



SARASIN

Sarasin Studie

Sarasin Research

PV 2002

Markt, Akteure und Prognosen

August 2002

Christoph Butz

Inhaltsverzeichnis

<i>Zusammenfassung:</i>	3
1 Einleitung	4
2 Nachhaltigkeit der Photovoltaik	5
3 Der Photovoltaik-Markt heute	8
3.1 Grösse und Partitionierung des PV- Marktes	8
3.1.1 Konsumgütermarkt	10
3.1.2 Wohnhäuser in Industrieländern	10
3.1.3 Netzunabhängige Anwendungen in Entwicklungsländern	11
3.1.4 Telekommunikation, Sendeanlagen	11
3.1.5 PV-Diesel-Hybridanwendungen	12
3.1.6 Netzgekoppelte Anlagen auf Privat- & Firmengebäuden	12
3.1.7 Zentrale Solarstromkraftwerke	13
3.2 Die Technologien	14
3.2.1 Monokristalline Siliziumzellen	15
3.2.2 Polykristalline Siliziumzellen	16
3.2.3 Amorphe Siliziumzellen	16
3.2.4 Schicht- & Bandsilizium-Verfahren	17
3.2.5 Hochleistungszellen	17
3.2.6 Cadmium-Tellurid (CdTe), Kupfer-Indium-Diselenid (CIS)	18
3.2 Die Unternehmen	19
3.3 Die Länder	25
3.4 Entwicklung des PV-Marktes bis zum Jahr 2010	27
Anhang	32

Besonderer Dank geht an Paul D. Maycock von PV Energy Systems, Inc. für seine wertvollen Informationen sowie Gabriela Pace für die sorgfältige Durchsicht des Manuskripts.

Zusammenfassung:

Die vorliegende Studie analysiert die grundsätzliche Nachhaltigkeit, die verschiedenen Anwendungsgebiete, die verfügbaren Technologieoptionen sowie die wichtigsten Unternehmen und Produzentenländer der weltweiten Photovoltaik (PV)-Industrie. Auf dieser Grundlage wird die weitere Entwicklung bis ins Jahr 2010 prognostiziert.

Der PV-Weltmarkt hat im letzten Jahr erneut um fast 38% gegenüber dem Vorjahr zugelegt und ein Volumen von knapp 400 MW erreicht. Bei den Produzentenländern hat Japan seine Vormachtstellung gegenüber den USA und Europa verteidigt. Gleich vier japanische Unternehmen finden sich in den «Top Ten» der grössten Solarzellenhersteller, darunter auch die Nummer eins, der japanische Elektronikkonzern Sharp, welcher seine Produktion erneut um 50% gesteigert und damit seine Vormachtsstellung zementiert hat. Aber die Europäer holen auf. Sie konnten ihre Solarzellenproduktion mit über 40% relativ gesehen noch stärker ausweiten als die Japaner, wenn auch von tieferem Niveau aus. Wird nicht auf die Standorte der Solarfabriken abgestellt, sondern auf deren Besitzer, so ist Europa – v.a. dank den beiden Erdölkonzernen BP und Royal Dutch/Shell - mit Japan fast gleichauf. Amerika verliert hingegen sowohl als Produktionsstandort wie auch als Produzent weiter an Boden.

Durch die vollständige Übernahme von Siemens Solar ist Royal Dutch/Shell zum viertgrössten Unternehmen der Solarindustrie avanciert. Für Siemens bedeutet dies den endgültigen Ausstieg aus einer Technologie, die der deutsche Konzern in der Vergangenheit ganz entscheidend mitgeprägt hat. Die «Top Ten» der weltweit führenden Solarzellenhersteller bleiben jedoch ein stabiler und ziemlich exklusiver Club, dessen Mitglieder rund 85% aller Solarzellen weltweit produzieren. Nur wenige Unternehmen scheinen kurzfristig in der Lage, in diesen illustren Kreis vorzustoßen.

Unsere letztjährige Prognose von 381MW Jahresproduktion wurde mit 396MW leicht übertroffen. Wir bleiben allerdings unserem eher konservativen Szenario treu und glauben nicht, dass alle angekündigten Ausbaupläne der Unternehmen tatsächlich auch realisiert werden. Wir sehen uns in dieser Einschätzung durch die beobachtbare gedämpfte Entwicklung im zweitwichtigsten Markt Deutschland bestätigt. Dennoch beurteilen wir das makroökonomische Umfeld für die Solarenergie als nach wie vor günstig und halten daher auch an unserer Langzeitprognose fest: einem Ausbau der jährlichen Solarzellenproduktion auf über 1450 MW im Jahr 2010. Daraus errechnen sich jährliche durchschnittliche Zuwachsraten (CAGR) von knapp 16% für das laufende Jahrzehnt, wobei das Wachstum gemäss unserem Szenario für die nächsten paar Jahre noch deutlich über 20% liegen wird, gegen Ende des Jahrzehnts aber abflacht.

Der Marktanteil der netzgekoppelten Anwendungen hat erstmals die 50% überschritten. Dieser Bereich wird auch weiterhin am stärksten wachsen, zusammen mit den Anwendungen in der dritten Welt. Bei den verschiedenen Herstellungsverfahren haben die polykristallinen Zellen erstmals mehr als 50% Marktanteil erreicht. Trotz dem Aufkommen neuerer Technologien (Dünnschicht, Schmelz-Ziehverfahren u.a.) bleiben wir überzeugt, dass Polysilizium auf absehbare Zeit das Mass der Dinge bleiben wird. Die Industrie hat das drohende Problem der Rohstoffknappheit erkannt und zahlreiche Initiativen gestartet, um eine ausreichende Versorgung mit solarzellenfähigem Reinsilizium sicherzustellen.

1 Einleitung

Seit 1998 veröffentlicht Sarasin regelmässig ihre Analyse des weltweiten Photovoltaikmarktes.

Der Solarenergie kommt im Rahmen einer nachhaltigen Zukunft und innerhalb der erneuerbaren Energien steigende Bedeutung zu. Die Bank Sarasin & Cie AG veröffentlicht seit 1998 jährlich ihre Analysen und Einschätzungen zur Entwicklung des weltweiten Photovoltaikmarktes¹. Wir möchten auch im laufenden Jahr eine aktualisierte Darstellung der heutigen Marktsituation vorlegen. Wesentliche Elemente und Themenblöcke konnten aus früheren Publikationen übernommen werden. Neben der Aktualisierung der Marktdaten wurde wie üblich den neuesten Entwicklungen Rechnung getragen.

Beschränkung auf die photovoltaische Solarenergienutzung.

Getreu dem Titel der Studie, haben wir uns auch dieses Jahr entschieden, unsere Marktübersicht auf die Photovoltaik (i.e. der direkten Erzeugung von Elektrizität aus Sonnenlicht) zu beschränken, dies obwohl uns die grosse Bedeutung solarthermischer Anwendungen in der Praxis² bewusst ist. Die Berechtigung für dieses Vorgehen sehen wir darin, dass photovoltaische Anlagen *per definitionem* elektrischen Strom produzieren (ein homogenes, transportier- und frei handelbares Gut), was ihr insbesondere vor dem Hintergrund von vorteilhaften Einspeisevergütungsregelungen wirtschaftliche Chancen erschliesst, die der Solarthermie aufgrund ihrer Gebundenheit an ein Bauwerk nur begrenzt offen stehen.

Nachhaltigkeit, Markt, Technologien und Akteure. Makroanalyse.

In der vorliegenden Studie sollen eingangs generelle Aspekte der Nachhaltigkeit diskutiert, dann die verschiedenen PV-Marktsegmente analysiert, die gängigen Technologien beschrieben sowie die zehn wichtigsten Solarzellenhersteller kurz vorgestellt werden. Auf dieser Basis wird die Entwicklung des Marktes bis ins Jahr 2010 prognostiziert. Die Publikation trägt den Charakter einer Makrostudie. Titelspezifische Kaufempfehlungen werden keine abgegeben.

Menge der hergestellten Solarzellen als Bezugsgrösse für die Grösse des PV-Marktes.

Als Bezugsgrösse für die Grösse des Photovoltaik-Marktes halten wir wie bisher an der Menge der hergestellten Solarzellen fest, da Doppelzählungen und Innenlieferungen auf dieser Stufe der solaren Wertschöpfungskette am besten eliminiert werden können.

-
- 1 Die Studien der letzten drei Jahre: «Photovoltaik am Ende des 20. Jahrhunderts: Markt, Akteure und Chancen einer nachhaltigen Industrie», «PV 2000: Markt, Akteure und Prognosen» sowie «PV 2001: Markt, Akteure und Prognosen», können bei Sarasin als PDF-Datei bezogen werden.
 - 2 Vom aktuellen Marktvolumen her sind klassische solarthermische Anwendungen («Sonnenkollektoren»; Anwendungen im Niedertemperaturbereich) nach wie vor bedeutender als die Photovoltaik. Anwendungen im Hochtemperaturbereich, insbesondere wo die solare Strahlungswärme zum Verdampfen einer Flüssigkeit und Antrieb einer Turbine verwendet wird, sind dagegen von unserer Prognose gedeckt.

2 Nachhaltigkeit der Photovoltaik

Sind die «grünen» Lorbeeren gerechtfertigt?

Gerade angesichts einer überall geforderten «nachhaltigen Entwicklung» im allgemeinen und dem Aufkommen der erneuerbaren Energien im besonderen wird die Photovoltaik häufig als Musterbeispiel einer nachhaltigen Problemlösung angeführt. Sind diese «grünen» Vorhusslorbeeren aber tatsächlich gerechtfertigt? Sarasin überprüft diese Frage regelmässig im Rahmen der von ihr entwickelten Nachhaltigkeitsanalyse, indem die Kompatibilität dieser Technologie mit den Postulaten einer nachhaltigen Entwicklung verglichen wird:

Kompatibilität mit den Nachhaltigkeitspostulaten des WBCSD³.

- ⇒ Reduktion der *Materialintensität*: Silizium ist das zweithäufigste Element der Erdkruste. Für hochreines Silizium müssen zwar grosse Mengen Quarzsand abgebaut und verhüttet werden, aber der erzielbare Mehrwert pro Materialeinheit (spezifische Ökoeffizienz) ist hoch⁴. Zudem entfällt beim Betrieb der Transport fester oder flüssiger Brennstoffe. Kompatibilität mit diesem Postulat: mittel bis hoch.
- ⇒ Reduktion der *Energieintensität*: Die Gewinnung und Veredelung von Silizium in erforderlicher Reinheit ist sehr energieintensiv⁵. Die Herstellungenergie ist allerdings i.d.R. binnen weniger Jahre amortisiert⁶ und während der Betriebsphase wird Strom vollständig CO₂-neutral produziert. Umwandlungsverluste sind – im Gegensatz zur fossilen Stromerzeugung – aus Umweltsicht nicht relevant. Kompatibilität: mittel.
- ⇒ *Wiederverwendung/Wiederverwertung*: Abfallmaterial aus der Halbleiterindustrie ist zur Zeit noch immer mit Abstand das wichtigste Rohmaterial für Solarzellen auf Siliziumbasis. Bestrebungen, Sägespäne und Produktionsausschuss wiederzuverwenden, sind in vollem Gang⁷. Die hohe Lebensdauer der Anlagen macht diesen Aspekt vorderhand allerdings noch zweitrangig. Kompatibilität: hoch.
- ⇒ Minimierung der *Toxizität*: Die Siliziumherstellung ist nicht nur energieintensiv, sondern auch relativ toxisch (Chlorverbindungen etc.). Die Umweltbelastung aus der eigentlichen Solarzellenherstellung ist hingegen vergleichsweise gering und während der gesamten Be-

³ Die genannten Umweltpostulate wurden in der vorliegenden Form erstmals vom World Business Council for Sustainable Development (WBCSD) so formuliert.

⁴ Man geht weiter davon aus, dass der spezifische (Rein)Siliziumverbrauch von heute ca 17 Tonnen/MWp durch Effizienzsteigerungen und dünnere Wafer auf etwa rund 10t/MWp gedrückt werden könnte.

⁵ In die Produktion von 1kg MG Silizium gehen etwa 14kWh Energie ein (Quelle: Deutsche Solar AG).

⁶ Vgl. dazu bspw. «Wie viel Energie braucht die Energie?» Daniel Spreng. VDF. Zürich 1989 oder die Dissertation von Markus G. Real «A methodology for evaluating the metabolism in the large scale introduction of renewable energy systems».

⁷ Zu nennen wären die diesbezüglichen Bestrebungen der - der französischen Photowatt nahestehenden - Appolon Solar oder von SolarWorld, welche die erste Recycling-Anlage für gebrauchte Module aufbauen will.

triebsphase entstehen keine giftigen Emissionen mehr. Problematische Inhaltsstoffe (Schwermetalle etc.) sind noch wenig verbreitet, könnten aber längerfristig vielleicht doch zu einem Problem werden. Kompatibilität: mittel bis hoch.

- ⇒ Einsatz von *erneuerbaren Energien*: Solarenergie ist die erneuerbare Energie schlechthin. Die Sonne ist quasi der Motor für alle anderen erneuerbaren Energien, mit Ausnahme der Geothermie. Jede photovoltaisch erzeugte kWh Strom verhindert zudem den Ausstoss von ca. 0.7 kg CO₂⁸. Kompatibilität: sehr hoch.
- ⇒ *Dauerhaftigkeit/Modularität*: Solarzellen und –anlagen haben eine geschätzte Lebensdauer von mindestens 20 Jahren. Allerdings lassen technologische Fortschritte (insbesondere Erhöhung des Wirkungsgrades) eine bestimmte Anlage technisch veralten, bevor die physikalische Lebensdauer ausgeschöpft ist. Solaranlagen sind nur beschränkt upgradefähig. Kompatibilität: mittel bis hoch.

