

## Optimale Einsatzgebiete für solarthermische Kraftwerke und Photovoltaikanlagen

Dr.-Ing. habil. Volker Quaschnig und Dr.-Ing. Michael Geyer

Deutsches Zentrum für Luft und Raumfahrt e.V. (DLR)

Plataforma Solar de Almería (PSA)

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

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

### Einleitung

Für Kleinanwendungen und Inselanlagen ist die Photovoltaik im Vergleich zu anderen Technologien bereits heute meist die wirtschaftlichste Variante. Bei der netzgekoppelten Stromerzeugung konkurriert sie jedoch mit anderen Technologien. Eine Weiter, hierzulande weniger bekannte Technologie zur Erzeugung von elektrischem Strom aus Sonnenstrahlung ist die solarthermische Stromerzeugung. Nach einer kurzen Einführung in die solarthermische Kraftwerkstechnik und laufende Projekte werden hier die jeweils optimalen Einsatzgebiete für solarthermische Kraftwerke und Photovoltaikanlagen bestimmt.

### Solarstrom schon heute bereits für 0,15 Euro/kWh

Die derzeit verbreitetste solarthermische Kraftwerksvariante sind Parabolrinnen-Kraftwerke. In Kalifornien wurden davon zwischen den Jahren 1983 und 1991 insgesamt neun große Kraftwerke mit einer elektrischen Leistung jeweils zwischen 13,8 und 80 MW errichtet (Bild 1). Insgesamt sind Anlagen mit einer elektrischen Leistung von 354 MW im Einsatz, die bisher weit über 9 Mrd. kWh elektrischer Energie ins Netz eingespeist haben. Die Stromgestehungskosten konnten dabei von anfangs 0,27 US\$/kWh auf derzeit 0,12 bis 0,14 US\$/kWh (ca. 0,30 DM/kWh bzw. 0,15 Euro/kWh) gesenkt werden. Bis auf die erste Anlage können alle Kraftwerke auch fossil betrieben werden, sodass sie auch nachts oder bei Schlechtwetterperioden Elektrizität liefern können. Der jährliche Erdgasanteil an der zugeführten thermischen Energie ist bei diesen Anlagen gesetzlich jedoch auf 25 % begrenzt. Weitere Kraftwerksprojekte sind in Ländern wie Ägypten, Griechenland, Indien Italien, Marokko, Mexiko und Spanien in Vorbereitung. Bei den Parabolrinnen-Kraftwerken wird eine große Zahl von Parabolrinnen-Spiegeln parallel zueinander aufgestellt und einachsiger der Sonne nachgeführt. Im Brennpunkt der Spiegel läuft ein Absorberrohr mit einer evakuierten Glasröhre, in der sich ein selektiv beschichteter Metallabsorber befindet, auf den das Sonnenlicht mehr als 80fach konzentriert wird. Der Absorber wird von einer Wärmeträgerflüssigkeit durchströmt, welche die Wärme aufnimmt und transportiert. Bei den bisher gebauten Anlagen wird

hierfür ein Thermoöl verwendet, das auf bis auf 391 °C erhitzt wird. Über einen Wärmetauscher wird die thermische Energie an einen Dampfturbinen-Prozess weitergegeben, über den dann elektrische Energie erzeugt wird (Bild 2).



Foto: SANDIA, USA

Bild 1: Luftbildaufnahme der SEGS-Parabolrinnen-Solkraftwerke bei Kramer Junction (USA)

