

IASS FACT SHEET 2/2016

Institute for Advanced Sustainability Studies (IASS)

Potsdam, Dezember 2016

Konzentrierte Solarenergie

Mohammed Qader, Stefan Stückrad

Der Weltenergiebedarf wächst. Nach Berechnungen der Internationalen Energieagentur (IEA) wird der globale Energieverbrauch bis 2035 selbst dann um 36 Prozent steigen, wenn sämtliche Regierungen ihre Pläne zum Umbau der Energiesysteme und zur Reduzierung von Treibhausgasen umsetzen. Und das wird die ohnehin schon stark beanspruchten Energiesysteme weiter belasten. Neue, nachhaltige Energiequellen können aber zur Deckung des künftigen Energiebedarfs, zur Diversifizierung der Energiemixe und zur Versorgung mit klimafreundlichem Strom beitragen. Konzentrierte Solarenergie bietet etwa die Chance, mit der Kraft der Sonne saubere Energie in großem Umfang zu erzeugen.



Quelle: istockphoto/peterscode

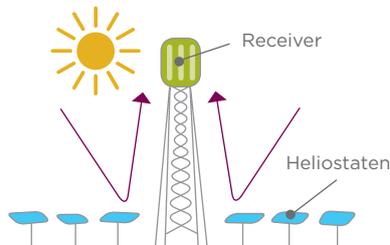
Was ist konzentrierte Solarenergie?

In Sonnenwärmekraftwerken (oder CSP-Anlagen, von „concentrated solar power“) wird thermische Solarenergie mithilfe von Spiegeln oder Linsen eingefangen und gebündelt. Dampfturbinen oder Wärmekraftmaschinen erzeugen aus der gebündelten Energie Strom. Die thermische Energie kann aber auch gespeichert werden, um bei Bedarf zu jeder Tages- und Nachtzeit für die Stromerzeugung zur Verfügung zu stehen. Die Integration von Wärmespeichern macht CSP-Technologien so interessant.

Was sind die wichtigsten Technologien?

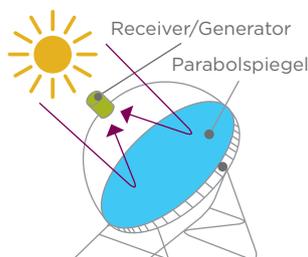
Im Wesentlichen gibt es vier unterschiedliche Technologien: Solartürme, Solar-Stirling-Anlagen, Parabolrinnen- und Linear-Fresnel-Systeme. Zur Stromerzeugung arbeiten die Anlagen mit Temperaturen zwischen 300 °C und 1.000 °C – abhängig von der Technologie. Weltweit sind Sonnenwärmekraftwerke mit einer Gesamtleistung von 5013 Megawatt installiert, die mit Parabolrinnen (83%), Solartürmen (13%), Linear-Fresnel-Systemen (3,4%) sowie Solar-Stirling-Anlagen (0,02%) generiert wird.¹

Solartürme



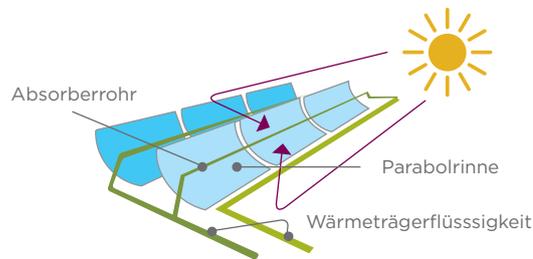
In einem Solarturmkraftwerk richten sich Planspiegel, sogenannte Heliostaten, computergesteuert nach dem Sonnenlicht aus und bündeln es auf einen Receiver an der Spitze des Turms. Der Receiver enthält ein Arbeitsfluid und dient als Wärmetauscher. Zur Erzeugung von Strom bringt er Wasser in einer konventionellen Dampfturbine zum Kochen.

