

Konzentration auf die Sonne

Rund ein Prozent der Fläche der Sahara würde ausreichen, um mit Solar-
kraftwerken den gesamten Elektrizitätsbedarf der Erde zu decken.
Nach zehn Jahren weltweitem Baustopp steht die Errichtung
neuer solarthermischer Kraftwerke im Sonnengürtel
der Erde kurz bevor.

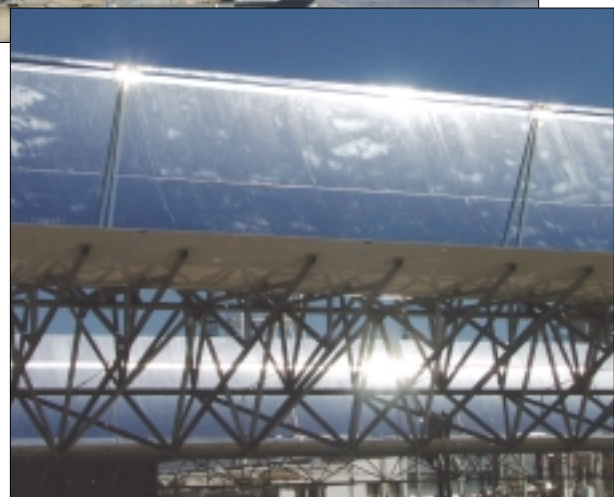


Abb. 1 a und b: Solarthermische Rinnenkollektoren einer Versuchsanlage am europäischen Testzentrum Plataforma Solar de Almería in Spanien

Fotos (3): Volker Quaschnig

Die Geschichte der solarthermischen Stromerzeugung ist lang. Bereits im Jahr 1906 wurde mit ersten Entwicklungen begonnen. In den USA und in der Nähe von Kairo (Ägypten war damals noch britische Kolonie) entstanden Versuchsanlagen, und erste Tests verliefen erfolgreich. Vom Erscheinungsbild waren die Rinnen-Anlagen den heutigen bereits erstaunlich ähnlich. Materialprobleme und andere technische Schwierigkeiten beendeten jedoch im Jahr 1914, kurz vor Ausbruch des ersten Weltkriegs, die ersten Ansätze einer großtechnischen solaren Stromerzeugung [1].

Erst im Jahr 1978 wurde in den USA der Grundstein für die Auferstehung dieser Technologie gelegt. Ein Gesetz verpflichtete die amerikanischen öffentlichen Stromversorgungsgesellschaften, Strom von unabhängigen Produzenten zu klar definierten Kosten abzunehmen. Nachdem sich die Stromkosten infolge der Ölkrisen in wenigen Jahren mehr als verdoppelt hatten, bot das kalifornische Elektrizitätsversorgungsunternehmen Southern California Edison (SCE) langfristige Einspeisekonditionen an. In Verbindung mit steuerlichen Vergünstigungen wurde die Errichtung finanziell interessant. Im Jahr 1979 wurde die Firma LUZ gegründet, die vier Jahre später einen 30-Jahresvertrag mit der SCE zur Einspeisung von Solarstrom aushandelte.



Im Jahr 1984 folgte die Errichtung des ersten solarthermischen Parabolrinnen-Kraftwerks in der kalifornischen Mojave-Wüste (Abb. 1).

Bis zum Jahr 1991 wurden auf einer Landfläche von über 7 km² insgesamt neun so genannte SEGS-Kraftwerke (Solar Electric Generation Systems) mit einer elektrischen Leistung von insgesamt 354 MW installiert (Abb. 2). Rund 800 Mill. kWh speisen die Kraftwerke jährlich ins Netz ein, genug um den Bedarf von gut 60.000 Amerikanern zu decken. Acht Kraftwerke können ebenso mit fossilen Brennstoffen betrieben werden, so dass sie auch nachts oder bei Schlechtwetterperioden Elektrizität liefern. Der jährliche Erdgasanteil an der zugeführten thermischen Energie ist bei den kalifornischen Anlagen

gesetzlich jedoch auf 25 % begrenzt. Die Gesamtinvestitionen betragen mehr als 1,2 Mrd. US\$, wobei ein großer Teil der Anlagenkomponenten aus Deutschland bezogen wurde. Die solaren Stromgestehungskosten konnten von 0,27 US\$/kWh beim ersten Kraftwerk auf etwa 0,12 bis 0,14 US\$/kWh bei den zuletzt installierten Anlagen gesenkt werden [2] (1 US-Cent entspricht derzeit etwa 1,17 Euro-Cent).