Zusammenfassend lässt sich also feststellen, dass die Kompatibilität der Solarzellentechnologie mit den Umweltschutzpostulaten des WBCSD generell hoch ist und die Photovoltaik im Sinne der verwendeten Definition damit als «nachhaltig» gelten kann.

Die Photovoltaik leistet auch einen Beitrag zur Lösung von drängenden sozialen Problemen, denn...

Bei der Beurteilung einer Technologie hinsichtlich ihrer Nachhaltigkeit sollte aber immer auch die soziale Dimension mitberücksichtigt werden. Auch zur Lösung von drängenden sozialen Problemen unserer Zeit kann die Photovoltaik einen wertvollen Beitrag leisten, insbesondere auch in Drittweltländern, und v.a. dort, wo momentan keinerlei Aussicht auf eine zuverlässige und permanente Elektrifizierung besteht. Nachfolgend sind diese Möglichkeiten kurz dargestellt:

... sie hebt den Lebensstandard auf dem Land und...

- ⇒ *Urbanisierung*: Die Landflucht zerstört ländliche Strukturen und führt in den Städten zur Bildung einer verarmten Unterschicht und zu Slums. Die Migration wird dabei entscheidend vom (vermeintlichen) Gefälle des Lebensstandards angetrieben. Die Photovoltaik kann Strom in ländliche Gebiete bringen und den Lebensstandard vor Ort anheben. Beitrag zur Problemlösung: sehr hoch.

...schafft mehr Arbeitsplätze als fossile Energiequellen.

- ⇒ *Arbeitslosigkeit*: Die erneuerbaren Energien und insbesondere die Photovoltaik schaffen im Verhältnis zur traditionellen Energieindustrie mehr Arbeitsplätze pro installierte Leistung⁹, und zwar nicht nur bei den Produzenten, sondern auch im Zwischenhandel, bei der Monta-

⁸ Annahme: typischer Strommix. Vgl. bspw. «Renewable Energy: Status and Prospects». ABB-Studie von Baldur Eliasson. 1998. 104S.

⁹ Für die USA wurde berechnet, dass für jede in der Solarzellenproduktion ausgegebene Million ca. 17 permanente Arbeitsstellen, für jede Million USD, die in die Öl- und Gasförderung fließt, aber nur 1.5 Stellen geschaffen werden.



ge, im Unterhalt usw. Gegenwärtig beschäftigt die Photovoltaik-Industrie in den USA 15'000 bis 20'000 Mitarbeiter, in Deutschland 20'000. Schätzungen für das Jahr 2010 reichen von 100'000-300'000 Mitarbeitern allein für Deutschland. Die letztjährige Branchenstudie von EPIA¹⁰/Greenpeace erwartet sogar über 2 Millionen Arbeitsplätze im Jahr 2020. Nachhaltiger Beitrag: sehr hoch. Zudem werden neue Fabriken häufig auch in strukturschwachen Regionen angesiedelt (z.B. neue Bundesländer), was Arbeitsplätze schafft, wo diese am dringendsten gebraucht werden.

...Elektrifizierung hat Einfluss auf die Geburtenrate.

⇒ **Überbevölkerung:** Mit zunehmendem Wohlstand und Elektrifizierung nimmt die Geburtenrate nachweislich ab. Was das konkret bedeuten könnte, erläuterte Wayne Gould¹¹ einst an einer Konferenz anhand eines durchaus ernst zu nehmenden Beispiels: *«If you light people's huts at night, the birth rate goes down 12 percent. If you add television, it declines by another 8 percent.»*. Beitrag: mittel bis hoch.

...sie ermöglicht Lagerung von Impfstoffen u. Medikamenten & die Gewinnung von sauberem Trinkwasser.

⇒ **Gesundheit:** Photovoltaisch betriebene Kühlschränke können bei der Lagerung von Medikamenten, Impfstoffen und Lebensmitteln in Entwicklungsländern eine wichtige Rolle spielen. Gerade Spitäler sind in besonderem Masse von einer zuverlässigen Stromversorgung abhängig. Zur Förderung und Reinigung von Trinkwasser werden solarbetriebene Pumpen schon heute vielerorts eingesetzt. Beitrag: sehr hoch. Die photovoltaische Energieerzeugung funktioniert zudem völlig emissionsfrei, während die Belastung der Innenluft durch herkömmliche Beleuchtungssysteme gerade in Entwicklungsländern ein grosses Problem ist.

Fazit: kaum eine andere Technologie verfügt über ein ähnlich grosses Nachhaltigkeitspotential.

Auch das Potential, substantiell zur Lösung von sozialen Problemen beizutragen, ist bei der Solartechnologie also hoch. Es gibt nicht viele andere Technologien, welche eine ähnlich hohe Kompatibilität mit den Postulaten einer nachhaltigen Entwicklung aufweisen wie die Photovoltaik. Wie ihre Chancen hingegen stehen, sich auch nachhaltig auf dem freien Markt durchzusetzen, soll im folgenden näher beleuchtet werden:

¹⁰ European Photovoltaic Industry Association (EPIA) und Greenpeace, September 2001.

¹¹ Ehemals Southern California Edison.

3 Der Photovoltaik-Markt heute

3.1 Grösse und Partitionierung des PV-Marktes

Partitionierung des Marktes nach Applikationen sinnvoll.

Die Menge der weltweit produzierten Solarzellen betrug im Jahr 2001 je nach Quelle zwischen 390 MWp und 402 MWp¹². Der tiefere Wert stammt von PV Energy Systems während der höhere Wert aus der Märzangabe der Fachzeitschrift Photon entnommen wurde. Bank Sarasin arbeitet in der Regel mit Zahlen von PV Energy Systems, behält sich aber vor, den Dateninput für das Prognosemodell aufgrund eigener Erhebungen gegebenenfalls anzupassen oder zu ergänzen. Die u.E. zuverlässigsten Angaben stammen von der IEA, allerdings sind diese Daten auf die 26 Mitgliederländer beschränkt und leider erst mit erheblicher Verzögerung verfügbar. Es besteht also in dieser Hinsicht durchaus ein «*trade-off*» zwischen Aktualität und Präzision. Zwecks eingehender Analyse ist es in jedem Fall sinnvoll, den Photovoltaikmarkt erst anhand gewissen Kriterien zu unterteilen. Um die Kontinuität zu gewährleisten, behalten wir die bisher von uns verwendete Segmentierung nach Anwendungsgebieten (Applikationen) bei, stellen sie aber erstmals auch derjenigen der IEA gegenüber. Die von uns bisher verwendete Markteinteilung lautet wie folgt:

1. **Anwendungen in der Konsumgüterindustrie**
2. **Nicht netzgekoppelte Anlagen auf Wohnbauten in der ersten Welt**
3. **Nicht netzgekoppelte Anlagen im Wohnbereich in der dritten Welt**
4. **Telekommunikation; Sendeanlagen**
5. **PV-Diesel-Hybridanwendungen**
6. **Netzgekoppelte Anlagen auf Privat- und Firmengebäuden**
7. **Zentrale Solarstromkraftwerke (>100kW Nennleistung)**

Die International Energy Agency (IEA) verwendet hingegen in ihren Publikationen¹³ eine etwas andere und vereinfachte Einteilung:

1. **Insulanlagen auf Wohnhäusern (*Off-grid domestic*)**
2. **Insulanlagen im Nicht-Wohnbereich (*Off-grid non-domestic*)**
3. **Netzgekoppelte dezentrale Anlagen (*Grid-connected distributed*)**
4. **Netzgekoppelte zentrale Anlagen (*Grid-connected centralised*)**

Um die Vergleichbarkeit mit den von der IEA publizierten Daten zu erleichtern, wird in Abbildung 2 auch eine approximative Darstellung gemäss IEA präsentiert. Dabei entfällt jedoch praktisch der gesamte Kon-

12 Das kleine p steht für peak, i.e. die elektrische Leistung der Solarzellen bei Standardbedingungen (1'000 Wm⁻², 25°C, AM 1.5). Sämtliche Leistungsangaben in dieser Arbeit sind i.d.S. zu verstehen.

13 Trends in Photovoltaic Applications in selected IEA countries between 1992 and 2000, Photovoltaic Power Systems Programme, Report IEA – PVPS T1 – 10:2001.

sumgüterbereich, weil die IEA nur Anwendungen über 40 W erfasst. Andererseits ist der Anteil netzgekoppelter Anwendungen nach unserer Systematik deutlich tiefer, wohl v.a. weil in unsere Untersuchung auch Daten von Nicht-OECD-Ländern eingeflossen sind.

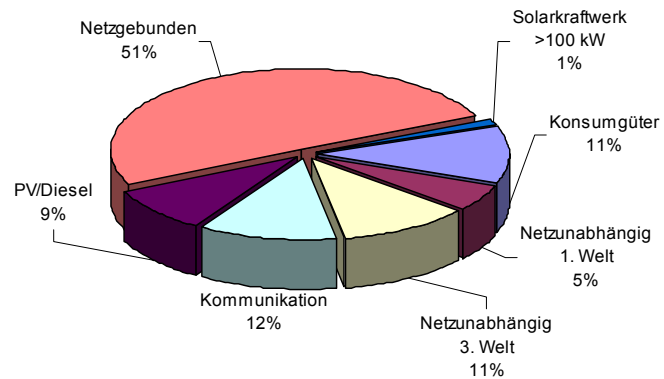


Abbildung 1: Anteile der neu installierten Leistung gemäss den spezifischen Anwendungsgebieten am gesamten, weltweiten PV-Markt 2001. *Quelle: PV Energy Systems/ Sarasin.*

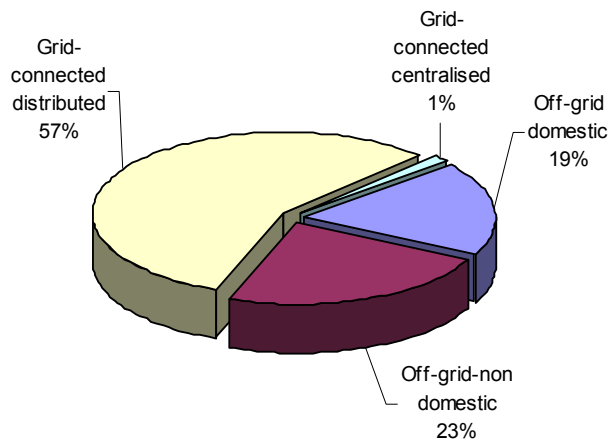


Abbildung 2: Anteile der im Jahr 2001 installierten Leistung gemäss der von der IEA verwendeten Systematik (approximiert).¹⁴

¹⁴ Die IEA erfasst nur PV-Anwendungen >40W Leistung. Demnach wird der grösste Teil der Konsumgüter nicht berücksichtigt. Diese Anwendungen sind jedoch Bestandteil unserer Marktanalyse, genauso wie die Nicht-OECD-Länder.



Konsumgütermarkt nach wie vor von Japanern dominiert; Potential bis 2010: Verdoppelung auf 80 MW/Jahr.

3.1.1 Konsumgütermarkt (*consumer products*)

Hierunter fallen alle – von der IEA-Statistik nicht erfassten - PV-Anwendungen mit geringer und sehr geringer erforderlicher Leistungsabgabe, wie sie bspw. in Taschenrechnern, Uhren etc. verbreitet sind. Es handelt sich dabei fast ausschliesslich um amorphe Siliziumzellen. Dieser Markt wird nach wie vor von den Japanern dominiert. So halten japanische Solarzellenhersteller bei der Ausrüstung von Billigtaschenrechnern noch immer einen Anteil von über 90%. Konsumgüteranwendungen machen gegenwärtig noch etwa gut einen Zehntel der gesamten Solarzellenproduktion aus. Dieser Bereich ist ausgesprochen innovativ. Ständig kommen neue Anwendungen auf den Markt (Taschenlampen, Unterhaltungselektronik u.a.m.). Grundsätzlich ist der Einsatz von Solarzellen auch für alle elektronischen Kleingeräte möglich, welche heute noch mit normalen Batterien betrieben werden. Aus preislichen Gründen ist dagegen der Einsatz bei leistungsstärkeren Geräten (z.B. Werkzeugen) noch limitiert. Wir gehen in unserem Makroszenario zwar davon aus, dass der relative Marktanteil dieses Segments weiter zurückgehen wird, sich bis ins Jahr 2010 aber gegenüber dem heutigen Niveau dennoch auf etwa 80 MW Jahresproduktion verdoppeln könnte.

3.1.2 Wohnhäuser in Industrieländern (*off-grid residential, 1st world*)

Verdreifachung des Marktes für abgelegene Wohnhäuser in Industrieländern auf ca. 60 MW bis 2010.

