

Der Schlüssel zur Solarfabrik

Produktionsaufbau mit Turnkey-Angeboten

Um konkurrieren zu können, müssen PV-Hersteller schnell große Produktionskapazitäten aufbauen und effizient fertigen. Die Zulieferer helfen ihnen bei der Expansion, indem sie komplette schlüsselfertige Linien anbieten, die sie in kurzer Zeit aufbauen, einfahren und deren Output sie garantieren. Die Industrie nimmt das Turnkey-Angebot gern an.

Wer ein schlüsselfertiges Haus erwerben will, geht zu einer Baufirma, sieht sich im Katalog diverse Haustypen an und lässt sich dann sein Wunschobjekt liefern: Tür auf und wohnen. Doch wie sieht es bei einer Solarfabrik aus? Gibt es ein Werk zu kaufen, bei dem man nur noch die Hallentore beiseite rollen muss und dann losproduzieren kann? Das zumindest versprechen sogenannte Turnkey-Linien, schlüsselfertige Produktionsstätten für Siliciumscheiben (Wafer), Zellen und Module, die mittlerweile viele PV-Zulieferer offerieren.

KOMPLETTE LINIEN

Ursprünglich boten die Maschinen- und Anlagenbauer Equipment nur für einen speziellen Herstellprozess an. Eine Fertigungsstraße war daher das Produkt zahlreicher Spezialausrüster. Heute liefern sie komplette Linien aus einer Hand – eingefahren und mit garantierten Outputparametern wie Ausbeutungsgrad, Durchsatz,

Verfügbarkeit und Wirkungsgrad. Die Solarhersteller profitieren vom Turnkey-Angebot: So können sie schnell große Fertigungskapazitäten aufbauen – und zügig ihre Kosten senken.

Allerdings ist der Bau einer Solarfabrik viel komplexer als der eines Hauses: „Ein Werk besteht aus viel Equipment, das sich je nach Produkt und Herstellprozess unterscheidet“, erklärt Eddy Blokken, ehemaliger Direktor Technologie und Standards beim Halbleiterverband Semi Europe und Experte für solare Produktionstechnik.

Bei der kristallinen Siliciumtechnik sind es die vier Wertschöpfungsstufen Silicium-, Wafer-, Zellen- und Modulfertigung, die meist in gesonderten Werkshallen ablaufen.

Jedes dieser Produkte basiert auf vielen Herstellschritten: Silicium wird aufbereitet und zu Blöcken kristallisiert, die daraus geschnittenen Wafer durch spezielle Behandlung zu Solarzellen prozessiert, diese

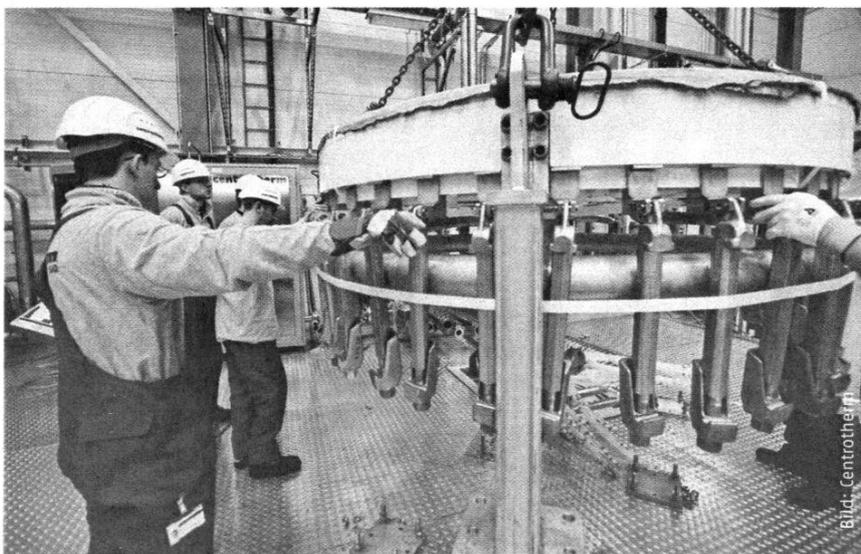
dann elektrisch verschaltet, laminiert und gerahmt (siehe Infobox). Die Fertigung von Dünnschichtmodulen läuft dagegen komprimiert in einer Halle ab.

