

Solarturmkraftwerk
in Südspanien.

UND ES GEHT NOCH HEISSER ...

Gasturbinen-Kraftwerke in Solarhybrid-Bauweise

Von Dr.-Ing. Reiner Buck

Solarthermische Kraftwerke kommen aus ihrer Nische. Die Stromerzeugung mit der Kraft der Sonne ist im Aufschwung. Die Forderung nach deutlich reduzierten Kohlendioxid-Emissionen hat mehrere Staaten bewegt, Förderinstrumente zur Verfügung zu stellen, mit denen die Markteinführung solarthermischer Kraftwerke unterstützt wird. So wurde in Spanien die Vergütung für solarthermisch erzeugten Strom in Höhe von zirka 26 Cent pro Kilowattstunde gesetzlich festgelegt. Weltweit sind solarthermische Kraftwerke mit einer Gesamtleistung von etwa zehn Gigawatt in der Planung oder im Bau. Die ersten Anlagen gingen bereits in Betrieb. Das DLR trägt mit seinen Arbeiten dazu bei, die neue Technologie konkurrenzfähig zu machen. Die Europäische Union fördert nun ein Projekt des DLR zur solarhybriden Mikroturbine.

Solarthermische Kraftwerke sind gegenüber konventionellen Kraftwerken noch nicht wettbewerbsfähig. Hauptziel der Weiterentwicklung dieser Technologie ist es daher, die Stromgestehungskosten zukünftiger solarthermischer Kraftwerke zu reduzieren. Ein solarthermisches Kraftwerk ist vom Prinzip her ähnlich aufgebaut wie ein konventionelles Kraftwerk. Während herkömmlicherweise ein fossiler oder auch nuklearer Brennstoff das Prozessmedium erhitzt, erfolgt dies beim solarthermischen Kraftwerk durch konzentrierte Solarstrahlung – die Sonne ersetzt den Brennstoff. Solarthermische Kraftwerke nutzen ausschließlich den direkten Strahlungsanteil der Sonne bei klarem Himmel, ihr Einsatz ist daher vor allem in

Gebieten mit sehr hoher Sonneneinstrahlung eine Option.

Soll Solarstrahlung in Kraftwerksprozesse eingekoppelt werden, so sind sehr große Auffangflächen notwendig. Die Kollektorflächen machen daher den Hauptteil der Investitionskosten aus. Ein Weg zu geringeren Stromgestehungskosten führt über Kraftwerksprozesse, in denen die eingesammelte Solarstrahlung mit höherem Wirkungsgrad genutzt werden kann. So ließe sich mit derselben Kollektorfläche mehr Energie produzieren.

Derzeit werden vorrangig solare Parabolrinnenkraftwerke gebaut, die aktuell bei Dampftemperaturen von

etwa 400 Grad Celsius (°C) betrieben werden. Mehr als 600 °C werden in Solarturmkraftwerken erreicht. Dort ist die optische Konzentration der Solarstrahlung höher. Durch die höheren Temperaturen können Kraftwerksprozesse mit deutlich besseren Wirkungsgraden betrieben werden. Solare Gas- und Dampfturbinen-Kraftwerke (GuD) gelten als die derzeit effizienteste solare Kraftwerkstechnologie.

Sonne ersetzt Erdgas

Voraussetzung für den hohen Wirkungsgrad bei der Umwandlung von Solarstrahlung in Strom ist deren direkte Einkopplung in die Gasturbine. Bei solarhybriden GuD-Kraftwerken erfolgt die Erhitzung der Luft,



Das solarhybride Gasturbinen-Testsystem.



Hauptkomponenten des Gas- und Dampfturbinen-Kraftwerks (GuD):

Heliostatenfeld

Viele leicht gekrümmte Spiegelflächen (Heliostate), die über zwei Drehachsen der Sonne so nachgeführt werden, dass der Brennfleck immer auf dem Strahlungsempfänger (Receiver) des Turms liegt

