

Solarthermische Kraftwerke – Exportschlager ohne Heimatmarkt

Solarthermische Kraftwerke nutzen nur den direkten Teil der Solarstrahlung und sind daher in Deutschland kaum einsetzbar. Trotzdem gehören deutsche Firmen und Forschungseinrichtungen weltweit zu den Technologieführern. Dies gelingt nur durch geeignete internationale Partnerschaften. In diesem Beitrag wird erläutert, welche wichtigen internationalen Netzwerke es in diesem Umfeld gibt. An Beispielen wird veranschaulicht wie sich deutsche Technologien und Forschungsergebnisse im internationalen Markt positionieren lassen.

1. Einleitung

Parabolrinnenkollektoren, die mittels Hochtemperaturwärme in einem konventionellen Kraftwerk Strom erzeugen, stehen seit mehr als 20 Jahren in der kalifornischen Mojave Wüste. Lange fand ihre Erfolgsgeschichte keine Nachahmer. Doch die globale Herausforderung durch Klimawandel und Ölpreisschock haben die Vorteile dieser Technik wieder wachgerufen und führten seit einigen Jahren zu einem regelrechten Bauboom, zunächst angeregt durch ein Stromeinspeisegesetz in Spanien. Inzwischen

wird jedoch im gesamten Sonnengürtel der Welt gebaut.

Zwei unterschiedliche Systeme zur großtechnischen solarthermischen Stromerzeugung in sonnenreichen Ländern sind heute verfügbar:

- **Linien-fokussierende Systeme**, die die konzentrierte Strahlung in ihrer Brennlinie auf ein selektiv beschichtetes Absorberrohr richten und damit Temperaturen bis zu 400 °C im dort zirkulierenden Wärmeträger erzielen.
- **Punkt-fokussierende Systeme**, bei denen dreidimensional gekrümmte, der Sonne nachgeführte Einzelspiegeln (Heliostaten) die Solarstrahlung auf einen Wärmetauscher (Receiver) ausrichten, der sich auf der Spitze eines Turms befindet. Dabei können höhere Temperaturen als in den linienfokussierenden Systemen erzielt werden.

Beide Techniken zielen darauf ab, die in konventionellen Kraftwerken durch fossile Energieträger erzeugte Wärme ganz oder teilweise zu ersetzen. Ihr Charme besteht darin, dass sich die erzeugte Hochtemperaturwärme (im Vergleich zum Strom) sehr kostengünstig und effizient zwischenspeichern lässt, um damit den Betrieb bei Wolken-

Prof. Dr. Robert Pitz-Paal

DLR
robert.pitz-paal@dlr.de

Dr. Henner Gladen
Solar Millennium AG
gladen@SolarMillennium.de

Dr. Werner Platzer
Fraunhofer ISE
werner.platzer@ise.fraunhofer.de

1977	Initiierung des SSPS (IEA) and CESA Projects (Spanien)
1979	Sieben Länder sind am Aufbau von SSPS in Almería beteiligt (DLR für D)
1985	Zusammenführung von CESA und SSPS Anlagen zum Testzentrum PSA
1981	Erste solarthermische Stromerzeugung in Europa
1987	Spanisch Deutscher Kooperationsvertrag auf der Basis 50:50 (DLR/CIEMAT)
1990	PSA qualifiziert sich als Europäische Großanlage
1994	Erste gemeinsame EU Projekte (DLR/CIEMAT)
1998	Wechsel des Kooperationsmodells zur projektbezogenen Kooperation
2004	Beginn der Zusammenarbeit DLR/ Fraunhofer auf Gebiet der Fresnelkollektoren
2006	25jähriges Bestehen der PSA
2007	Erste kommerzielle Stromerzeugung in Spanien

*Tabelle 1
Historischer Abriss der deutsch-spanischen Kooperation auf der PSA*

SSPS = Small Solar Power System

CESA = Central Electro-Solar de Almeria (Sonnenturm)

Abbildung 1
Testzentrum Plata-
forma Solar in Almería
(Spanien)



durchgängen oder nach Sonnenuntergang fortzusetzen. Sind geringe Mengen (<15%) an fossiler Zufuehrung im Kraftwerk möglich, lässt sich mit diesem Konzept Strom nach Bedarf mit hoher Zuverlässigkeit bereitstellen, um damit fossile Kraftwerkskapazitäten vollständig zu ersetzen.

2. Internationale Kooperation als Basis für die Technologieentwicklung

Die Entwicklung dieser Technik wurde bereits Ende der Siebziger Jahre des vergangenen Jahrhunderts durch die Internationale Energieagentur (IEA) initiiert (*Tabelle 1*).

