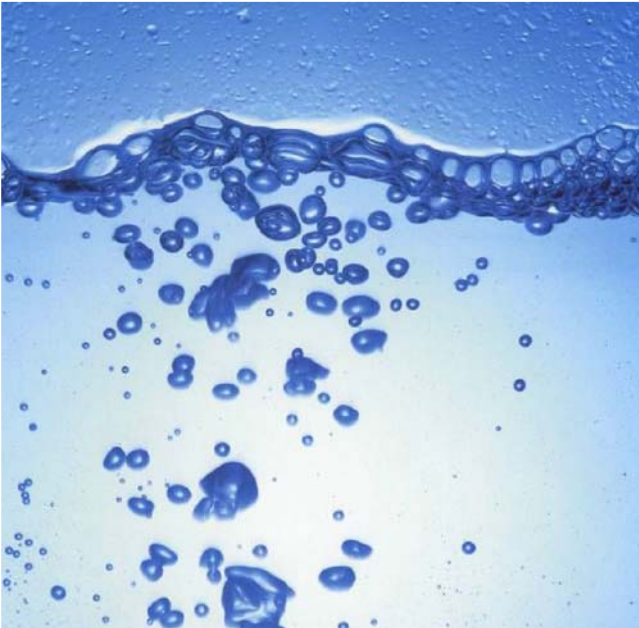




# Zukunftsmarkt Solarthermische Stromerzeugung





# **Zukunftsmarkt**

## **Solarthermische Stromerzeugung**

Fallstudie im Auftrag des Umweltbundesamtes

im Rahmen des Forschungsprojektes  
Innovative Umweltpolitik in wichtigen Handlungsfeldern  
(Förderkennzeichen 206 14 132/05)

durchgeführt

von

Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (ISI), Karlsruhe

Autor:

Mario Ragwitz

## Impressum

Herausgeber: Umweltbundesamt (UBA)  
Postfach 1406, 06844 Dessau-Roßlau  
E-Mail: [info@umweltbundesamt.de](mailto:info@umweltbundesamt.de)  
[www.umweltbundesamt.de](http://www.umweltbundesamt.de)

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit  
Referat Öffentlichkeitsarbeit  
11055 Berlin  
E-Mail: [service@bmu.bund.de](mailto:service@bmu.bund.de)  
[www.bmu.de](http://www.bmu.de)

ISSN: 1865-0538

Projektbetreuung: Michael Golde  
Umweltbundesamt (UBA)

Peter Franz  
Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU)

Autor: Dr. Mario Ragwitz  
(Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (ISI), Karlsruhe)

Titelfotos: Q-Cells AG, BMU / Rupert Oberhäuser, ccvision GmbH

Stand: Dezember 2007

## Inhaltsverzeichnis

<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>1</b>
<b>Summary</b> .....	<b>2</b>
<b>1 Einführung</b> .....	<b>3</b>
<b>2 Bedeutung und Potenziale der solarthermischen Stromerzeugung</b> .....	<b>5</b>
2.1 Die Technologie .....	5
2.2 Nutzen für Umwelt und Gesellschaft .....	10
2.3 Wirtschaftliche Potenziale .....	10
<b>3 Leistungsfähigkeit der wichtigsten Länder in der betrachteten Techniklinie</b> .....	<b>14</b>
3.1 Überblick .....	14
3.2 Innovationssystem und marktführende Unternehmen in den führenden Ländern .....	15
3.2.1 Akteursanalyse.....	15
3.3 Rahmenbedingungen und Regulierung.....	21
<b>4 Fazit: SWOT-Analyse</b> .....	<b>25</b>
<b>Literatur</b> .....	<b>27</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1:	Derzeit geplante Projekte im Bereich der solarthermischen Stromerzeugung weltweit - angegeben ist die kumulierte elektrische Leistung des solaren Anteils der derzeit geplanten Anlagen .....	11
Abbildung 2-2:	Derzeit geplante Projekte im Bereich der solarthermischen Stromerzeugung weltweit und Projektion der Marktentwicklung basierend auf der Global Market Initiative (GMI), die geplanten Projekte der Weltbank im Rahmen der GEF-Förderung sind gesondert dargestellt.....	12
Abbildung 3-1:	Patentanteile im Bereich Solarthermie .....	15
Abbildung 3-2:	Derzeit implementierte Förderinstrumente im Bereich der solarthermischen Stromerzeugung weltweit .....	24
Abbildung 3-3:	Mittlere jährliche F&E Aufwendungen für den Bereich der solarthermischen Stromerzeugung in den Perioden 1996-2000 und 2001-2005 für ausgewählte OECD Länder .....	24

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 4-1:	SWOT-Analyse für die internationale Wettbewerbsfähigkeit der EU und Deutschlands in der Techniklinie Solarthermische Stromerzeugung.....	26
--------------	--	----

## Zusammenfassung

Bei solarthermischen Kraftwerken erfolgt durch die Konzentration des Sonnenlichts die Erwärmung eines Wärmeträgermediums, welches wiederum zur Wandlung der thermischen Energie in mechanische Energie auf Basis eines Dampfprozesses oder mittels einer Stirling-Maschine genutzt wird. Die untersuchten Technologien umfassen Parabolrinnenkraftwerke, solare Turmkraftwerke sowie Dish-Stirling Systeme.

Die Perspektiven der solarthermischen Stromerzeugung können mittel- und langfristig bzgl. Marktpotenzial und technologischer Entwicklung als sehr gut eingeschätzt werden. Im Rahmen der Weiterentwicklung der erneuerbaren Energietechnologien wird ihr in Zukunft ein größeres Gewicht zukommen. Deutschland hat hierbei eine gute technologische Ausgangsposition. Insbesondere die Erfahrungen zentraler Akteure von Schlüsselkomponenten und die erreichte Weltmarktstellung, die durch die Einbindung dieser Akteure in verwandte Technologiebereiche (Glasspiegel) und durch staatliche F&E gestützt wurden, lassen auch für die Zukunft Erfolge erwarten.

Weitere Anstrengungen sind bei der Technologieentwicklung und insbesondere bei der besseren Nutzung möglicher Synergien im Innovationssystem – z. B. hinsichtlich der Einbindung weiterer Akteure - nötig. Allerdings bestehen auch strukturelle Hemmnisse. Deutschland besitzt keinen eigenen Binnenmarkt, so dass sich keine Anwendererfahrungen und damit einhergehende User-Producer-Interaktionen im Inland herausbilden können und die deutschen Unternehmen von Beginn an auf Exportmärkten tätig werden müssen. Für die Zukunft wäre vor allem eine Realisierung und finanzielle Absicherung eines gesamten Projektes durch einen entsprechenden Akteur ein wichtiger Schritt. Neben der Entwicklung und Fertigung von Schlüsselkomponenten sollten deutsche Unternehmen eine stärkere Rolle bei der Projektentwicklung übernehmen, um so dem möglichen Ausverkauf der Technologie besser vorbeugen zu können.

Aus der europäischen Perspektive bietet die solarthermische Stromerzeugung sehr große industriepolitische Chancen, da neben Deutschland auch Spanien verstärkt Kompetenzen aufgebaut hat und damit zwei EU-Länder die weltweite Führung bei der technologischen Entwicklung wie bei der Projektentwicklung eingenommen haben. Hierbei profitiert Spanien – und damit auch die EU – von den Erfahrungen mit den durchgeführten Projekten. Demgegenüber haben die USA – nicht zuletzt aufgrund der gegenüber der zweiten Hälfte der 1990er Jahre zurückgefahrenen öffentlichen F&E-Mittel – zwischenzeitlich an Boden verloren. Bei entsprechenden Anstrengungen bietet die Solarthermie eine hervorragende Chance, auf einem zukunftssträchtigen Gebiet die in der Lissabon-Strategie formulierten industriepolitischen Ziele zu erreichen.

## Summary

Solar thermal electricity generation comprises a set of technologies which convert sunlight into electricity typically based on a thermal process. The main technologies in this assessment are parabolic trough systems, solar tower systems and dish-sterling systems.

There are very good medium- to long-term prospects for solar thermal electricity production in terms of global market potential as well as technological development. Within the portfolio of renewable technologies, solar thermal electricity is expected to gain significant shares over the next decades.

Germany has a very good starting position in terms of technological leadership and global market shares. In particular the strong position of German players in this field is supported by many years of experience in the development and production of key components of solar thermal power plants, which is aided by strong public R&D and a good market position in related technological areas, e.g. glass mirrors for the car industry. In order to maintain this position in the future, increased efforts are needed, especially in activating synergies in the innovation system by integrating additional key agents. Since Germany does not possess a home market for this technology, it is not possible to exploit domestic user-producer interactions. Therefore the main future challenge lies in the realisation of an entire project by a German consortium, which must include strong project developers who are able to accept the financial and technical risks and to fulfil turn-key contracts for such projects.

From the European perspective, solar thermal electricity generation offers very good prospects in terms of industrial policy since Spain and Germany can be considered global leaders in this field. Spain can benefit from its recent experience in developing large-scale projects and from recent mergers and acquisitions of key technology producers in this field. If the current European efforts are maintained, solar thermal power generation represents a huge chance to retain global technological leadership in an important industrial sector and to contribute to reaching the objectives of the Lisbon Strategy.



# 1 Einführung

Der Umwelt- und Ressourcenschutz gewinnt national und international eine zunehmende Bedeutung. Damit verbunden wird sich die Nachfrage nach Umwelttechniken weltweit dynamisch entwickeln. Inzwischen hat sich aus dem Umwelt- und Ressourcenschutz auch ein maßgeblicher Treiber für Innovationen entwickelt. Umwelt- und Innovationspolitik wachsen dadurch immer stärker zusammen, moderne Umweltpolitik muss auch Innovationspolitik sein.

