

Solarthermische Kraftwerke

H. Kabisch, Berlin

Solkollektoren, PV-Anlagen und Systeme zur solaren Klimatisierung sind weitgehend erprobte Elemente. Im Ergebnis langjähriger deutscher Forschungs- und Entwicklungsarbeiten steht nun auch das solare Kraftwerk vor dem Durchbruch. Mit der in absehbarer Zeit zu erwartenden Marktreife dieser Anlagen ist ein wichtiger Beitrag zur Abdeckung des rasant wachsenden Energiebedarfs und zur Sicherung neuer Arbeitsplätze zu erwarten.

1.3 Betriebskosten

Von besonderem Interesse ist die Wirtschaftlichkeit dieser neuen Stromerzeuger. Sie können an guten Standorten ohne Energiespeicher etwa 2 000 bis 3 000 Stunden pro Jahr im reinen Solarbetrieb arbeiten. Daraus ergeben sich Stromgestehungskosten von heute 9 bis 16 Cent/kWh. Wenn die vorhandenen Kostensenkungspotentiale im Rahmen der anstehenden globalen Markteinführung erschlossen werden, können diese Kosten innerhalb des kommenden Jahrzehnts halbiert werden. Dualbetrieb, also die Zufeuerung von Brennstoffen, führt zu einer besseren Auslastung der Wärmekraftmaschine, da sich auf diese Art mehr Betriebsstunden erreichen lassen. Damit wird die Konkurrenzfähigkeit gegenüber konventionell betriebenen Kraftwerken deutlich verbessert. Je nach Anteil der Zufeuerung und abhängig von den Brennstoffpreisen können die Stromgestehungskosten niedriger liegen. Dadurch werden schon heute Stromgestehungskosten erreicht, die – ohne Fördermaßnahmen – nur wenige Cents über denen konventioneller Kraftwerke liegen.

1 Grundlagen

1.1 Bindeglied zwischen fossiler und solarer Versorgung

Solarthermische Kraftwerke sind Energielieferanten für sonnenbegünstigte Regionen. Sie stellen mit ihrer Hochtemperatur-Wärmeerzeugung einschließlich Dampfturbinen oder Stirlingmotoren ein wichtiges Bindeglied zwischen der heutigen fossilen und der zukünftigen solaren Energieversorgung dar.

Nutzbar ist allein der Strahlungsanteil des Sonnenlichts, der sich mit Spiegelsystemen konzentrieren lässt. Dieser auch Direktstrahlung genannte Teil ist nur in sonnenreichen Ländern (z. B. Mittelmeerraum) so groß, dass die Energie der Sonne zur Stromerzeugung ausreicht. In gemäßigten und nördlichen Klimazonen stört das diffuse Licht, das nicht konzentriert wird. Nach Informationen des Bundesministeriums für Umwelt (BMU) gibt es Ansätze, Strom aus spanischen solarthermischen Kraftwerken für die Deckung des deutschen Energiebedarfs nutzbar zu machen. Langfristig könnten diese Anlagen maßgeblich zu einer zukünftig CO₂-freien Energieversorgung beitragen. Sie nutzen herkömmliche Kraftwerksprozesse in Verbindung mit solarthermischen Technologien zur Aufbereitung der Strahlungsenergie und können bei Bedarf mittels hybrider Fahrweise den schrittweisen Übergang zu einer Solarstromerzeugung vollziehen. Dabei ist es zwischenzeitlich jederzeit möglich und auch gewünscht, mit einer ortsnahen erneuerbaren Energiequelle (EE) Betriebskosten und CO₂-Emissionen zu reduzieren.

Standorte dieser Kraftwerke liegen selten in der Nähe von Ortschaften, aber mit Sicherheit in Gebieten mit hohen Temperaturen. Die Anlage kann bei Bedarf um Einrichtungen zur Kühlung und Trinkwassergewinnung erweitert werden (Bild 1). Solche Kraftwerke werden bereits seit Jahrzehnten in Kalifornien (USA) betrieben. Solarthermische Kraftwerke liefern wie fossile bedarfsorientiert Wärme und/oder

Strom. Auch ein Kraft-Wärme-gekoppelter Betrieb ist möglich. Sie können darüber hinaus doppelt genutzt werden:

- tagsüber als Solarkraftwerk und
- nachts als Teil des konventionellen Kraftwerkparcs.