Mitte der 80er Jahre fielen die Energiepreise drastisch. Nachdem Ende 1990 auch noch die Steuerbefreiungen ausliefen, erfolgte der Konkurs der Firma LUZ, bevor der Bau des zehnten Kraftwerks begonnen werden konnte [3]. Die Anlagen werden heute von anderen Gesellschaften betrieben. Seit dem Jahr 2000 zählt der Strom aus den solarthermischen Kraftwerken aufgrund der Energiekrise in Kalifornien jedoch wieder zu den preiswerten Angeboten auf dem Markt. Der lange Planungs- und Genehmigungszeitraum und die unsichere künftige Preisentwicklung hat jedoch bisher den Bau neuer Anlagen in Kalifornien verhindert.

Vor allem aber eine Großserienproduktion von solarthermischen Anlagen würde die Kosten weiter reduzieren. Langfristig geht man von einer möglichen Kostensenkung von 0,15 auf 0,05 Euro/kWh aus. Diese Kosten wären dann in der gleichen Größenordnung wie die von konventionellen fossilen Kraftwerken, jedoch ohne den Ausstoß von klimaschädlichem Kohlendioxid.

Obwohl solarthermische Kraftwerke Strom erheblich preisgünstiger als PV-Anlagen produzieren können, wurden seit 1991 keine neuen kommerziellen Kraftwerke mehr errichtet. Eine größere Zahl von Projektentwicklungen lässt aber Neubauten in den kommenden Jahren sehr wahrscheinlich werden. Die Weltbank hat rund 200 Mill. US\$ zur finanziellen Unterstützung des Baus kombinierter Gas-Solar-Kraftwerke in Entwicklungsländern bereitgestellt.

Dass auf die solarthermische Stromerzeugung große Erwartungen gesetzt werden, zeigen auch die jüngsten Aktivitäten. Bisher fand die Erprobung großer solarthermischer Hardwarekomponenten in Europa ausschließlich an der Plataforma Solar de Almería in Südspanien statt. Nun errichtet die spanische Gesellschaft EHN im nordspanischen Tudela in der Provinz Navarra ein solares Demonstrationszentrum. Eine 1,2-MW_p-PV-Anlage ist bereits im Bau. Ein 10-MW_{el}-Rinnen- und ein 5-MW_{el}-Turmkraftwerk mit Speicher sowie einige Dish/Stirling-Anlagen sollen in den nächsten zwei Jahren folgen.

Aufsehen erregt haben auch die kürzlich erschienenen Pressemitteilungen der belgischen Gesellschaft Solarmundo. Diese hat einen Prototypen eines vereinfachten Parabolrinnen-Kraftwerks vorgestellt, mit dem angeblich deutliche Kostenreduktionen erreicht werden sollen.

Die größten Hoffnungen für den Neubau von Anlagen bestehen derzeit jedoch in Spanien. Hier hatte man beim im Jahr 1998 beschlossenen Er-

neuerbare Energien Gesetz die Solarthermie schlichtweg vergessen. Eine Nachbesserung des Gesetzes soll nun in wenigen Wochen erfolgen. Dabei soll die Vergütung pro kWh um 20 Pesetas (ESP), rund 0,12 Euro über den Marktpreisen von derzeit ca. 6 bis 7 ESP (ca. 0,04 Euro) liegen. Damit wären die Bedingungen in Spanien für solarthermische Kraftwerke ähnlich günstig wie die für Windkraft- oder Photovoltaik-Anlagen. Einige Turm- und Rinnenkraftwerke sind in Andalusien bereits projektiert. Auch Italien hat im letzten Jahr großes Interesse an der solarthermischen Stromerzeugung gezeigt und größere Geldmittel bereitgestellt.