Solar-Stirling-Anlagen



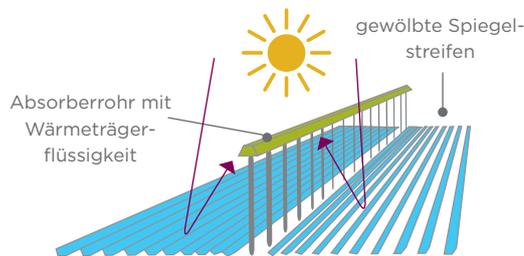
Bei dieser Methode wird mithilfe einer Parabolspiegelschüssel Sonnenlicht auf einem im Brennpunkt installierten Receiver gebündelt. Zu dieser Einheit gehört ein Wärmeempfänger und üblicherweise ein Generator. Die Technologie kann aber genauso modular genutzt werden und eignet sich für Orte, die nicht an das Stromnetz angeschlossen sind.

Parabolrinnen



Parabolspiegel bündeln hier das Sonnenlicht auf einen durch den Brennpunkt verlaufenden Absorber. Bei Parabolrinnen-Systemen zur Stromerzeugung ist das meist ein Rohr, das mit einer Wärmeträgerflüssigkeit, etwa einem synthetischen Öl, gefüllt ist. Der Absorber führt die Wärme zu einem Turbinengenerator, der mittels Wasserdampf Strom erzeugt.

Linear-Fresnel-Systeme



Ähnlich wie bei Parabolrinnen-Kollektoren reflektieren lange Spiegelstreifen, die nebeneinander in unterschiedlichen Winkeln installiert sind, das Sonnenlicht auf einen Absorber in der Brennpunktlinie der Spiegel. Der Absorber enthält eine Wärmeträgerflüssigkeit, die durch einen Wärmetauscher geleitet wird, um einen elektrischen Generator anzutreiben.

Abbildung 1: Technologien für Sonnenwärmekraftwerke oder CSP-Anlagen.

Quelle: IASS; auf Basis des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR).

Worin unterscheiden sich die Technologien?

Sonnenwärmekraftwerke funktionieren nach zwei unterschiedlichen Prinzipien: Es gibt Systeme mit Punktfokussierung und Systeme mit Linienfokussierung. Mit der Punktfokussierung lassen sich weitaus höhere Temperaturen erzielen, da eine größere Anzahl von Spiegeln zeitgleich auf einen einzigen Punkt gerichtet ist. Die Komplexität dieser Art Anlagen macht die Errichtung jedoch kostspielig. Installation und Instandhaltung von Anlagen mit Linienfokussierung sind aufgrund der relativ einfachen Bauweise und preiswerter Materialien kostengünstiger.

Wie wird die thermische Energie gespeichert?

Die in Sonnenwärmekraftwerken erzeugte Energie kann mittels eines Wärmeträgermediums, eines gesonderten Speicherfluids oder eines festen Mediums bis zu sechzehn Stunden gespeichert werden. In vielen Systemen wird für die Speicherung von thermischer Energie geschmolzenes Salz verwendet. Wann immer die Wärmeenergieleistung des Systems die Menge übersteigt, die zum Antreiben des Stromgenerators benötigt wird, wird die Wärmeenergie in die Salzschnmelzen geleitet und später nach Bedarf abgerufen. Durch die Speichermöglichkeiten ist die Abhängigkeit von direktem Sonnenlicht für diese Anlagen kein Problem. Sie funktionieren daher auch im großtechnischen Einsatz.

Sind die Technologien wettbewerbsfähig?

Sonnenwärmekraftwerke können ohne Brennstoffzufuhr Strom erzeugen. Bei der Errichtung der Anlagen

sind die Investitionskosten, also die Material- und Arbeitskosten, entscheidend. Diese fallen unterschiedlich hoch aus – je nach Standort und direkter Sonneneinstrahlung, gewählter Technologie, angestrebter Leistung und vielen weiteren Faktoren.