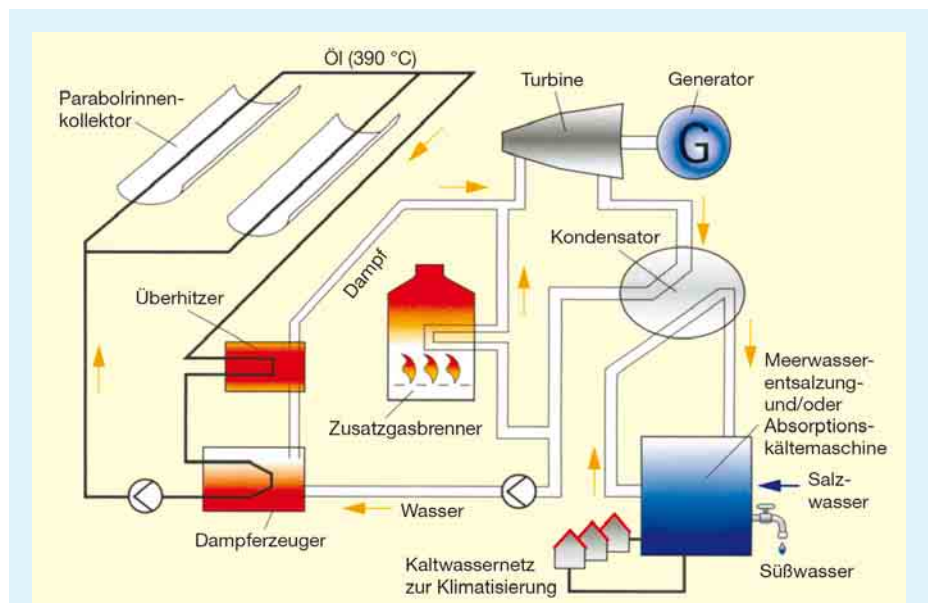
Damit lässt sich der Bau eines konventionellen Reservekraftwerks vermeiden. Bei Bedarf wird ein thermischer Speicher installiert, um wirtschaftlich verbessert Strom und Wärme im 24-h-Betrieb liefern zu können.

1.2 Technische Unterschiede

Technisch unterscheiden sich die Kraftwerke durch unterschiedliche Spiegelsysteme. Dabei handelt es sich im Wesentlichen um fünf erforschte Varianten. Drei dieser Kraftwerkssysteme dürften in absehbarer Zeit die Marktreife erreichen. Das gilt einmal für Paraboloidkraftwerke, die für Inselformen geschaffen wurden und hier nicht weiter behandelt werden. Für mit dem öffentlichen Stromnetz gekoppelte Anwendungen wurden Parabolrinnen- und Turmkraftwerke geschaffen.

2 Forschungsarbeiten und Testanlagen

Bereits seit mehr als drei Jahrzehnten ist die Stromerzeugung mittels solarer Wärme ein Forschungsziel – nicht zuletzt auch für die exportorientierten Deutschen. Die Ursachen dafür stimmen weitgehend mit den heutigen Problemen überein: Es war die weltweit erste Ölversorgungskrise in den 70er Jahren sowie ein rasantes Wachstum der Weltbevölkerung, die



1 Schema eines hybriden Kraftwerksystems mit Erzeugung von Kälte durch Absorptionskältemaschinen und Meerwasserentsalzung – beides energetisch durch Abwärme versorgt

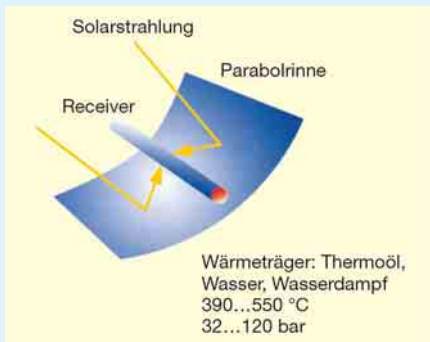
Quelle: Synthesis Solar

Autor

Dipl.-Ing. Helmut Kabisch ist freier Fachautor, Berlin.