PROZESSE AUS EINER HAND

Unterschiedlich sind aber nicht nur Technik und Prozesse, sondern auch die Bedürfnisse der Kunden. „Unsere Auftraggeber sind Neueinsteiger, die wenig Know-how mitbringen, sowie erfahrene Solarakteure, die klare Vorstellungen von ihrer neuen Produktionsstätte haben“, sagt Chris Buckland vom Berliner Fabrikplaner *ib vogt*. Z.B. setze ein etablierter Hersteller, der seine Kapazität erweitern möchte, auf Maschinen, die sich als die besten für seinen Prozess herauskristallisiert hätten. „Hier kümmern wir uns eher um die Umsetzung der Wünsche“, so Buckland.

Ein Newcomer, etwa ein Finanzinvestor, brauche dagegen Hilfe bei der Standortsuche, der Infrastruktur, bei der Planung und dem Bau des Gebäudes sowie der Einrichtung der Linie. Außerdem fehle ihm oft das leitende Personal mit dem Prozesswissen. Solche Einsteiger wählen bevorzugt eine Solarfabrik, die genauso bereits an anderer Stelle errichtet wurde und praxiserprobt ist. „Leider“, so Buckland, glauben diese Kunden, dass Turnkey-Anlagen von selber laufen. Die Fabrikhallen aufzubauen und zu bestücken, funktioniere meist noch. „Das ist in zwölf Monaten zu realisieren.“ Aber die Anlaufphase bis zu den ersten marktfähigen Produkten ziehe sich bei den Neuproduzenten lange hin. „Das kann locker sechs Monate und länger dauern“, sagt Buckland. Fehlende Experten seien der limitierende Faktor. Nach seiner Erfahrung benötigt ein Hersteller in spe auch für eine schlüsselfertige Fabrik mindestens fünf Personen mit mindestens fünf Jahren PV-Erfahrung in den Kernpositionen. Sonst werde lange nur Ausschuss hergestellt – womöglich zu lange.

Vorreiter bei schlüsselfertigen Fabriken sind Centrotherm und die Gebrüder Schmid



Aufbau der Turnkey-Fabrik: Mitarbeiter der Firma Centrotherm installieren einen sogenannten CVD-Reaktor für die Siliziumproduktion.

Building a turn-key factory: employees of Centrotherm install a so-called CVD-reactor for silicon production.

aus dem süddeutschen Raum. Die ersten Linien zur Herstellung kristalliner Zellen entstanden bereits kurz nach der Jahrtausendwende. Doch mit der starken Zunahme an Neueinsteigern in den letzten Jahren ist auch die Nachfrage nach Schnellbaufabriken für die grüne Wiese gestiegen. Planer wie ib vogt und M+W Zander konnten mit ihrer Erfahrung im Fabriklayout punkten, hatten passende Konzepte parat. Maschinen- und Anlagenbauer zogen nach, erweiterten ihr Produktportfolio.