Deutschland nahm bereits damals eine führende Rolle ein, als das DLR mit der Projektkoordination des Aufbaus der Demonstrationsanlage SSPS im spanischen Almería beauftragt wurde. Nachdem 1981 der Nachweis der ersten solarthermischen Stromerzeugung in Europa gelungen war, wurde die Anlage als Testzentrum unter dem Namen „Plataforma Solar de Almería (PSA)“ (*Abbildung 1*) partnerschaftlich von der spanischen CIEMAT und vom DLR weiterbetrieben.

Die PSA entwickelte sich als das europäische Testzentrum, in dem wesentliche kommerzielle Systeme, die später im Markt Eingang fanden, entwickelt und erprobt wurden. Davon profitier-

ten insbesondere spanische und deutsche Unternehmen. Als sich Ende der 1990er Jahre noch kein konkreter Markteinstieg der Technologie in Europa abzeichnete, musste die deutsche Seite aufgrund rückläufiger Förderung ihren Einfluss reduzieren und hat seitdem eine Gastrolle auf der PSA. Anfang 2000 vermehrten sich die Anzeichen für einen Markteintritt der Technologie in Spanien und die Entwicklungsarbeiten wurden wieder intensiviert. Andere deutsche Forschungspartner z. B. das Fraunhofer ISE beteiligen sich seit 2004 an diesen Aktivitäten. Das 2004 verabschiedete spanische Einspeisegesetz führte zum Bau kommerzieller solarthermischer Anlagen in Spanien, die erstmalig 2007 Strom ins Netz einspeisten.

Um die Kosten weiter zu senken, sind jedoch weitere Forschung und Entwicklungsaktivitäten auf diesem Gebiet notwendig. Da diese fast immer an eine sehr große und teure Testinfrastruktur gekoppelt sind, bündelten im Jahr 2003 vier europäische Großforschungseinrichtungen ihre Kompetenzen und Infrastruktur zum sogenannten „Sollab Verbund“, dem neben DLR und CIEMAT auch die französische CNRS und das Schweizer Paul Scherer Institut (gemeinsam mit der ETH Zürich) angehören. Damit konnte auch für deutsche Unternehmen ein noch besserer Zugang zur Testinfrastruktur ermöglicht werden.

Wesentlich für die Verbreitung dieser Technik in weitere Länder des Sonnengürtels war darüber hinaus die SolarPACES Kooperation der IEA, die auf den frühen Aktivitäten in Almería aufbauten



Abbildung 2
SolarPACES Netzwerk
der Internationalen
Energieagentur
(IEA) mit heute
16 Mitgliedsländern

und der heute 16 Mitgliedsländer angehören (Abbildung 2). In diesem Netzwerk, in dem das DLR wesentlich Koordinationsaktivitäten wahrnimmt, konnten neue Märkte insbesondere in USA, Ägypten, Algerien, Australien, Italien, Israel, UAE und Südafrika erschlossen werden, die inzwischen zum Großteil auch von deutschen Unternehmen beliefert werden.

3. Marktsituation und die Rolle der deutschen Industrie

Weltweit werden heutzutage etwa 0,6 GW an solarthermischen Kraftwerken betrieben, während sich etwa die gleiche Kapazität zurzeit

im Bau befindet, der größte Teil davon in Spanien und den USA. Weitere Projekte in der Größenordnung von 6–8 GW befinden sich weltweit in der Entwicklung (Abbildung 3).

Dabei sind insbesondere deutsche und spanische Hersteller dominant. Neben der Projektentwicklung und der schlüsselfertigen Lieferung von Solarfeldern und Kraftwerksblöcken sind deutsche Unternehmen führend bei der Herstellung von Schlüsselkomponenten wie Spiegel, Absorberrohren und Dampfturbinen. Darüber hinaus treten große deutsche Energieversorger als Investoren und mittelfristig vermutlich auch als Betreiber von solarthermischen Kraftwerken auf.