② Testgelände PSA in Spanien. Deutlich erkennbar sind das Turmkraftwerk und die Parabolrinnenkollektoren. Foto: PSA



③ Schematische Darstellung des Aufbaus einer Parabolrinne Foto: BMU



④ Luftaufnahme von fünf 30-MW-Kraftwerken, ein Teil der in Kalifornien installierten neun Dampfkraftwerke Foto: SEGS



⑤ Parabolrinnen-Kollektor (Projekt Euro-trough) Foto: SEGS

in vielen Regionen ohne Stromanschluss lebt und arbeitet.

Eine wesentliche Voraussetzung für die Entwicklung technisch und wirtschaftlich ausgereifter Kraftwerke war 1980 die Inbetriebnahme eines international einmaligen Testfeldes. Es ermöglicht auch die Erprobung von Großanlagen unter originalen Bedingungen – also mit solarer Direktstrahlung – für die unterschiedlichsten Varianten (Bild ②). Das 100 Hektar große Testfeld – bezeichnet als „Plastaforma

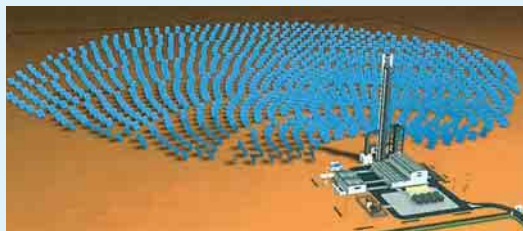
de Almeria“ (PSA) – wurde in der südspanischen Provinz Almeria errichtet und steht vor allem den Mitgliedern der Europäischen Union auch heute noch zur Verfügung. Die aktivsten Wissenschaftler und Techniker kommen aus Spanien und Deutschland. Dazu gehören vor allem Experten aus dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR).

Auf der Iberischen Halbinsel entstehen zudem die ersten kommerziellen Kraftwerke. Eine wichtige Grundlage sind dabei Planungen und

andere vorbereitende Arbeiten der Deutschen Solar Millennium AG. Unterstützt werden die Investitionen und der spätere Betrieb durch ein in Spanien seit August 2002 geltendes Gesetz. Es regelt die Vergütung des vom Kraftwerk erzeugten Stromes, ähnlich wie das hierzulande geltende Erneuerbare-Energie-Gesetz (EEG).

3 Parabolrinnenkraftwerke

Bereits am Anfang der Entwicklung fokussierte sich auch Deutschland auf Parabolrinnenkraftwerke. Bei diesem Spiegelsystem wird das Sonnenlicht durch parabolisch gekrümmte Spiegel – mit bis zu 6 m Breite und 100 m Länge – auf ein Absorberrohr konzentriert (Bild 3). In ihm zirkuliert eine Flüssigkeit, die sich dort auf etwa 400 °C erhitzt und anschließend in Dampf umgewandelt wird. Dieses von Entwicklern des DLR geschaffene Spiegelsystem war Grundlage von neun Dampfkraftwerken, die seit Mitte der 80er Jahre in Kalifornien mit einer Kapazität von 354 MW betrieben werden (Bilder 4 und 5). Die weitere Verbreitung dieses Systems stoppte Anfang der 90er Jahre, da die Stromerzeugungskosten inzwischen zu



6 Darstellung des inzwischen im Bau befindlichen Solarturmkraftwerks PS 10

Foto: Solucar



7 Mehrere 100 bis über 1000 solcher 10x10 m großen Spiegelflächen gehören zu einem Solarturmkraftwerk. Diese Heliostaten werden der Sonne computergesteuert dauernd nachgeführt.

Foto: KAM

hoch waren, um bei sinkenden Brennstoffpreisen und reduzierten Subventionen am Strommarkt konkurrieren zu können. Dennoch lagen diese Kosten in einer Höhe, die bis heute unter denen der Photovoltaik liegt.