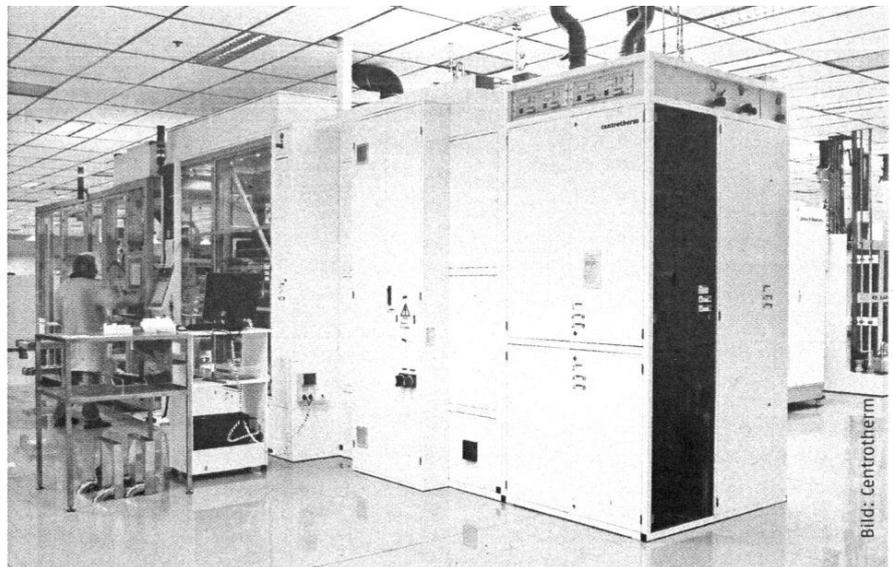
MITTELSTÄNDLER BAUEN GROSSE GIGAFABS

Dieser Trend zur Integration möglichst vieler Techniken und Prozessschritte hält unvermindert an. Ein Teil der Unternehmen setzt dabei auf die Entwicklung neuer Produkte und Prozesse und kauft fehlende Expertise und Maschinen zu. So verfährt z.B. Branchenschwergewicht Centrotherm. Um die vertikale Integration über die gesamte solare Wertschöpfungskette voranzutreiben, haben die Schwaben diverse Spezialanbieter übernommen: Michael Glatt Maschinenbau, Hersteller von Druckbehältern für Siliciumreaktoren, den Know-how-Träger für die Siliciumproduktion Solmic oder den Modullinien-Konstrukteur GP Solar.

Andere Firmen gehen dagegen strategische Kooperationen ein, um Turnkey-Linien offerieren zu können. Ein wahrer Profi im Spinnen solcher Netzwerke ist die Schmid Gruppe. Sie führt ein Konsortium an, dem inzwischen viele Spezialanbieter angehören. Die Firmen ergänzen sich in ihrem Angebot komplementär, können gemeinsam schlüsselfertige Wafer-, Zellen- und Modullinien mit bis zu einem GW-Kapazität errichten. Ihre Turnkey-Lösungen werden die Zulieferer vom 28. September bis 1. Oktober 2010 zur solarpeq - Fachmesse für solare Produktionstechnik in Düsseldorf präsentieren.

Richtig Auftrieb bekam Turnkey mit dem Start der Dünnschicht-Massenfertigung. Firmen wie Applied Materials in den USA, die Schweizer Oerlikon oder Ulvac in Japan wurden hellhörig. Mit ihrer Expertise als Anlagenbauer der Halbleiter- und Flachbildschirmindustrie setzten sie nun auch auf die Solarenergie - und etablierten sich schnell als weltweite Anbieter schlüsselfertiger PV-Linien.

Arnulf Jäger-Waldau vom Institut für Umwelt und Nachhaltigkeit am gemeinsamen EU-Forschungszentrum (JRC) in Italien hat ihre Entwicklung beobachtet: „2007 kündigten sieben Firmen an, sie würden bald eine schlüsselfertige Anlage anbieten. 2009



Check der Schlüsselmaschine: In einem Horizontalofen werden Wafer zu Zellen prozessiert. Ein Centrotherm-Techniker prüft dessen Betriebsbereitschaft.

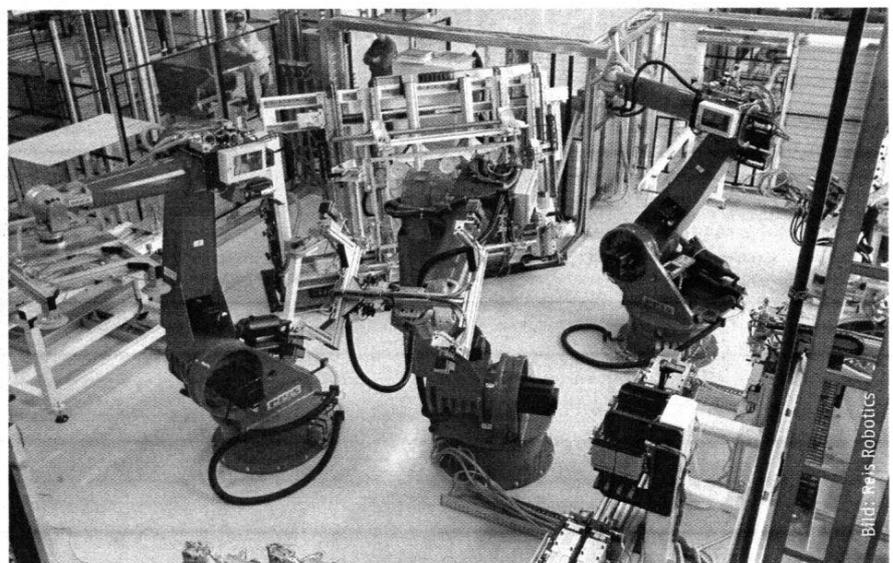
Checking the core machine: in a horizontal furnace wafers are processed further into cells. A Centrotherm technician checks its ready status.