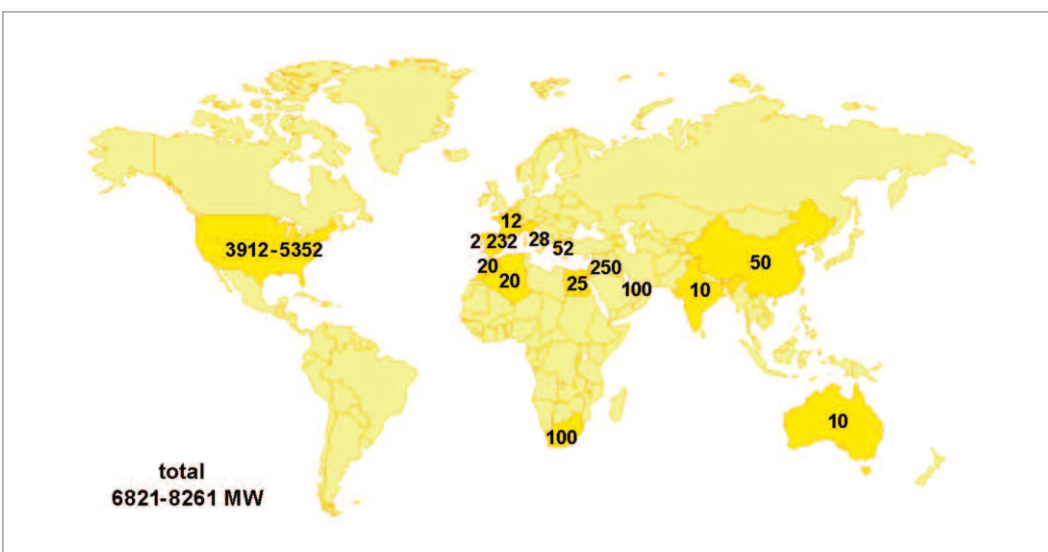


Abbildung 3
Solarthermische
Kraftwerkskapazitäten
in fortgeschrittenem
Planungsstadium

4. Wettbewerbsvorteile durch Forschung und Entwicklung

Da solarthermische Kraftwerke in Deutschland keinen Heimatmarkt haben, konkurriert die Industrie auf internationalen Märkten. Ihr Schlüssel zum Erfolg liegt in der Lieferung überlegener hochtechnologischer Komponenten und in der Fähigkeit, Systemlösungen aus einer Hand anzubieten. Dabei werden alle technischen und finanziellen Risiken abgedeckt. Die deutschen Großunternehmen aus der Energiebranche sind dafür gut aufgestellt.

Entscheidend bleibt, dass sie Spitzentechnologie liefern und damit Wettbewerbern technologisch immer einen Schritt voraus sind. Hier kommen die deutsche Forschungslandschaft und insbesondere der Forschungsverbund Erneuerbare Energien (FVEE) ins Spiel, der Technologieentwicklung vorbereiten und die industrielle Umsetzung begleiten kann. Im Folgenden werden dazu vier Beispiele aufgeführt.

4.1 Direktverdampfung

Die Technologie der solaren Dampferzeugung, bei der das Thermöl in einem Parabolrinnenkollektor durch Wasser, bzw. Dampf ersetzt wird, wurde seit Mitte der 1990er Jahre maßgeblich vom DLR in Kooperation mit deutschen und spanischen Partnern entwickelt. Sie erspart Investitionen in das teure Spezialöl und die entsprechenden Wärmeübertrager, ermöglicht höhere Prozesstemperaturen und damit bessere Systemwirkungsgrade.

An der DISS-Versuchsanlage (Direkt Solar Steam) auf der PSA wurden dabei Verfahren als technisch sicher beherrschbar identifiziert sowie umfangreiche Komponententests durchgeführt sowie Simulationsmodelle und Regelungskonzepte entwickelt und validiert. Außerdem haben jüngste Untersuchungen die wirtschaftliche Relevanz dieser Technologie bestätigt.

Als nächster Schritt vor der Markteinführung steht die Demonstration des Gesamtsystems mit mehreren parallelen Verdampfersträngen im kraftwerksrelevanten Maßstab (ca. 5 MW_e) bevor. Dafür ist geplant, mit deutschen Industriepartnern im Umfeld des geplanten ANDASOL III

Kraftwerks in Südspanien (*Abbildung 4*) eine entsprechende Pilotanlage zu realisieren, das aus einem Kollektorfeld von etwa 2–3 Kollektorsträngen besteht. Dieses Kollektorfeld muss einerseits kontinuierlich betrieben werden, um die Langzeitstabilität der Komponenten und die Alltagstauglichkeit des Systems bewerten und demonstrieren zu können. Andererseits wird es so flexibel gestaltet werden, dass es die Untersuchung verschiedener Betriebsstrategien erlaubt. Ein neuartiges Wärmespeichersystem soll zudem in einer Größenordnung von 5–15 MWh in diese Testanlage integriert und einem längeren Betrieb im Kraftwerk unterworfen werden, um die Machbarkeit im realen Betrieb zu demonstrieren. Bei der Demonstrationsanlage eines Fresnelkollektors mit Beteiligung von DLR und Fraunhofer ISE auf der PSA wurde die Direktverdampfung eingesetzt und in den letzten beiden Jahren erfolgreich erprobt.