Um Wachstums- und Beschäftigungspotenziale zu mobilisieren ist es wichtig, Synergieeffekte zwischen der Verbesserung der Umweltsituation, der Schaffung zukunftsfähiger Arbeitsplätze und der Erhöhung der Wettbewerbsfähigkeit zu identifizieren und zu nutzen. Das Forschungsprojekt „Innovative Umweltpolitik in wichtigen Handlungsfeldern“ analysiert die Innovationsdynamik in wichtigen Handlungsfeldern systematisch und auf zusammenfassender Ebene. Diese Handlungsfelder bildeten die Basis, um elf Produktgruppen/Technologien auszuwählen, die in Fallstudien vertieft untersucht werden.

Jede Fallstudie enthält eine kurze Vorstellung der Grundlagen der entsprechenden Technologie. Anschließend folgt eine nähere Analyse des Zukunftsmarktes und seiner Innovationsdynamik. Besonderes im Blickpunkt stehen dabei die Entwicklung der Wettbewerbsfähigkeit deutscher und europäischer Unternehmen im internationalen Vergleich, ihr Umfeld sowie Ansatzpunkte für eine Stärkung des deutschen und europäischen Innovationssystems.

Innerhalb der Reihe: „Umwelt, Innovation, Beschäftigung“ sind Fallstudien zu den folgenden Themen erschienen: Solarthermische Stromerzeugung, CO<sub>2</sub>-Abscheidung und Speicherung, Elektrische Energiespeicherung, Solares Kühlen, Energieeffiziente Rechenzentren, Biokunststoffe, Synthetische Biokraftstoffe, Hybride Antriebstechnik, Dezentrale Wasseraufbereitung und Regenwassermanagement, Nachhaltige Wasserwirtschaft und Nanotechnologie, Stofferkennung und –trennung.

In dieser Veröffentlichung werden die Ergebnisse der Fallstudie zur solarthermischen Stromerzeugung beschrieben. Bei solarthermischen Kraftwerken erfolgt durch die Konzentration des Sonnenlichts die Erwärmung eines Wärmeträgermediums, welches wiederum zur Wandlung der thermischen Energie in mechanische Energie auf Basis eines Dampfprozesses oder mittels einer Stirling-Maschine genutzt wird. Die untersuchten Technologien umfassen Parabolrinnenkraftwerke, solare Turmkraftwerke sowie Dish-Stirling Systeme. Aufwindkraftwerke und konzentrierende Photovoltaik-Systeme wer-

den hier auch knapp beschrieben, ohne jedoch im Zentrum der Analyse zu stehen. Dabei wird zunächst eine detaillierte Technologiebeschreibung der wesentlichen Technologielinien gegeben. Anschließend werden der Nutzen der Technologie für Umwelt und Gesellschaft sowie die ökonomischen Entwicklungspotenziale beschrieben. Im zweiten Kapitel wird die Leistungsfähigkeit der wichtigsten betrachteten Länder dargestellt, wobei insbesondere das Innovationssystem und die marktführenden Unternehmen in diesen Ländern eingehender betrachtet werden. Weiterhin werden die Rahmenbedingungen und Regulierungen in diesen Ländern analysiert. Abschließend werden die wesentlichen Perspektiven einer ökologischen Industriepolitik im Bereich der solarthermischen Stromerzeugung im Rahmen einer SWOT-Analyse zusammenfassend untersucht.

## **2 Bedeutung und Potenziale der solarthermischen Stromerzeugung**

Die solarthermische Stromerzeugung ist eine erneuerbare Energietechnologie und stellt somit eine Option der CO<sub>2</sub>-freien Stromerzeugung dar. Somit ist diese Technologie potenziell ein zentraler Bestandteil einer langfristigen Klimaschutzstrategie. Der wesentliche Anteil der notwendigen CO<sub>2</sub>-Minderungen wird mittel- und langfristig durch CO<sub>2</sub>-freie Konversionstechnologien zu erbringen sein. Unter diesen Technologien stellt die solarthermische Stromerzeugung eine vielversprechende Option dar. Weiterhin trägt die solarthermische Stromerzeugung als erneuerbare Energiequelle zur Versorgungssicherheit und zur Schonung der natürlichen Ressourcen bei.

### **2.1 Die Technologie**

Ebenso wie ein konventionelles Kraftwerk besteht ein solarthermisches Kraftwerk aus einer wärmeerzeugenden Einheit sowie aus einer Wärmekraftmaschine, die die thermische Energie (Wärme) über mechanische, in elektrische Energie umwandelt<sup>1</sup>. Anders jedoch als bei einem konventionellen Kraftwerk, wo die thermische Energie aus der Verbrennung von fossilen Rohstoffen wie Kohle, Öl, Gas oder auch im Falle der Atomkraft, durch Kernspaltung gewonnen wird, entsteht die Wärme bei solarthermischen Kraftwerken durch die Konzentration bzw. Bündelung des Sonnenlichts. Somit wird bei solarthermischen Kraftwerken wie auch bei konventionellen Kraftwerken eine Turbine zur Konversion der thermischen in mechanische Energie benötigt. Hierbei kommen sowohl Dampfturbinen als auch kombinierte Gas- und Dampfturbinen zum Einsatz. Beide Konzepte basieren auf erprobter konventioneller Kraftwerkstechnologie in diesem Bereich. Neben der Turbine ist ein Hauptelement eines solarthermischen Kraftwerkes die solare Konzentrations- und Receiverinheit. Hierbei wird die Sonnenstrahlung meist durch Spiegelsysteme gebündelt und in der Receiverinheit auf ein Wärmeträgermedium übertragen. Die wesentliche technologische Innovationsdynamik konzentriert sich bei solarthermischen Kraftwerken auf den solaren Anteil der Anlage. Sowohl das Kostensenkungspotenzial als auch die Optionen zu Effizienzsteigerungen sind in diesem Bereich signifikant.

Hauptsächlich betroffene Wirtschaftssektoren sind die optische Industrie, die Glasindustrie, der Eisen- und Stahlsektor sowie der Anlagen- und Komponentenbau.

---

<sup>1</sup> Eine Ausnahme hiervon stellen Aufwindkraftwerke dar - siehe unten

Im Folgenden werden nun unterschiedliche Konzepte vorgestellt, die für die Bündelung des Sonnenlichts eingesetzt werden können.

### **Parabolspiegel Röhrensystem - Parabolrinne**



Die Parabolrinne ist die derzeit am weitesten verbreitete Technologie zur solarthermischen Stromerzeugung. Diese Technologie basiert auf der Bündelung des Sonnenlichtes durch parabolartig geformte Spiegel und die Erhitzung eines Wärmeträgermediums in einer Receiveröhre, welche sich in der Brennlinie der Spiegel befindet. Die Spiegel und die

Receiveröhren sind die technologischen Kernkomponenten dieser Technologie. In Dampfkraftkraftwerken in Kalifornien mit mehr als 80 MW Leistung befinden sich die Röhrenparabolspiegel bereits seit über 15 Jahren im Einsatz. Neun Kraftwerke mit insgesamt mehr als 354 MW installierter Leistung speisen bereits über 800 Millionen kWh/a in das kalifornische Elektrizitätsnetz ein. Die Stromgestehungskosten liegen bei 12 bis 15 € cent/kWh. Die Kraftwerke haben einen maximalen Wirkungsgrad von etwa 20 % für die Konvertierung von direkter Sonneneinstrahlung in netztaugliche elektrische Energie. Während die Kraftwerke in Kalifornien synthetische Öle als thermisches Transportmedium einsetzen, bestehen Anstrengungen eine Dampferzeugung direkt in den absorbierenden Röhren des Kollektors zu realisieren, da auf diesem Weg eine Kostenreduktion erreicht werden kann.

### **Fresnel Kollektoren**

Bei Fresnel Kollektoren wird die Form eines Parabolspiegels durch viele kleinere Spiegel angenähert. Dadurch entstehen Wirkungsgradverluste, denen jedoch Kosteneinsparungen durch einfachere Produktionsverfahren entgegenstehen.



### **Solarturm Systeme**

Mit einer bis zu 600-fachen Konzentration des Sonnenlichts können thermische Transportmedien auf Temperaturen von über 1200°C erhitzt werden. Hierzu werden Spiegel um einen Turm



so angeordnet, dass sie das einfallende Sonnenlicht an einem Punkt am Turm bündeln. Als thermische Transportmedien werden geschmolzene Salze, Luft und auch Wasser eingesetzt. Die Wärme kann in Dampfkraftanlagen und zukünftig auch in Gasturbinen eingesetzt werden. Das PS10-Projekt in Spanien ist als erstes kommerzielles Solarturmprojekt auf eine Leistung von 11 MW ausgelegt. Technologische Kernkomponenten dieser Kraftwerke sind wiederum die Spiegel sowie die Receiveranordnung im Turm.

### Parabolschüsselsystem (Parabolic Dish)



Parabolschüsselsysteme sind im Vergleich zu anderen Kollektorsystemen relativ kleine Einheiten in deren Brennpunkt sich ein Sterlingmotor oder eine kleine Gasturbine befindet. Typische Größen eines Parabolschüsselsystems liegen bei einem Durchmesser von 5 bis 15 m und entsprechen 5 bis 25 kW Leistung. Zusätzlich zur Stromerzeugung aus reiner Sonnenenergie, können zur Bereitstellung von Grundenergie auch fossile Energieträger oder Biomasse genutzt werden. Aufgrund ihrer Größe, eignen sich Parabolschüsselsysteme besonders für die dezentrale Energieversorgung und zum Einsatz in Inselsystemen. Es wurden jedoch auch schon Parabolschüsselsysteme mit bis zu 400 m<sup>2</sup> Kollektorfläche gebaut, die in dieser Größe für eine direkte Dampferzeugung genutzt werden können. (Abbildung: Stirling Energy Systems)

### Thermikkraftwerk bzw. Aufwindkraftwerk

Bei allen bisher vorgestellten solarthermischen Systemen muss für einen wirtschaftlichen Betrieb sowohl eine ausreichende jährliche Mindesteinstrahlung, als auch eine geringe Streuung der einfallenden Sonnenstrahlen gegeben sein. Sollten die einfallenden Sonnenstrahlen zu sehr gestreut sein, man spricht hier auch von diffuser Strahlung, kann die Energie nicht mehr ausreichend über Spiegelemente gebündelt werden. Ein System, welches auch ohne direkte Sonneneinstrahlung funktioniert, ist das Thermikkraftwerk, bzw. Aufwindkraftwerk. Das Kraftwerk besteht aus einem Luftkollektor (Gewächshaus), unter dem Wärme durch Sonneneinstrahlung nach dem Prinzip des Treibhauseffekts entsteht. Über einen Kamin im Zentrum des Gewächshauses wird ein thermisches Potenzial erzeugt; die erwärmte Luft unter dem Kollektor strömt durch den Kamin nach oben.