In grossen und dünn besiedelten Ländern wie den USA, Kanada, Spanien u.a.m. gibt es eine grosse Zahl abgelegener Häuser, welche nicht ans öffentliche Stromnetz angebunden sind. Meist werden solche Häuser mit Solaranlagen zwischen 0.3 und 1kW Leistung bestückt, welche an eine 12 - 24-Volt-Batterie gekoppelt sind. Der Markt für diese Anwendungen bewegt sich gegenwärtig im Bereich von gut 20 MW pro Jahr. Wir gehen in diesem Marktsegment von einer robust steigenden Nachfrage aus. Falls die Preise für Solarzellen weiter sinken, ist es durchaus denkbar, dass auch bei Neubauten in der Nähe von erschlossenen Gebieten Solaranlagen zum Einsatz kommen könnten, weil damit die hohen Anschlussgebühren für das Stromnetz entfielen. Bei welchem Preis dies der Fall sein wird, hängt sehr stark von der geografischen Breite ab. Für ein Haus in Kalifornien mit einer jährlichen Sonneneinstrahlung von ca. 2'400 Stunden ist dieser Punkt früher erreicht als für ein Haus in Nordeuropa. Für günstige Breiten dürfte dies bei einem Modulverkaufspreis von ca. 2.5-3 USD/Wp bereits der Fall sein (im Jahr 2001 lag der durchschnittliche Preis bei 3.5 USD/Wp, die allergünstigsten Preise lagen gemäss *PV Energy Systems* sogar bei 2.3 USD/Wp. Wir rechnen in diesem Bereich mit einer Verdreifachung der jährlichen Nachfrage auf etwa 60 MW pro Jahr bis ins Jahr 2010.

400 Mio. Haushalte ohne ständige Elektrizitätsversorgung in der 3. Welt: Marktpotential von 160 MW bis 2010.

3.1.3 Netzunabhängige Anwendungen in Entwicklungsländern (off-grid rural, 3rd world)

Dieses Marktsegment wird oft unterschätzt, weil man die finanziellen Möglichkeiten der potentiellen Käufer schlicht ignoriert oder zu tief veranschlagt. Es gibt heute noch immer rund 400 Millionen Haushalte¹⁵ in der Dritten Welt, die ohne Elektrizitätsversorgung auskommen müssen. Schätzungsweise die Hälfte dieser Haushalte gibt jedoch bereits heute mehr Geld¹⁶ für Kerosin, Diesel und Kerzen aus, als eine zweckdienliche Versorgung mittels Solarstrom kosten würde. Die Photovoltaik ist in diesem Umfeld also bereits heute (theoretisch) konkurrenzfähig. In diesem Bereich liegt denn auch ein sehr grosses Potential, welches – unterstützt durch geeignete Finanzierungsmodelle wie Mikrokredite u.a.m. – mittelfristig erschlossen werden könnte und sollte. Die Vorteile der Photovoltaik sind Entwicklungsorganisationen ja schon länger bekannt. Auch die Weltbank¹⁷ investiert seit längerem in solartechnische Anwendungen in der Dritten Welt. Wir gehen daher davon aus, dass dieses Marktsegment zusammen mit den netzgekoppelten Systemen - wenn auch etwas «phasenverschoben» – die höchsten Wachstumsraten aufweisen wird und sich bis zum Ende des laufenden Jahrzehnts vom heutigen Stand auf etwa rund 160MW/Jahr vervierfachen könnte.

Zuverlässigkeit und hoher Wirkungsgrad prioritär, wenig preissensitiv. Marktpotential bis 2010 bei 150 MW/Jahr.

3.1.4 Telekommunikation, Sendeanlagen (*communication&signal*)

Ein Marktsegment, in dem die Photovoltaik bereits heute vielerorts konkurrenzfähig ist, ist die Telekommunikation. Das Anwendungsspektrum reicht von der Stromversorgung abgelegener Telefonkabinen bis zu Funkmasten und Sendern. Letztere befinden sich ja oft an exponierten, schlecht zugänglichen Orten. Bisher wurde die Stromversorgung dieser Anlagen mittels Diesel-Aggregaten sichergestellt. Trotz höherer Installationskosten macht sich ein Aus- oder Umrüsten auf Photovoltaik aber i.d.R. innert weniger Jahre bezahlt. Die Zuverlässigkeit und Wartungsfreundlichkeit von PV-Anlagen ist derjenigen von Dieselaggregaten überlegen (z.B. keine Brennstofftransporte). Von der Technologie her werden für diese Anwendungen in erster Linie bewährte Mono- und Polysilizium-Solarzellen mit hohem Wirkungsgrad eingesetzt. Zuverlässigkeit und Effizienz haben in diesem Marktsegment Priorität, weshalb die Preiselastizität der Nachfrage gering ist. Die Kommunikationsanwendungen werden daher gerne auch als das «Rückgrat» der Photovoltaik-Industrie bezeichnet. Infolge des Ausbaus (Qualität, neue Zusatzleistungen) der Mobiltelefonie werden auch weiter zusätzliche Anlagen gebaut werden. Das Wachstum der Telekommunikationsindustrie hat sich allerdings seit unserer letzten Prognose weiter verlangsamt. Der zum Teil kritische Verschul-

¹⁵ Eine neue Studie der IEA rechnet damit, dass der Anteil Menschen ohne Zugang zu Elektrizität in den nächsten 30 Jahren um einen Drittel zurückgehen könnte, aber auch so werden noch immer rund 1.4 Milliarden Menschen ohne Stromanschluss verbleiben.

¹⁶ Man kann diesen Betrag mit ungefähr 5-10€ monatlich veranschlagen.

¹⁷ Für nähere Informationen s. etwa <http://www.worldbank.org/html/tpd/energy/photovoltaics.htm>.

dungsgrad vieler Unternehmen und der Niedergang der Technologieaktien an den Börsen werden u.E. die Nachfrage in diesem Marktsegment auch weiter dämpfen. Wir gehen dennoch davon aus, dass sich die Branche mittelfristig erholen wird und den Wachstumseinbruch wenigstens teilweise wettmachen können. Wir halten eine Marktexpansion auf gegen 150 MW/Jahr bis zum Ende des nächsten Jahrzehnts daher nach wie vor für möglich.

Potential für PV/Diesel-Hybrid-Markt bei rund 100 MW im 2010. Kleine Aggregate und hoher Ölpreis können Entwicklung beschleunigen.

3.1.5 PV-Diesel-Hybridanwendungen (*PV-Diesel-hybrid market*)

Darunter fallen Kombinationen von Photovoltaik-Anlagen mit dieselbetriebenen Stromgeneratoren. Wenn die von der Solaranlage gelieferte Leistung unter einen bestimmten Wert fällt, schaltet sich der Dieselgenerator automatisch ein. Dieselöl übernimmt hier also gewissermassen statt einer Batterie die Funktion eines (fossilen) Energiespeichers. Eine zusätzliche Batterie wird nur zum Start des Generators gebraucht. Solche Systeme können sowohl punkto Wirtschaftlichkeit wie Zuverlässigkeit Vorteile gegenüber reinen Solar- oder Dieselanlagen haben. PV-Diesel-Anwendungen hängen allerdings stark von zwei Einflussfaktoren ab, welche eine zuverlässige Wachstumsprognose erschweren: der Entwicklung des Ölpreises und der Anlagegrösse. Auf je mehr Leistung eine Anlage ausgelegt sein muss, umso billiger müssen Solarzellen werden, damit sie gegenüber reinen Dieselgeneratoren konkurrenzfähig bleiben. So dürften bspw. bei gleichbleibenden Treibstoffpreisen für eine 75kW-Anlage die Kosten für Solarzellen nur noch halb so hoch sein wie für eine 10kW-Anlage, damit sich die Installation rechnet. Alle Entwicklungen, welche den Ölpreis beeinträchtigen, werden sich daher auch bei diesem Marktsegment entsprechend auswirken. Gegenwärtig hat dieses Marktsegment ein Volumen von 36 MW/Jahr. Wir antizipieren für dieses Anwendungsgebiet eine knappe Verdreifachung auf gegen 100 MW bis zum Jahr 2010.

Dieser Bereich ist 2001 erneut um 65% gewachsen. Anteil am gesamten Photovoltaikmarkts schon bei über 50%. Marktvolumen bei über 700 MW im Jahr 2010.

3.1.6 Netzgekoppelte Anlagen auf Privat- & Firmengebäuden (*on-grid residential & commercial*)

Darunter fallen alle auf Dächern von Privat- und Firmengebäuden montierten Solaranlagen, welche an die lokale Elektrizitätsversorgung angeschlossen sind. Mittels Wechselrichter wird der von der Anlage produzierte (Gleich-)Strom in Wechselstrom umgewandelt und bei Überschussproduktion ins Stromnetz eingespeisen. Liefert die Solaranlage zuwenig Leistung, so wird die fehlende Leistung aus dem Versorgungsnetz zugeführt. Hier übernimmt also gewissermassen das Stromnetz des lokalen Anbieters die Funktion eines Speichers. Die Systeme bewegen sich in der Regel zwischen 2 und 8 kW, grössere Anlagen werden aber insbesondere bei gewerblichen Gebäuden immer häufiger installiert. Dieser Markt befindet sich in besonders starker Bewegung. Viele staatliche Unterstützungsprogramme (100'000 Dächer-Programm in Deutschland, v.a. in

Verbindung mit dem EEG¹⁸, das 75'000-Dächer-Programm in Japan, teilweise auch das Ein-Millionen-Dächer-Programm in den USA und weitere vergleichbare Initiativen v.a. in europäischen Ländern) zielen in erster Linie auf dieses Marktsegment und werden dessen Wachstum auch weiterhin fördern. Der Anteil dieses Segments am gesamten PV-Markt hat von knapp 20% Mitte der 90er Jahre auf rund 50% im letzten Jahr zugenommen, wobei sich das Marktvolumen im 2001 gegenüber dem Vorjahr noch um 65% - gegenüber 100% im Jahr zuvor! - erhöht hat. Die Aufhebung des 350MW-Deckels im sehr wichtigen Markt Deutschland wird dem netzgekoppelten Bereich weiterhin Auftrieb verleihen (s. auch hinten Kapitel 3.4). Obwohl wir dieses Segment kurzfristig nach wie vor für das wachstumsstärkste halten, gehen wir mittelfristig davon aus, dass sich die Wachstumsraten wieder auf einem tieferen Niveau einpendeln werden. Wir sehen dieses Marktsegment bei etwas über 700 MWp/Jahr im Jahr 2010.

3.1.7 Zentrale Solarstromkraftwerke (*on-grid central power*)

Grosse und sehr grosse zentrale Solarkraftwerke sind bisher nur unter speziellen Bedingungen wirtschaftlich. Dennoch sehen wir ein Potential von rund 200 MW bis 2010.

Hierbei handelt es sich um grosse bis sehr grosse Solarstromanlagen (>100 kW), welche Solarstrom zentral produzieren und ins Stromnetz einspeisen. Aufgrund der erforderlichen Strahlungsverhältnisse können bisher zentrale Solarstromkraftwerke nur in geeigneten Breiten, dem sogenannten Sonnengürtel oder «*sun belt*», einigermaßen wirtschaftlich betrieben werden. Typisch für dieses Marktsegment ist, dass die Anlagen in direkter Konkurrenz zu fossil befeuerten Kraftwerken stehen, deren externe Kosten ja bekanntermassen nicht im Marktpreis enthalten sind. Ohne Vorzugsbedingungen irgendwelcher Art¹⁹ sind für konkurrenzfähige Solarkraftwerke (selbst auf guten Standorten) wohl allenfalls Installationskosten von 1.5 bis 2 US\$/Wp tragbar. Dieses Preisniveau ist noch nicht erreicht. Zu diesem Marktsegment zählen wir bis auf weiteres auch solarthermische Anwendungen im Hochtemperaturbereich hinzu, sofern die Strahlungsenergie zum Verdampfen einer Flüssigkeit und zum Betrieb einer Turbine verwendet wird. Durch die schiere Grösse dieser Anlagen dürfte der vermehrte Bau von Solarstromkraftwerken gegen Ende dieses Jahrzehnts diesem Marktsegment sowohl relativ (Basiseffekt) als auch absolut gesehen grosse Wachstumschancen bescheren. Wir halten nach heutigem Wissen eine Marktexpansion von gegenwärtig 5 MW auf rund 200 MW bis ins Jahr 2010 für möglich.

Entwicklung der diversen Marktsegmente bis 2010: Netzgekoppelte Anwendungen und dritte Welt werden am stärksten wachsen.

In der nachfolgenden Abbildung 3 sind unsere Prognosen für die Entwicklung der verschiedenen Marktsegmente bis ins Jahr 2010 übersichtsmässig dargestellt. Das jährliche durchschnittliche Wachstum (CAGR) der meisten Marktsegmente – Ausnahmen sind das schwächere Konsumgütersegment und die grossen Solarkraftwerke – dürfte im Bereich von 12-

¹⁸ Das deutsche Erneuerbare-Energien-Gesetz - kurz EEG - vom 29. März 2000 trat am 1. April 2000 in Kraft. Am 10. Juli 2002 hat das Bundeskabinett den ersten Erfahrungsbericht dazu vorgelegt.

¹⁹ Gemeint sind insbesondere Einspeisevergütungen. Die Abgrenzung zum Marktsegment 3.1.6 wäre in diesen Fällen fließend. Momentan rechnen wir auch grosse Solaranlagen >100kW, die bspw. in Deutschland auf einem Firmendach erstellt werden, nicht zu diesem Segment.

15% liegen, wobei aber die netzgekoppelten Anwendungen in der ersten Welt und die Inselanlagen in der dritten Welt unserer Meinung nach die rasanteste Entwicklung erfahren werden. Wir erwarten für den netzgekoppelten Bereich noch immer Zuwachsraten von deutlich über 20% für die nächsten Jahre. Das Wachstum in der dritten Welt wird dagegen etwas phasenverschoben einsetzen. Sollten sich unsere Erwartungen für zentrale Solarstromkraftwerke bewahrheiten, wäre in diesem Segment gar mit Zuwachsraten von über 50% p.a. zu rechnen.