offerieren bereits 20 Firmen Turnkey-Lösungen.“ Ohne ihr Angebot könnte die PV wahrscheinlich nicht so rasant wachsen: 2009 stehen laut dem europäischen PV-Verband (EPIA) weltweit Herstellkapazitäten an kristallinen und Dünnschichtmodulen von 15 GW zur Verfügung, 2010 könnten es schon 20 GW sein. Zur Jahrtausendwende schafften die Fabriken global nur 250 MW und übersprangen erst 2002 die GW-Marke.

AUTOMATION AUS DER AUTOINDUSTRIE

Um vom PV-Boom zu profitieren, wenden sich immer neue Firmen der Photovoltaik zu. Vor allem Zulieferer der kriselnden Autoindustrie schwenken ihre Roboter zur Sonne,

suchen Abnehmer für ihre Fließbandexpertise. Als Ausrüster der Autobauer, der Branche mit dem höchsten Industrialisierungsgrad, könne man auch Solarfabriken schlanker, schneller und flexibler machen, betont der Marketingleiter von Kuka Systems in Augsburg, Markus Meier. Kuka selbst liefert Modullinien mit bis zu 100% Automatisierungsgrad. „Das kann sonst keiner“, sagt Meier. Erfolgreich in der PV Fuß gefasst hat auch der unterfränkische Roboterhersteller Reis Robotics. Anfang der 2000er-Jahre lieferte er noch vorrangig Infrastruktur für den Autobau - heute erzielt er laut Geschäftsführer Eberhard Kroth bereits die Hälfte seiner Umsätze mit Solarequipment und schlüsselfertigen Modullinien.



Schnelle Helfer: In der Turnkey-Modullinie der Firma Reis Robotics übernehmen Roboter eine wichtige Funktion - sie sorgen für eine schnellere Produktion.

Quick assistants: In Reis Robotics' turn-key module line robots assume a crucial function - they ensure faster production.



Einzug: Oerlikon-Mitarbeiter bringen die ersten Dünnschichtanlagen in die Fabrik des Berliner Herstellers Inventux.

Moving in: Oerlikon employees take the first thin-film systems into the factory of the Berlin manufacturer Inventux.

Als langjähriger Zulieferer Linien zur Herstellung von (Auto-)Glas verfügt das Unternehmen über viel produktionstechnische Expertise. Die von Reis im Jahr 2007 gelieferten Anlagen brachten es auf 850 MW-Modulleistung, ein Jahr später waren es bereits 1,6 GW.

SCHNELLER KAPAZITÄTSAUFBAU

Während das Angebot für Turnkey-Modullinien groß ist, werden schlüsselfertige Lösungen rarer, je näher man dem Anfang der Wertschöpfungskette kommt. Grund ist die schwierige Herstellung der Produkte im Upstreambereich, besonders des Siliciums. Der britische Ingots- und Waferhersteller PV Crystalox etwa hat ein Siliciumwerk komplett in Eigenregie errichtet, da er keine Fremdexpertise einkaufen konnte. Fabrikleiter Hanno Wilhelm weiß warum: „In diesem Segment wird viel Geheimniskrämerei betrieben.“ Wer bietet der Konkurrenz schon einen Plan von der komplexen Gewinnung des wertvollen Halbleiters?