Es bleibt zu hoffen, dass in Kürze auch tatsächlich verlässliche Rahmenbedingungen für die Errichtung solarthermischer Kraftwerke gesetzt werden, damit die bisher ausgebremste Verbreitung dieser Technologie endlich durchstarten kann.

Meilensteine der solarthermischen Stromerzeugung

- 1816** Der Schotte Robert Stirling erfindet den Stirlingmotor
- 1906** Erste Arbeiten an solarthermischen Kraftwerken in den USA
- 1913** Versuche mit einem 50-PS-Parabolrinnen-System in Ägypten
- 1968** Erste Versuche mit einer 130-kW_{th}-Solarturm-Versuchsanlage in Italien
- 1981** Fertigstellung der 0,5-MW_{el}-SSPS-Solarturm-Versuchsanlage in Almería, Spanien
- 1982** Fertigstellung des 10-MW_{el}-»Solar One Solarturm«-Versuchskraftwerks in Barstow, USA
- 1982** Bau des 50-kW-Aufwind-Versuchskraftwerks bei Manzanares, Spanien
- 1983** Fertigstellung der 1,0-MW_{el}-CESA-Solarturm-Versuchsanlage in Almería
- 1984** Bau des ersten kommerziellen Parabolrinnen-Kraftwerks SEGS I mit 14 MW_{el} in den USA
- 1990** Bau des bisher letzten kommerziellen Parabolrinnen-Kraftwerks SEGS IX mit 80 MW_{el} in den USA
- 1992** Inbetriebnahme von drei Dish/Stirling-Versuchsanlagen mit je 9 kW_{el} in Almería
- 1996** Fertigstellung des 10-MW_{el}-»Solar Two Solarturm«-Versuchskraftwerks in Barstow
- 1997** Inbetriebnahme von drei Dish/Stirling-Versuchsanlagen mit je 10 kW_{el} in Almería
- 1998** Fertigstellung der 1,8-MW_{th}-Parabolrinnen-Versuchsanlage zur solaren Direktverdampfung in Almería
- 2001** Eine erhöhte Einspeisevergütung für solarthermische Kraftwerke in Spanien soll verabschiedet werden
- ab 2002** Neue Kraftwerke werden in Ägypten, Indien, Italien, Marokko, Mexiko und Spanien gebaut



Abb. 2: Luftbild der solarthermischen Parabolrinnen-Kraftwerke bei Kramer Junction in der Mojave-Wüste in Kalifornien, USA

Foto: KJC





Abb. 3: Solarturm-Ver-suchs-Kraftwerk am euro-päischen Testzentrum Plataforma Solar de Alme-ria in Spanien

Foto: Stefan Franzen

Vier Varianten konzentrieren sich auf die Sonne

Solarthermische Kraftwerke nutzen im Gegensatz zur Photovoltaik nicht den Photoeffekt, sondern gehen den Umweg über die Wärmeerzeugung. Hierbei gibt es zahlreiche Varianten wie Parabolrinnen-Kraftwerke, Solarturm-Kraftwerke, Dish/Stirling-Anlagen und Aufwindkraftwerke.

Parabolrinnen-Anlagen – Kraftwerke mit Tradition

Bei Parabolrinnen-Kraftwerken konzentrieren große Spiegel, die zu einem rinnenförmigen Kollektor zusammengesetzt werden, das Licht auf eine Brennlinie. Mehrere Kollektoren werden in einer einige hundert Meter langen Reihe nebeneinander aufgestellt. Viele parallele Reihen wiederum formen das gesamte Solarkollektorfeld.