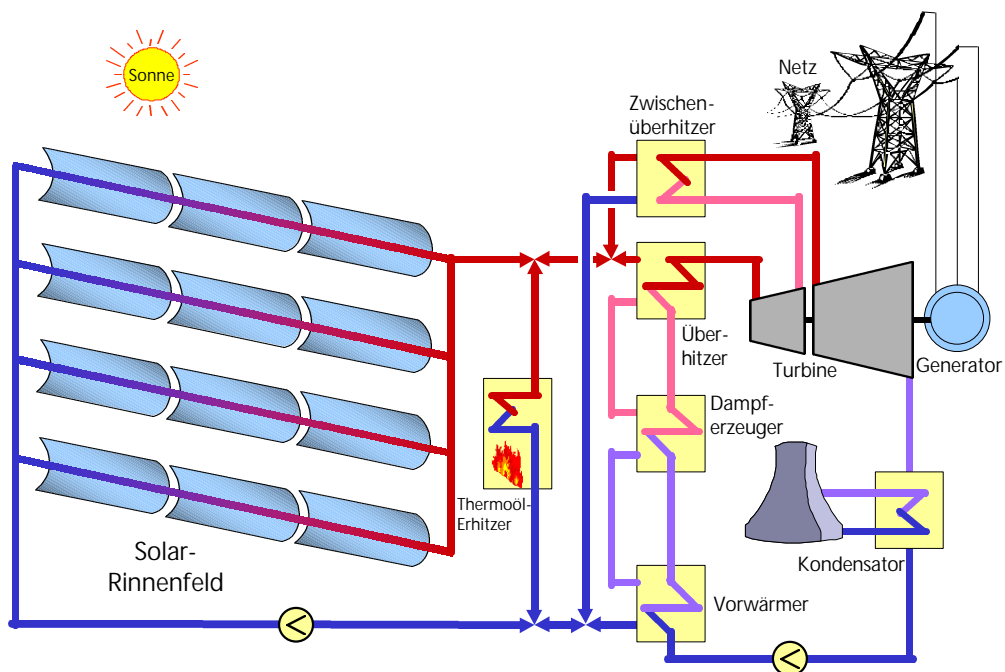


Bild 2: Prinzipbild eines solarthermischen Parabolrinnen-Kraftwerks

Neben dem Betrieb der kommerziellen Anlagen in den USA gibt es weltweit Forschungszentren zur Weiterentwicklung der solaren Kraftwerkstechnik. Das größte europäische Testzentrum, die Plataforma Solar de Almería (PSA) befindet sich in Tabernas in der Nähe von Almería in Südspanien. Hier erprobt das Deutsche Zentrum für Luft und Raumfahrt (DLR) in Zusammenarbeit mit dem spanischen Partner CIEMAT sowie internationalen Industriepartnern neueste solarthermische Kraftwerkskomponenten. Aktuelle Forschungsprojekte sind unter anderem die solare Direktverdampfung und die Entwicklung eines europäischen Parabolrinnen-Kollektors. Hierdurch sollen die Stromgestehungskosten weiter gesenkt werden. Langfristiges Ziel ist es, die Kosten unter 0,05 Euro/kWh (0,10 DM/kWh) zu erreichen.

Weitere vielversprechende solarthermische Kraftwerksarten sind Solarturmkraftwerke, Dish/Stirling-Anlagen und Aufwindkraftwerke, die hier jedoch nicht näher vorgestellt werden können.

### Direkt-Normalstrahlung versus Globalstrahlung

Während fest installierte Photovoltaikanlagen den direkten und den diffusen Strahlungsanteil, also die Globalstrahlung ausnutzen, lässt sich bei konzentrierenden Systemen nur der Direktstrahlungsanteil auf einer nachgeführten Fläche nutzen. Dieser steigt bei südlichen Breiten stark an. Während zwischen dem 45ten und 50ten Breitengrad Globalstrahlung und Direkt-Normalstrahlung in etwa gleich groß sind, überwiegt nördlich davon die Globalstrahlung und südlich die Direkt-Normalstrahlung. Bild 3 zeigt die Zusammenhänge für 68 zufällig ausgesuchte Standorte in Europa und Nord-Afrika.