2007 begann PV Crystalox mit dem Bau, inzwischen ist die Siliciumaufbereitung angelaufen. Doch mittlerweile gibt es selbst für die aufwendige Siliciumherstellung Fabriken „off-the-shelf“, wie es im Fachjargon heißt. Centrotherm stellte die voll integrierte Fabrik im Frühjahr 2009 vor: Die komplette Produktion vom Silicium bis zum fertigen Modul ist für rund eine Milliarde Euro zu haben.

Doch wo liegen die Vorteile der schlüsselfertigen Fabriken? „Ganz klar im schnellen

Aufbau von Kapazitäten“, sagt Jäger-Waldau. Das sehen auch die etablierten Hersteller so und expandieren verstärkt mithilfe von Turnkey. Allerdings verwenden sie ihre eigenen Werke als Vorlage, spie-

geln sie quasi auf die angrenzende Wiese. Die Ausrüster gewähren meist Produktionsgarantien, die in der Anlaufphase Luft verschaffen. Alternativ könnten sie eine Fabrik über eigene Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten aufbauen. Ein gutes Beispiel für diesen Weg ist der führende Dünnschichtanbieter First Solar. Anhand des Branchenriesen wird aber auch der Nachteil dieser Strategie deutlich: Acht Jahre und 140 Millionen Dollar benötigten die Amerikaner bis zur Ramp-up-Phase, dem Anlaufen der Produktion – so lange kann heute kein Einsteiger warten.

DIE KEHRSEITE VON TURNKEY

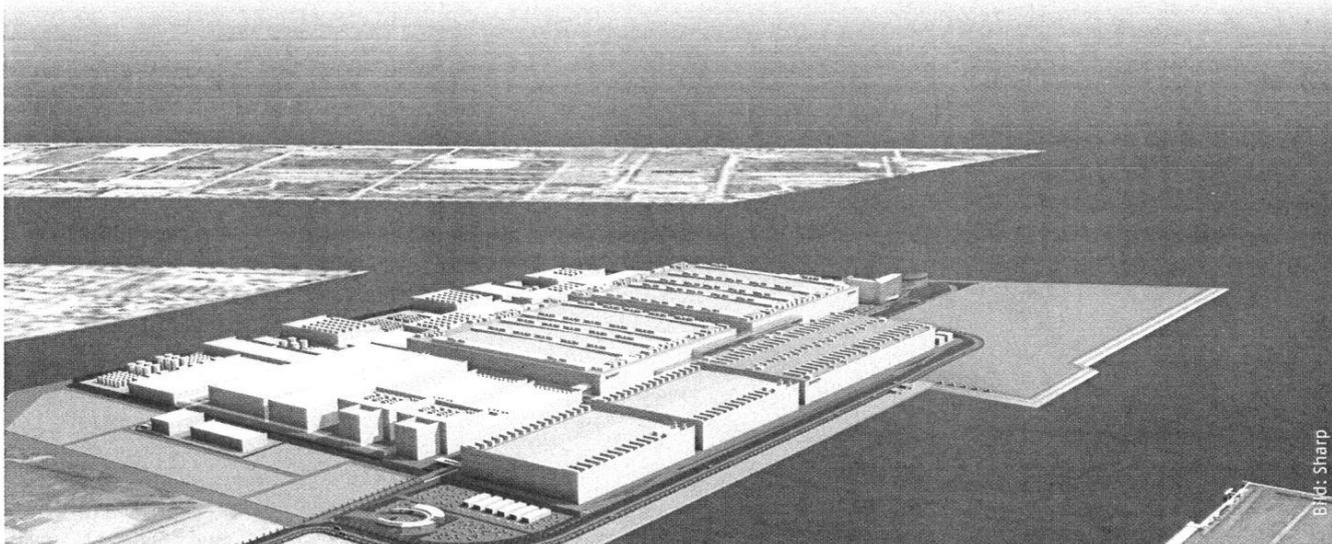
Gegen Turnkey sprechen die wenigen Möglichkeiten, Alleinstellungsmerkmale auszuprägen, sich von der Konkurrenz abzuheben, die die gleiche Fabrik möglicherweise schon an einem anderen Standort betreibt. „Abheben kann man sich dann nur über Skaleneffekte, durch einen schnelleren Ausbau der Massenproduktion“, sagt Jäger-Waldau. Bei der Errichtung der ersten Linie muss demnach die nächste bereits in Planung sein.