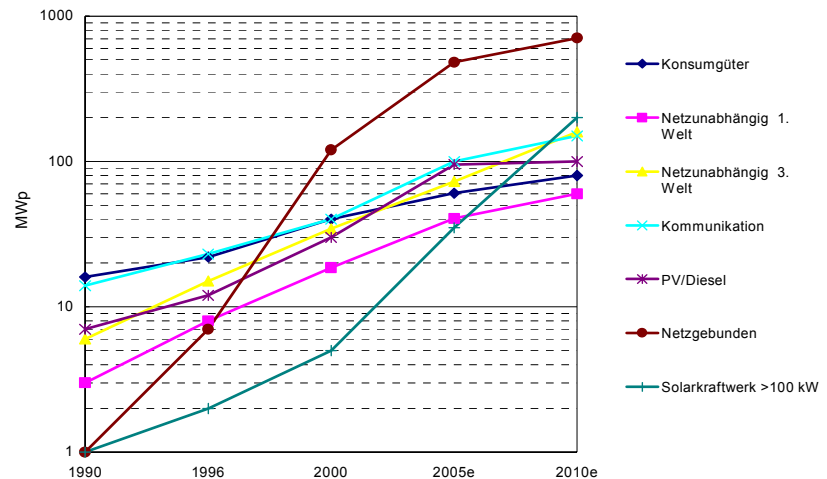


Abbildung 3: Sarasin-Prognose der Entwicklung der verschiedenen Marktsegmente (nach Anwendungsgebiet) bis ins Jahr 2010 (bis 2001: tatsächlicher Verlauf). Logarithmische Darstellung der Y-Achse.

3.2 Die Technologien

«Durchbrüche» in der Solarzellentechnologie sind relativ; prioritär sind nach wie vor die Kosten.

Es vergeht fast kein Tag, an dem nicht in der Presse über einen neuen «Durchbruch» in der Solartechnologie berichtet wird. Für den Laien entsteht dadurch leicht der Eindruck, dass laufend neuere und effizientere Technologien entwickelt würden und alte Systeme rasch veralteten. Dieser Eindruck ist falsch. Der PV-Markt wird auch heute noch von etablierten und bewährten Technologien beherrscht. Spezifische Ergebnisse aus Laborversuchen lassen sich (leider) meist nur beschränkt auf die industriellen Fertigungsprozesse und realen Anwendungsbedingungen übertragen. Erfahrungsgemäss dauert es denn auch 10 Jahre oder länger, bis sich eine Technologie, die sich im Labor als erfolgreich erwiesen hat, auch im Markt durchsetzt. Einige der zur Zeit erforschten und entwickelten Technologien werden diesen Sprung vielleicht nie schaffen. Für die Solarzellenhersteller hat heute daher die Kostenreduktion in der (industriellen) Fertigung noch immer klar Priorität vor weiteren Effizienzsteige-

rungen oder dem Aufgreifen neuer Technologien²⁰.

Dieses Kapitel gibt einen kurzen Überblick über die wichtigsten heutigen Technologieoptionen, diskutiert deren Bedeutung sowie die Chancen der einzelnen Optionen bis zum Ende dieses Jahrzehnts. Die untenstehende Abbildung zeigt den Anteil am Weltmarkt, den die verschiedenen Zelltechnologien im Jahre 2001 hatten.

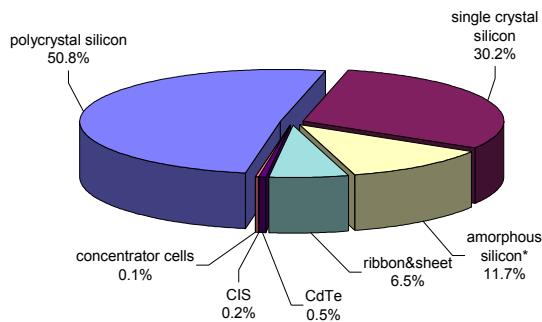


Abbildung 4: Prozentualer Anteil der verschiedenen Solarzelltechnologien am gesamten Marktvolumen 2001. *Quelle: PV Energy Systems/ Sarasin. *inklusive der HIT-Solarzelle von Sanyo*

3.2.1 Monokristalline Siliziumzellen (*single crystal silicon cells, mono-Si*)

Mono-Si-Zellen nach wie vor die effizientesten Zellen auf dem Markt. Ihr Anteil dürfte sich längerfristig bei 20% einpendeln.

Monokristalline Zellen stellten lange Zeit den bedeutendsten Anteil am weltweiten Solarzellenmarkt dar. Ihr Anteil hat jedoch in den letzten Jahren kontinuierlich abgenommen. Der Wirkungsgrad monokristalliner Zellen bewegt sich heutzutage im Bereich von 14% bis 17% und könnte sich bis 2010 auf rund 20% erhöhen, womit dann allerdings die praktikablen Grenzen dieser Technologie erreicht wären. Aufgrund ihrer bewährten Zuverlässigkeit und hohen Effizienz werden monokristalline Siliziumzellen in abgelegenen, nicht täglich gewarteten Einsatzorten und für Spezialanwendungen auch weiterhin rege zur Anwendung gelangen, obwohl sie tendenziell noch immer teurer sind als die übrigen Zelloptionen. Seit 1997 hat der Anteil monokristalliner Siliziumzellen am Gesamtmarkt von knapp 50% kontinuierlich auf rund 30% im letzten Jahr abgenommen und es ist davon auszugehen, dass ihr Marktanteil zugunsten der günstigeren, polykristallinen Solarzellen auch weiterhin rückläufig sein wird. Gemäss unserem Szenario dürfte sich der Anteil für monokristalline Zellen bis zum Jahr 2010 bei etwa 20% des Weltmarkts einpendeln.

²⁰ Die Bereitschaft zur Verfolgung neuartiger Technologieoptionen ist bei Herstellern, welche schon massive Investitionen in einen bestimmten Prozess getätigt haben, natürlich beschränkt. Dies behindert die Entwicklung neuer vielversprechender Optionen.



Poly-Si- Zellen haben vergleichbare Eigenschaften bei tieferen Kosten; Marktanteil von 50% erstmals überschritten.

Problem der Rohstoffknappheit wurde erkannt und angegangen. Polysilizium wird auch 2010 noch 40% Marktanteil haben.

Amorphe Siliziumzellen sparen Material und Kosten, haben aber tiefere Wirkungsgrade. Marktanteil dürfte mittelfristig wieder leicht zulegen auf knapp 15%.

3.2.2 Polykristalline²¹ Siliziumzellen (*polycrystal silicon cells, poly-Si*)

Polykristalline Zellen sind aufgrund ihrer einfacheren Herstellung²² kostengünstiger, weisen aber mittlerweile fast vergleichbare Eigenschaften auf wie die monokristallinen. Polykristalline Zellen sind zwar nicht ganz so effizient wie letztere, sie erreichen aber mittlerweile doch Wirkungsgrade in der Grössenordnung von 13% bis 15%, ein Bereich also, der vor ein paar Jahren erst von monokristallinen Zellen erreicht wurde. Semikristallines Silizium hat seinen Marktanteil in den letzten Jahren kontinuierlich ausbauen können. Im letzten Jahr basierten erstmals über 50% aller neu hergestellten Zellen auf dieser Technologie.

Vor allem aufgrund der befürchteten Verknappung von solarzellenfähigem Reinsilizium und des erwarteten stärkeren Aufkommens materialsparenderer Prozesse (wie amorphes Silizium oder die Siliziumbandtechnologie, s.u.) hatten wir bisher die Zukunftschancen dieser Technologie eher zu vorsichtig angesetzt. Verschiedene Akteure haben mittlerweile erkannt, dass der Versorgungsengpass für solarzellenfähiges Silizium behoben werden muss und haben bereits entsprechende Initiativen gestartet²³. Andererseits haben sich die erwähnten materialsparenderen Verfahren doch weniger rasch entwickelt, als wir dies vorausgesehen hatten. Zwar gehen wir nach wie vor davon aus, dass der Marktanteil von Polysiliziumzellen mittel- bis längerfristig wieder zurückgehen wird, allerdings sind wir heute davon überzeugt, dass noch im Jahr 2010 rund 40% aller produzierten Zellen auf dieser Technologie basieren dürften.

3.2.3 Amorphe Siliziumzellen (*amorphous silicon cells, a-Si*)

Amorphes Silizium galt während längerer Zeit als die vielversprechendste Zellenoption, was sich u.a. darin zeigte, dass die Mehrzahl der in der Solarindustrie tätigen Wissenschaftler intensiv auf diesem Gebiet forschten. Im Gegensatz zu den bisher beschriebenen Zellen auf Siliziumbasis liegt hier das Halbleitermaterial nicht als Kristallgitter, sondern als amorphe Schicht vor, welche auf ein geeignetes Trägersubstrat aufgebracht wird. Amorphe Siliziumzellen haben deutlich tiefere Wirkungsgrade (6%-8%) als kristalline Siliziumzellen und auch eine verminderte Langzeitstabilität gegenüber UV-Strahlen. Diese Technologie hat aber aufgrund ihres viel geringeren Siliziumverbrauchs – nur etwa 1/50 bis 1/100 desjenigen von kristallinen Siliziumzellen - und des kontinuierlichen Fertigungsverfahrens erhebliche preisliche Vorteile. Der rasche Aufstieg der amorphen Siliziumzellen ist allerdings in letzter Zeit etwas ins Stocken geraten. Bereits

-
- 21 Neben dem Ausdruck polykristallin, findet man gleichbedeutend auch die Ausdrücke semikristallin, multikristallin, poly-Si etc. Sie beziehen sich i.d.R. alle auf dieselbe Zelltechnologie.
- 22 Bei der Herstellung von polykristallinem Silizium wird i.d.R. eine Siliziumschmelze in Formen gegossen (Blockguss/*cast ingot*-Verfahren) und nach dem Erstarren in dünne Scheiben (Wafer) zersägt.
- 23 Zu erwähnen sind in diesem Zusammenhang das angekündigte Joint-Venture zwischen AstroPower und der norwegischen Waferherstellerin Elkem, das JV zur Herstellung von solarzellenfähigem Silizium zwischen Advanced Silicon Materials (ASIMI) and der Renewable Energy Corporation (REC), der grössten Aktionärin von ScanWafer oder das JV zwischen SolarWorld und Degussa, deren Pilotanlage - gemäss den ehrgeizigen Plänen - schon im Jahr 2005 rund 800 Tonnen Reinsilizium produzieren soll.

zum zweiten Mal in Folge konnte der Marktanteil gegenüber dem Vorjahr nicht gehalten werden. Eine gewisse Ernüchterung ist sicher eingetreten, weil es sich doch als schwieriger als erwartet erwiesen hat, Probleme wie die Langzeitstabilität rasch in den Griff zu bekommen. Auch der geplante Kapazitätsausbau in dieser Technologie fällt momentan hinter andere Technologien zurück, welche keine oder geringere Stabilitätsprobleme und höhere Wirkungsgrade aufweisen (z.B. andere Dünnschichtzellen, Band- und Schichtsiliziumzellen). Dennoch halten wir die Zukunftschancen dieser Technologieoption nach wie vor für intakt und glauben, dass es a-Si mittel- bis längerfristig gelingen wird, die verlorenen Marktanteile wieder zurückzugewinnen. Wir rechnen demnach mit einem Anteil von knapp 15% bis zum Jahr 2010.

Kontinuierliche Schmelz-Zieh-Verfahren senken den Materialverbrauch um rund die Hälfte. Potential liegt bei ca. 15% im Jahr 2010.

3.2.4 Schicht-& Bandsilizium-Verfahren (*ribbon&sheet silicon processes*)

Hierbei handelt es sich um kontinuierliche Fertigungsverfahren, welche die Wafer-Produktion ohne Sägen und Kerbverlust erlauben. Ein Siliziumband wird in einem langsamen, stetigen Prozess direkt aus einer Siliziumschmelze gezogen, bzw. ein Siliziumfilm auf ein geeignetes und kostengünstiges Substrat aufgebracht. Aufgrund des geringeren Materialverbrauchs (die Ausbeute ist rund doppelt so hoch wie beim Polysilizium) steigen die Chancen für diese Technologie proportional zum Preis für solarzellenfähiges Silizium. Vom Wirkungsgrad her ist diese Technologie den oben erwähnten kristallinen Varianten beinahe ebenbürtig, was nicht erstaunt, weil die Dioden ja aus demselben Halbleitermaterial bestehen. Aufgrund des geplanten und angekündigten Kapazitätsausbaus wichtiger Akteure antizipieren wir für diese Technologieoption zwar nach wie vor ein überproportionales Wachstum. Wir denken auch, dass die Schmelz-Zieh-Verfahren die amorphen Zellen bis zum Ende des Jahrzehnts ein- und überholen werden. Allerdings halten wir - angesichts des bisher tatsächlich realisierten Ausbaus - unsere letztjährige Einschätzung aus heutiger Sicht für etwas zu optimistisch. Wir korrigieren daher unsere Prognose für diese Technologien leicht nach unten und sehen heute deren Marktanteil bei nunmehr 15% im Jahr 2010.

Hocheffiziente Zellen bieten sich in erster Linie für Solarkraftwerke in günstigen Breiten an. Marktpotential bis 2010 bei rund 2% des Weltmarkts.