Dabei wird die Luftströmung im unteren Teil des Kamins durch eine Turbine aufgenommen und in Strom gewandelt. Bei dieser Technologie steht ein geringer Wirkungsgrad von ca. 5 % einer sehr günstigen und einfachen Konstruktion entgegen. Anders als bei den zuvor behandelten Technologien, entfällt bei den Thermikkraftwerken, bzw. Aufwindkraftwerken, insbesondere das Dampf- oder das kombinierte Gas-Dampf Kraftwerk zur Stromerzeugung. In Planung ist derzeit ein Aufwindkraftwerk in Australien, dessen Kamin eine Höhe von 1000 m haben soll. Auf einer Gesamtfläche von 7 km<sup>2</sup> sollen jährlich 650 GWh Strom erzeugt werden. Die Größe der Anlagen kann Probleme in Bezug auf die Akzeptanz dieser Technologie aufwerfen, was einen Einsatz der Anlagen in unbesiedelten Gebieten empfiehlt.

Quelle: (Bild: Thermikkraftwerk in Manzanares, <http://fsmach.uni-stuttgart.de/ak-ring/upload/picture/Aufwind.jpg>)

### **Konzentrierende Photovoltaik**

Als wesentliche technologische Alternative zu den oben beschriebenen solarthermischen Kraftwerkskonzepten gilt die konzentrierende Photovoltaik. Hierbei wird das Sonnenlicht ähnlich wie bei der Solarthermie gebündelt. Das konzentrierte Sonnenlicht wird dann jedoch von einer hierfür vorgesehenen Photovoltaikzelle in Strom gewandelt. Somit kann auf den konventionellen thermischen Dampfprozess verzichtet werden. Im Gegensatz zur solarthermischen Stromerzeugung gibt es bei der konzentrierenden Photovoltaik derzeit noch keine kommerziellen Anwendungen. Es soll hier nicht auf die Vor- und Nachteile dieser Technologie im Detail eingegangen werden. Es sei lediglich angemerkt, dass die konzentrierende PV aufgrund der besseren Skalierbarkeit, des geringeren technologischen Risikos und des Verzichtes auf einen thermischen Prozess möglicherweise über bessere Voraussetzungen für die Diffusion verfügt und u. U. höhere Kostenreduktionspotenziale aufweist. Im Gegensatz könnte sich die Speicherfähigkeit<sup>2</sup> der thermischen Energie als wesentlicher Vorteil der Solarthermie erweisen.

### **Kostenreduktionspotenziale der verschiedenen Technologien**

Das technologische Entwicklungspotenzial der verschiedenen solarthermischen Technologiekonzepte lässt sich gut über das Kostenreduktionspotenzial der einzelnen Techniklinien kennzeichnen. Generell wird das Kostenreduktionspotenzial für die solarthermische Stromerzeugung als hoch eingeschätzt, wobei eine Senkung der Stromerzeugungskosten von derzeit etwa 15 € cent/kWh auf etwa 5 € cent/kWh langfristig für mög-

---

<sup>2</sup> Die thermische Energie des Wärmeträgermediums kann bei solarthermischen Anlagen typischerweise einige Stunden unter Ausnutzung verschiedener, meist unterirdischer Speichermedien gespeichert werden. Dies bewirkt eine Vergleichmäßigung der Stromproduktion.

lich gehalten wird (Sargent and Lundy:(2003) and DLR (2004)). Dieses langfristige Kostenniveau gilt für die beiden dominierenden Technikkonzepte, die Solarturmsysteme und die Parabolspiegelsysteme. Im Folgenden wird für diese Techniklinien dargestellt, welche Technikkomponenten hauptsächlich zu dem erwarteten Kostensenkungspotenzial der einzelnen Technologiekonzepte beitragen (Sargent and Lundy:(2003) and DLR (2004)).

### **Parabolspiegel Röhrensysteme**

Die Haupteinsparpotenziale der Parabolspiegel Röhrensysteme liegen in innovativen Strukturen/Spiegelhalterungen (<28 %), neuartigen Spiegelkonzepten (<19 %), verbesserten Wärmespeichern (<18 %), Minderung von Druckverlusten (<16 %), staubabweisenden Spiegeloberflächen (<16 %) und erhöhten Umgebungstemperaturen (<15 %).

### **Solarturm**

Bei Solartürmen liegen die Haupteinsparpotenziale im Bereich der Verwendung größerer und miteinander gekoppelter Heliostaten (< 20 %), größerer Kraftwerke (15 %) sowie der Verwendung verbesserter Speicherkonzepte.

### **Fresnel Kollektoren**

Bei den Fresnel Kollektoren ergeben sich Einsparpotenziale insbesondere durch ein optimiertes Kollektorfeld (<3 %), verbesserte Wärmespeicher (<15 %), reduzierte Druckverluste (<7 %), staubabweisende Reflektorflächen (<7 %) und höheren Temperaturen der thermischen Transportmedien(<6 %).

### **Parabolschüsselsystem**

Bei Parabolschüsselsystemen lassen sich die Haupteinsparpotenziale durch eine Massenproduktion dieser Technologie (38 %), durch die Verwendung eines Brayton- anstatt eines Stirling-Keislaufes sowie durch eine Vergrößerung der Systeme erzielen.

### **Verortung der Techniklinie im Innovationszyklus**

Die solarthermische Stromerzeugung ist eine Technologie, welche sich am Übergang zur Diffusion befindet. Die verschiedenen Technologieoptionen sind durch starke technologische Lernpotenziale, insbesondere basierend auf einer künftigen Massenfertigung (economies of scale) als auch basierend auf einzelnen grundlegenden technologischen Innovationen, gekennzeichnet. Künftig wird insbesondere die Integration von

Speichern in solarthermische Kraftwerke eine wesentliche Rolle spielen, um diese in stärkerem Maße grundlastfähig zu machen.

## 2.2 Nutzen für Umwelt und Gesellschaft

Wie oben dargestellt, ist die solarthermische Stromerzeugung potenziell ein zentraler Bestandteil einer langfristigen Klimaschutzstrategie. Der mögliche Beitrag zum Klimaschutz wird mittel- und langfristig als sehr hoch eingeschätzt, da dann zunehmend CO<sub>2</sub>-freie Erzeugungstechnologien mit starkem Kostensenkungspotenzial zum Einsatz kommen müssen. Dies gilt ebenso für den Beitrag zur Energieversorgungssicherheit in Ländern in einem Bereich zwischen dem 35. Breitengrad nördlicher- und südlicher Breite. Das realisierbare Potenzial der Solarthermie in diesen Ländern ist signifikant und kann einen wesentlichen Anteil des Energieverbrauchs decken.

Zu den konkurrierenden Lösungsansätzen zählen insbesondere andere erneuerbare Energieerzeugungstechnologien wie die Windenergie, die Photovoltaik oder die Stromerzeugung aus Biomasse. Das langfristig größte Potenzial besitzen jedoch solare Technologien, wobei solarthermische Stromerzeugung früher als die Photovoltaik den Bereich konventioneller Stromgestehungskosten erreichen dürfte. Verschiedene Studien projizieren Stromgestehungskosten zwischen 6 und 8 € cent/kWh in 2020 (Sargent and Lundy:(2003) and DLR (2004)), wobei dieser Wert natürlich von der erwarteten Marktdiffusion der Technologie in diesem Zeitraum abhängt.

Das Emissionsminderungspotenzial der solarthermischen Stromerzeugung liegt bei etwa 6 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub> bis zum Jahr 2020 in Europa. (Ragwitz (2004))

## 2.3 Wirtschaftliche Potenziale

Das Marktpotenzial – aktuell und in der Perspektive bis 2020 – soll im Folgenden basierend auf derzeit bekannten Projekten zur Realisierung solarthermischer Kraftwerke dargestellt werden:

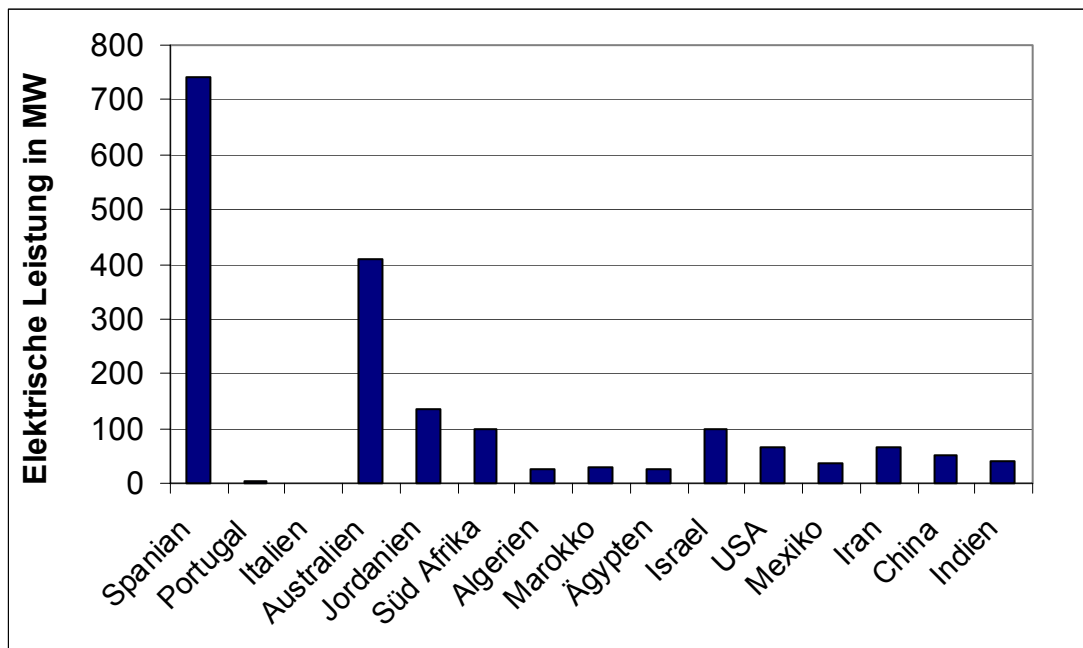
- Bereits in den Jahren 1985 – 1992 sind als Folge der Ölkrise von 1979/80 eine Reihe von solarthermischen Kraftwerken in Betrieb gegangen. Aufgrund der damaligen energiepolitischen Rahmenbedingungen und der Stabilisierung des Ölpreises konnte sich die Technologie jedoch auf lange Sicht nicht durchsetzen.
- Erst 2006 wurde die damals bereits marktreife Technologie wieder aufgegriffen. Seither korrespondieren die Zahlen der geplanten Kapazitäten von Neuanlagen recht gut mit dem Ziel der "Global Market Initiative for Concentrating Solar Power" (GMI), 5 GW installierte Leistung im Jahr 2015 durch solarthermische Stromerzeugung bereitzustellen.



- Derzeit bestehen weltweit 29 Projekte zum Bau von solarthermischen Kraftwerken mit insgesamt 1.826 MW Leistung. Diese Leistung entspricht ungefähr 1 bis 2 Kernkraftwerken.
- Mit 741 MW geplanter Leistung ist mehr als ein Drittel aller aktuellen Projektvorhaben in Spanien konzentriert. Spanien ist somit auch in Europa, neben Portugal und Italien, das aktivste Land im Sinne der Realisierung und Umsetzung von solarthermischen Kraftwerken.
- Ebenfalls im globalen Maßstab sehr aktiv ist Australien, mit einem derzeitigen Projektvolumen von 408 MW.
- Eher zurückhaltend was die konkrete Umsetzung von solarthermischen Kraftwerken angeht präsentieren sich im internationalen Vergleich hingegen die afrikanischen Länder sowie Israel, USA, Mexico, Iran, China und Indien, die über ihre geographische Lage für den Einsatz von solarthermischen Kraftwerken grundsätzlich gut geeignet wären.

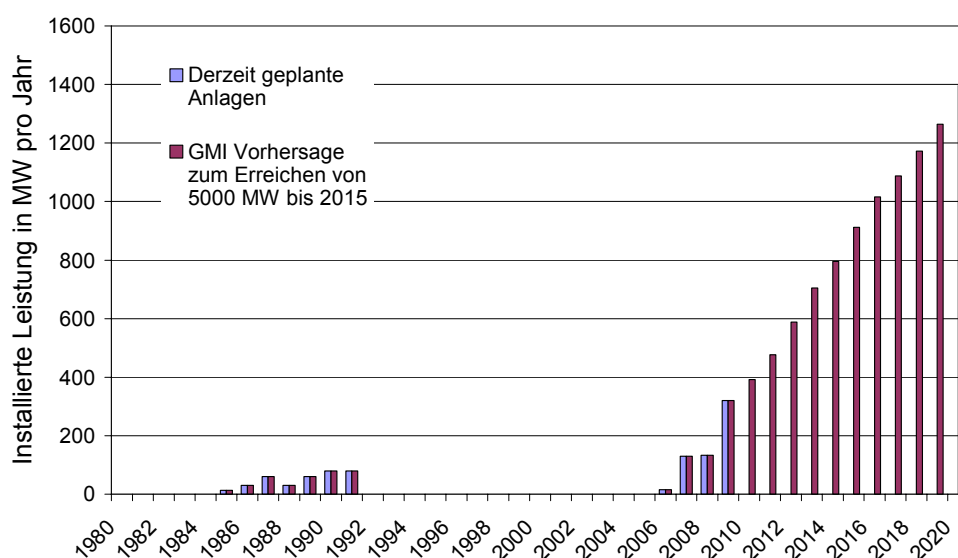
Die folgende Abbildung 2-1 zeigt die Gesamtleistung der derzeit geplanten Projekte im Bereich der solarthermischen Stromerzeugung auf der Ebene der relevanten Staaten. Ein detaillierter Überblick über den Entwicklungsstand der weltweiten Projektentwicklung in den einzelnen Staaten findet sich in Eichhammer et. al.

Abbildung 2-1: Derzeit geplante Projekte im Bereich der solarthermischen Stromerzeugung weltweit - angegeben ist die kumulierte elektrische Leistung des solaren Anteils der derzeit geplanten Anlagen



Die folgende Abbildung 2-2 vergleicht die zeitliche Entwicklung der derzeit geplanten Projekte mit der Projektion der "Global Market Initiative".

Abbildung 2-2: Derzeit geplante Projekte im Bereich der solarthermischen Stromerzeugung weltweit und Projektion der Marktentwicklung basierend auf der Global Market Initiative (GMI), die geplanten Projekte der Weltbank im Rahmen der GEF-Förderung sind gesondert dargestellt.



Es ist gut erkennbar, dass im Zeitraum von 1992 bis 2006 keine Projekte zur solarthermischen Stromerzeugung durchgeführt wurden. Wie bereits erwähnt, ist dafür die mangelnde Nachfrage nach solarer Stromerzeugung in den USA nach 1992, insbesondere durch den sich wieder stabilisierenden Ölpreis nach der Ölkrise von 1979/80, verantwortlich.

Der enorme Anstieg der geplanten Anlagen ab 2006 ist nun auf einen weiteren treibenden Faktor zurückzuführen. Neben der nach wie vor bestehenden Unsicherheit in der Primärenergieversorgung, steht seit einigen Jahren der Ausbau umweltfreundlicher und daher emissionsfreier Energieerzeugung im Vordergrund.

Die solarthermische Stromerzeugung hat daher zwei Geburtsgeschichten, die sich in den zwei zeitlich voneinander getrennten Planungsperioden widerspiegeln. Mit der ersten Planungsperiode (1985 - 1992) wurde hauptsächlich auf Energieknappheit, in der zweiten Periode (ab 2004) zusätzlich auf die Notwendigkeit zum Ausbau umweltfreundlicher Energieressourcen reagiert.

Da sich zukünftig beide treibenden Faktoren sowohl aus umwelt- als auch energiepolitischer Sicht eher verstärken werden, kann mit einem kontinuierlichen Wachstum der gesamten solarthermischen Kraftwerksleistung auch in Zukunft gerechnet werden.

Durch technologische Rahmenbedingungen lässt sich die solarthermische Stromerzeugung grundsätzlich in einem Bereich zwischen dem 35. Breitengrad nördlicher- und südlicher Breite, also in einem geographischen Band um den Äquator wirtschaftlich betreiben. Durch diese technologische Restriktion wird das Feld der Zielländer stark eingeschränkt, Deutschland scheidet bereits als wirtschaftlicher Betreiber aufgrund seiner geographischen Lage aus. Da sich die Stromübertragung über längere Distanzen heute noch schwierig gestaltet, sollte der Einsatz der solarthermischen Stromerzeugung zunächst vorrangig in Verbrauchernähe erfolgen. Langfristig könnte sich mit dem Ausbau der Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung der Transport auch über größere Distanzen, z. B. zwischen Nordafrika und Mitteleuropa, realisieren lassen.

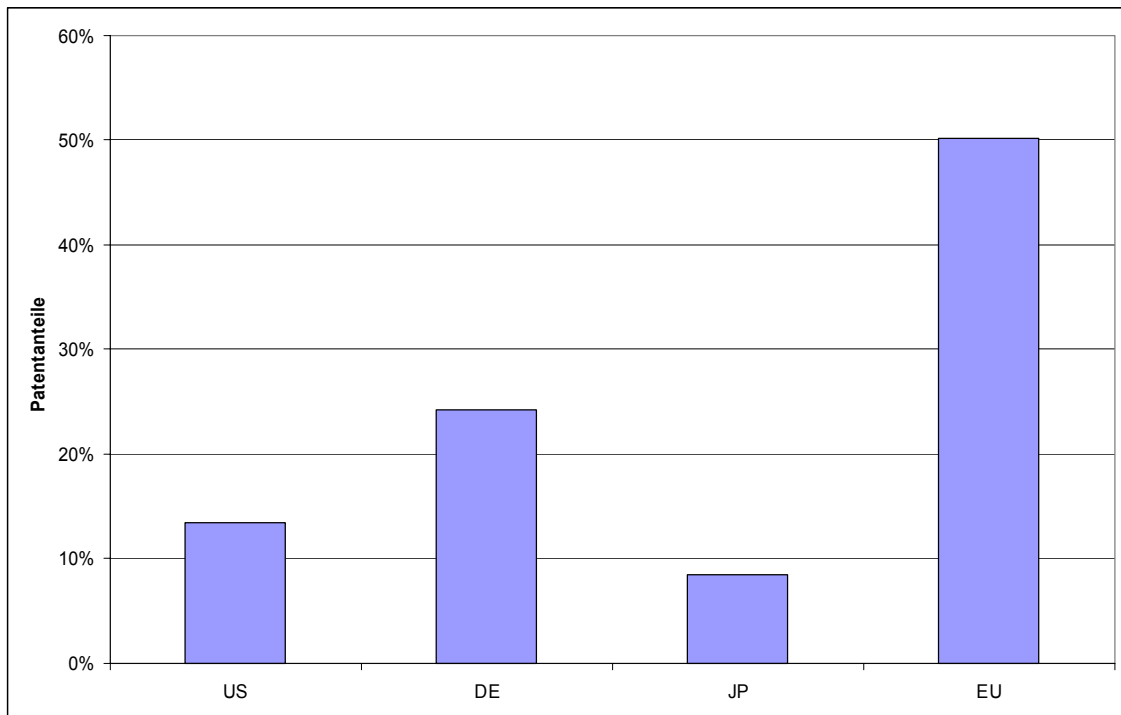
### **3 Leistungsfähigkeit der wichtigsten Länder in der betrachteten Techniklinie**