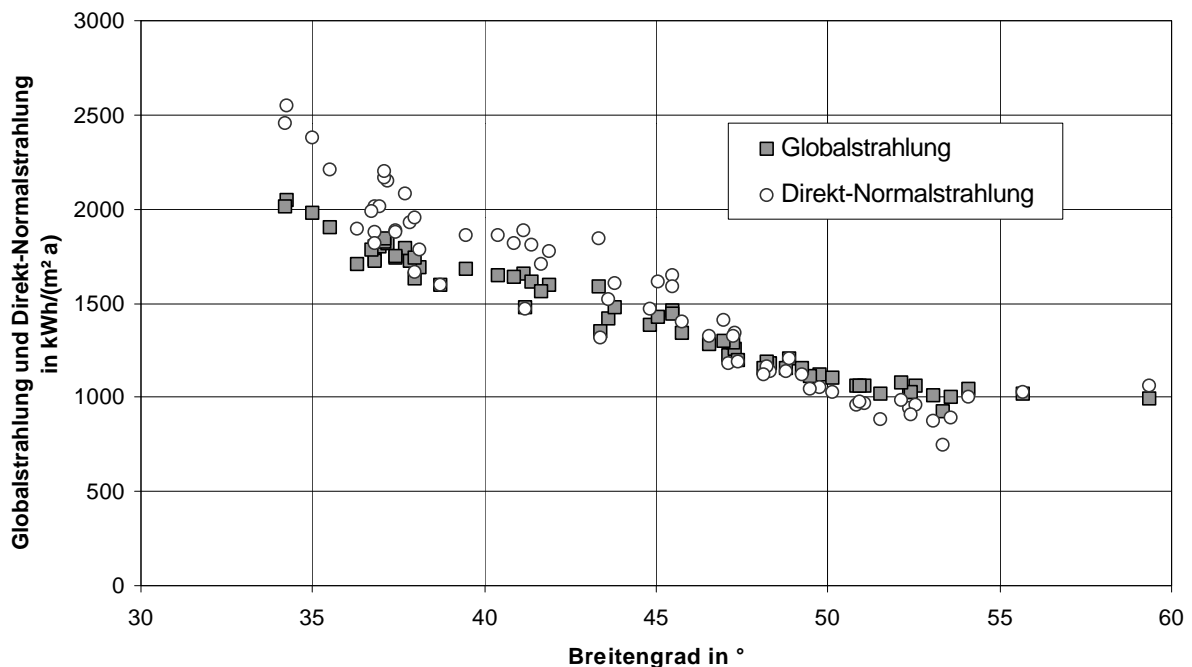


Bild 3: Globalstrahlung und Direkt-Normalstrahlung über dem Breitengrad für 68 zufällig ausgewählte Standorte in Europa und Nord-Afrika (Daten: S@TEL-light)

## Stromgestehungskosten versus Standort

Für einen detaillierten Vergleich wurden Photovoltaik- und solarthermische Kraftwerke an 68 Standorten in Europa und Nordafrika mit Hilfe des von der DLR entwickelten Simulationsprogramms **greenius** (siehe Extrabeitrag auf diesem Symposium) simuliert. Dabei wurden jeweils der spezifische Ertrag und Stromgestehungskosten bestimmt. Da derzeit die Wachstumsraten bei der Photovoltaik deutlich größer sind als im solarthermischen Kraftwerkmarkt, wurden die Berechnungen der Photovoltaik bei heutigen Kosten (6.000 Euro/kWp) sowie mit 50 % reduzierten Kosten durchgeführt und so die jeweiligen aus wirtschaftlicher Sicht optimalen Einsatzgebiete bestimmt. Bild 4 zeigt die Berechnungsergebnisse. Während heute die Photovoltaik an allen Standorten teurer als die solarthermische Kraftwerkstechnik ist, gibt es bei 50%iger Kostenreduktion bei der Photovoltaik jeweils unterschiedliche optimale Einsatzgebiete. Während die Photovoltaik nördlich vom 47ten Breitengrad Kostenvorteile aufweist, verschiebt sich das Gleichgewicht südlich davon zu den solarthermischen Kraftwerken.