3.2.5 Hochleistungszellen (*concentrator cells*)

Hierbei handelt es sich um Solarzellen auf Siliziumbasis, welche sich durch sehr hohe Wirkungsgrade auszeichnen. Die einfallende Strahlung wird im Modul optisch auf einen Bereich hochempfindlicher Zellen konzentriert (z.B. *point contact cells*), deren Wirkungsgrad extrem hoch ist (~25%). Das Gesamtmodul kann so in vollem Licht Wirkungsgrade um die 20% erreichen, muss dazu aber auf eine Vorrichtung montiert werden, welche sich nach der Sonne ausrichtet (sog. *tracking-Systeme*). Heute sind die Preise für diesen Typ Solarzellen noch deutlich höher als bei anderen Alternativen: Hocheffiziente Solarzellen sind daher v.a. für Gebiete mit hoher Sonneneinstrahlung besonders geeignet. Die Konzentrationstechnologie ist damit für grosse bis sehr grosse Anlagen in günstigen geographischen Breiten eine äusserst interessante Option. Sollten

sich grosse und zentrale Solarkraftwerke im Rahmen unserer Prognose durchsetzen, wird sich auch der Marktanteil dieser Technologie sprunghaft steigern. Wir schätzen vorsichtig einen Marktanteil von ca. 2% im Jahr 2010²⁴.

3.2.6 Cadmium-Tellurid (CdTe), Kupfer-Indium-Diselenid (CIS) (*cadmium telluride, copper indium diselenide*)

CdTe- und CIS-Solarzellen entschärfen das Silizium-Rohstoffproblem, sind aber weniger umweltverträglich. Marktvolumen der CdTe-Zellen auf 3%-4% beschränkt.

Dünnschichtsolarzellen wie CdTe-Solarzellen oder CIS-Solarzellen unterscheiden sich ganz grundsätzlich von den bisher beschriebenen Optionen. Das Halbleitermaterial besteht nicht mehr aus Silizium, sondern aus einer komplexen Schichtung verschiedener Metallverbindungen²⁵. Der Vorteil dieser Zellen liegt darin, dass die Rohstoff-Verfügbarkeit viel höher ist als beim hochreinen Silizium und der automatisierte Fertigungsprozess höhere Kosteneinsparungen verspricht. Solarmodule vom Typ CdTe und CIS erreichen momentan Wirkungsgrade von 7%-9%, Laborresultate lassen für die nächsten zehn Jahre Wirkungsgrade von bis zu 14% erwarten. Im Gegensatz zu amorphen Siliziumzellen scheinen sich bei CdTe- und CIS-Zellen auch keine Probleme mit der Langzeitstabilität zu ergeben. Aus Umweltsicht sind diese neuen Halbleitermaterialien hingegen aufgrund ihres Schwermetallgehalts potentiell problematischer als herkömmliche Silizium-Solarzellen. Zwar wird die effektive Gefährlichkeit von schwermetallhaltigen Solarzellen bisweilen vielleicht tatsächlich etwas übertrieben, aber da die Photovoltaik in gewisser Weise von der ihr zugeschriebenen besonderen Umweltverträglichkeit «lebt», ist die Besorgnis über einen (teilweisen) Verlust der ökologischen Unbedenklichkeit für die Verbreitung dieser Technologie in jedem Fall ein ernstzunehmendes Hindernis. Diese kritische Perzeption trifft vor allem auf CdTe-Solarzellen zu, so dass wir für diese Technologieoption bis ins Jahr 2010 bloss einen Marktanteil von 3%-4% veranschlagen. Dass die von uns schon seit längerem zum Ausdruck gebrachten Bedenken nicht bloss akademischer Natur sind, zeigt bspw. der Fall des japanischen Elektronikkonzern Matsushita, welcher beschlossen hat, seine Produktion von CdTe-Zellen auslaufen zu lassen, weil der Konzern ernsthaft über die mangelnde Akzeptanz im Markt besorgt ist.

Dünnschichtzellen «zweiter Generation», die ohne Schwermetalle auskommen, haben grosses Potential. CIS-Zellen erster und zweiter Generation zusammen dürften bis 2010 einen Marktanteil von 4%-5% erreichen.

Eine mögliche Lösung dieses Problems scheinen die CIS-Zellen «zweiter Generation» zu bieten, z.B. CIS₂-Solarzellen. An dieser Technologie wird momentan eifrig geforscht und einige Konzepte sind bereits soweit fortgeschritten, dass eine namhafte industrielle Produktion für die zweite Hälfte dieses Jahrzehnts wahrscheinlich erscheint. Die neuen CIS-Zellen kommen ohne das problematische Selen aus, ohne jedoch die beschriebenen Vorteile der Dünnschichtzellentechnologie preiszugeben. Wir glauben, dass diese Zellen aufgrund ihrer namhaften Vorteile und ihrer - den

²⁴ In letzter Zeit wurden mehrere Projekte angekündigt, wie z.B. Aufwindkraftwerke oder solarthermische Kraftwerke, welche mittels Dampfturbinen Strom generieren. Nur ein Teil aller Solarkraftwerke wird daher wohl mit Hochleistungs-Solarzellen bestückt werden.

²⁵ Die Bezeichnung CIS ist eher ein Sammelbegriff. Mittlerweile enthalten praktisch alle CIS-Zellen «erster Generation» z.B. auch Gallium-, Selen- und Schwefelverbindungen.

herkömmlichen Siliziumzellen vergleichbaren - Umweltverträglichkeit rasch einen Markt finden könnten und insbesondere die bereits am Markt erhältlichen CdTe-Zellen ein- und schlussendlich überholen dürften. Für die CIS-Zellen (erster und zweiter Generation zusammengenommen) sehen wir daher einen etwas optimistischeren Marktanteil von 4%-5% im Jahr 2010.

Prognostizierte Entwicklung der verschiedenen Zelloptionen bis 2010: Dünnschichtzellen werden zwar zulegen, aber Mono- und Polysiliziumzellen bleiben das «Rückgrat» der Photovoltaik.

In der nachfolgenden Abbildung 5 sind die von uns prognostizierten Entwicklungschancen der verschiedenen Photovoltaik-Optionen bis ins Jahr 2010 übersichtsmässig dargestellt. Herkömmliche Mono- und Polysiliziumzellen werden Marktanteile einbüßen, während materialsparende, kontinuierliche Herstellungsverfahren (insbesondere Schicht- und Bandsilizium, sowie Dünnschichtzellen) deutlich werden zulegen können. Trotz dem Aufkommen der verschiedenen Dünnschichttechnologien bleiben wir jedoch überzeugter denn je, dass auch im Jahr 2010 Mono- und Polysiliziumzellen noch das Rückgrat der Photovoltaik bilden werden.

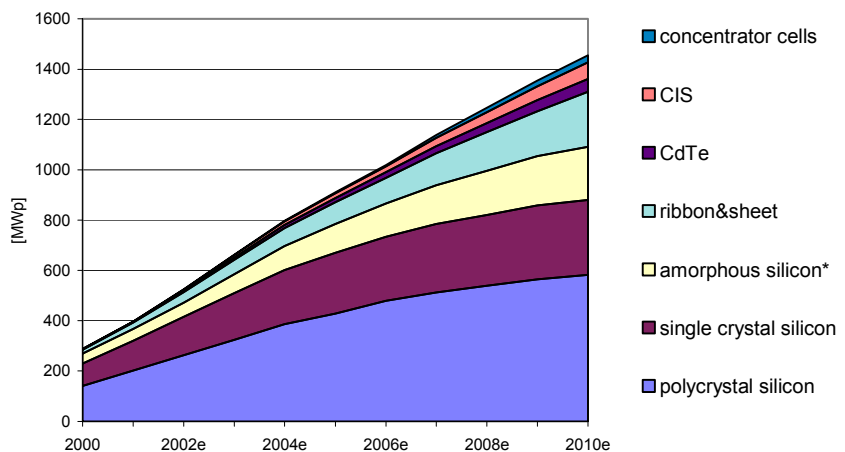


Abbildung 5: Prognostizierte Entwicklung der verschiedenen Technologie-Optionen bis ins Jahr 2010. *inkl. HIT von Sanyo.

3.2 Die Unternehmen

Solare Wertschöpfungskette.

Die eigentliche (siliziumbasierte) photovoltaische Wertschöpfungskette beginnt bei der Gewinnung von solarzellenfähigem Silizium, geht über die Waferproduzenten, welche aus dem Reinsilizium die Siliziumscheiben herstellen, zu den Solarzellenherstellern, welche die Wafer zu photovoltaischen Zellen weiterverarbeiten. Die Modulhersteller verschalten und fertigen dann aus den Solarzellen sogenannte Module, die dann von den Systemanbietern – kombiniert mit geeigneten Elektronik-, Speicher- und Montagelösungen – als fertiges Paket auf dem Markt angeboten bzw.

Solarzellenhersteller als Referenz für die produzierte Leistung. Diese ist von der tatsächlich installierten stets verschieden.

Multinationale Mischkonzerne dominieren die Solarzellenindustrie.

beim Kunden installiert wird.

In unseren bisherigen Untersuchungen haben wir uns bislang auf die Solarzellenhersteller beschränkt. Wir möchten auch diesmal an dieser Wertschöpfungsstufe als Referenz für die tatsächliche Grösse des PV-Marktes festhalten. Die Solarzellenhersteller sind quasi das Nadelöhr, wo am besten erfasst werden kann, wie viel photovoltaische Leistung in einem bestimmten Zeitraum produziert wurde. Waferproduzenten ohne eigene Zellfertigung, Modulhersteller und Systemanbieter sind daher nicht Gegenstand unserer Untersuchung, obwohl viele von ihnen – in unterschiedlichem Ausmass - ebenfalls vom generellen Aufschwung der Photovoltaik profitieren dürften.

Die Solarzellenindustrie wird nach wie vor von grossen, multinationalen Mischkonzernen dominiert, für welche die Solarzellenherstellung allenfalls ein interessantes strategisches Standbein, (noch) keinesfalls aber ein Kerngeschäft darstellt. Erst auf Rang 5 folgt mit der US-amerikanischen AstroPower der erste *pure player*, welcher ausschliesslich auf die Produktion von Solarzellen und -modulen setzt. Nachfolgend werden die zehn weltweit bedeutendsten Produzenten des Jahres 2001, welche zusammen über 85% des Weltmarkts repräsentieren, kurz vorgestellt, geordnet in abnehmender Reihenfolge ihrer Jahresproduktion.

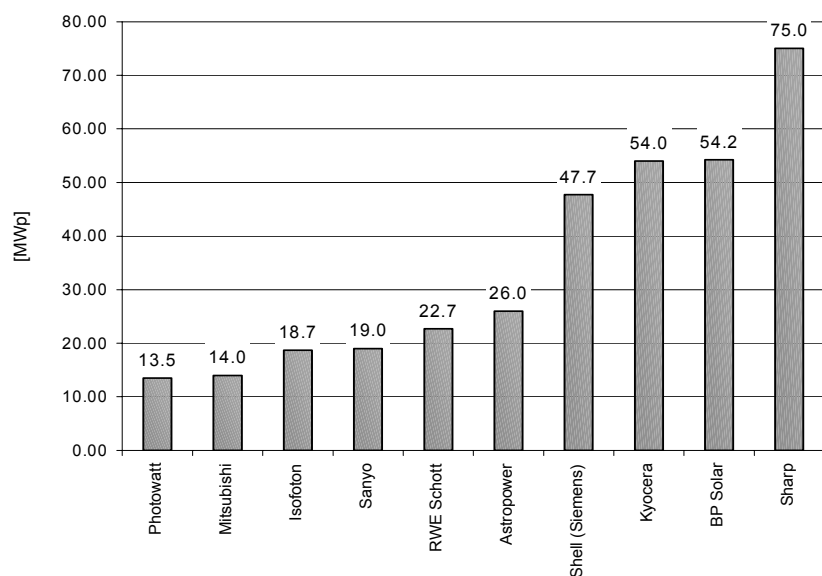


Abbildung 5: Die «Top Ten» der nach ihrer Jahresproduktion grössten Solarzellenhersteller 2001.

Sharp

Das grösste Photovoltaikunternehmen weltweit ist der japanische Mischkonzern Sharp, welcher seine Solarzellenproduktion gegenüber dem Vorjahr um weitere 50% hat steigern können. Sharp ist das bisher einzige Unternehmen der Halbleiterbranche, welches sich auch auf dem terrestrischen PV-Markt erfolgreich hat durchsetzen können. Bis 1999 produzierte

Sharp mono- und vor allem polykristalline Siliziumzellen und -module. Durch den Bau einer 20 MW-Anlage für amorphe Silizium-Zellen hat sich der Konzern aber auch in dieser Dünnschichttechnologie als Leader etabliert. Über 80% der gesamten Jahresproduktion 2001 waren jedoch nach wie vor polykristalline Zellen & Module. Lag Sharp im Jahr 1999 noch knapp hinter BP und Kyocera auf Platz drei, so hatte das Unternehmen im Jahr 2000 dank einer Produktionssteigerung um 70% die Führung übernommen und diese im Jahr 2001 mit einer Produktionsmenge von 75 MWp auch deutlich gefestigt. Sharp erreichte damit einen Anteil von knapp 19% am gesamten weltweiten Solarzellenmarkt. Sharp hat gar angekündigt, seine Produktionskapazitäten in den kommenden Jahren noch einmal zu verdoppeln (auf 200 MW).