4.2 Komponentenentwicklung und -qualifizierung

Für die Parabolrinnen- und die Fresneltechnologie sind hochtemperaturstabile effiziente Receiversysteme eine Schlüsselkomponente, die von verschiedenen Kollektorfirmen weltweit benötigt werden.



Die Firma Schott CSP Solar entwickelte mit Unterstützung des Fraunhofer ISE und des DLR den Vakuumreceiver PTR-70. Mit Hilfe dieser Technologie erreicht man minimale Wärmeverluste der mit Wärmeträgerfluid durchströmten Absorberrohre. Bei einer Betriebstemperatur von 380 °C wird in den neuesten Schichten ein Emissionsgrad von unter 7% erreicht. Das Problem der Wasserstoffdiffusion aus dem Thermoöl ist durch Barrierschichten und Gettermaterialien gelöst worden. Neben

Abbildung 4
50 MWe Andasol
Kraftwerke in der Nähe
von Guadix (Spanien)

Receivern für Thermoöl werden auch Rohre mit verstärkten Stahlwänden für die Direktverdampfung angeboten.

Parabolspiegel und Kollektorkonstruktion für den SKAL-ET Kollektor wurden von der deutschen Firma Flagsol entwickelt. Die gebogenen Spezialspiegel bestehen aus mit Silber beschichtetem Weißglas, das eine Dicke von 4 bis 5 mm hat. Die Spiegel sind 2 bis 2,8 Quadratmeter groß. Außerdem liefert das Unternehmen die Steuerung für das Solarfeld, eine Schlüsselkomponente zum Betrieb der Gesamtanlage. Bei dem linearen Fresnelkollektor werden ebenfalls hochtemperaturstabile Absorberrohre eingesetzt, die an Luft bis 450 °C stabil sind. Auch die Sekundärkonzentratoren aus frontseitig beschichteten Borosilikatspiegeln des Fraunhofer ISE können erhöhte Temperaturbelastungen aushalten.

Wichtig ist bei den konzentrierenden Primärspiegeln sowohl bei Parabolrinne und Fresnel als auch bei Turmheliostaten die optimierte Fokussierung der Sonne auf die jeweilige Receiverstruktur. Mit hochentwickelten Methoden zur Charakterisierung und Qualifizierung der Spiegelkomponenten tragen beide FVEE-Institute zur Qualitätssicherung beim Kraftwerksbau bei. Wichtige Bestandteile sind die Sicherstellung der Spiegelform, der spektralen Reflektivität sowie der Langlebigkeit der Komponenten. Die Fragestellung der Vermessung und insbesondere der Leistungsabnahme kompletter Kollektorfelder erfordert noch die Weiterentwicklung der bisher vorhandenen Methoden. Eine Standardisierung der Methodik wird weltweit im Rahmen des IEA SolarPaces Programmes vorangetrieben.

4.3 Betriebsoptimierung durch Prognosen

Das im CSP-FoSYS-Projekt entwickelte System soll zur Vorhersage der Stromproduktion eines einzelnen Kraftwerks dienen. Zur Zeit ist ein solches integriertes System nicht erhältlich. Daher agieren CSP-Kraftwerke heute nur beschränkt auf dem day-ahead und intra-day Elektrizitätsmarkt wodurch ihnen wesentliche ökonomischen Vorteile entgehen.

Im Projekt werden drei Anwendungsfälle für ein solches Vorhersagesystem unterschieden:

1. Die Teilnahme auf dem spanischen Elektrizitätsmarkt
2. Der Antrag für die Lizenz zum Netzzugang
3. Die Optimierung des Kraftwerksbetriebs mit den Aspekten Wartung, Solarfeldsteuerung, Produktionsplanung und Sicherheit

Der aus dem Projekt resultierende Prototyp soll in das Parabolrinnenkraftwerk Andasol 3 integriert werden. Der Prototyp soll jedoch modular aufgebaut werden, so dass nur ein Teil, das Kraftwerksmodell, auf die Technologie eines Parabolrinnenkraftwerks spezialisiert ist. Somit kann ein aus dem Prototyp entstehendes Produkt bei allen konzentrierenden Technologien, welche die Direktstrahlung als Energiequelle nutzen, verwendet werden. Dafür muss nur die Kraftwerksmodellierung an andere Technologien angepasst werden.