#### **3.1 Überblick**

Die wichtigsten Länder im Bereich der Solarthermie sind Spanien und die USA bei der Projektentwicklung sowie Deutschland, Spanien, die USA und Israel bei der Technologieentwicklung und bei den Herstellern. In Bezug auf die Technologieentwicklung ist Deutschland weiterhin als führend einzuschätzen (Technologieführer bei Receiverrohren und Spiegeln - den beiden Schlüsselkomponenten bei Parabolrinnen), während sich Spanien derzeit eine führende Position im Bereich des Anlagenbaus erarbeitet (Acciona, ACS, Abengoa). Eine eingehende Analyse der Akteursstruktur und der internationalen Wettbewerbsfähigkeit der einzelnen Länder findet sich im folgenden Abschnitt.

Eine detaillierte Patentanalyse lässt sich für den Bereich der solarthermischen Stromerzeugung sehr schwierig erstellen, da technologische Entwicklungen im Bereich der reinen Stromerzeugungstechnologien nur schwer von solarthermischen Techniken zur Wärmeerzeugung zu trennen sind. Daher wurde eine Patentrecherche durchgeführt, die beide Techniklinien erfasst (vgl. Abbildung 3-1). Für das Jahr 2003 wurden dann eine aufwändige Analyse der einzelnen Patente und ihre schwerpunktmäßige Zuordnung zur Strom- bzw. Wärmeerzeugung durchgeführt. Diese stichprobenartigen Ergebnisse zeigten, dass Europa etwa für die Hälfte der weltweiten Patente in dieser Techniklinie verantwortlich ist, wobei auf Deutschland etwa ein Viertel der globalen Patente entfällt. Dies entspricht weitgehend den Verhältnissen, die für die gesamte Solarthermie gelten, so dass davon ausgegangen werden kann, dass die in Abbildung 3-1 ausgewiesenen Patentanteile auch die Leistungsfähigkeit in der solarthermischen Stromerzeugung wiedergeben.

Abbildung 3-1: Patentanteile im Bereich Solarthermie



Quelle: Berechnungen des Fraunhofer ISI

## 3.2 Innovationssystem und marktführende Unternehmen in den führenden Ländern

### 3.2.1 Akteursanalyse

Die wichtigsten Länder im Bereich der Technologieentwicklung für die solarthermische Stromerzeugung sind Spanien, Deutschland, die USA, und Israel. Die Analyse der wichtigsten Akteure in diesen Ländern ist im Folgenden zusammengestellt.

#### Spanien

Spanien ist seit Beginn der anwendungsorientierten Forschung im Bereich der solarthermischen Stromerzeugung aktiv. Zunächst waren die Aktivitäten insbesondere auf die deutsch-spanische Kooperation auf der Plataforma Solar konzentriert, ein Demonstrationsprojekt für solarthermische Anlagen, an welchem sich von spanischer Seite insbesondere die Großforschungseinrichtung CIEMAT beteiligte. Seit der Überarbeitung des spanischen Einspeisegesetzes für erneuerbaren Strom im Jahr 2004 gibt es in Spanien ein starkes wirtschaftliches Interesse am Bau solarthermischer Kraftwerke. An den entsprechenden Arbeiten hierzu sind derzeit insbesondere drei spanische Un-

ternehmen beteiligt (ACS Cobra, Solucar Abengoa und Acciona), deren Rolle im Folgenden beschrieben wird.

Die spanische ACS-Gruppe gehört mit mehr als 90.000 Beschäftigten und einem Umsatz von 10,8 Mrd. Euro nach der Fusion mit Dragados zu den drei größten Baukonzernen Europas. Cobra hat sich mit weltweit etwa 13.000 Mitarbeitern auf die schlüsselfertige Errichtung von Kraftwerken und Industrieanlagen spezialisiert. Cobra übernimmt beim Bau und der Finanzierung der spanischen Kraftwerke eine führende Rolle. Sie hat an den ersten zwei spanischen Kraftwerksprojekten (AndaSol I und II) von der Solar Millennium AG einen Anteil von jeweils 75 % des Eigenkapitals übernommen. Bei weiteren Projekten ist eine enge Zusammenarbeit zwischen Cobra und der Solar Millennium-Gruppe in Vorbereitung. Das Konsortium ACS Cobra beteiligt sich insbesondere beim Bau und der Finanzierung solarthermischer Kraftwerke, ist bisher allerdings nicht aktiv an der technologischen Entwicklung solcher Anlagen beteiligt. Die bisher durch ACS Cobra geplanten Anlagen basieren im Wesentlichen auf deutscher Technologie (Receiverrohr von der Firma Schott, Spiegelglas von der Firma Flabeg). Die Rolle eines Gesamtkontraktors, welche durch ACS Cobra eingenommen wird, wird generell als essenziell für die Realisierung der noch mit hohen technischen Risiken verknüpften Solarthermie angesehen. Die sonstigen im Bereich der solarthermischen Stromerzeugung tätigen Unternehmen, könnten wahrscheinlich nicht die nötigen finanziellen Sicherheiten hierfür aufbringen.

Solucar ist ein Tochterunternehmen des Abengoa Technologiekonzerns im Bereich der Solarthermie. Abengoa ist ein Mischkonzern und Anlagenbauer. Das Konsortium aus Solucar Abengoa und den deutschen Unternehmen Schlaich Bergmann & Partner und Solar Millennium hat in den Jahren 2003/2004 ein sehr innovatives Parabolspiegelkonzept (Eurothrough) in Spanien auf der Plattaforma Solar de Almaria (PSA) umgesetzt. Dabei hat Solucar wichtiges technologisches Know-how im Bereich Parabolrinnentechnologie gewonnen. Im Bereich der Solarturmkraftwerke hat Solucar in Spanien einen Solarturm mit 11 MW gebaut (PS 10) und plant ein zweites Projekt mit 20 MW (PS 20). Weitere 6 solarthermische Kraftwerke sind derzeit durch Solucar geplant. Außerdem baut Solucar ein eigenes großes Demo-Referenzzentrum in Sevilla. Dieses wird das größte solarthermische Demonstrationsprojekt weltweit. Abengoa ist von Beginn der solarthermischen Kraftwerksforschung involviert und plant nach eigenen Angaben mit Solucar Weltmarktführer in diesem Technologiesektor zu werden (vgl. <http://www.solucar.es/>).

Neben Cobra und Solucar stellt Acciona Energia einen weiteren Akteur der solarthermischen Stromerzeugung in Spanien dar. Als Teil der Acciona Gruppe beschäftigt Acciona Energia weltweit über 1000 Angestellte und ist in nahezu allen Bereichen der

regenerativen Energien vertreten. Insbesondere durch den Erwerb des amerikanischen Unternehmens Solargenix konnte die Kompetenz im Bereich der solarthermischen Kraftwerke stark ausgeweitet werden. So ist Acciona Energia indirekt an der Konstruktion der 64 MW Anlage in Nevada und an einem 1 MW Projekt in Arizona über Solargenix beteiligt (vgl. <http://www.acciona-energia.com>).

Tendenziell lässt sich eine starke Konzentration der spanischen Unternehmen auf die Parabolrinnentechnologie erkennen, die bis vor kurzem nur von deutschen und israelischen Unternehmen konzeptionell verstanden wurde. Es werden bereits spanische Glashersteller in der Entwicklung der Parabolspiegel aktiv. Auch in anderen Technologien, wie z. B. in der Solarturmtechnologie, steht die Entwicklung neuer Anlagen, sicherlich auch begünstigt über die geographische Lage, nicht still. Ferner sind sämtliche großen EVUs in Spanien bereits im Bereich Solarthermie tätig. Nennenswert sind hier beispielsweise die Projekte des Energieunternehmens Iberdrola mit einer Gesamtkapazität in Höhe von 450 MW.

Im Bereich der anwendungsorientierten Forschung ist insbesondere das spanische Forschungsinstitut CIEMAT zu nennen. Insbesondere über die Beteiligung an der Forschungsplattform "Plataforma Solar" war das CIEMAT über die vergangenen Jahre in wesentliche F&E Aktivitäten im Bereich der Solarthermie eingebunden. Auch in der aktuellen Situation sind die spanischen Unternehmen bestrebt, das CIEMAT in die industrielle technologische Entwicklung der Anlagen einzubinden.

## **USA**

In den USA gingen in den 1980er Jahren die ersten solarthermischen Kraftwerke in Betrieb. Bereits damals wurden diese Anlagen wirtschaftlich betrieben, allerdings konnte sich die Technologie seit Beginn der frühen 1990er Jahre aufgrund fallender Ölpreise gegen fossile Technologien zur Stromerzeugung nicht durchsetzen.

Nach einer Pause von fast 15 Jahren erlebt nun die solarthermische Stromerzeugung in den USA eine Renaissance. Neuanlagen in Arizona und Nevada sind in Planung.

Hauptakteur auf dem US-amerikanischen Markt ist die Firma Solargenix. Bei der Realisierung des Kraftwerks in Nevada mit einer Leistung von 64 MW, musste die Firma jedoch auf Rinnen von Solel (Israel), Receiverhüllen von Schott (Deutschland) und Spiegel der Flabeg GmbH (Deutschland) zurückgreifen. Solargenix war technisch lediglich in den Bau der Aluminium-Trägerelemente involviert und kann somit nicht mehr als Innovationstreiber in der solarthermischen Stromerzeugung angesehen werden.

