

## Aktuelle Aussichten für Solarthermische Kraftwerke

Volker Quaschnig\*, Eckhard Lüpfer\*, Michael Geyer\*, Paul Nava\*\*, Rainer Aringhoff\*\*

\*Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR) · Plataforma Solar de Almería

Apartado 39 · E-04200 Tabernas (Almería) · Spanien

Tel.: ++34 950 387906 · Fax: ++34 950 365313 · VOLKER.QUASCHNING@PSA.ES

\*\* Flabeg Solar International · Mühlengasse 7 · D-50667 Köln

### Einleitung

Zwischen 1984 und 1991 wurden in Kalifornien auf einer Gesamtfläche von über sieben Quadratkilometern neun kommerzielle Parabolrinnen-Kraftwerke (SEGS, Solar Electricity Generating Systems) mit einer gesamten Spiegel-Aperturfläche von 2,3 Millionen Quadratmetern und einer Gesamtleistung von 354 MW<sub>e</sub> errichtet, die auch heute noch erfolgreich betrieben werden. Insgesamt haben diese Anlagen bisher mehr als 8 Milliarden Kilowattstunden an elektrischer Energie eingespeist, mit Verkaufserlösen von über einer Milliarde US\$. Diese Erfolgsstory wurde unter anderem durch hohe Ölpreise und spezielle steuerliche Vergünstigungen in den USA in den 80er Jahren ermöglicht.

Obwohl sich mit solarthermischen Kraftwerken wie Parabolrinnen-Kraftwerken, Solarturm-Kraftwerken, Dish/Stirling-Anlagen und Aufwindkraftwerken im Vergleich zur Photovoltaik derzeit konkurrenzlos niedrige Solarstrom-Gestehungskosten je nach Standort und Technologie von unter 0,15 Euro/kWh<sub>e</sub> erzielen lassen, wurde außer den Kraftwerken in Kalifornien bislang kein weiteres kommerzielles Kraftwerk errichtet.

Gerade für eine nachhaltige Energieversorgung und den Klimaschutz sind solarthermische Kraftwerke ein wichtiger Pfeiler, denn durch sie lassen sich niedrige CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten erzielen. Durch einen möglichen Hybridbetrieb mit konventionellen thermischen Kraftwerken wird der Übergang zur solaren Energiewirtschaft erleichtert.

Auf der Kyoto-Konferenz im Jahr 1998 wurden verbindliche CO<sub>2</sub>-Reduktionen vereinbart, darunter 6 % für Japan, 7 % für die USA und 8 % für Europa bis zum Jahr 2012 im Vergleich zum Jahr 1990. Die Deutsche Bundesregierung hat darüber hinaus beschlossen CO<sub>2</sub>-Reduktionen von 25 % bis zum Jahr 2005 zu erreichen. Die Europäische Kommission hat zum Ziel erklärt, den Anteil erneuerbarer Energien von derzeit 6 % auf 12 % im Jahr 2010 zu erhöhen. Unter diesen Randbedingungen ist es dringend erforderlich, die Nutzung erneuerbarer Energien erheblich auszubauen und auch die Einsatzmöglichkeiten solarthermischer Kraftwerke zu erschließen. Zahlreiche aktuelle internationale Projekte werden zur Zeit mit diesem Ziel entwickelt.

### Projektentwicklungen

Die Global Environmental Facility (GEF), der von der Weltbank verwaltete Welt-Umweltfonds der Industrienationen, hat im Frühjahr 2000 den Anträgen von Ägypten, Indien, Marokko und Mexiko stattgegeben, die Mehrkosten solarthermischer Markteinführungsprojekte gegenüber konventionellen Kraftwerken in diesen Ländern mit jeweils etwa 50 Millionen US\$ zu unterstützen. Hierbei soll jeweils ein 200.000 m<sup>2</sup> Parabolrinnenfeld mit 30 MW<sub>e</sub> Ausgangsleistung in ein konventionelles Gas- bzw. Dampfturbinenkraftwerk integriert werden. Auf die Ausschreibung Ägyptens, sich für die Implementierung eines ersten solaren Projektes in Kuraymat zu präqualifizieren, haben sich 10 internationale Kraftwerks-Konsortien beworben. Unter den Bewerbern, die ein solches Kraftwerk

finanzieren, bauen und betreiben wollen, befinden sich namhafte Firmen wie BP Amoco, ABB, Duke Energy, ENEL oder Mahrubeni.