Ein wichtiges Maß um die wirtschaftliche Tragfähigkeit von Projekten im Bereich erneuerbare Energien zu beurteilen, sind die sogenannten Stromgestehungskosten (oder „*levelised cost of energy*“, LCOE). Der Wert steht für die Kosten, die pro Kilowattstunde anfallen für die Erbauung und den Betrieb eines Kraftwerks über eine angenommene wirtschaftliche Nutzungsdauer bei einem angenommenen Nutzungsgrad. In die Berechnung fließen sämtliche über die gesamte Laufzeit anfallenden Kosten ein, einschließlich der Kosten für Finanzierung, Instandhaltung, Steuern und so weiter.² Der LCOE-Wert vereinfacht das Vergleichen von unterschiedlichen Arten der Stromgewinnung.

Derzeit liegen die Gestehungskosten von Strom aus Sonnenwärmekraftwerken häufig noch über denen anderer erneuerbarer Energien wie Windkraft oder Photovoltaik. Auch konventionelle, mit fossilen Brennstoffen betriebene Kraftwerke weisen einen besseren LCOE-Wert auf. Das ist vor allem darauf zurückzuführen, dass die Technologien nicht ganz ausgereift sind. Konzentrierte Solarenergie steckt noch in den Startlöchern: Bisher gibt es weltweit lediglich 5 Gigawatt installierte Kapazität – bei 432 Gigawatt installierter Windkraft- und 222 Gigawatt installierter Photovoltaik-Kapazität.³ Experten gehen aber davon aus, dass die Kosten für das Errichten und Betreiben von Sonnenwärmekraftwerken erheblich sinken werden. Fortschritte bei der Materialentwicklung, bei der Konstruktion und Herstellung von Spiegeln und Receivern werden diese Energiequelle immer wettbewerbsfähiger machen.

Bündelungsmethode	CSP-Technologie	Erreichte Temperaturen (°C)	Flächenverbrauch ⁴	Investitionskosten	Installierte Kapazität in Megawatt
Punkt-fokussierung	Solarturm	800 - 1000	8 - 12	hoch	658
	Solar-Sterling-Anlage	>1000	8 - 12	durchschnittlich-hoch	1
Linien-fokussierung	Parabolrinne	350 - 550	6 - 8	durchschnittlich	4180
	Linear-Fresnel-System	300 - 550	4 - 6	niedrig	174

Tabelle 1: Merkmale unterschiedlicher CSP-Technologien auf einen Blick⁵

Quelle: IASS

In welchen Regionen ist konzentrierte Solarenergie sinnvoll?

Sonnenwärmekraftwerke sollten an Orten mit starkem und verlässlichem Sonnenlicht errichtet werden. Ob ein Standort geeignet ist, entscheiden Projektentwickler anhand des DNI-Wertes (für „direct normal irradiance“, direkte Sonneneinstrahlung). Der DNI-Wert gibt an, wie viel Sonneneinstrahlung pro Flächeneinheit auf eine Fläche trifft. Sie ist dabei immer senkrecht zu den Strahlen positioniert, die in direkter Linie von der Sonne kommen.⁶ Sonnenwärmekraftwerke arbeiten nur an Standorten wirtschaftlich die einen DNI-Wert von über 1.800 Kilowattstunden pro Quadratmeter und Jahr aufweisen. Das ist etwa im Südwesten der Vereinigten Staaten, dem Nahen Osten und Nordafrika, in Südafrika, Australien, Mexiko, Chile und in Teilen Südeuropas der Fall.

Mehr als 80% der bereits errichteten Sonnenwärmekraftwerke befinden sich in Spanien und den USA. Den Großteil davon machen Parabolrinnen- und Sonnenturmsysteme aus. Das Ivanpah Solar Electric Generating System in der Mojave-Wüste (Kalifornien, USA) ist das größte Sonnenwärmekraftwerk der Welt. Es besteht aus drei solarthermischen Anlagen,

jeweils mit eigenem Sonnenturm und eigenem Solarfeld. Das Kraftwerk hat eine Bruttoleistung von 392 Megawatt. In Spanien sind vierundvierzig Parabolrinnen-Kraftwerke mit einer Leistung von je 50 Megawatt in Betrieb. Das weltweit größte in Fresnel-Kraftwerk bietet eine Leistung von 125 Megawatt und befindet sich in Indien.