Zwar existieren Anstrengungen, insbesondere seitens der Sandia National Laboratories, die solarthermische Stromerzeugung auf einem kommerziell nutzbaren Niveau weiterzuentwickeln, dennoch kann aus Experteninterviews geschlossen werden, dass die USA derzeit dabei sind ihre technologische Führerschaft der ersten Stunde aufzugeben (vgl. Quelle: ([http://www.sandia.gov/Renewable\\_Energy/renewable.htm](http://www.sandia.gov/Renewable_Energy/renewable.htm))).

### **Deutschland**

In Deutschland besteht die Szene der solarthermischen Energieerzeugung aus einer wohl überschaubaren Anzahl aktiver Unternehmen, die über strategische Partnerschaften eng vernetzt sind und in intensivem Kontakt zur deutschen Forschungslandschaft stehen.

Als einer der zentralen Akteure in Deutschland gilt die Solar Millennium AG mit einem Umsatz von 17 Millionen Euro im Geschäftsjahr 2006. Die Leistungen der Solar Millennium-AG umfassen Projektentwicklung, technische Planung und Engineering für die Realisierung von solarthermischen Kraftwerken im Leistungsbereich von 50 bis 200 Megawatt (MW) auf Basis der Parabolrinnen- und der Aufwindtechnologie. Technologie-Unternehmen der Solar-Millennium AG sind die Flagsol GmbH und die Smagsol GmbH. Die Flagsol GmbH erbringt Dienstleistungen im Ingenieurbereich, bei Planung und Ausführung von Parabolrinnenkraftwerken und entstand durch die Einbringung aller planerischen solarthermischen Aktivitäten der Flabeg Unternehmensgruppe im Juni 2002. Die Smagsol GmbH mit Sitz in Erlangen wurde bereits 1998 zusammen mit Prof. Dr. Jörg Schlaich und Herrn Rudolf Bergermann gegründet und 2005 von der Solar Millennium AG erworben. Planung, Entwicklung und Bauüberwachung für Aufwindkraftwerke in verschiedenen Ländern sollen im Rahmen der Geschäftstätigkeit sichergestellt werden. Die bisherigen Weiterentwicklungen umfassen vor allem Turbine, Generator und Rotorblatt. Vor dem Bau des ersten Projektes besteht noch ein Bedarf an weiteren Entwicklungsschritten. Strategische Partnerschaften der Solar-Millennium AG bestehen mit der Schlaich Bergermann & Partner GmbH, der Flabeg GmbH & Co. KG, dem deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V. (DLR), der Schott Rohrglas GmbH und der spanischen Firma Cobra/ACS (vgl. (<http://www.solarmillennium.com/start.php?pl0=19&pl1=178&cid=89>)).

Die Firma Flabeg (Flabeg GmbH & Co. KG) ist ein weltweit agierendes Unternehmen, das sich auf Glasveredelung spezialisiert hat und ist Weltmarktführer in der Herstellung von Automobilspiegeln. Flabeg ist derzeit auch der einzige Hersteller weltweit, der die hochpräzisen Solarreflektoren (Parabolspiegel) fertigen kann. Alle kommerziell betriebenen Parabolrinnenkraftwerke sind mit Flabeg-Spiegeln ausgestattet, insgesamt etwa 2,5 Mio. Quadratmeter. Sie bilden eine Schlüsselkomponente dieser Kraftwerkstechno-



logie und werden im Flabeg Werk in Fürth produziert. Flabeg verfügt weiterhin über umfassende Kenntnisse und Erfahrungen bei internationalen Projektentwicklungen sowie Kontakte zu vielen Regierungen und internationalen Geldgebern. Die Exzellenz von Flabeg im Bereich Solarthermie ist in der Flagsol GmbH gebündelt (vgl. <http://www.flabeg.com/deutsch/Wir-ueber-uns/Seiten/Wir1.html>).

Die Schott Rohrglas GmbH, ebenfalls ein Hauptakteur in der solarthermischen Stromerzeugung, hält derzeit die Marktführerschaft in der Herstellung von Receiveranlagen. Die Neuentwicklung dieser Receiveranlagen, die das Herzstück eines jeden solarthermischen Kraftwerks darstellen, wurde über das PARASOL-Projekt in den Jahren 2001 bis 2004 aktiv vom BMU mit über 7 Millionen Euro unterstützt. Aktuell plant Schott den Bau einer Fabrik zur Herstellung von Receiverrohrglas in Spanien und reagiert damit auf die wachsende Nachfrage vor Ort. Somit baut Schott seinen Wettbewerbsvorteil insbesondere gegenüber dem Hauptkonkurrenten Solel aus.

Als aktive Firma in der Photovoltaikindustrie, stellt die Centrosolar Glas GmbH eisenarme Gläser mit sehr hohen Transmissionseigenschaften und sehr niedrigen Reflexionswerten her. Diese Gläser werden neben weiteren Spezialanwendungen auch zur Verglasung von solarthermischen Receiverseinheiten verwendet (vgl. [http://www.centrosolarglas.de/deutsch/02\\_produkte/](http://www.centrosolarglas.de/deutsch/02_produkte/)).

Neben der Entwicklung von Anlagenkomponenten existiert eine Reihe von Beratungsbüros die sich mit technischen Rahmenbedingungen von Solarthermiekraftwerken befassen. Das Ingenieurunternehmen Fichtner Solar GmbH ist beispielsweise führend in der unabhängigen Beratung für solarthermische Kraftwerke. Fichtner Solar beteiligt sich weltweit an der Entwicklung zahlreicher Projekte im Bereich solarthermische Kraftwerke. Ein weiterer bereits erwähnter Akteur ist das Ingenieurbüro Schlaich Bergmann und Partner (SBP), das sich auf den Entwurf und die Konstruktion von komplexen Bauvorhaben spezialisiert hat. Neben der Tragwerkskonstruktion für Dächer und Brücken, bündelt das Ingenieurbüro seine Erfahrungen über solarthermische Aufwindkraftwerke in der Smagsol GmbH. Auch im Bereich Recht und Finanzen gibt es bereits Unternehmen, die sich auf die Beratung für Solar- und Solarthermische Kraftwerke spezialisiert haben (vgl. [www.sterr-koelln.com](http://www.sterr-koelln.com), <http://www.sbp.de/de/fla/mittig.html> sowie <http://www.fichtner.de>).

Die positiven Effekte durch das Zusammenspiel von Wirtschaft und Wissenschaft mit gezielter finanzieller Unterstützung der nationalen Forschungsförderung, spiegeln sich z. B. durch den Erfolg des PARASOL-Projekts (2001-2004), in Form des neuentwickelten Receiverlements von Schott, wider. Bei dem Projekt, das seitens des deutschen Umweltministeriums mit über 7 Millionen Euro unterstützt wurde, waren neben der Fir-

ma Schott auch die Firma Flagsol, das deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt, das Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme und die Universität Clausthal-Zellerfeld an der Entwicklung beteiligt. Über die Förderung des SKAL ET-Projektes (2003), im Rahmen des Zukunftsinvestitionsprogrammes der Bundesregierung (ZIP), konnte die Entwicklung einer verwindungssteifen Spiegelrinnenkonstruktion unter der Konsortialführerschaft der Solar Millennium AG und den Partnern Flagsol, dem Ingenieurbüro Schlaich, Bergemann und Partner sowie dem DLR unterstützt werden. Bei der neu-entwickelten Spiegelrinnenkonstruktion (Scaled-up, EuroTrough, SKAL ET) konnten verbesserte Fokussiereigenschaften erreicht werden. Von Flagsol wurde außerdem eine hoch präzise Kollektorsteuerungseinheit und vom DLR eine begleitende Messtechnik zu Optimierung der Strahlenführung entwickelt. Das SKAL ET-Projekt mündete in das Anda F&E Projekt, das seitens des BMU mit über 3 Millionen Euro im Zeitraum, 2004 – 2006 gefördert wurde. Im Rahmen von Anda F&E wurde der Dauerbetrieb von Testanlagen wissenschaftlich begleitet, um Effizienz und Zuverlässigkeit zukünftiger kommerzieller Kraftwerke zu erhöhen sowie technische Risiken bei deren Errichtung zu minimieren. Das Projekt wurde wissenschaftlich vom deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V. (DLR) und vom Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik (IML) begleitet. Diese Projekte stellen Beispiele für eine gelungene Kooperation von Wissenschaft und Industrie in diesem Technologiefeld dar und sind Elemente eines funktionierenden Innovationssystems (vgl. <http://www.schott.com/solar/german/memorandum.html> sowie <http://www.solarmillennium.com/start.php?pl0=19&pl1=162&cid=296>).

### **Israel**

Israel kann als weiteres aktives Land in der Entwicklung und Anwendung solarthermischer Stromerzeugungstechnologie betrachtet werden. Dabei ist neben dem Weizmann Forschungsinstitut vor allem die Firma Solel als wichtiger Akteur hervorzuheben.

Solel entwirft, produziert und installiert solarthermische Kraftwerke, wobei eine technische Kernkompetenz insbesondere bei den Receiverrohren angesiedelt ist. Das Unternehmen mit Hauptsitz in Israel hat über 230 Mitarbeiter und ein Auftragsvolumen von 100 Mio. \$ im Geschäftsjahr 2006. Solel verfügt über eigene Patente in der Anlagentechnik und konkurriert in der Receivertechnik mit Schott (vgl. ([http://www.solel.com/files/Solel\\_GeneralPresentation.pps#1](http://www.solel.com/files/Solel_GeneralPresentation.pps#1) sowie [http://www.solel.com/files/Company\\_profile.pdf](http://www.solel.com/files/Company_profile.pdf)).