Auf der Insel Kreta in Griechenland hat die Solar Millenium AG mit den Partnern Fichtner, Pilkington Solar und der griechischen OADYK die THESEUS Projektgesellschaft gegründet, um dort ein 52<sub>e</sub> MW Parabolrinnen-Kraftwerk zu bauen und zu betreiben, das in idealer Weise den tourismusbedingten sommerlichen Spitzenstrombedarf decken wird.

In Spanien wurde Ende 1998 mit der Verabschiedung des Real Decreto 2818/1998 eine erhöhte Einspeisevergütung für regenerative Kraftwerke wie Biomasse, Photovoltaik oder Windkraft festgelegt. Eine erhöhte Vergütung und bis zu 70% Investitionszuschüsse für solarthermische Kraftwerke sollen in Kürze folgen. Bereits jetzt haben sich drei internationale Entwicklergruppen engagiert, solarthermische Projekte mit einer elektrischen Leistung zwischen 10 und 32 MW<sub>e</sub> genehmigungsreif zu machen:

- Unter der Führung von Gamesa (drittgrößter Windkraftanlagenhersteller der Welt im Jahr 1999) und der Solar Millenium AG wird in der Provinz Almería das 32 MW<sub>e</sub> Parabolrinnenprojekt AndaSol mit 235.000 m<sup>2</sup> EUROtrough-Kollektoren und 16.000 m<sup>2</sup> solarer Direktverdampfung vorbereitet.
- Die spanische Abengoa-Gruppe hat für das 10 MW<sub>e</sub> Solarturmprojekt PS10 bei Sevilla bereits die finanzielle Unterstützung der EU bewilligt bekommen. Hier wird ein volumetrischer Luft-Receiver der Firma Steinmüller, Gummersbach, zum Einsatz kommen.
- Bechtel und Boeing aus den USA sind mit der spanischen Firma Ghersa in Verhandlung über ein weiteres 10 MW<sub>e</sub> Solarturmkraftwerk (Solar Tres) in der Nähe von Cordoba mit geschlossenem Flüssig-Salz-Receiver und integrierter Speicherung.

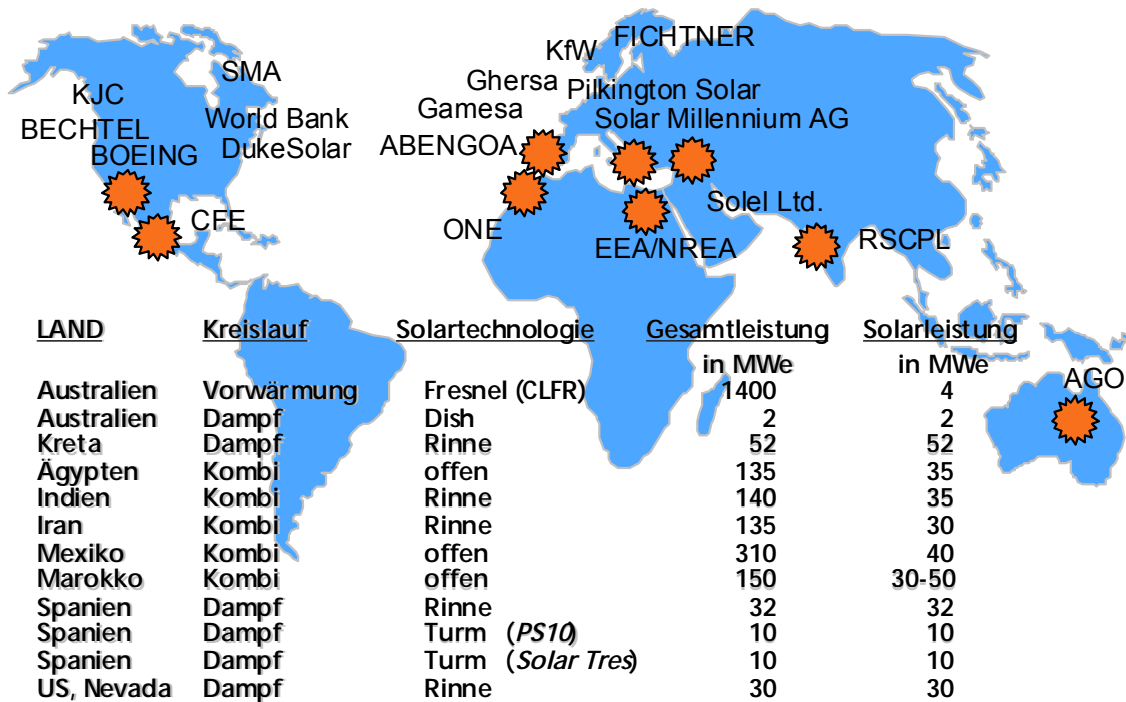
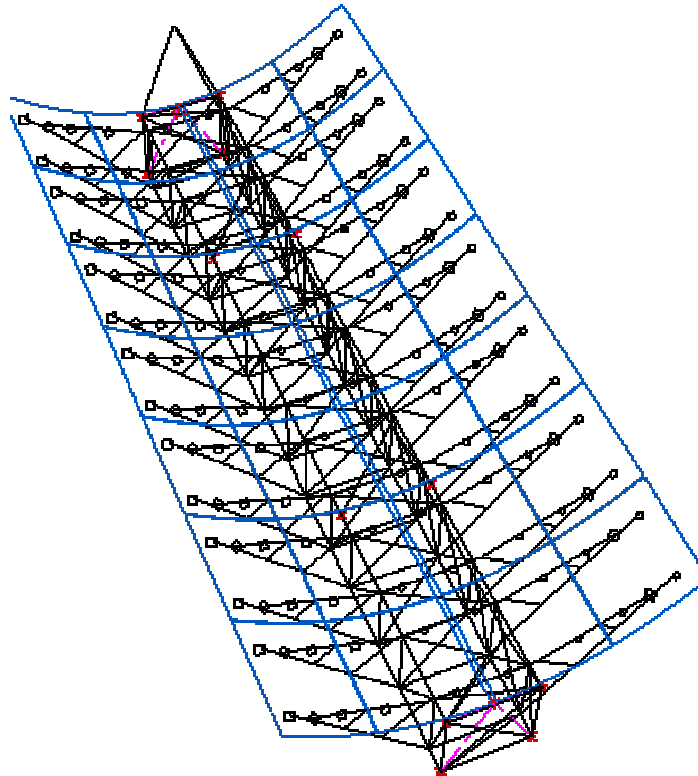