BP Solar(ex)

BP Solar vereint heute die ehemaligen PV-Aktivitäten der einstigen Solarex (damals ein JV zwischen Amoco und Enron), sowie der ursprünglichen BP Solar. BP Solar produziert in Spanien monokristalline Zellen – die angestammte Solarzellentechnologie von BP - und an den übrigen Standorten (USA, Australien und Indien) sowohl mono- also auch polykristalline Solarzellen. BP Solar hat im Jahr 2001 über 54 MW an Solarzellen produziert. Die Produktionsvolumina der beiden kristallinen Technologien halten sich bei BP in etwa die Waage.

BP Solar forscht seit rund zwei Jahrzehnten auch intensiv im Bereich von amorphem Silizium und hat vor kurzem in Virginia eine auf 10 MW ausgelegte Produktionsanlage gebaut. Im Jahr 2000 lieferte dieses Werk bereits 4 MW. Die volle Kapazität soll allerdings erst gegen Ende 2002 erreicht werden. Ihre CdTe-Produktion ist dagegen noch nicht richtig über das Pilotstadium hinausgelangt. Die Errichtung einer Fabrikationsstätte mit einer Produktionskapazität von rund 10 MW an einem amerikanischen oder deutschen Standort wird diskutiert. Ganz konkret sind bei BP die Ausbaupläne für die etablierten kristallinen Technologien: In der Nähe von Madrid will BP für 100 Millionen USD eine 60 MW-Fertigungsanlage für semikristalline Solarzellen erstellen.

Kyocera

Der japanische Elektronik-Konzern Kyocera war lange der wichtigste Hersteller von Polysiliziumzellen und -modulen, bis er von Sharp überholt wurde. Im Jahr 2001 lieferte Kyocera 54 MWp aus. Mit knapp 14% konnte Kyocera seinen Weltmarktanteil gegenüber dem Vorjahr aber nur gerade halten. Kyocera konnte in der Vergangenheit besonders stark vom 70'000-Dächer-Programm der japanischen Regierung profitieren. Man schätzt, dass Kyocera seit der Lancierung dieses Programms im Jahre 1995 fast die Hälfte aller dort installierten Module hat liefern können. Mit der Sättigung des japanischen Marktes versucht Kyocera nun aber verstärkt auch in Europa Fuss zu fassen. In den USA hat Kyocera diesen Schritt bereits getan. Durch den Erwerb des amerikanischen BOS²⁶-Anbieters *Golden Genesis* wurde das neu unter dem Namen Kyocera Solar, Inc. firmierende Unternehmen zum grössten, vertikal integrierten An-

²⁶ Der Ausdruck BOS (Balance-of-System) ist eine Sammelbezeichnung für alle Komponenten und peripheren Geräte wie elektronische Verschaltungen, Wechselrichter, Batterien etc., welche aus den Photovoltaikmodulen erst ein funktionierendes Ganzes machen.

bieter von Photovoltaik-Systemen auf dem Markt. Die genauen Ausbaupläne von Kyocera sind nicht bekannt. Wir rechnen aber damit, dass der japanische Konzern seine Produktionskapazität in den nächsten zwei, drei Jahren auf gegen 100 MWp/Jahr steigern könnte.

Shell Solar (Siemens)

Wenig nachdem der deutsche Elektrotechnikkonzern Siemens und die niederländisch-britische Erdölgesellschaft Royal Dutch/Shell im April 2001 die Zusammenlegung ihrer Solaraktivitäten vollzogen hatten, übernahm Shell die ausstehenden Anteile von E.on²⁷ und später auch von Siemens und wurde damit auf einen Schlag zum weltweit viertgrössten Solarunternehmen, etwas, was dem Erdölkonzern aus eigener Kraft bisher verwehrt geblieben war. Für den Siemens-Konzern bedeutet dies den Ausstieg aus einer Technologie, die das deutsche Unternehmen in den letzten zwei Jahrzehnten ganz entscheidend mitgeprägt hatte. Shell Solar konzentriert sich schwerpunktmässig auf die Herstellung von kristallinen Siliziumzellen und -modulen. Insgesamt produzierte Shell Solar im letzten Jahr 47,7 MW an PV-Zellen, wovon 37,4 MW monokristalline und 10,3 MW polykristalline Solarzellen waren. Die ehemalige Siemens Solar hatte seit längerem auch im Bereich der amorphen Silizium- und v.a. der CIS-Zellen geforscht und bereits 1998 erste Pilotserien ausgeliefert (heutige Kapazität: ca. 1 MW soll dereinst auf 10 MW ausgebaut werden). In Deutschland forschte Siemens zuletzt auch an der sogenannten trikristallinen Zelltechnologie. Momentan lässt sich nicht sagen, welcher Stellenwert welcher dieser neuen Technologien innerhalb von Shell Solar zukommen wird.

AstroPower

Die US-amerikanische AstroPower hat im Jahr 2001 rund 26 MW (Vorjahr 18 MW) an siliziumbasierten Solarzellen und -modulen produziert und bleibt damit das grösste unabhängige börsenkotierte PV-Unternehmen weltweit, mit einem Marktanteil zwischen 6% und 7%. AstroPower kauft vorwiegend gebrauchte Wafer und Ausschuss aus der Halbleiterindustrie und fertigt daraus im Standardverfahren monokristalline Siliziumzellen. Die Firma hat daneben auch ein eigenes Dünnschicht-Verfahren auf Siliziumbasis entwickelt und patentieren lassen (Silicon FilmTM). Die entsprechende Produktionsanlage ist seit Ende 1999 voll funktionsfähig, allerdings wird der exakte Anteil der Siliziumfilm-Zellen an der gesamten Produktion nicht publiziert. AstroPower hat im letzten Jahr mit der Übernahme der spanischen Modulfabrikantin Atersa einen wichtigen Vertriebspartner für den spanischen Markt gewonnen und seine vertikale Vorwärtsintegration verstärkt. Spanien ist zu einem wichtigen strategischen Standbein von AstroPower geworden. In Valencia hat die Firma im Jahr 2001 eine Solarzellenfabrik mit einer angeblichen Produktionskapazität von rund 20 MW fertiggestellt. Gemäss den Angaben der Firma soll die Kapazität durch Ausbau der Fertigung auch in Nordamerika in ein bis zwei Jahren auf über 100 MW hochgefahren werden.

RWE (Schott) Solar (vormals ASE)

Im September 2001 wurde die ASE GmbH in RWE Solar umgetauft. Erst kürzlich haben nun die RWE Solar und der deutsche Industriekonzern

²⁷ E.on hatte vor dem Einstieg Shells im April 2001 einen Anteil von 49% an Siemens Solar gehalten und war anfangs zu einem Drittel am gemeinsamen JV beteiligt.

Schott Glas beschlossen, ihre weltweiten Photovoltaikaktivitäten zusammenzulegen. Die Firma wird unter dem neuen Namen RWE Schott Solar GmbH fungieren und sich dank des neuen Partners auf eine sehr gut ausgebaute Vertriebsstruktur verlassen können: Schott verfügt insbesondere in den USA durch ihre Tochter *Applied Power Corporation* über ein Netz von über 1'000 Händlern. Nur gerade BP Solar verfügt über eine ähnlich breite technologische Palette wie die ehemalige ASE. Das Unternehmen produziert mono- und polykristalline Zellen und verfügt zudem über ein eigenentwickeltes Bandsilizium-Verfahren (EFG). Daneben werden auch noch amorphe Siliziummodule produziert. Mehr als die Hälfte der Produktion des Jahres 2001 von knapp 23 MW wurde bereits mittels der EFG-Technik produziert. Ein Drittel waren polykristalline, der Rest waren zum grösseren Teil monokristalline und zu einem kleineren Teil amorphe Siliziumzellen. RWE baut momentan an ihrem Standort in Alzenau eine vollintegrierte Fabrikationsstätte – Wafer, Zell- und Modulfertigung unter einem Dach – welche in den nächsten Jahren in 15 MW-Schritten auf eine Produktionskapazität von 60 MW gebracht werden soll.

Sanyo

Etwas aus dem Tritt geraten ist der japanische Elektronikkonzern Sanyo. Noch im Jahr 1999 auf Platz fünf der weltgrössten Solarzellenhersteller, ist das Unternehmen im letzten Jahr auf Rang 7 abgerutscht, wobei sein Anteil am Weltmarkt auf unter 5% gefallen ist. Sanyo ist der weltweit grösste Hersteller von amorphen Siliziumzellen und damit im Segment Konsumgüter marktbeherrschend. Dieser Markt ist vom Volumen her aber limitiert, weshalb Sanyo schon 1998 die sogenannte HIT-Zelle lanciert hat, welche eine Kombination zwischen einer monokristallinen und einer amorphen Siliziumzelle mit hoher Effizienz und vergleichsweise tiefen Herstellungskosten darstellt. Mit einer Produktionsmenge von 19 MW im Jahr 2001 kann sich Sanyo nur noch knapp vor der aufstrebenden Isofotón aus Spanien behaupten. Ein Grund für den Verlust an Marktanteilen ist sicher auch in den Qualitätsproblemen zu suchen, mit denen das Unternehmen in letzter Zeit zu kämpfen hatte. Sowohl im japanischen Markt wie auch im wichtigen Markt Deutschland verfehlten die Module von Sanyo spezifische Qualitätsanforderungen, was für das Unternehmen einen empfindlichen Rückschlag bedeutete.

Isofotón (Berge Solar)

Die spanische Isofotón wurde 1981 gegründet und war lange Zeit im Besitz der andalusischen Regierung. Die Herstellung von monokristallinen Siliziumsolarzellen erfolgte auf der Basis einer ursprünglich von Arco Solar entwickelten Technologie. Das Unternehmen geriet Mitte der 90er Jahre in grosse finanzielle Schwierigkeiten und wurde 1997 vom Madrider Konzern Berge übernommen. Isofotón konnte sein Produktionsvolumen gegenüber dem Vorjahr mit 18.7 MWp beinahe verdoppeln. Die auf Ende 2002 geplante Produktionskapazität soll 36 MW betragen. Isofotón setzt nach wie vor ausschliesslich auf monokristalline Zelltechnologie. Isofotón bietet neben Solarmodulen auch *Balance-of-System*-Komponenten und Sonnenkollektoren an und ist v.a. auch im Drittweltmarkt sehr gut positioniert (Niederlassung in Südafrika).



Mitsubishi

Der japanischen Mischkonzerns Mitsubishi hatte im letzten Jahr praktisch aus dem Nichts Einzug in die «Top Ten» der führenden Solarzellenhersteller gehalten. Mitsubishi Electric erreichte im letzten Jahr eine Jahresproduktion von 14 MW (Vorjahr 12 MW) an polykristallinen Solarzellen, hat also damit seine Produktion weniger stark ausweiten können als viele Konkurrenten. Dies lag wohl zum Teil daran, dass man sich im 2001 noch vorwiegend auf den japanischen Markt beschränkte. Mitsubishi will nun seine Produktionskapazität von 25 MW im laufenden Jahr stärker ausnützen. Eine weitere Konzernsparte des Mutterkonzerns, Mitsubishi Heavy Industries, will in den Bereich der amorphen Solarzellen einsteigen. Mitsubishi hat dazu einen neuen Herstellungsprozess entwickelt, mit dem amorphes Silizium auf bisher unerreicht grosser Fläche deponiert werden kann. Die Zellen von Mitsubishi Heavy Industries sollen noch im 2002 auf den Markt kommen. Zu diesem Zweck wurde in Nagasaki eine Fabrikationsstätte mit einer jährlichen Kapazität von 10 MW in Angriff genommen.

Photowatt (ATS)

Auch Photowatt gehört wie Sanyo marktanteilmässig eher zu den Verlierern bzw. «Konsolidierern» des letzten Jahres. Die vormals in französischem Besitz stehende Photowatt wurde bereits 1979 gegründet und gehört zu den ältesten Produzentinnen von Polysiliziumzellen und -modulen. Ein proprietäres Verfahren erlaubt es Photowatt, die dünnsten multikristallinen Solarzellen in der ganzen Industrie herzustellen (200µ bei einem Wirkungsgrad von 14%). Über Jahre hinweg wurde auf relativ tiefem Niveau produziert, bis Photowatt 1997 von der Matrix Solar Technologies (einer Tochter der kanadischen Automation Tooling Systems ATS) übernommen wurde, welche die Mittel einbrachte, um die Produktionskapazität massiv aufzustocken. Photowatt konnte im letzten Jahr ihre Produktionsmenge von 13.5 MW gegenüber dem Vorjahr allerdings nur unwesentlich steigern. Das Unternehmen will aber bis Ende 2002 Produktion und Kapazität auf über 20 MW aufstocken. Wir halten das für möglich, denn momentan scheint das Klima beim kanadischen Mutterkonzern für weitere Investitionen günstig²⁸. Photowatt soll von ihrer kanadischen Mutter auch die Lizenz für einen ganz neuartigen Fertigungsprozess erhalten, bei dem «Siliziumkügelchen auf eine Aluminiumfolie» aufgebracht werden. Die *Spherical Solar Power* (Tochter der ATS) wird die Produktion dieser Zellen übernehmen. Geplant ist eine Produktionskapazität von 20 MW.

«Top Ten» ziemlich stabil. Mittelfristig könnten weitere Hersteller den Sprung in die besten zehn schaffen. Übersicht im Anhang.