Wachstum setzt allerdings voraus, dass der Fabrikbetreiber sein Geschäftsmodell zügig ändert, eigene Expertise aufbaut. Das

WAFER ODER DÜNNSCHICHT

Um aus Silicium ein Modul herzustellen, sind viele Produktionsschritte nötig. Silicium wird meist durch chemische Destillation in speziellen Reaktoren hergestellt. Anschließend wird es in Tiegel geschmolzen, zu Ingots kristallisiert und diese anschließend in Scheiben gesägt. In chemischen Bädern werden die Wafer zunächst gereinigt, dann durch Ätzung eine Oberfläche produziert, die geeignet ist, Licht einzusammeln. Nach der Texturierung werden die elektrischen Eigenschaften des Siliciums eingestellt. Dazu wandern in einem Diffusionsofen Phosphoratome in den Kristall, um an dessen Oberfläche einen Elektronenüberschuss zu erreichen – die entscheidende Voraussetzung für die Gewinnung elektrischer Energie. Auf den „halbfertigen“ Zellen werden dann Antireflexions- und Passivierungsschichten aufgebracht. Diese gewährleisten, dass mehr Licht in die Zellen eindringt und absorbiert werden kann. Häufigstes Beschichtungsverfahren ist die chemische Gasphasenabscheidung (CVD). Dabei wird Siliciumnitrid oder Titanoxid auf der Oberfläche abgeschieden. In der Modullinie werden die einzelnen Zellen zu Strängen verschaltet und diese dann verlötet. Ein Laminator schweißt den Zellenverbund bei Unterdruck thermisch zwischen Glasscheiben und mehrere Kunststofffolien witterungsfest ein. Schließlich wird das Modul in einem Rahmen mit der Anschlussbox versehen und ist dann fertig für die Montage auf Hausdächern oder in Solarkraftwerken.

Die Dünnschichtfertigung ist dagegen ein kontinuierlicher Prozess. Kontakte und die halbleitenden Materialien – Schichten, die um ein Vielfaches dünner sind als Silizium – werden direkt auf ein Substrat (in der Regel Glas) aufgetragen. Verschiedene Wege stehen dafür zur Auswahl: Meist erfolgt das Aufbringen über Verfahren der physikalischen und chemischen Gasphasenabscheidung. Dabei werden die Halbleiter in speziellen Reaktoren bei hohen Temperaturen hauchdünn aufgedampft oder gesputtert. Beim Sputtern, zu Deutsch: Zerstäuben, werden Atome aus einem Festkörper durch Beschuss mit energiereichen Ionen herausgelöst. Diese kondensieren und schlagen sich auf dem Substrat nieder. Nach der Prozessierung werden die Zellen mit einem Schutzglas versehen.



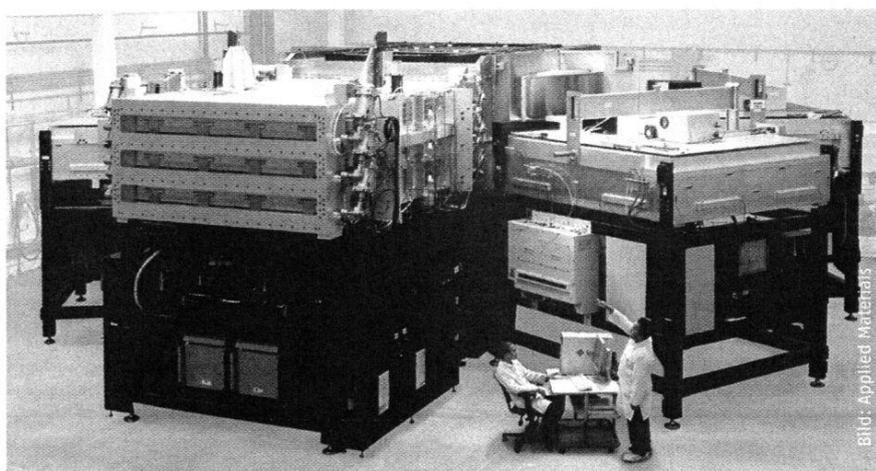
Fabrik der Zukunft: Sharp plant in Sakai, Japan, einen riesigen Produktionskomplex. Neben Flachbildschirmen sollen hier ein Gigawatt Dünnschichtmodule hergestellt werden.