Auch die gesetzlichen Rahmenbedingungen die in dieser Studie analysiert werden, hängen im Wesentlichen nicht von der gewählten Technologie ab. Das bedeutet, dass in nahezu allen Fällen dieselben gesetzlichen Rahmenbedingungen sowohl von Parabolrinnentechnologie als auch den anderen konzentrierenden Technologien verwendet werden können.

4.4 UniSolar

Aktuell wird der massive Ausbau von solarthermischen Kraftwerkskapazitäten in den Staaten Nordafrikas intensiv diskutiert. Hier sei als Stichwort das maßgeblich vom DLR mitentwickelte DESERTEC Konzept genannt. Dieser Kraftwerksausbau zielt darauf ab, in Nordafrika in solarthermischen Kraftwerken kostengünstig Strom zu produzieren und diesen über Hochspannungsgleichstrom-Leitungen nach Europa und insbesondere Deutschland zu transportieren. Mittelfristig ist geplant, dass so 15 % des europäischen Strombedarfs aus diesen Quellen stammt. Um diesen massiven Ausbau realisieren zu können, müssen frühzeitig politische, technische, ökonomische und sozialpolitische Weichenstellungen erfolgen. Die Umsetzung des DESERTEC Konzepts unterstützt somit auch die im Rahmen der Union für das Mittelmeer intensivierte Zusammenarbeit zwischen den EU-Mitgliedstaaten und den Ländern des

südlichen Mittelmeerraums. Das vom Auswärtigen Amt geförderte UniSolar basiert auf diesem Konzept und kann als erster Schritt in die praktische Umsetzung angesehen werden.

Ziel des Projektes ist die technologische Zusammenarbeit und gezielte Unterstützung derjenigen Länder in Nordafrika, die gerade mit der Implementierung von ersten solarthermischen Kraftwerken begonnen haben. Dabei sollen technische Optimierungsmöglichkeiten bei der Inbetriebnahme und beim Betrieb gezielt genutzt werden und zu einer Effizienzsteigerung des solaren Kraftwerksteils und der gesamten Stromerzeugung beitragen. Die lokalen Kapazitäten sollen durch Bildungsmaßnahmen, Schulungen, Workshops und Technologie-Transfer ausgebaut und eine zielgerichtete Kooperation mit der deutschen Industrie ermöglicht werden. Die Verbreitung der Technologie soll durch entsprechend geschulte und unterstützte lokale Ansprechpartner und deren Vernetzung untereinander gewährleistet werden. Sie können Projektentwicklungen als auch Technologieentwicklungen in den Zielländern kompetent begleiten und unterstützen. Durch diese Maßnahmen soll die nachhaltige Implementierung von Solarkraftwerken gefördert und durch Multiplikator-Effekte beschleunigt werden.

Zielgruppen für den Ausbau der Kapazitäten und die Verbreitung der Technologie sind auf nordafrikanischer Seite Forschungseinrichtungen, Universitäten, Industrieunternehmen, Fachkräfte, Ingenieurbüros, Entscheider und Energieversorger in Ägypten, Algerien, Tunesien und Marokko. Weitere Staaten in Afrika sollen im Projektverlauf aufgenommen werden.

Auch im Rahmen des vom BMU geförderten TREE-Projektes („Transfer Renewable Energy & Efficiency“) bietet die Renewable Academy Berlin mit Unterstützung des Fraunhofer ISE weltweit Workshops für Entscheidungsträger und Ingenieure mit dem Thema Solarthermische Kraftwerke an.

5. Zusammenfassung und Ausblick

Eine technologisch führende Rolle ist Voraussetzung dafür, um erfolgreich am rasch wachsenden Markt der solarthermischen Kraftwerke partizipieren zu können.

Ein fehlender Heimatmarkt setzt global operierende Unternehmen und eine international gut vernetzte Forschung sowie Zugang zu Testeinrichtungen im Sonnengürtel voraus. Beides ist zurzeit noch gegeben, allerdings können rasch wachsende Forschungsbudgets, insbesondere in den USA, China und den Golfstaaten, mittelfristig zu einer Marktverschiebung führen. Dem wachsenden Umsatz der Unternehmen und ihren eigenen Forschungsaufwendungen müssen daher entsprechende angepasste öffentliche Forschung und Entwicklung Budgets hinzugefügt werden, um die führende Rolle in Deutschland halten zu können.