Nachdem rund 16 Jahre lang weltweit kein solarthermisches Kraftwerk gebaut wurde, hat das Kölner Unternehmen FlgSol mit Partnern die dritte Generation eines europäischen Parabolrinnenkollektors entwickelt – den SKAL-ET 150. Er ist 150 m lang und kann die einzelnen Parabolspiegel präzise nachführen sowie das Sonnenlicht exakt in einem Brennpunkt vereinen (fokussieren). Parallel dazu können die Kollektoren über eine drahtlose Steuerung einzeln angesteuert und überwacht werden. Der neue Kollektor wird seit April 2003 in einer Demonstrationsanlage getestet. Es handelt sich dabei um eine Anlage aus sieben Einheiten mit einer Spiegelfläche von 4360 m². Erprobungsort ist – wie das eingangs vorgestellte Dampfkraftwerk – Kalifornien. Die Leistung konnte um 10 % gegenüber dem bisherigen Stand der Technik gesteigert werden.

Die kommerzielle Nutzung der Ergebnisse dieser Neuentwicklungen läuft bereits: Sowohl der SKAL-ET-Kollektor als auch der Einsatz neuer Absorberrohre mit diversen Verbesserungen (Erhöhung der Effizienz, der Lebensdauer und damit der Wirtschaftlichkeit) werden im ersten kommerziellen Parabolrinnenkraftwerk Europas in Spanien mit einer Leistung von 50 MW zum Einsatz kommen. Darüber hinaus hat Schott Rohrglas den Großauftrag für ein solarthermisches Kraftwerk in Nevada (USA) erhalten: 19 300 Absorberrohre für eine Leistung von 64 MW.

Parallel zur SKAL-ET-Entwicklung wurden durch das DLR die Realisierungsmöglichkeiten eines vereinfachten und verbesserten Parabolrinnensystems untersucht. Diese „solare Direktverdampfung“ verzichtet auf das Wärmeträgeröl, die Wärmeübertragung und alle weiteren ölrelevanten Komponenten. Als Ersatz wird

Wasser direkt in den Absorberrohren verdampft, überhitzt und anschließend dem Kraftwerksprozess zugeführt. Ein weiterer Vorteil könnte – wenn technisch beherrschbar – eine Temperaturerhöhung von 400 °C auf mehr als 500 °C sein.

Seit Anfang der 90er Jahre wird diese Vereinfachung, gefördert vom Bundesumweltministerium (BMU), unter wesentlicher Beteiligung des DLR untersucht. Dabei bestätigte sich, dass ein solches Erzeugnis entwickelt werden kann. Dazu bedarf es aber einer Testanlage, die zur Minderung des Risikos nur 5 MW leistet. Sie wird so gestaltet, dass sie gleichzeitig Versuchsobjekt und erstes vorkommerzielles Kraftwerk sein kann.

Insgesamt ist zu erwarten, dass Parabolrinnenkraftwerke zunächst im Leistungsbereich von 30 bis 80 MW in Kürze ihre kommerzielle Reife beweisen. Das könnte in wenigen Jahren auch für Kraftwerke gelten, die mit anderen Rinnen, welche hier nicht vorgestellt werden, arbeiten.

4 Turmkraftwerke

Ganz anders ist die Situation auf dem Gebiet der Turmkraftwerke – dem zweiten Forschungsschwerpunkt Deutschlands. Zwar gibt es hier mehrere Projekte für Kraftwerksbauten, deren Ziel ist es aber zunächst, die Stromerzeugung im Dauerbetrieb erheblich zu verbessern.

In Solarturmkraftwerken lenken der Sonne nachgeführte Einzelspiegel (Heliostate) die Sonnenstrahlung auf einen zentralen Wärmetauscher (Receiver), der sich an der Spitze eines beispielsweise 90 m hohen Turmes befindet (Bilder 2, 6 und 7). Auf diesem Weg lässt sich die Sonnenstrahlung einige 100 Mal konzentrieren, so dass laut DLR „effizient einige 100 MW an Strahlungsleistung“ kom-

pakt übertragen werden können. Die konzentrierte Strahlung wird benutzt, um Hochtemperaturwärme bis zu 1100 °C bereitzustellen.

Abgesehen von der in Bild 2 gezeigten provisorischen Testanlage gibt es in Europa derzeit noch kein Solarturmkraftwerk. Deshalb verweist die Literatur häufig auf die 1996 von Amerikanern errichtete 10-MW-Testanlage in Barstow, Kalifornien [1]. Geht aber alles nach Plan, dann werden noch in diesem Jahr zwei neuentwickelte Turmkraftwerke in Spanien in Betrieb gehen. Grundlage dafür sind abgeschlossene Forschungsvorhaben vom Kraftanlagenbau München und seinen Partnern, dem DLR und dem Solar Institut Jülich. Sie lieferten nicht nur die Konzepte, sondern auch einen großen Teil der Komponenten.