Tomorrow's factory: Sharp plans a giant production complex in Sakai, Japan. Alongside flat-panel screens thin-film modules for one Gigawatt are to be produced there.

ist wegen des enormen Entwicklungstempos der PV nicht einfach. Zudem lässt sich neues Equipment nicht ohne Weiteres in eine bestehende Linie integrieren, weil Standards noch fehlen. Immerhin ist das Problem der schlechten Kompatibilität erkannt und soll gelöst werden. Die PV Group im Halbleiterverband Semiconductor Equipment and Materials International (Semi) Europe hat Maßnahmen evaluiert, mit denen sich Herstellprozesse optimieren lassen. „Damit könnte jeweils die beste verfügbare Technik problemlos in eine bestehende Linie integriert werden“, sagt Produktionsexperte Blokken. Mit der Industrie stehe Semi schon in regem Austausch; bald wird sich zeigen, ob und welche Standards sie akzeptiert.

Auch für Anlagen- und Maschinenbauer kann Turnkey zu einer Sackgasse werden. Die Konkurrenz wächst, produktionstechnische Innovationen entwickeln sich rasch. Demnach kann ein Anbieter im Wettlauf um die effizienteste und größte Produktionsstraße leicht den Anschluss verlieren. Mittelständische Unternehmen stellen sich heute besser, wenn sie sich auf einen Maschinentyp spezialisierten, als mit Turnkey aufzuwarten, sagt Jäger-Waldau. „Module sind ein kommerzielles Produkt. Hersteller dieser Massenware werden künftig kapitalstarke Konzerne sein, die in Asien und nicht in Europa beheimatet sind.“

Unternehmen wie Samsung, LG oder Hyundai positionierten sich bereits und seien womöglich die Solarriesen von Morgen. Diese würden ihre Fabriken zwar auch Turnkey aufbauen, aber in Dimensionen, die Mittelständler nicht mehr bedienen können. Deshalb sei Spezialisierung für sie wohl die zukunftsträchtigste Strategie: innovatives Equipment für die lange PV-Herstellkette.



Neue Dimensionen: Herstellequipment für Dünnschichtmodule, hier die Sunfab von Applied Materials, nimmt viel Platz in Anspruch – eine große Herausforderung für Fabrikplaner.

New dimensions: thin-film module production equipment, here the Sunfab by Applied Materials, has a big footprint – posing a big challenge to factory planner

THE KEY TO THE SOLAR FACTORY

To be able to compete photovoltaics manufacturers have to develop large production capacities fast and produce efficiently. Upstream suppliers help them to expand by offering complete, turn-key lines that they install and run in a short period of time while guaranteeing their output; and the industry is only too pleased to accept these turn-key installations.

Those interested in purchasing a turn-key home would contact a construction company, look at various types of homes in its catalogue and then have the "object of their desire" delivered: turn the key and start living. But what about a solar factory? Can you purchase a plant where you only have to roll the gate open and start producing right away? This is at least the promise made by so-called turn-key plants, ready-built manufacturing sites for silicon wafers, cells and modules that many PV (photovoltaics) suppliers offer these days. Originally these machinery and plant builders only offered equipment for one specific manufacturing process, manufacturing lines were therefore always the product of numerous specialised outfitters. Today, they supply the complete lines as single-source suppliers – commissioned and with guaranteed output parameters such as yield, throughput, availability and efficiency. Solar producers benefit from turn-key solutions of this kind because they allow them to ramp up large manufacturing capacities fast – and bring down their costs rapidly.