Bild 1: Aktuelle internationale solarthermische Projektentwicklungen

## Forschungsprojekte

Weltweit wird in verschiedenen Forschungsprojekte daran gearbeitet, die Stromgestehungskosten von solarthermischen Anlagen weiter zu senken. Bei der Forschung und Entwicklung führend sind hierbei unter anderem das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR) und CIEMAT auf der Plataforma Solar de Almería (PSA) sowie FLABEG Solar International.



*Bild 2: Kollektorstruktur des EUROTrough-Kollektors*

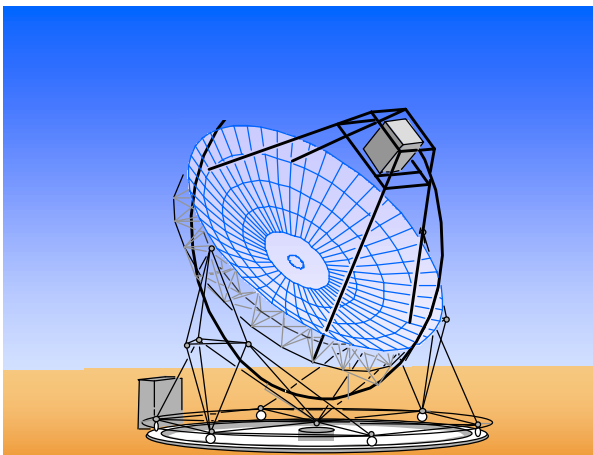
Im aktuellen EU-Forschungsvorhaben DISS wird bei Parabolrinnen-Anlagen die solare Direktverdampfung erprobt. Das bisher im Absorberrohr verwendete Thermoöl ist durch Wasser und Dampf ersetzt. Damit entfällt der Wärmetauscher. Die 550 m lange 2 MW<sub>th</sub>-Versuchsanlage wurde im Jahr 1998 an der PSA aufgebaut und im April 1999 eingeweiht. Erste Versuche zeigen vielversprechende Ergebnisse. Insgesamt lassen sich durch dieses Konzept 20 % Kosten einsparen, bei gleichzeitiger Senkung der Verluste.

Im EU-Projekt EUROTrough wurde mit deutscher und spanischer Industriebeteiligung ein optimierter Parabolrinnenkollektor (Bild 2) entwickelt, mit dem die Kosten für das solare Kollektorfeld um etwa 15 % gesenkt und gleichzeitig der Systemwirkungsgrad erhöht werden. Auf der PSA wird ein 75 m langer Prototyp des neuen Kollektors aufgebaut, der mit einem herkömmlichen LS-3 Kollektor experimentell verglichen wird. Weitere Informationen sind dem Beitrag „EUROTrough-Parabolrinnen-Kollektoren der nächsten Generation“ zu entnehmen.