Turm

Zum Tragen des Receivers

Receiver

Auf der Spitze des Turms installierter Strahlungsempfänger

Kraftwerksteil

Gasturbine mit nachgeschaltetem Dampfprozess

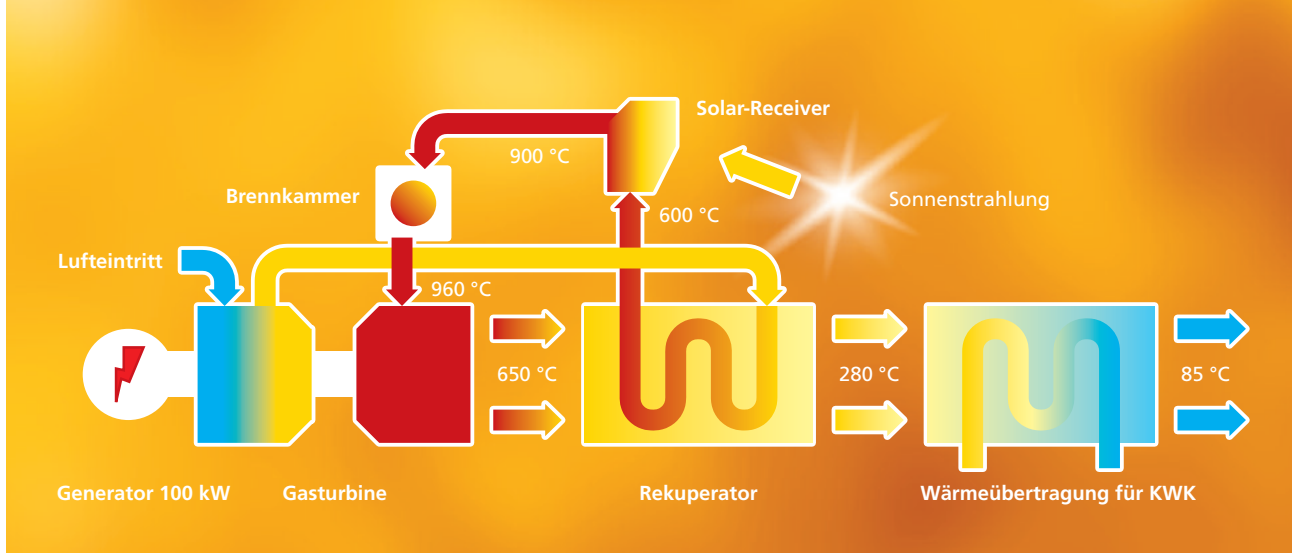


Detailausschnitt des Receiverclusters eines solarhybriden Testsystems im Betrieb.

die als Arbeitsmedium der Gasturbine dient, teils mit Solarstrahlung, teils mit Erdgas. Ein derartiges Kraftwerk besteht aus Heliostaten, Turm, Strahlungsempfänger (Receiver) und Kraftwerksteil.

Die Solarstrahlung wird, nachdem sie durch die vielen Heliostate etwa 1000-fach konzentriert wurde, im Receiver absorbiert. Dabei erhitzt sie die Luft, die den Receiver durchströmt. Je höher die Lufttemperatur ist, die so erreicht wird, umso weniger Brennstoff wird noch benötigt, um die Luft weiter auf die erforderliche Turbineneintrittstemperatur aufzuheizen. Ein wesentlicher Vorteil dieser Systeme besteht darin, dass durch das Zufeuern von Brennstoff die geforderte Kraftwerksleistung zu jedem Zeitpunkt sicher bereitgestellt werden kann, auch nachts oder bei bewölktem Himmel. Außerdem kann der Betrieb auch ohne den Ausstoß von Kohlendioxid (CO_2) erfolgen, indem biogene Brennstoffe anstelle von Erdgas zum Zufeuern eingesetzt werden. Das verbessert die Öko-Bilanz abermals.

Seine erste Bewährungsprobe hat ein derartiges System im kleinen Maßstab bereits bestanden. Auf der Solarturm-Testanlage PSA in Almeria, Spanien, wurde ein Receivercluster, bestehend aus drei Receivermodulen, eingebaut und getestet. Die solar erhitze Luft wurde einer Gasturbine mit einer Leistung von 230 Kilowatt Energie (kW_e) zugeführt. In diesen Tests wurden bis zu 60 Prozent des Brennstoffs durch solare Energie ersetzt. Dabei konnten im Receiver Lufttemperaturen bis 1.030 °C erreicht werden. Das Zusammenspiel zwischen Gasturbine und Receiver erwies sich als problemlos. Kürzlich



Schema des solarhybriden Mikroturbinen-Systems.

konnte durch die Umstellung auf Biodiesel als Brennstoff erfolgreich ein CO₂-neutraler Betrieb demonstriert werden.