Die einzelnen Kollektoren drehen sich um ihre Längsachse und folgen so dem Lauf der Sonne (Abb. 4). Die Spiegel konzentrieren im Brennpunkt das Sonnenlicht mehr als 80-fach auf das Absorberrohr. Dieses ist zur Reduktion der Wärmeverluste in eine evakuierte Glashülle eingebettet. Eine spezielle selektive Beschichtung auf dem Absorberrohr verringert die Wärmeabstrahlung der Rohroberfläche. Bei den herkömmlichen Anlagen durchströmt ein spezielles Thermoöl das Rohr, das sich durch die Sonnenstrahlung auf Temperaturen von knapp 400 °C aufheizt. Über Wärmetauscher wird die Wärme an einen Wasser-Dampf-Kreislauf abgegeben, unter Druck Wasser verdampft und weiter überhitzt. Der Dampf treibt eine Turbine und einen Generator an, der elektrischen Strom erzeugt. Hinter der Turbine kondensiert der Dampf wieder zu Wasser, das mit Hilfe einer Pumpe erneut in den Kreislauf gelangt.

Bei Schlechtwetterperioden oder nachts kann der Wasser-Dampf-Kreislauf auch durch einen fossilen Brenner betrieben werden. Im Gegensatz zur Photovoltaik lässt sich damit eine annähernd

gleichbleibende Leistungsabgabe garantieren. Dies erhöht die Attraktivität und Planungssicherheit im Kraftwerksverbund. Möchte man die Anlagen völlig kohlendioxidfrei betreiben, kann man auf den fossilen Brenner verzichten und stattdessen einen thermischen Speicher integrieren. In einem Tank wird dabei heißes Thermoöl gespeichert. Nachts und bei Schlechtwetterperioden wird dann der Wasser-Dampf-Kreislauf aus dem Tank gespeist. Der parallele Brenner kann auch mit Biomasse oder mit solarem Wasserstoff betrieben werden.

Durch technische Weiterentwicklungen versucht man, den Wirkungsgrad zu steigern und die Kosten zu reduzieren. In Südspanien in der Nähe von Almeria wird derzeit zum Beispiel die solare Direktverdampfung erprobt. Hierbei wird Wasser in den Absorbern bei hohem Druck direkt auf 400 °C erhitzt. Dieser Dampf kann sofort in die Turbine geleitet werden, wodurch das Thermoöl und die Wärmetauscher überflüssig werden.

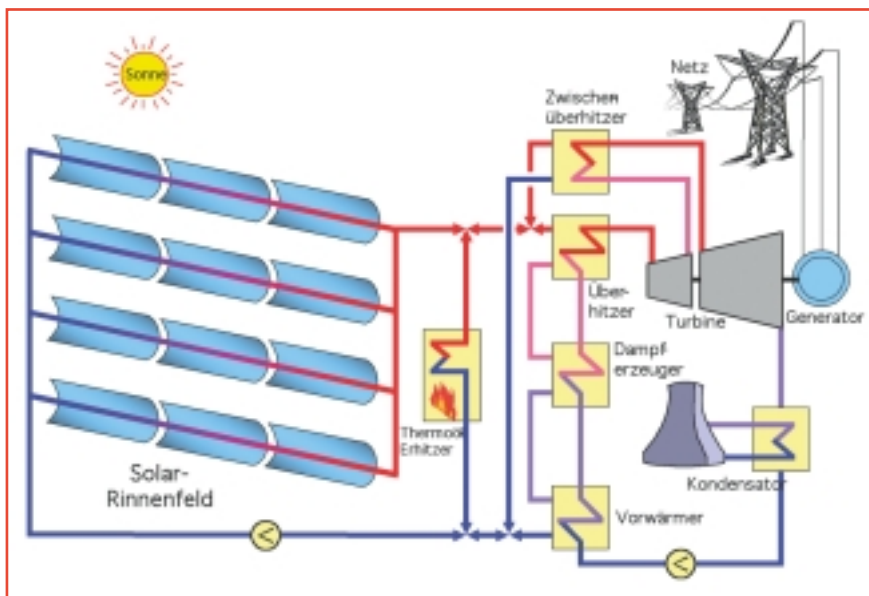
Solarturm-Kraftwerke – auf den Punkt gebracht