*Bild 3: CESA-Solarturm-Versuchsanlage auf der Plataforma Solar de Almería*

Durch die Entwicklung des REFOS-Druck-Receiver lassen sich künftig Solarturm-Kraftwerke (Bild 3) besonders effizient direkt mit einer Gasturbine koppeln. Hierdurch kann der Systemwirkungsgrad auf bis zu 28 % gesteigert und die Kosten weiter gesenkt werden. Detailinformationen hierzu finden sich im Beitrag „Solarturm-Receiver für Kombi-Kraftwerke“.



*Bild 4: Dish/Stirling-Anlagen auf der Plataforma Solar de Almería mit Membran-Konzentrator (rechts) und Glasfaser-Struktur (links, in Vorbereitung)*

Bei Dish/Stirling-Anlagen wird an einer kostengünstigen selbsttragenden Konzentratorstruktur gearbeitet (Bild 4, links) sowie ein Hybridbetrieb der Solaranlage mit Biogas erprobt.

### **Kostenentwicklungen**

Im Lauf der Entwicklung der SEGS-Kraftwerke in Kalifornien konnten bereits die solaren Stromgestehungskosten von 0,27 US\$/kWh beim Kraftwerk SEGS I auf etwa 0,12 bis 0,14 US\$/kWh bei den zuletzt installierten Anlagen gesenkt werden. Kosten weiterer gebauter und geplanter Anlagen sind in Bild 5 dargestellt.

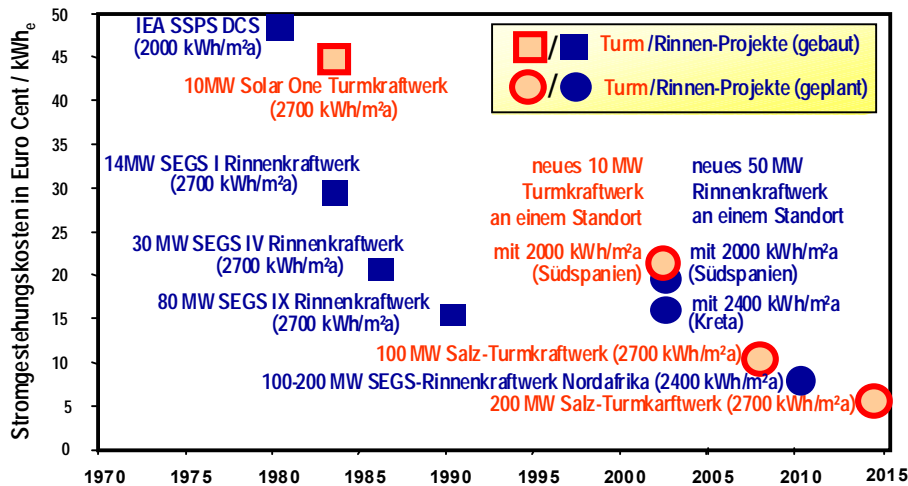


Bild 5: Stromgestehungskosten solarthermischer Kraftwerke für verschiedene Strahlungssummen der DNI (Direkt-Normalstrahlung)

Die Bilder 5 und 6 zeigen, dass solarthermische Kraftwerke die wirtschaftlichsten Anlagen zur Stromerzeugung aus Sonnenenergie sind. Mit analogen finanzierungsspezifischen Rahmendaten wurden mit Hilfe des Programms RENIPplan, das derzeit für die Simulation regenerativer Kraftwerksprojekte an der PSA entwickelt wird, die Stromgestehungskosten für Photovoltaikanlagen berechnet. So ist für heute gebaute Anlagen in Deutschland mit Stromgestehungskosten von etwa 0,90 Euro/kWh und bei einer Kostendegression von 6 % pro Jahr im Jahr 2020 immer noch mit 0,25 Euro/kWh zu rechnen. Bei Standorten in Nordafrika mit einer Globalstrahlung von über 2.000 kWh/(m<sup>2</sup> a) sinken diese Kosten heute auf 0,45 Euro/kWh und im Jahr 2020 auf 0,13 Euro/kWh und liegen damit immer noch erheblich über denen solarthermischer Kraftwerke (Bild 6).