Als ersten Schritt zur Markteinführung wird derzeit im Rahmen eines EU-geförderten Entwicklungsprojekts ein solarhybrides Mikroturbinensystem mit einer Leistung von 100 kW_e entwickelt. Da in dieser niedrigen Leistungsklasse die Kopplung mit einer Dampfturbine nicht sinnvoll ist, kann die Abwärme der Gasturbine zur Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) genutzt werden. Auf diese Weise wird ein sehr hoher Gesamtnutzungsgrad des solarhybriden Mikroturbinensystems erreicht. Zur Nutzung der Abwärme kommt in erster Linie die Kälteerzeugung mittels einer Absorptionskältemaschine in Frage. In den sonnenreichen Einsatzgebieten solcher Anlagen besteht in der Regel auch ein hoher Kühlbedarf zur Klimatisierung. Vorteilhaft ist hier, dass der Kühlbedarf sich zeitlich weitgehend mit dem solaren Strahlungsangebot deckt. Eine erste Demonstrationsanlage wird derzeit entwickelt und soll im Jahr 2009 in Spanien in Betrieb genommen werden.

Neues Material für die Rohre

Im Rahmen des Projekts Solarhybride Mikroturbine wird unter Federführung des DLR auch ein Mehrschichtrohr entwickelt. Gegenüber einfa-

chen Metallrohren hat es wesentliche Vorteile: Beim Betrieb von direkt bestrahlten Absorberrohren treten auf Grund der stark einseitigen Bestrahlung und der niedrigen Wärmeleitfähigkeit des Rohrmaterials hohe Temperaturunterschiede auf. Diese führen zu starken Spannungen im Material. Durch Einbringen einer Zwischenschicht mit sehr hoher Wärmeleitfähigkeit, beispielsweise aus Kupfer, können die Temperaturunterschiede stark reduziert werden. Das mindert die Materialbelastung spürbar. Der Effekt: höhere Receivertemperaturen und eine längere Lebensdauer der Anlage.

Bereits im Jahr 2009 wird in einem neuen Projekt mit dem Bau eines vor-kommerziellen solarhybriden Gasturbinen-Kraftwerks bei Sevilla begonnen. Unter industrieller Leitung leistet das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt wesentliche Beiträge zur Auslegung des Gesamtsystems. Es wird eine elektrische Leistung von etwa fünf Megawatt haben. Insbesondere die Auslegung des Hochtemperatur-Receiver, der die Luft bis auf 800 °C erhitzen soll, liegt in den Händen des DLR. Die Anlage soll neben der PS10-Anlage erstellt werden und komplett mit Heliostatenfeld und Turm im Jahr 2010 in Betrieb gehen. Während der zweijährigen Betriebszeit müssen die innovativen Komponenten

für solche Systeme ihre Marktreife unter Beweis stellen. Als Gasturbine wird eine Mercury-50 der Firma Solar Turbines eingesetzt.

Diese Projekte dienen der Markteinführung der Technologie solarhybrider Kraftwerke und sind damit zukunftsweisend. Um die Technologie noch zu verbessern und das ganze Potenzial zur Kostenreduktion zu nutzen, sollen mittelfristig die Blockleistung und die Receivertemperatur weiter erhöht werden. Durch die höhere Leistung sinken die Kosten der spezifischen Komponenten und damit auch die Stromgestehungskosten. Eine höhere Temperatur im Receiver führt zu einem höheren Solaranteil. Das bedeutet, dass der spezifische CO₂-Ausstoß bei gleicher Leistung sinkt. Angesichts der Notwendigkeit, zukünftig emissionsarme und kostengünstige Kraftwerkstechniken einzusetzen, werden solarhybride Kraftwerke zunehmend Bedeutung erlangen. Dies gilt insbesondere dann, wenn die derzeit diskutierte Option des Stromimports über neue Fernleitungen, beispielsweise aus der Sahara nach Deutschland, realisiert wird.

Autor:

Dr.-Ing. Reiner Buck leitet das Fachgebiet Solare Hochtemperatursysteme der Abteilung Solarforschung am Institut für Technische Thermodynamik des DLR in Stuttgart.