### **Klassische Kraftwerkstechnik in solarthermischen Kraftwerken**

Neben den solarthermischen Anlagenteilen stellen die konventionellen Kraftwerkskomponenten wesentliche Elemente solarthermischer Kraftwerke dar. Diese werden insbesondere durch die Unternehmen Siemens (DE), Alstom (FR), General Electric (USA)

sowie Mitsubishi (JP) entwickelt und produziert. Im Prinzip böten sich den Akteuren des deutschen Innovationssystems gute Möglichkeiten einer Kooperation mit Siemens als globalem Akteur in diesem Bereich. Bisher findet eine solche Kooperation jedoch kaum statt.

Eine bessere Vernetzung zwischen Unternehmen aus dem Kraftwerksbau und der solarthermischen Industrie könnte das deutsche Innovationssystem deutlich stärken. All-in-one Angebote können zur Kostenreduzierung und insbesondere zu einer verbesserten finanziellen Risikobewertung solarthermischer Kraftwerksprojekte beitragen. Die Bereitstellung von Turn-key Projekten für solarthermische Kraftwerke würde zu einer deutlichen Beschleunigung bei der Projektentwicklung führen und gewisse Projektrealisierungen überhaupt erst ermöglichen. Eine entsprechende Rolle wird in Spanien durch den Baukonzern ACS Cobra übernommen und könnte prinzipiell auch durch ein deutsches Unternehmen aus dieser Branche wahrgenommen werden. Dieses Problem der Notwendigkeit der Involvierung einiger finanzkräftiger Partner stellt sich in allen analysierten Ländern und wurde in Spanien insbesondere durch die Beteiligung der Baubranche an der Projektentwicklung gelöst.

### **3.3 Rahmenbedingungen und Regulierung**

Den wesentlichen Bestandteil der regulativen Rahmenbedingungen zum Ausbau der solarthermischen Stromerzeugung bilden geeignete finanzielle Anreizmechanismen für Investitionen in diese Technologie. Dieser Investitionsanreiz kann über verschiedene Förderinstrumente gewährt werden. Beispiele hierfür sind Investitionszuschüsse der Weltbank in Entwicklungsländern, Quotenverpflichtungen in den USA und der spanische Einspeisetarif für solarthermisch erzeugten Strom. Insbesondere auf EU-Ebene existiert eine umfassende Literatur zu Evaluierung der historischen Erfahrungen sowie der prinzipiellen Erfolgskriterien verschiedener Förderinstrumente für erneuerbare Energien. Ein wesentliches Ergebnis dieser Arbeiten ist, dass zur Förderung von erneuerbaren Technologien, die am Anfang des Innovationszyklus stehen und eine geringe Marktpenetration und vergleichsweise hohe Erzeugungskosten aufweisen - dies trifft auch für die solarthermische Stromerzeugung zu - technologiespezifische Förderinstrumente den technologieneutralen Instrumenten wie einer allgemeinen Quote überlegen sind. Technologieneutrale Instrumente, wie die Quotenverpflichtung in verschiedenen US-Bundesstaaten, führen zum Ausbau der jeweils kostengünstigsten erneuerbaren Technologie im Gesamtportfolio. Dieses sind typischerweise andere Technologien als die solarthermische Stromerzeugung, wie z. B. Windenergie oder Biogas. Insbesondere aufgrund der notwendigen Investorensicherheit für die noch recht junge Technologie der Solarthermie werden Einspeisetarife oder geeignete Investitionszu-

schüsse als geeignete Instrumente zur Förderung der solarthermischen Stromerzeugung betrachtet. Diese Einschätzung wird durch den Erfolg des spanischen Einspeisegesetzes aus dem Jahr 2004 bestätigt, welcher für solarthermisch erzeugten Strom eine Vergütung in Höhe von 21,6 € cent/kWh vorsieht. Neben dem recht großzügigen Förderniveau stellt die gewährte Investitionssicherheit die wesentliche Ursache für den Erfolg des Systems dar. Die Marktakteure in Spanien antizipieren derzeit offenbar auch eine Langfristigkeit des derzeitigen Förderrahmens. So werden, wie im letzten Abschnitt dargestellt, umfassende Planungen für den Aufbau von Produktionskapazitäten für solarthermische Kraftwerkskomponenten, z. B. Parabolspiegel, vorgenommen. Dies zeigt, dass die Verlässlichkeit der spanischen Förderpolitik die Entstehung eines Vorreitermarktes für solarthermische Anlagen in Spanien auslösen könnte. Eine ähnliche Entwicklung konnte für den Bereich der Windenergie am Beispiel der Firma Gamesa beobachtet werden.

Im Vergleich zur Situation in Spanien beruht die Förderung in den USA im Wesentlichen auf dem Renewable Portfolio Standard (RPS), welcher einer Quote für erneuerbare Energien entspricht. Die langfristige Verlässlichkeit auf ein ausreichendes Förderniveau ist dabei deutlich geringer einzustufen. Somit beobachtet man in den USA eine deutlich weniger dynamische Entwicklung in Bezug auf die Etablierung neuer Unternehmen im Bereich der Technologieproduzenten für den Bereich der solarthermischen Stromerzeugung. Der größte US-amerikanische Anbieter entsprechender Technologie, SolarGenix, wurde kürzlich sogar von dem spanischen Unternehmen Acciona übernommen.

Die "Global Environmental Facility" der Weltbank hat seit 1996 Investitionszuschüsse für die Realisierung von vier solarthermischen Kraftwerken in Ägypten, Indien, Marokko und Mexiko zur Aussicht gestellt. Die mögliche Höhe dieser Zuschüsse erreichten für die vier geplanten Projekte ein Volumen von 194 Mio. €. Während der vergangenen zehn Jahre konnte kein Projekt auf Basis der angebotenen Investitionszuschüsse realisiert werden, obwohl sich einige in einer fortgeschrittenen Planungsphase befinden. Die derzeitigen Rahmenbedingungen in Entwicklungsländern werden auch unter Berücksichtigung der zur Verfügung gestellten Mittel der Weltbank nicht als ausreichend erachtet, um eine langfristige Dynamik zum Aufbau einer inländischen Industrie im Bereich solarthermischer Stromerzeugung zu ermöglichen. Eine Ausnahme könnte Algerien darstellen, wo derzeit ein Einspeisegesetz für solarthermischen Strom eingeführt wird.

Zusätzlich vergibt Australien derzeit Investitionsanreize für solare Stromerzeugungsanlagen im Zusammenhang mit der nationalen Klimaschutzstrategie, wobei der Fokus hierbei offenbar auf dem Konzept der konzentrierenden Photovoltaik liegt.

Ein Überblick über die derzeit in den betrachteten Ländern/Regionen implementierten Förderinstrumente ist in der folgenden Abbildung 3-2 gegeben.

Neben der direkten Marktanreizförderung spielt die staatliche Forschung und Entwicklung eine wesentliche Rolle bei den Rahmenbedingungen für den Ausbau der solarthermischen Stromerzeugung. Neben Deutschland werden hierbei die stärksten Anstrengungen in den USA, Israel und Spanien unternommen. Ein wesentlicher Teil der öffentlich geförderten Forschungsförderung konzentriert sich in den genannten Ländern auf die Unterstützung einiger staatlicher Forschungszentren, z. B. das DLR in Deutschland, CIEMAT in Spanien, Sandia National Laboratories in den USA oder das Weizmann-Institut in Israel. Basierend auf der OECD Statistik zu F&E Aufwendungen im Bereich der Energieforschung sind in Abbildung 3-3 die mittleren öffentlichen F&E-Aufwendungen der hier betrachteten OECD Länder für die Zeiträume 1996-2000 und 2001-2005 dargestellt<sup>3</sup>. Während in Deutschland und den USA die Aufwendungen leicht rückläufig sind, zeigt sich ein Anstieg in Spanien. Neben den hier betrachteten öffentlichen F&E-Aufwendungen nehmen private Ausgaben in diesem Bereich vermutlich einen stark wachsenden Anteil ein, welcher jedoch statistisch nur schlecht dokumentiert ist.

---

<sup>3</sup> Wenn aktuelle Daten aus den letzten Jahren nicht vorlagen, wurden die Mittelwerte über die jeweils letzten verfügbaren Jahre herangezogen.

Abbildung 3-2: Derzeit implementierte Förderinstrumente im Bereich der solarthermischen Stromerzeugung weltweit