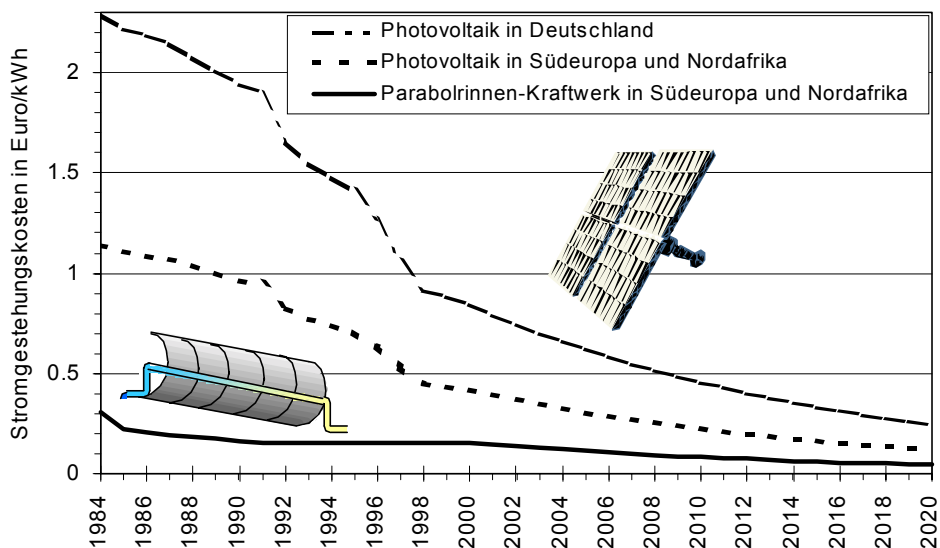


Bild 6: Vergleich der Entwicklung der Stromgestehungskosten von Photovoltaikanlagen und Parabolrinnen-Kraftwerken (Berechnungen mit dem Programm RENIPplan, Kostendegression ab dem Jahr 2000: 6 % p.a.)

Trotz der Vorteile der solarthermischen Kraftwerkstechnik gibt es bisher noch keine selbsttragende Marktentwicklung. Gegen moderne, fossil befeuerte Kraftwerke sind Solartechniken auch bei Kosten unter 0,15 Euro/kWh nicht wettbewerbsfähig, weil vermiedene Umweltlasten betriebswirtschaftlich nicht gutgeschrieben werden.

Die Kostenvorteile von solarthermischen Kraftwerken in der Mittelmeerregion gegenüber der solaren Stromerzeugung in Deutschland machen auch den Stromimport nach Deutschland im Rahmen des Grünen Stromhandels interessant. Werden diese Möglichkeiten genutzt, wird es der solarthermischen Kraftwerksentwicklung neue Impulse geben, die mit weiteren Kostenreduktionen verbunden sein werden. Bild 7 zeigt die prognostizierte Kostenentwicklung mit den Markteinführungsschritten solarthermischer Kraftwerke.

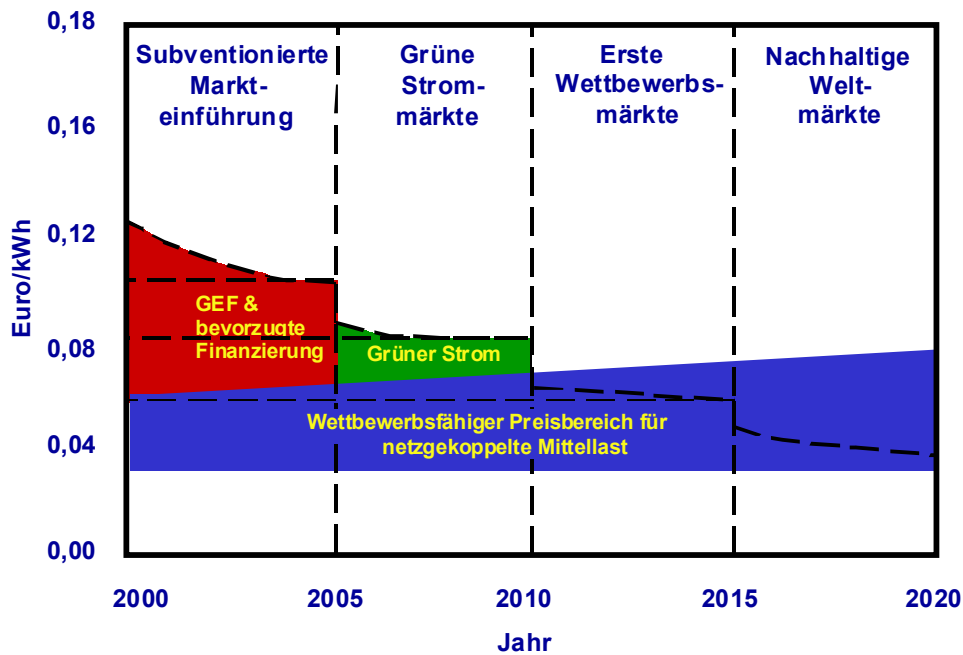


Bild 7: Markteinführung solarthermischer Technologien mit Subventionen und Grünen Stromtarifen  
(Quelle: SunLAB, USA)