Bei Solarturm-Kraftwerken sind mehrere hundert oder gar tausend Spiegel – auch Heliostaten genannt – um einen Turm angeordnet. Diese Heliostaten werden einzeln computergesteuert der Sonne nachgeführt und auf die Turmspitze ausgerichtet. Dabei müssen sie auf Bruchteile eines Grades genau ausgerichtet werden, damit das reflektierte Sonnenlicht auch wirklich auf den Brennpunkt gelangt. Hier befindet sich ein Absorber, der durch das hochkonzentrierte Sonnenlicht auf Temperaturen bis über 1.000 °C erwärmt wird. Bei diesen hohen Temperaturen eignet sich als Wärmeträgermedium entweder Luft, die unter Druck direkt über die Gasturbine geleitet werden kann, oder flüssiges Salz, das über einen Wärmetauscher Wasserdampf erzeugt.

Im Gegensatz zu Rinnen-Kraftwerken lassen sich mit Turm-Kraftwerken höhere Wirkungsgrade erzielen. Bei den Stromgestehungskosten liegen heute Türme und Rinnen etwa gleich auf.

Abb. 4: Prinzip des solar-thermischen Parabolrinnen-Kraftwerks

Grafiken (2): Volker Quaschnig



Dish/Stirling-Systeme – Strom aus der Schüssel

Während Rinnen- und Turm-Kraftwerke nur in großen Leistungsklassen von etlichen Megawatt wirtschaftlich sinnvoll sind, lassen sich die so genannten Dish/Stirling-Systeme auch in kleineren Einheiten zum Beispiel zur Versorgung von abgelegenen Ortschaften einsetzen.

Bei einer Dish/Stirling-Anlage konzentriert ein zweiachsig nachgeführter Hohlspiegel das Licht ebenfalls auf einen Receiver. Dieser gibt die Wärme an das eigentliche Herz der Anlage weiter: den Stirlingmotor. Der setzt die Wärme in Bewegungsenergie um und treibt einen Generator an, der schließlich elektrische Energie erzeugt. Spiegeldurchmesser von rund 9 m erreichen eine elektrische Leistung von 10 kW.

Der Stirlingmotor lässt sich nicht nur durch die Sonnenwärme, sondern auch durch Verbrennungswärme antreiben. Bei der Kombination mit einem Biogas-Brenner können die Anlagen auch nachts oder bei Schlechtwetterperioden Strom liefern.

Einige Dish/Stirling-Prototypen wurden in Saudi-Arabien, Spanien und den USA aufgebaut. Im Vergleich zu den Turm- oder Rinnenkraftwerken sind die Kosten jedoch noch relativ hoch. Durch Serienproduktion mit großer Stückzahl ließe sich jedoch auch hier eine starke Kostenreduktion erreichen.

Abb. 5: Funktionsprinzip des Aufwindkraftwerks

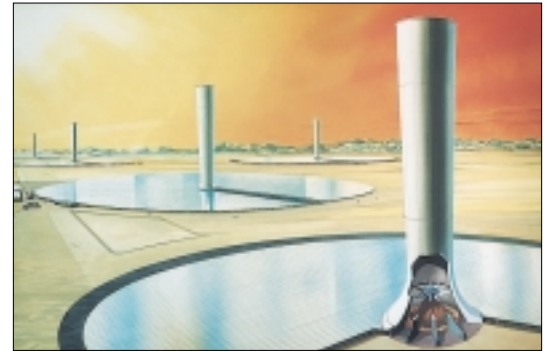
Aufwindkraftwerke – Kamin ragt hoch hinauf

Das Aufwindkraftwerk nutzt die Erwärmung von Luft unter einem Glas- oder Plastikdach aus, das eine große ebene Fläche bedeckt (Kollektordach). In der Mitte steht ein hoher Kamin. Das Glasdach steigt in Richtung des Kamins leicht an. An den Seiten des riesigen Daches strömt Luft ungehindert ein. Die Sonne erwärmt sie. Dadurch folgt sie der leichten Steigung des Daches und steigt dann mit einer großen Geschwindigkeit den Kamin hinauf. Durch die Luftströmung im Kamin werden Windturbinen angetrieben und Strom erzeugt.