Welche wichtigen Projekte sind in der Planung?

Das Projekt TuNur ist aktuell das größte Einzelprojekt, an dem gerade gearbeitet wird. Die kalkulierte Gesamtkapazität beträgt 2,25 Gigawatt. Die Anlage wird aus achtzehn Sonnentürmen mit einer Leistung von jeweils 125 Megawatt bestehen. 2016 war der Baubeginn. Auch in Marokko wird in konzentrierte Solarenergie investiert. Das erste von insgesamt drei Sonnenwärmekraftwerken in Noor-Ouarzazate mit einer Leistung von 160 Megawatt ist bereits in Betrieb. 2018 sollen die drei Kraftwerke zusammen 510 Megawatt produzieren. Und auch von anderen Ländern ist bekannt, dass sie neue Projekte planen – darunter China, Chile und die Vereinigten Staaten mit einer voraussichtlichen Gesamtleistung von 1.864, 1.300 und 810 Megawatt.

VERFÜGBARE SOLARENERGIE IM WELTWEITEN VERGLEICH

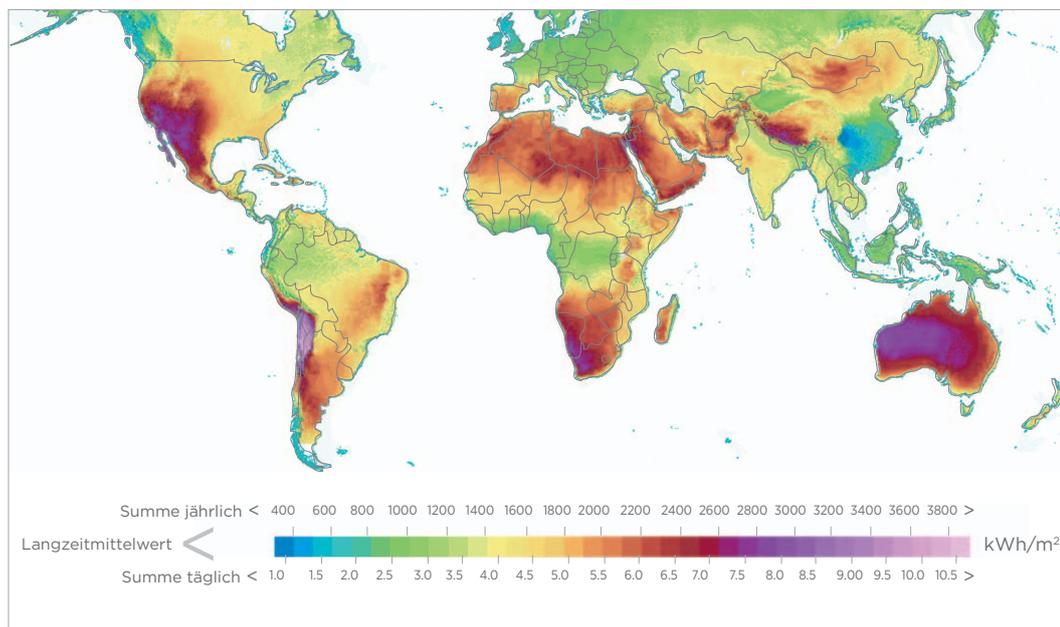


Abbildung 2: Globale Verteilung der direkten Sonneneinstrahlung

Quelle: IASS; auf Basis von DNI Solar Map 2015 Solargis

Ist konzentrierte Solarenergie nachhaltig?

Sonnenwärmekraftwerke werden meist in trockenen Regionen errichtet. Die Versorgung der Dampfturbinen mit Wasser ist zum Teil kritisch. Im Vergleich zu anderen Energiequellen bietet konzentrierte Solarenergie aber heute schon Vorteile, wenn es um die CO₂-Bilanz oder den Flächen- und Wasserverbrauch geht. Diese positiven Umweltaspekte bei einer gleich-

zeitig zuverlässigen und flexiblen Stromversorgung sprechen für konzentrierte Solarenergie. Sie könnte in einem nachhaltigen Strommix der Zukunft eine entscheidende Rolle spielen. Denn der großtechnische Einsatz von Sonnenwärmekraftwerken sorgt für bessere Luftqualität und wirkt der globalen Klimaerwärmung entgegen.