Mindestens kurzfristig werden die zehn grössten Solarzellenhersteller wohl unter sich bleiben. Am ehesten könnte Kaneka - ein weiteres japanisches Unternehmen, welches auch schon unter den grössten zehn Herstellern figurierte - den Sprung in die «Top Ten» schaffen; mittelfristig vielleicht auch eines der aufstrebenden deutschen Unternehmen (Sunways, ErSol, Q-Cells, Deutsche Cell), welche mit z.T. sehr ehrgeizigen Expansionsplänen aufwarten. Eine Zusammenstellung wichtiger Akteure sowie ihrer künftigen Expansionspläne findet sich in Tabelle 1 im Anhang.

²⁸ «Photowatt has made major strides in the past year and is one of the few solar companies in this growing niche to make money», verkündete jedenfalls der CEO der ATS, Klaus Woerner, noch in diesem Frühling stolz, als er die Resultate von Photowatt präsentierte.

3.3 Die Länder

Dominanz der Japaner und Aufkommen der Europäer. Die beiden konnten ihre Solarzellenproduktion im letzten Jahr um 33% bzw. 40% steigern. Amerika verliert weiter an Boden.

Gleich vier der 10 grössten Solarzellenhersteller kommen aus Japan, darunter der grösste und drittgrösste (Sharp und Kyocera). Der japanische Mischkonzern Mitsubishi hat mit 14 MW Jahresproduktion seine Position unter den grössten 10 gehalten. Japanische Hersteller konnten gesamthaft ihren Ausstoss im Jahr 2001 um über ein Drittel gegenüber dem Vorjahr steigern, nachdem sie im letzten Jahr sogar 46% gegenüber dem Vorjahr hatten zulegen können. Die Japaner konnten auch im letzten Jahr stark von ihrer konsequenten staatlichen Förderpolitik profitieren, ernten aber auch die verdienten Früchte ihres sehr frühen und konsequenten Einstiegs in die industrielle Solarzellenfertigung. Ihre dominante Stellung innerhalb der Erzeugerländer dürfte sich jedoch - angesichts der unverändert problematischen Wirtschaftslage in Japan und den Ausbauplänen der internationalen Konkurrenz - in den nächsten Jahren tendenziell eher wieder abschwächen.

Noch stärker als die Japaner konnten einzig die Europäer zulegen - wenn auch von einem absolut gesehen noch deutlich tieferen Niveau aus. Die Produktion der europäischen Solarzellenfabriken ist über 40% gewachsen. Der Anteil der in Amerika produzierten Zellen am Weltmarkt geht weiter zurück. Stammte im Jahr 1995 noch rund 45% der weltweiten Solarzellenproduktion aus US-amerikanischen Fabriken, so ist dieser Anteil kontinuierlich bis auf ein Viertel des Weltmarkts im letzten Jahr geschrumpft. Immerhin konnten sie ihre Produktion im letzten Jahr - relativ gesehen - etwa gleich stark ausbauen wie die Japaner.

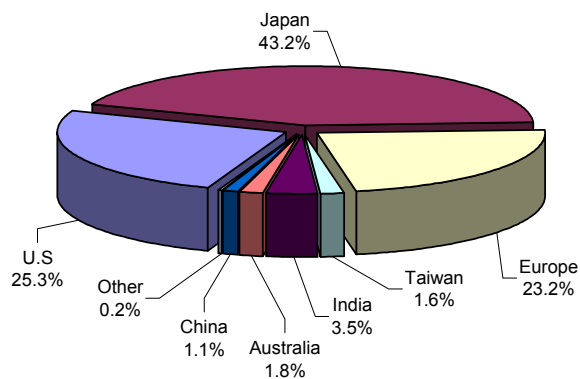


Abbildung 6: Prozentuale Anteile der verschiedenen Hersteller-Länder und -regionen an der weltweiten Solarzellenproduktion 2001. Die Abbildung verdeutlicht die dominante Stellung der Japaner in dieser Technologie. *Quelle: PV Energy Systems/Sarasin.*

Zu beachten ist, dass die obige Darstellung sich auf die Länder und Regionen bezieht, wo die Solarzellenproduktion physisch stattfindet, d.h. wo die entsprechenden Fabriken stehen. Wird nach den Herkunftsländern der Eigner der Produktionsanlagen konsolidiert, so ergibt sich – mit Ausnahme der japanischen Produktionsstätten, welche ausnahmslos auch in einheimischer Hand sind – ein gänzlich anderes Bild: Die Europäer sind hier, v.a. dank den zwei (global orientierten) Erdölkonzernen BP und Shell, den Japanern dicht auf den Fersen. Die US-Amerikaner (im wesentlichen AstroPower) zeichnen sich gerade noch für knapp 8% der weltweiten Solarzellenproduktion verantwortlich. Kanada darf sich dank Photowatt (ATS) zu den vier wichtigsten PV-Nationen zählen.

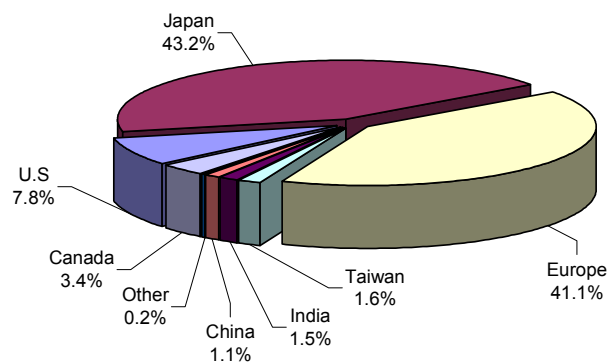


Abbildung 7: Länderanteile nach Konzernsitz. Die Produktionsstätten sind dem Land/Region zugeordnet, in dem der Mehrheitseigner domiziliert ist. *Quelle: PV Energy Systems/Sarasin.*

3.4 Entwicklung des PV-Marktes bis zum Jahr 2010

Starkes, anhaltendes Wachstum seit 1997. Der PV-Markt legte im Jahr 2001 erneut um 38% zu.

Das durchschnittliche jährliche Wachstum des PV-Marktes betrug von 1990 bis 1996 knapp über 10%, bis es 1997 mit einem Wachstum von 42% stark anzog. Obwohl 1998 die Zuwachsraten vorübergehend auf 23% zurückgingen, wuchs der PV-Markt schon im Jahr darauf bereits wieder um 30% und im Jahr 2000 gar um 43%. Im Jahr 2001 legte die weltweite Solarzellen-Produktion nun erneut um knapp 38%²⁹ zu.

Dieser Wert liegt über dem im letzten Jahr von uns prognostizierten Marktvolumen von 381 MWp. Die Abweichung von knapp 4% liegt allerdings im Bereich der Schätzgenauigkeit. Wir dürfen sagen, dass sich der Markt unseren Erwartungen entsprechend entwickelt hat. Die im Rahmen unserer letzten Vorhersage antizipierte leichte Abschwächung des Wachstums wird sich unseres Erachtens auch im laufenden Jahr fortsetzen.

Exkurs Deutschland: Ist der Boom vorbei?

Exkurs Deutschland: Das stärkste Zugpferd, bzw. Zweiergespann, auf welches sich die Solarindustrie in Deutschland verlassen kann, bleibt sicher die Kombination der durch das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) garantierten Einspeisevergütung von momentan 0.481€ pro kWh Solarstrom mit dem sogenannten 100'000-Dächer-Programm, welches den Bau und die Installation von Solaranlagen subventioniert.

Allerdings ist die grosse Nachfrage in Deutschland - nachdem noch im Januar und Februar 2002 fast 1'000 Anträge im Rahmen des 100'000-Dächer-Programms für PV-Anlagen eingegangen waren, in den Folge Monaten etwas ins Stocken geraten: Im Mai konnte man gar rückläufige Antragsraten feststellen. Obwohl der Markt kürzlich wieder etwas angezogen hat, scheint sich der PV-Boom in Deutschland zumindest vorläufig etwas abzukühlen. Dieser Dämpfer hat aber durchaus positive Seiten: Für die Endverbraucher sind Solaranlagen im Laufe dieses Jahres schon spürbar günstiger geworden (die beobachtete 10-15%ige Preisreduktion bei den Modulen dürfte sich etwa in einer 5%-10%igen Vergünstigung für die Endabnehmer von Solaranlagen niederschlagen), dies nachdem erzielte Kosteneinsparungen aufgrund der starken Position der Anbieter bisher kaum weitergegeben wurden (vgl. dazu Abbildung 7, unten). Dadurch ist auch die im Gegensatz zum Vorjahr um 5% verringerte Einspeisevergütung für neuerstellte Anlagen u.E. nicht mehr als grosse Hypothek zu betrachten.

Wir glauben daher nicht, dass der Solarmarkt in Deutschland vor einer grundsätzlichen Trendwende steht. Das politische Umfeld erscheint uns nach wie vor sehr günstig: Für das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) galt ja bisher ein sogenannter «350-MW-Deckel», wonach die Vergü-

²⁹ Legt man die Erhebungen des Photovoltaik-Fachmagazins Photon zugrunde, dann läge das erzielte Wachstum mit gegen 40% sogar noch höher.

tungspflicht für neue PV-Anlagen beim Erreichen von 350 MW total installierter Nennleistung in Deutschland weggefallen wäre. Nun hat der deutsche Bundestag bei der Novellierung des Gesetzes diese Beschränkung auf ein Gigawatt an- und damit faktisch – wenigstens für die nächsten paar Jahre - aufgehoben. Auf unsere Langzeitprognose hat dieser erfreuliche Entscheid allerdings keinen grossen Einfluss. Wir hatten nie ernsthaft mit der Beibehaltung dieser Deckelung gerechnet und deren negative Auswirkungen daher auch nicht in unsere Schätzungen einbezogen. Dass der Aufschwung der erneuerbaren Energien durch einen möglichen Regierungswechsel im Herbst negativ beeinträchtigt werden könnte, ist – trotz anderslautender Wahlkampf-Rhetorik u.E. nicht zu erwarten. Die erneuerbaren Energien verfügen dafür über eine zu hohe – und quer durch alle politischen Parteien hindurch reichende - Akzeptanz. Positiv ist weiter, dass die EU-Kommission nun offiziell verlauten liess, dass sie kein Beihilfeverfahren gegen das deutsche EEG mehr eröffnen will. Durch diese Entwarnung von Wettbewerbskommissar Mario Monti wird das Vertrauen in die Dauerhaftigkeit des solaren Aufschwungs ohne Zweifel gestärkt.

Kostenreduktionen wurden wegen Nachfrageüberhang kaum weitergegeben; das wird sich ändern.

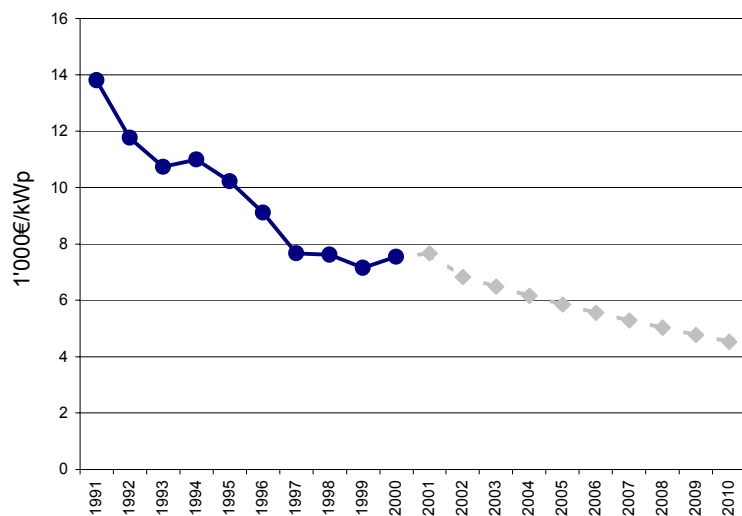


Abbildung 8: Kostenentwicklung für netzgekoppelte PV-Anlagen (>10kW) in Deutschland. Quelle Bis 2000³⁰: Jahrbuch Erneuerbare Energien; 2001/2002: Schätzung Sarasin; >2002: Kostendegression gemäss Annahmen der Einspeisevergütung.

³⁰ Der neueste EEG-Erfahrungsbericht zeigt demgegenüber, dass die PV-Systemkosten sich von 1999 bis 2000 um durchschnittlich 8.1% reduziert haben, v.a. aufgrund stark gesunkener Installations- und BoS-Kosten (Solarthemen Nr. 141).



*(Zu) ehrgeizige Ausbaupläne
seitens der Unternehmen...*

Für das laufende Jahr erwarten wir weltweit ein Produktionsvolumen von 503 MW (s. Abbildung 9, unten). Gemessen an den sehr ehrgeizigen Ausbauplänen zahlreicher Akteure, mag diese Prognose als allzu konservativ erscheinen. Gerade in Zeiten fallender Börsenkurse und entsprechender Zurückhaltung der Kapitalmärkte ist es jedoch erfahrungsgemäss gerade für kleinere und mittlere Unternehmen schwierig, für ehrgeizige Ausbaupläne auch die hinreichende Finanzierung sicherzustellen. Aber auch grosse Konzerne, welche theoretisch über die nötigen finanziellen Ressourcen verfügen, sind beim momentanen Börsenumfeld verständlicherweise vorsichtig, wenn grössere Investitionen in ihre – noch lange nicht immer profitablen! – solaren Geschäftsbereiche anstehen³¹. Für unsere eigene Prognose übernehmen wir daher nicht einfach die unveränderten Zahlen aus den Businessplänen, sondern nehmen einen entsprechenden Abschlag vor.