Der Boden unter dem Glasdach kann Wärme speichern, so dass das Kraftwerk auch noch nach Sonnenuntergang Strom liefert. Da der Wirkungsgrad im Vergleich zu den anderen Techniken sehr gering ist, werden für diesen Typ große Flächen benötigt. Für größere Leistungen braucht man außerdem einen sehr hohen Kamin. Nach Berechnungen der Anlagenplaner müsste eine 30-MW-Anlage eine Kollektorfläche von 3,8 Mill. m² und einen Turm mit einer Höhe von 750 m besitzen.

Anfang der 80er Jahre wurde ein kleines Demonstrationskraftwerk mit einer Nennleistung von 50 kW bei Manzanares in Südspanien errichtet. Das Kollektordach dieser Anlage hatte einen mittleren Durchmesser von 122 m und der Kamin eine Höhe von 195 m. Nach erfolgreichem Abschluss der Versuche

Abb. 6: Dish/Stirling-Versuchsanlage am europäischen Testzentrum Plataforma Solar de Almería in Spanien.



wurde diese Anlage im Jahr 1988 wieder demonstriert, nachdem der Kamin durch einen Sturm umgeworfen worden war.

Solarthermischer Strom für Deutschland?

So interessant die solarthermischen Kraftwerkstechniken auch sind, in Mittel- oder Nordeuropa ist ihre Errichtung wenig sinnvoll. Mit Ausnahme des Aufwindkraftwerks funktionieren sie nur bei klarem Himmel, weil dann direkte Sonnenstrahlung vorhanden ist, die sich mit Spiegeln konzentrieren lässt. Während in Hamburg nicht einmal 1.500 Sonnenscheinstunden im Jahr erreicht werden, sind es in Südspanien oder Nordafrika 3.000 oder mehr. Darum wäre der Strom aus solarthermischen Anlagen in Deutschland rund dreimal so teuer wie im sonnigen Süden. Der Bau von Aufwindkraftwerken ist nur in Wüstenregionen sinnvoll, weil dort das Land praktisch kostenlos zur Verfügung steht. Da in Südeuropa und Nordafrika jedoch genügend Standorte vorhanden sind und ein Transport der Elektrizität nach Mittel- und Nordeuropa technisch problemlos möglich ist, könnten sich solarthermische Kraftwerke mittelfristig zu einem Exportschlager für die deutsche Industrie entwickeln und auch einen wichtigen Beitrag zu unserer Elektrizitätsversorgung und damit zum Klimaschutz leisten. *

Volker Quaschnig

Dr.-Ing. habil. Volker Quaschnig ist Projektleiter für solare Systemanalyse für das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR) auf der Plataforma Solar de Almería (PSA) in Spanien.
Kontakt: www.volker-quaschnig.de

Literaturangaben:

- [1] Mener, Gerhard: War die Energiewende zu Beginn des 20. Jahrhunderts möglich? In: Sonnenenergie Heft 5/1998, S. 40-43
- [2] Quaschnig, Volker; Geyer, Michael: Konzentration auf die Sonne. In: Sonne Wind & Wärme 4/2000, S. 50-53
- [3] Geyer, Michael; Holländer, Andreas; Aringhoff, Rainer; Nava, Paul: Hälfte des weltweit produzierten Solarstroms. In: Sonnenenergie Heft 3/1998, S. 33-37
- [4] Quaschnig, Volker: Regenerative Energiesysteme. München, Hanser Verlag 1999

Tipps zum Weiterlesen im Internet:

www.ehn.es
www.solarmundo-power.com
www.volker-quaschnig.de/artikel/konzension
www.dlr.de/Solarforschung
www.psa.es
www.solarpaces.org
www.eren.doe.gov/csp/
www.solel.com
www.kjcsolar.com/index2.html
www.sbp.de