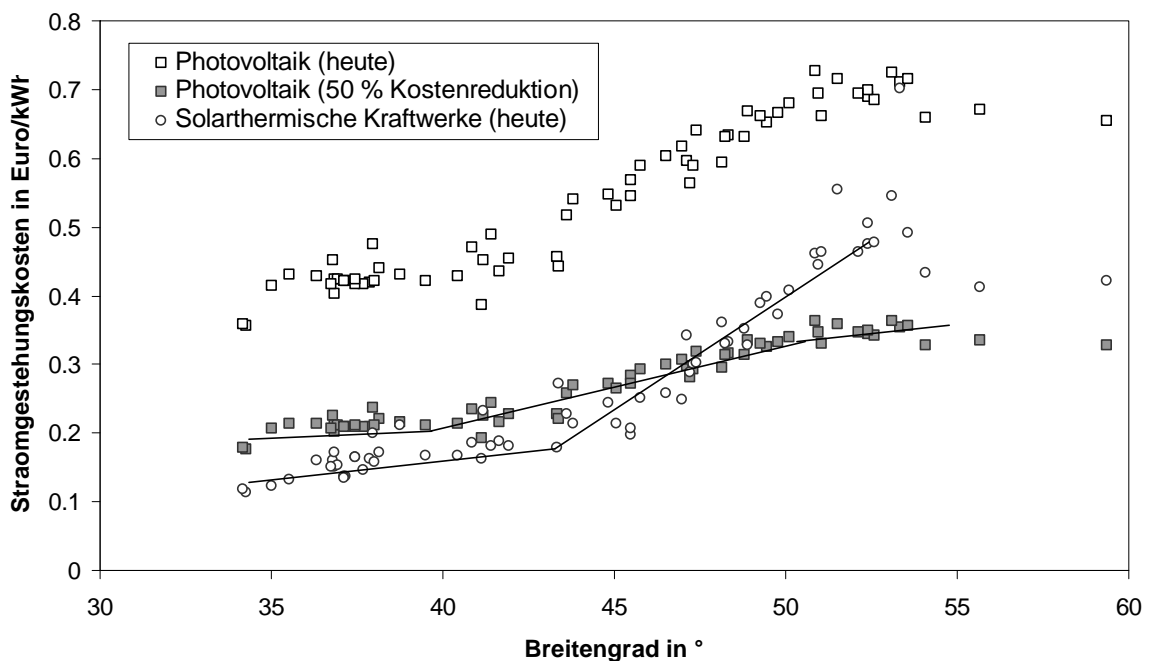


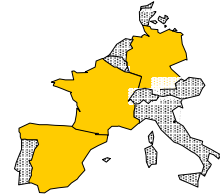
Bild 4: Stromgestehungskosten für Photovoltaikanlagen und solarthermische Kraftwerke über dem Breitengrad für 68 zufällig ausgewählte Standorte in Europa und Nord-Afrika bei heutigen Kosten und 50 % reduzierten Kosten für Photovoltaikanlagen (Annahmen für die Photovoltaik: 6.000 Euro/kW<sub>p</sub>, Diskontrate 8 %)

## Günstiger Import

Die Stromgestehungskosten sowohl von Photovoltaikanlagen als auch solarthermischen Kraftwerken gegenüber Deutschland sind südlich des 40ten Breitengrads erheblich. Bei derart großen Kostenvorteilen ist es durchaus überlegenswert, aus wirtschaftlichen Gründen Solarstrom aus Spanien oder Nordafrika zu importieren, was bereits heute

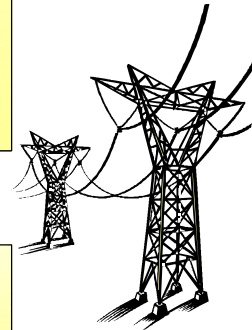
möglich wäre. Wirtschaftlich sinnvolle Einsatzgebiete für netzgekoppelte Photovoltaikanlagen sind gebäudeintegrierte Systeme, bei denen die Einsparungen an Baumaterialien die Kostenvorteile von Anlagen in Südeuropa kompensieren. Bei Großanlagen zur Einsparung großer Kohlendioxidmengen sind hingegen deutliche Kostenvorteile beim Stromimport von solarthermischen Kraftwerken in südlichen Regionen vorhanden.

## Übertragung von Elektrizität von Spanien nach Deutschland



### heute:

- **400 kV Drehstrom-Höchstspannungs-Übertragung (DHÜ)**
- **Übertragungsverluste: über 10 % / 1.000 km**
- **Regelungen:**
  - Europäische Union: Richtlinie 96/92/EG vom 19.12.1996
  - Spanien: Real Decreto 2819 vom 23.12.1998
  - Deutschland: Verbändevereinbarung vom 13.12.1999
- **Übertragungskosten: 0,02 bis 0,03 Euro / (kWh 1.000 km)**



### Zukunft:

- **DHÜ bis über 1.000 kV oder HGÜ bis über  $\pm 600$  kV**
- **Übertragungsverluste: unter 5 % / 1.000 km**
- **Regelungen: ?**
- **Übertragungskosten: unter 0,01 Euro / (kWh 1.000 km)**

Bild 5: Randbedingungen zur Übertragung von Solarstrom von Südeuropa nach Deutschland

## Literatur

Quaschnig, Volker; Geyer, Michael : Konzentration auf die Sonne. In : *Sonne Wind & Wärme* 4/2000, S. 50-53.

