarmodules gewährleisten. Die Verarbeitung der Kunststoffe geschieht in einem Temperatur-/Druckprozess. Der heute gebräuchlichste Kunststoff ist das Ethyl-Vinyl Acetat (EVA). Der Vernetzungsgrad des EVA nach dem Laminierprozess ist ein Indikator für die Qualität des Solarmoduls. Dieser sollte möglichst über die gesamte Modulfläche gleichbleibend sein, um Delamination sowie das Eindringen von Feuchtigkeit zu vermeiden

In der Verkapselung wird der lose Sandwichverbund zu einem Laminat verbunden. Für die Verkapselung wird heute meistens ein Vakuum laminator verwendet, wie er in Bild 7 dargestellt ist.



**Bild 7 - Vakuum laminator S2821CP**

Der Laminator ist ein Schlüsselement bei der Solarmodulproduktion. Bei den vorgelagerten Prozessen führt ein Störfall dazu, dass einzelne Solarzellen kaputt gehen. Ein Störfall bei der Lamination hat zur Folge, dass in Abhängigkeit der Beladung 4 oder mehr Module Ausschuss produziert werden.

In manuellen Produktionen, wie Sie hauptsächlich in Asien vorkommen, ist meist der Laminationsprozess Durchsatzbestimmend. Damit der Durchsatz des Laminators erhöht werden kann, muss die Prozesstemperatur erhöht werden, oder es wird der Vernetzungsgrad reduziert. Eine Erhöhung der Prozesstemperatur ist der einzige Weg, die Taktzeiten zu reduzieren, ohne Qualitätseinbußen hinnehmen zu müssen. Dabei muss gewährleistet sein, dass die Temperatur im Modul überall gleich ist. Dies kann mit der von 3S patentierten Hybridheizplatte erreicht werden.

Bei ungenauer Temperaturverteilung während dem Prozess oder zu kurzem Prozess besteht die Gefahr, dass der Vernetzungsgrad teilweise ungenügend ist. Dies kann zu einer Verkürzung der Modullebensdauer führen.

### **Lötqualität**

Die Qualität aller Lötverbindungen im Solarmodul ist für dessen elektrische Lebensdauer von zentraler Bedeutung. Schlechte Lötverbindungen können aber auch in der Anschlussdose zu unterbrochenen Kontaktstellen oder einer Erhöhung des Seriewiderstandes führen, im ungünstigen Fall zu einer lokalen Erwärmung des Kontaktes und sogar zu einem Glühbrand.

Für die Lötung kommen verschiedene Prozesse in Frage. Die wichtigste Eigenschaft – unabhängig vom Lötverfahren – ist eine möglichst reproduzierbare Verbindung. Der Zellbruch während dem Lötprozess ist eine kritische Grösse. Einerseits werden Zellen zerstört, andererseits führt Zellbruch in vielen Fällen zu Maschinenstillstand und zu einer Reduzierung der Maschinenkapazität.

Beträgt der Zellbruch eines Stringers z.B. 0.3%, so bedeutet dies, dass bei einer Stringlänge von 10 Zellen im Schnitt 3% der Strings gebrochene Zellen enthalten und manuell repariert werden müssen.

Wichtig ist, dass Strings, welche defekte Zellen enthalten, auch auf eine reproduzierbare Art und Weise repariert werden.

## Zusammenfassung

3S bietet führende Produktionsanlagen für die Solarmodulproduktion an. Die Maschinen zeichnen sich durch eine hohe Prozesssicherheit aus. Diese Prozesssicherheit ist sowohl für den Maschinenkunden, als auch für den Kunden, der Solarmodule kauft, von zentraler Bedeutung. Die Qualität eines Solarmoduls zeigt sich nur nach Jahren im Betrieb. Die 3S kann dank der jahrzehntelangen Erfahrung ihrer Mitarbeiter und der existierenden Synergien zwischen Entwicklung, Produktion und Vertrieb von gebäudeintegrierter Baumaterialien eine umfassende Lösung für manuelle und semiautomatische Linien anbieten. Mit unseren Kooperationspartnern können wir vollautomatische Linien aller Grössen anbieten.



**Bild 8 - Durch 3S realisierte gebäudeintegrierte Solaranlagen**