KONZENTRIERTE SOLARENERGIE: WIE GEHT ES WEITER?

Die ersten kommerziellen Sonnenwärmekraftwerke wurden vor mehr als dreißig Jahren errichtet. Hohe Kapitalkosten, ein Mangel an Innovationen und die Konkurrenz zur Photovoltaik haben den gezielten Ausbau der konzentrierten Solarenergie aber gebremst. Branchenbeobachter sehen für die nächsten Jahre jedoch ein kontinuierliches Wachstum voraus, das durch ambitionierte Ziele im Bereich erneuerbarer Energien, sinkende Betriebskosten, höhere Betriebstemperaturen und ein deutliches Effizienzplus vorangetrieben wird.

Der Ausbau der konzentrierten Solarenergie in Schwellenländern wird voraussichtlich anhalten. Denn Sonnenwärmekraftwerke verringern die Abhängigkeit von Brennstoffimporten, erhöhen die Sicherheit der Energieversorgung und schützen die Umwelt und Gesundheit von Menschen. Aufgrund dieser zahlreichen Vorteile wird konzentrierte Solarenergie in den nächsten Jahren immer wichtiger werden. Laut Internationaler Energieagentur (IEA) könnte der weltweite Anteil an der Stromerzeugung bis 2050 auf 11% steigen.

¹ www.csptoday.com

² U.S. Energy Information Administration (2014). *Levelized Cost and Levelized Avoided Cost of New Generation Resources in the Annual Energy Outlook 2014*. Abrufbar auf: https://www.eia.gov/forecasts/aeo/pdf/electricity_generation_2014.pdf.

³ International Renewable Energy Agency (2016). *Renewable Capacity Statistics 2016*. Abrufbar auf: http://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/IRENA_RE_Capacity_Statistics_2016.pdf

⁴ in Quadratmetern pro Megawattstunde und Jahr

⁵ Quellen: Müller-Steinhagen, H., Trieb, F. (2004). *Concentrating Solar Power – A Review of the Technology*. *Ingenia*, 18, S. 43–50; Lovegrove, K., Stein, W. (2012). *Concentrating Solar Power Technology – Principles, Developments and Applications*. Woodhead Publishing, Cambridge; www.csptoday.com.

⁶ Solar Electric Power Association (2014). *Predicting Solar Power Production: Irradiance Forecasting Models, Applications and Future Prospects*. Abrufbar auf: <http://www.sepapower.org/>.

Institute for Advanced Sustainability Studies Potsdam (IASS) e.V.

Das von den Forschungsministerien des Bundes und des Landes Brandenburg geförderte Institut hat das Ziel, Entwicklungspfade für die globale Transformation zu einer nachhaltigen Gesellschaft aufzuzeigen. Das IASS folgt einem transdisziplinären, dialogorientierten Ansatz zur gemeinsamen Entwicklung des Problemverständnisses und von Lösungsoptionen in Kooperation zwischen den Wissenschaften, Politik, Wirtschaft und Gesellschaft. Ein starkes nationales und internationales Partnernetzwerk unterstützt die Arbeit des Instituts. Zentrale Forschungsthemen sind unter anderem die Energiewende, aufkommende Technologien, Klimawandel, Luftqualität, systemische Risiken, Governance und Partizipation sowie Kulturen der Transformation.

Kontakt zu den Autorinnen:

Mohammed Qader: mohammed.qader@iass-potsdam.de

Stefan Stückrad: stefan.stueckrad@iass-potsdam.de

Redaktion:

Alexander Grieb

Adresse:

Berliner Strasse 130

14467 Potsdam

Germany

Phone: 0049 331-28822-340

e-mail: media@iass-potsdam.de

www.iass-potsdam.de

DOI: 10.2312/iass.2016.037