Geyer, Michael; Quaschnig, Volker : Solarthermal Power – The Seamless Solar Link to the Conventional Power World. In : *Renewable Energy World* July-August 2000, S. 184-191.

Quaschnig, Volker : *Systemtechnik einer klimaverträglichen Elektrizitätsversorgung in Deutschland für das 21. Jahrhundert*. Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 6, Nr. 437.

Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie DGS (Hrsg.) : Schwerpunkt Solarthermische Kraftwerke. In : *Sonnenenergie* Heft 3/1998

Pilkington Solar International (Hrsg.) : *Statusbericht Solarthermische Kraftwerke*. Köln : Flabeg Solar, 1996. ISBN 3-446-21340-6.

# Optimal Operating Areas for Solar Thermal Power Plants and Photovoltaic Systems

Volker Quaschnig and Michael Geyer

Deutsches Zentrum für Luft und Raumfahrt e.V. (DLR)

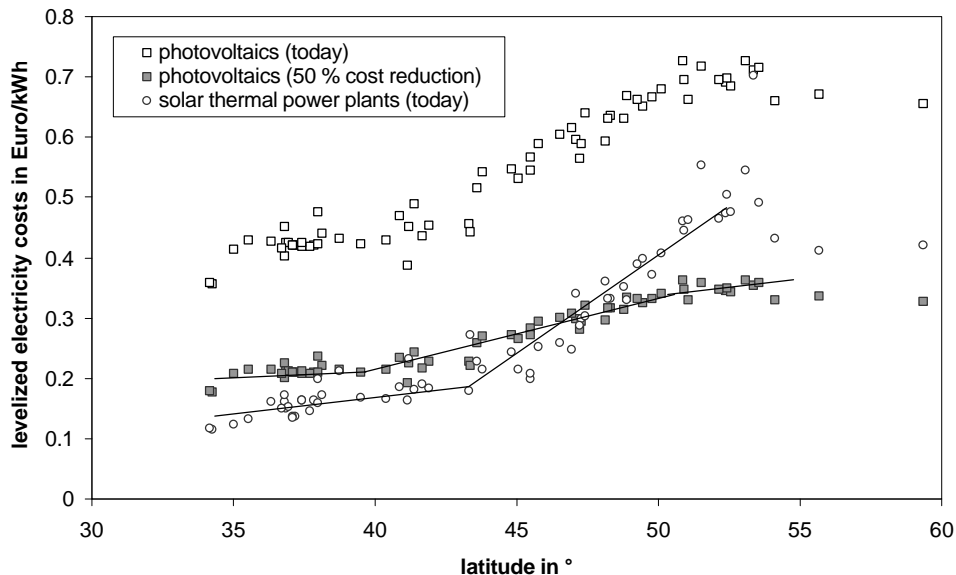
Plataforma Solar de Almería (PSA)

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

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

## Abstract

For small applications and island systems photovoltaic systems often are the most economic way of electricity supply today. If we look at grid-connected applications, photovoltaic systems compete with other technologies. Other types for generating solar electricity are concentrated solar thermal power plants. 354 MW of installed capacity already exist in California (USA) since 1991. The price for solar electricity generation today is in the range of 0,12 to 0,14 US\$/kWh (0,15 Euro/kWh). There are other upcoming solar thermal power projects in Egypt, Greece, India, Italy, Morocco, Mexico and Spain. The long-term goal for the electricity generation costs is below 0,05 Euro/kWh. For a detailed comparison of photovoltaic and solar thermal power plants they were simulated at 68 sites in Europe and Northern Africa with the DLR-software **greenius**. The present levelized electricity costs and 50 % reduced costs for photovoltaics were assumed. The results show that solar thermal systems are more economic south of the 47<sup>th</sup> latitude. Importing electricity from solar thermal power plants in Southern Europe or Africa is much more economic than producing it in Central Europe.



*Levelized electricity costs of photovoltaic systems and solar thermal power plants in Europe and Northern Africa*