Von besonderer Bedeutung ist die Realisierung des Projekts PS 10, ein Solarturmkraftwerk mit einer Leistung von knapp 11 MW. Errichtet wurde der Neubau 15 km westlich von Sevilla (Spanien). Unter anderem waren dafür knapp 1000 Heliostaten mit einer Fläche von jeweils 90 m² erforderlich (Bild 6). Es handelt sich hierbei um ein Spiegelsystem mit Hochtemperaturwärme bis zu 1 100 °C. Dadurch besteht prinzipiell die Möglichkeit, die Stromerzeugung in Gasturbinen- oder Kombikraftwerke zu verlegen. Gleichzeitig erhöht sich der elektrische Wirkungsgrad von 30 % für die

Parabolrinnenkraftwerke auf mehr als 50 %. Sollten sich Turmkraftwerke diesen Typs bewähren, strebt der Initiator dieses Projekts – ein Stromversorger – eine Serie wettbewerbsfähiger Kraftwerke im Bereich zwischen 30 und 50 MW an. Unabhängig davon gibt es bereits heute zwei Bestellungen.

Auch in Italien ist der Neubau kleinerer Solarturmkraftwerke geplant. Am weitesten fortgeschritten ist ein in der Stadt Empoli unter dem Projektamen Torri Solari errichteter Bau, der Energie erzeugt und gleichzeitig einen großen Teil davon einem in unmittelbarer Nähe errichteten Krankenhaus zur Verfügung stellt. Den Strom liefert netzgekoppelt eine Mikrogasturbine mit einer Leistung von 350 kW_{el}. Sie wird von Heißgas mit einer Temperatur von max. 800 °C angetrieben. Nicht genutzte Wärme wird wie die Abwärme der Gasturbine im Krankenhaus als Prozesswärme oder zur Kälteerzeugung verwendet. Inzwischen wird in Italien ein weiteres Solarturmkraftwerk realisiert.

Neues Versuchskraftwerk. Das vermutlich interessanteste Turmkraftwerk entsteht zurzeit in Jülich nahe Aachen. Dort soll bis 2008 das schon lange angekündigte Versuchskraftwerk mit einer elektrischen Leistung von 1,5 MW gebaut werden. Es vereinigt alle Entwicklungen der letzten Zeit: Hochtemperaturspei-

cher, Receiver, Heliostaten, Gasturbinen usw. Insgesamt sollen mit den einschlägigen Forschungsergebnissen Wirkungsgrad und Wirtschaftlichkeit gesteigert werden. Ziel ist ein Wissensfonds, der sowohl die Errichtung von Kraftwerken von etwa 50 bis zu einigen 1000 MW als auch im kleineren Maßstab (ab 100 kW elektrische Leistung) erlaubt [4, 5]. Allerdings muss dabei auch klargestellt werden, inwieweit diffuses Licht in Deutschland die elektrische Leistung des Turmkraftwerkes reduziert. Ein dafür geeignetes Strahlungsmesssystem hat die DLR bereits für eine Solarturmanlage in Australien entwickelt.

Literatur

- [1] Kabisch, H.: Sonnenenergie-Strom – nicht nur mit Photovoltaik. Elektropraktiker, Berlin 55(2001)1, Lernen und Können, S. 1 – 3.
- [2] Forschungsverbund Sonnenenergie (FVS): Solare Kraftwerke, Jahrestagung 14. – 15.10.2002, Themenband.
- [3] Bundesministerium für Umwelt (BMU): Erneuerbare Energien – Innovationen für die Zukunft. 5/2004, 5. Auflage, 128 Seiten.
- [4] Bundesministerium für Umwelt (BMU): Innovation durch Forschung. Jahresbericht 2005 zur Forschungsförderung. 6/2006.
- [5] Bundesministerium für Umwelt (BMU): Forschung für Erneuerbare Energien – Spitzentechnologien aus Deutschland. 4/2006.