*Makro-Umfeld in Deutschland
wie im übrigen Europa nach
wie vor günstig.*

Trotz dieser Einschränkung halten wir sowohl das deutsche wie auch das internationale Makro-Umfeld nach wie vor für sehr günstig. Die Europäische Union will ja im Rahmen der Förderung der Erneuerbaren Energien bis zum Jahr 2010 rund 3 GWp an photovoltaischer Leistung in ihren Mitgliedsländern installieren. In Europa haben neben dem wichtigsten Markt Deutschland mittlerweile ja auch der zweitwichtigste Markt Spanien sowie Frankreich und Luxemburg feste Einspeisevergütungen beschlossen, z.T. kombiniert mit Investitionszuschüssen beim Bau von Solaranlagen. Die meisten anderen europäischen Länder (Italien, Niederlande, Schweiz) arbeiten v.a. mit Investitionszuschüssen, oft sind die Unterstützungsprogramme aber noch nicht landesweit vereinheitlicht.

*Auch in Japan und USA ist das
politische Klima gnädig. Haupt-
förderprogramme werden durch
zusätzliche Initiativen flankiert...*

Auch die Aussichten für Japan und die USA sind fundamental gesehen intakt. Zwar wird das im Frühjahr 2003 auslaufende 70'000-Dächer-Programm der japanischen Regierung seine Rolle als zugkräftige Lokomotive für die Solarindustrie nur noch eine begrenzte Zeit lang spielen können. Obwohl sich dadurch das Wachstum in der Region vorderhand abschwächen dürfte, glauben wir nicht, dass es zu einem Einbruch kommen wird. Denn die japanische Regierung hat vorsorglich Regelungen geschaffen, welche den Wegfall des 70'000-Dächer-Programmes wenigstens teilweise kompensieren können (Einspeiseregulierung, Förderprogramme für öffentliche Gebäude, Zertifikatshandel etc.). Allerdings ist absehbar, dass die aufgebauten Kapazitäten der japanischen Hersteller immer weniger nur vom einheimischen Markt geschluckt werden können, wie das bis vor zwei, drei Jahren noch der Fall war. Der Druck der japanischen Anbieter auf die europäische und die US-Konkurrenz wird daher weiter zunehmen.

In den USA wird das nationale *One-Million-Solar-Roofs*-Programm des

³¹ Unsere vorsichtigeren Einschätzung wird auch durch eine kürzlich erschienene Umfrage in der Fachpublikation «Solarthemen» gestützt, wonach knapp die Hälfte aller befragten Manager von Photovoltaikunternehmen für die nächsten Jahre nur noch mit einem Wachstum von 10%-20% (für den deutschen Markt) rechnen, wobei im Vorjahr dieselbe Expertengruppe noch mit einem Wachstum von 20%-40% gerechnet hatte!

Energieministeriums (DoE), welches bis ins Jahr 2010 laufen soll, von Massnahmen einzelner Bundesstaaten (Kalifornien, Arizona, New York) flankiert, welche bis zu 50% der Investitionskosten einer Solaranlage subventionieren. Besonders Kalifornien ist in diesem Bereich sehr aktiv. Dort sind für die nächsten 10 Jahre gleich mehrere Förderprogramme oder –massnahmen am Laufen oder zumindest geplant³². Überraschenderweise bietet aber zurzeit der – geografisch weit weniger günstig gelegene - Bundesstaat New York einer kürzlich publizierten Studie zufolge den Besitzern von Photovoltaik-Anlagen die vorteilhaftesten Bedingungen. Ein weiteres Indiz für das zurzeit generell günstige Umfeld für erneuerbare Energien in den USA ist sicher auch, dass rückwirkend auf den 1. Januar 2002 die sogenannte *Production Tax Credit*, das wichtigste Förderprogramm für die amerikanische Windkraftindustrie, um zwei Jahre verlängert wurde. Die Verlängerung wurde vom Repräsentantenhaus und Kongress jeweils mit grossen Mehrheiten beschlossen³³.

Wir prognostizieren Zuwachsraten von über 20% für die nächsten Jahre, jedoch ein Abflachen gegen Ende des Jahrzehnts (CAGR 15.6% bis 2010):. Marktvolumen bei >1450 MW.

Aufgrund der für die einzelnen Marktsegmente antizipierten Entwicklungen, des geplanten Kapazitätsausbaus in der Solarindustrie und des energiepolitischen Makro-Umfelds prognostizieren wir durchschnittliche jährliche Zuwachsraten (CAGR) von 15.6% bis zum Jahr 2010. Das Wachstum des weltweiten Photovoltaikmarktes wird aufgrund der sigmoiden Form unserer Prognosekurve für die nächsten zwei, drei Jahre allerdings noch deutlich über 20% liegen.

Wir reihen uns damit mit unserer Prognose eher am unteren Ende der mittlerweile doch zahlreicher gewordenen Marktschätzungen ein. Die EPIA/Greenpeace-Studie von 2001 nennt bspw. jährliche Wachstumsraten von 27.3% bis zum Jahr 2010 und gar von über 34% zwischen 2010 und 2020. Gemäss unserem eigenen Szenario wird sich das Wachstum in der ersten Hälfte des laufenden Jahrzehnts zwar noch überproportional entwickeln, dann aber bereits gegen Ende des Jahrzehnts deutlich abflachen. Wir errechnen ein Marktvolumen von über 1450 MW im Jahr 2010. Die untenstehende Abbildung 9 gibt unsere Langzeitprognose, sowie die Abweichungen zum tatsächlichen realisierten Produktionsvolumen im Jahr 2001 wieder:

32 Das bekannteste und erfolgreichste Programm ist sicher dasjenige des Sacramento Municipal Utility District (SMUD), welches in den letzten Jahren über 10 MW installiert hat. Daneben existieren aber weitere (LADWP, 15% Tax Credits, San Francisco Bonds, State Rebates etc.). Für eine komplette Übersicht aller in den USA verfügbaren Förderprogramme, s. <http://www.DSIREUSA.org>

33 In der Folge der Terroranschläge in den USA hatten es «Nebenthemen» wie erneuerbare Energien vorerst schwer, sich auf die politische Agenda zu drängen. Auch hat die Regierung Bush ja einen energiepolitischen Kurs eingeschlagen, welcher der konsequenten Förderung alternativer Energieformen eher entgegenläuft (Aufkündigung des Kyoto-Protokolls, Bau von konventionellen Kraftwerken zur Überwindung der – hausgemachten! - Energiekrise). Dennoch scheint es, dass man an der Option der «Erneuerbaren» gerade mit Blick auf eine autarke Energieversorgung entschieden festhalten will.

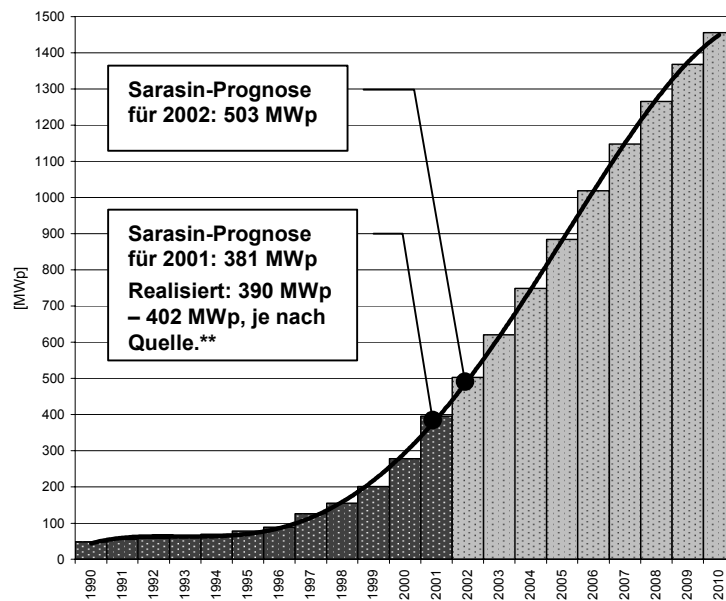


Abbildung 9: Sarasin-Prognose der Entwicklung des weltweiten PV-Marktes (MW Zellen und Module, ohne Doppelzählungen) bis 2010.
 **Unserer Prognose liegt ein Wert von 396 MWp für das Jahr 2001 zugrunde.

Anhang

Tabelle 1: Übersicht über die letztjährige und die geplante zusätzliche Produktionskapazität³⁴ wichtiger Akteure (Zellhersteller).

Monokristalline Siliziumzellen	Kapazität 2001 [MW]	Geplant 2002+ [MW], zusätzlich	Standort
Shell (Siemens)	40	–	US
BP Solar	25	(evtl. Teil von 60MW unten)	ESP/AUS/US
Sharp	>90	110	JP
Isofotón	24	12	ESP
Total		122-(180)	
Polykristalline Siliziumzellen			
Kyocera	55	45	JP
BP Solar(ex)	25	60 (evtl. ein Teil mono-x)	ESP
Photowatt	15	5(-25 spherical)	FR
Shell (Siemens)	12	13	DE
Mitsubishi Electric	25	Keine Informationen	JP
SolarWorld (Deutsche Cell)	-	25-50	DE
ErSol	~5	30	DE
Q-Cells	~5	40	DE
Sunways	5	22	DE
Photovoltech (Total/Electrabel)			
Total		240-290	
Schicht- und Bandsilizium			
Evergreen Solar	3	5	US
Ebara Solar	3	5	US
Astropower	~65	30-50	US
RWE Solar	28	60-80	DE/US
Total		100-140	
Amorphes Silizium			
Sanyo	20	10-20 (evtl. 200: HIT)	JP
BP Solar	10	10	US/DE?
USSC	5	30	US
Sharp	5	10	JP
EPV/DunaSolar	6	10	US/HUN/GRE
Mitsubishi HI	-	10	JP
Kaneka	10	20	JP
Total		100-110 (320)	
CdTe			
BP Solar	Pilotproduktion	10	US/DE?
Antec	5	5	DE
Solar Cells Inc.	Pilotproduktion	(50)	US
Total		15-(65)	
CIS			
Shell (Siemens)	1	10	US
EPV	Konstruktion	5	US/DE/H
Würth Solar	Pilotproduktion	10	DE
Total		25	
Gesamt		~590-750 (1000)	

³⁴ Die Angaben sind als Näherungswerte zu verstehen. Sie stammen aus verschiedenen Quellen und wurden im Falle von Abweichungen gemittelt. Die Liste erhebt nicht den Anspruch auf Vollständigkeit. Stand: Ende Juli 2002.

Sarasin Sustainable Investment

Andreas Knörzer

Leiter Sarasin Sustainable Investment

Tel. +41 61 277 7477
andreas.knoerzer@sarasin.ch

Gabriele Grewe

Leiterin Portfoliomanagement und Finanzanalyse,
Bonds und gemischte Produkte

Tel. +41 61 277 7073
gabriele.grewe@sarasin.ch

Catrina Vaterlaus-Rieder

Stv. Leiterin Portfoliomanagement und Finanzanalyse,
Aktien-Produkte

Tel. +41 61 277 7805
catrina.vaterlaus@sarasin.ch

Arthur Hoffmann

Portfoliomanagement und Finanzanalyse,
Aktien-Produkte «Spezialthemen»

Tel. +41 61 277 7322
arthur.hoffmann@sarasin.ch

Wulf Haasner

Portfoliomanagement und Finanzanalyse

Tel. +41 61 277 7195
wulf.haasner@sarasin.ch

Johannes Weisser

Portfoliomanagement und Finanzanalyse

Tel. +41 61 277 7267
johannes.weisser@sarasin.ch

Dr. Eckhard Plinke

Leiter Sustainability Research; Maschinenbau, Elektrotechnik und
Elektronik

Tel. +41 61 277 7574
eckhard.plinke@sarasin.ch

Christoph Butz

Stv. Leiter Sustainability Research; Energie

Tel. +41 61 277 7855
christoph.butz@sarasin.ch

Makiko Ashida

Versicherungen, Elektronik, Konsumgüter

Tel. +41 61 277 7470
makiko.ashida@sarasin.ch

Dr. Michaela Collins

Handel, Tourismus, Diverse, Länder

Tel. +41 61 277 7768
michaele.collins@sarasin.ch

Andrew DeBoo

Chemie, Pharma, Medizintechnik, Papier, Wasserversorger, Bergbau

Tel. +41 61 277 7038
andrew.deboo@sarasin.ch

Dr. Matthias Fawer-Wasser

Nahrungsmittel, Energie

Tel. +41 61 277 73 03
matthias.fawer@sarasin.ch

Dr. Klaus Kämpf

Banken

Tel. +41 61 277 7780
klaus.kaempf@sarasin.ch

Dr. Gabriella Ries

Business Services, Software, Telekommunikation, Baustoffe, Entsorgung,
Medien und Kommunikation

Tel. +41 61 277 7166
gabriella.ries@sarasin.ch

Erol Bilecen

Marketing Support, Assistenz

Tel. +41 61 277 7562
erol.bilecen@sarasin.ch

Gabriela Pace

Assistenz/Sekretariat

Tel. +41 61 277 7331
gabriela.pace@sarasin.ch

Doris Rupf

Marketing Support, Assistenz

Tel. +41 61 277 7331
doris.rupf@sarasin.ch

Christoph Kolb / Balazs Magyar

Research-Assistenz

balazs.magyar@sarasin.ch
christoph.kolb@sarasin.ch

Bestelladresse

Bank Sarasin & Cie AG
Sustainable Investment
Gabriela Pace
Elisabethenstrasse 62
CH-4002 Basel

www.sarasin.ch/sustainability



SARASIN