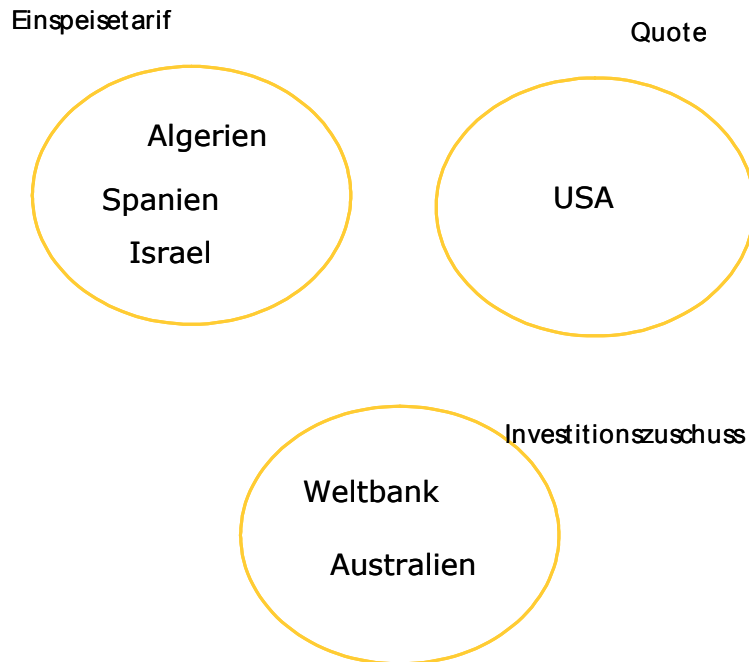
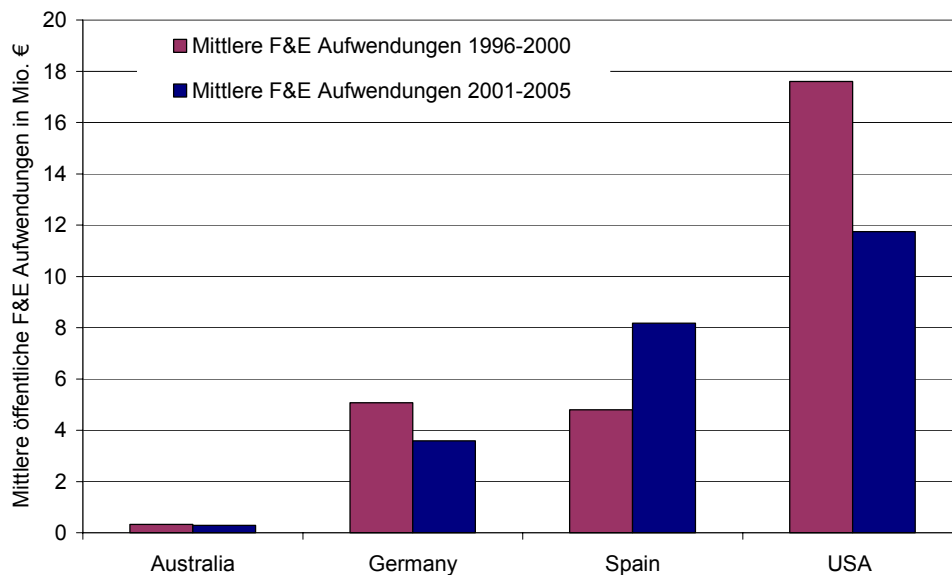


Abbildung 3-3: Mittlere jährliche F&E Aufwendungen für den Bereich der solarthermischen Stromerzeugung in den Perioden 1996-2000 und 2001-2005 für ausgewählte OECD Länder



## 4 Fazit: SWOT-Analyse

Die Perspektiven der solarthermischen Stromerzeugung können mittel- und langfristig bzgl. Marktpotenzial und technologischer Entwicklung als sehr gut eingeschätzt werden. Im Rahmen der Weiterentwicklung der erneuerbaren Energietechnologien wird ihr in Zukunft ein größeres Gewicht zukommen.

Deutschland hat hierbei eine gute technologische Ausgangsposition. Insbesondere die Erfahrungen zentraler Akteure von Schlüsselkomponenten und die erreichte Weltmarktstellung, die durch die Einbindung dieser Akteure in verwandte Technologiebereiche (Glasspiegel) und durch staatliche F&E gestützt wurden, lassen auch für die Zukunft Erfolge erwarten. Um diese zu erreichen, sind weitere Anstrengungen bei der Technologieentwicklung und insbesondere bei der besseren Nutzung möglicher Synergien im Innovationssystem – z. B. hinsichtlich der Einbindung weiterer Akteure - nötig. Allerdings bestehen auch strukturelle Hemmnisse. Deutschland besitzt keinen eigenen Binnenmarkt, so dass sich keine Anwendererfahrungen und damit einhergehende User-Producer-Interaktionen im Inland herausbilden können und die deutschen Unternehmen von Beginn an auf Exportmärkten tätig werden müssen. Für die Zukunft wäre vor allem eine Realisierung und finanzielle Absicherung eines gesamten Projektes durch einen entsprechenden Akteur ein wichtiger Schritt. Neben der Entwicklung und Fertigung von Schlüsselkomponenten sollten deutsche Unternehmen eine stärkere Rolle bei der Projektentwicklung (im Sinne von Turn-Key-Verträgen) übernehmen, um so dem möglichen Ausverkauf der Technologie besser vorbeugen zu können.

Aus der europäischen Perspektive bietet die solarthermische Stromerzeugung sehr große industriepolitische Chancen, da neben Deutschland auch Spanien verstärkt Kompetenzen aufgebaut hat und damit zwei EU-Länder die weltweite Führung bei der technologischen Entwicklung wie bei der Projektentwicklung eingenommen haben. Hierbei profitiert Spanien – und damit auch die EU – von den Erfahrungen mit den durchgeführten Projekten. Demgegenüber haben die USA – nicht zuletzt aufgrund der gegenüber der zweiten Hälfte der 1990er Jahre zurückgefahrenen öffentlichen F&E-Mittel – zwischenzeitlich an Boden verloren. Bei entsprechenden Anstrengungen bietet die Solarthermie eine hervorragende Chance, auf einem zukunftssträchtigen Gebiet die in der Lissabon-Strategie formulierten industriepolitischen Ziele zu erreichen.

Tabelle 4-1: SWOT-Analyse für die internationale Wettbewerbsfähigkeit der EU und Deutschlands in der Techniklinie Solarthermische Stromerzeugung

Stärken	Chancen
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bestehende Marktführerschaft in D bei Schlüsselkomponenten wie                             <ul style="list-style-type: none"> <li>– → Parabolspiegel (FLABEG)</li> <li>– → Receiverinheiten (Schott)</li> </ul> </li> <li>• Funktionierendes Innovationssystem gekennzeichnet durch starke Vernetzung der beteiligten Unternehmen und gutes Zusammenspiel zwischen Industrie und Wissenschaft</li> <li>• Kontinuierliche Steigerung von technologischer Kompetenz mit Projektentwicklung in Spanien</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Erwarteter Anstieg der Preise konkurrierender Energieträger</li> <li>• Stark wachsende Nachfrage nach CO<sub>2</sub>-neutralen Technologien zur Stromerzeugung.</li> <li>• Im internationalen Vergleich können deutsche Unternehmen als "Pioniere" in der Technologielinie gesehen werden.</li> <li>• Weitere Vernetzung und bessere Zusammenarbeit vor allem mit Unternehmen aus dem Kraftwerksbau → All-in-one Angebote, Kostenreduzierung</li> </ul>
Schwächen	Herausforderungen
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kein Einsatz in Deutschland durch technische Rahmenbedingungen möglich (zu geringe Direktstrahlung)</li> <li>• Wenig Erfahrungswerte im Anlagenbau solarthermischer Kraftwerke, da bisher keine kommerziellen Anlagen als Gesamtprojekt realisiert</li> <li>• Schlüsselunternehmen für Technologiekomponenten haben geringe Marktkapitalisierung/geringen Einkaufswert und können somit nur geringe Risiken bei der Projektrealisierung tragen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Projekte könnten im Ausland an ortsansässige Unternehmen verloren gehen → Kooperationen, besonders im Anlagenbau, evtl. Eröffnen von Zweigstellen vor Ort</li> <li>• Anlagenkomponenten könnten bei zunehmender Technologiereife der Konkurrenz aus dem Markt verdrängt werden → weitere Nutzung von Synergien in Technik und Management, evtl. Forschung vor Ort (unter Realbetriebsbedingungen)</li> <li>• Ausländische Unternehmen (z. B. EVU's) könnten mit relativ geringem finanziellen Aufwand deutsche Technologie aufkaufen</li> </ul>



## Literatur

- DLR (German Aerospace Center): Financing Instruments for the Market Introduction of STTPs – Scenario Model "Athene", Studie gefördert durch das BMU SOKRATES, Dezember 2001 - Dezember 2003, Endbericht 2004
- DLR et al: *European Concentrated Solar Thermal Road-Mapping (ECOSTAR)*, Studie gefördert durch die EU: SES6-CT-2003-502578, Dezember 2003 – Februar 2005
- Eichhammer W., Ragwitz, M., Monin, G., Lerchenmüller, H.J., Stein, W., Szewczuk, S., (2005): Assessment of the World Bank / GEF Strategy for the Market Development of Concentrating Solar Thermal Power, Studie im Auftrag der Weltbank
- Ragwitz M., J. Schleich, C. Huber, G. Resch, T. Faber, M. Voogt, W. Ruijgrok, P. Bodo (2004). *FORRES 2020 - Analysis of the renewable energy's evolution up to 2020*. Studie im Auftrag der Europäischen Kommission.
- Sargent and Lundy: *Assessment of Parabolic Trough and Power Tower Solar Technology Cost and Performance Forecasts*, Sargent & Lundy LLC Consulting Group Chicago, Illinois, October 2003.
- Sargent and Lundy: *Feasibility Study of Integrated Solar Combined Cycle System (ISCCS) Mexico*, Studie im Auftrag der Weltbank SL-008352.

In der Reihe „Umwelt, Innovation, Beschäftigung“ sind bisher die folgenden Bände erschienen:

- 01/07      Wirtschaftsfaktor Umweltschutz: Vertiefende Analyse zu Umweltschutz und Innovation
- 02/07      Umweltpolitische Innovations- und Wachstumsmärkte aus Sicht der Unternehmen
- 03/07      Zukunftsmarkt Solarthermische Stromerzeugung
- 04/07      Zukunftsmarkt CO<sub>2</sub>-Abscheidung und –Speicherung
- 05/07      Zukunftsmarkt Elektrische Energiespeicherung
- 06/07      Zukunftsmarkt Solares Kühlen
- 07/07      Zukunftsmarkt Energieeffiziente Rechenzentren
- 08/07      Zukunftsmarkt Biokunststoffe
- 09/07      Zukunftsmarkt Synthetische Biokraftstoffe
- 10/07      Zukunftsmarkt Hybride Antriebstechnik
- 11/07      Zukunftsmarkt Dezentrale Wasseraufbereitung und Regenwassermanagement
- 12/07      Zukunftsmarkt Nachhaltige Wasserwirtschaft und Nanotechnologie
- 13/07      Zukunftsmarkt Stofferkennung und -trennung

Alle Veröffentlichungen können kostenlos auf [www.umweltbundesamt.de](http://www.umweltbundesamt.de) heruntergeladen werden.