

Konzentrierende solare Kollektoren für Prozesswärme und Stromerzeugung

Konzentrierende solarthermische Kollektoren für globale Märkte

Konzentrierende Kollektoren eignen sich besonders für die Erzeugung von Prozesswärme und Strom in Klimazonen der Erde mit hohem solarem Direktstrahlungspotenzial. Der sogenannte Sonnengürtel der Erde erstreckt sich links und rechts vom Äquator und schließt Südeuropa, Nordafrika und die großen Wüsten unseres Planeten mit ein.

Kollektoren im Temperaturbereich von ca. 250 °– 450 ° eignen sich für den Einsatz in solarthermischen Kraftwerken, wie sie zum Beispiel auch für das Desertec Projekt geplant sind. Bisher wird in Parabolrinnenkraftwerken vorwiegend Thermoöl als Wärmeträgermedium einge-

setzt. Eine zukünftige Alternative ist die Direktverdampfung von Wasser für Parabolrinnen und lineare Fresnel-Kollektoren, einem kostengünstigen und umweltfreundlichen Wärmeträgermedium. Kleinere konzentrierende Kollektoren, die Prozesswärme bei Temperaturen zwischen 150 °C und 300 °C erzeugen, eignen sich für die solare Kühlung sowie für gekoppelte Wärme- und Stromerzeugung. Hiermit kann die direkte Versorgung von Industriebetrieben mit Wärme/Kälte und Strom erfolgen. Das ist besonders interessant in Regionen mit instabilen Stromnetzen oder in netzfernen Gebieten. Allein in Indien beträgt die nicht netzgebundene Stromerzeugung im Leistungsbereich unter 1 MW_{el} 12 % des gesamten Strombedarfs.

In Europa entfallen ca. 27 % des gesamten Endenergiebedarfs auf industrielle Prozesswärme. Dabei fallen ca. 30 % dieses Bedarfs bei

Fraunhofer ISE

Anna Heimsath
anna.heimsath@ise.fraunhofer.de

Werner Platzer
werner.platzer@ise.fraunhofer.de

Stefan Heß
stefan.hess@ise.fraunhofer.de

DLR

Dirk Krüger
dirk.krueger@dlr.de

Markus Eck
markus.Eck@dlr.de









>450 °C			Stromerzeugung
250–450 °C			Stromerzeugung Prozesswärme
150–250 °C			Prozesswärme, Solare Kühlung Dezentrale Stromerzeugung
80–150 °C			Solare Kühlung Niedertemperatur-Prozesswärme

Abbildung 1
Übersicht konzentrierende Kollektoren, Anwendungen und korrespondierende Arbeitstemperaturen

*Abbildung 2
Zweites Testmuster des
RefleC-Kollektors bei
Vermessung der
Wirkungsgradlinie am
Fraunhofer ISE (um
90° gegen Uhrzeiger-
sinn gedreht).*



Temperaturen unter 100 °C und noch ca. weitere 27 % im Bereich zwischen 100 und 400 °C an [1].

Ein Großteil der Prozesswärme lässt sich solar erzeugen. Prozesse mit hohem Potenzial für die Integration von Niedertemperatur-Prozesswärme bis 150 °C und Mitteltemperatur-Prozesswärme bis 400 ° finden sich beispielsweise in der Lebensmittel- und der Textilindustrie, aber auch in Wäschereien, in der Metall- und der Papierindustrie.

Stationäre Kollektoren zur Erzeugung von Niedertemperatur-Prozesswärme

Ein Ansatz zur Erschließung des enormen Potenzials im Bereich der Niedertemperatur-Prozesswärme ist die Entwicklung von niedrig konzentrierenden, stationären (nicht der Sonne nachgeführten) Kollektoren. Diese haben gegenüber fokussierenden Kollektoren den Vorteil, dass auch ein großer Anteil der diffusen Solarstrahlung für die Energiewandlung genutzt werden kann. Im Vergleich zu Standard-Flachkollektoren weisen sie in der Regel deutlich niedrigere Wärmeverluste auf. Damit eignen

sich diese Kollektoren für den Temperaturbereich zwischen 80 °C und 150 °C [2].

Beispielhaft für ein solches Kollektorkonzept zeigt *Abbildung 2* den sog. RefleC-Kollektor, der im Rahmen eines vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit geförderten Projekts von der Firma Wagner & Co. Solartechnik in Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer ISE entwickelt wird.

Auf der Technik von Standard-Flachkollektoren aufbauend werden folgende Ziele verfolgt:

- Reduktion der Wärmeverluste durch den Einsatz einer zweiten transparenten Kollektorabdeckung und der konzentrierenden Reflektoren
- Verglichen mit Vakuumröhrenkollektoren geringere Kosten und besseres Entleerverhalten im Stagnationsfall
- Anpassung der maximalen Kollektorleistung an das Lastprofil der zu unterstützenden Anwendung (über die Form der Reflektoren)

Simulationsergebnisse lassen in Würzburg für die in *Abbildung 2* dargestellte Variante bei einer konstanten Eintrittstemperatur von 120 °C gegenüber einem zweifach abgedeckten Flachkollektor auf einen um 40 % erhöhten Jahresenergieertrag schließen, der sich durch den Einsatz der Reflektoren ergibt.

Direktverdampfung für Kraftwerke

Bei der Stromerzeugung in solarthermischen Kraftwerken wird der Systemwirkungsgrad maßgeblich durch die obere Prozesstemperatur bestimmt. Aktuell wird in Parabolrinnen-Feldern ein synthetisches Wärmeträgeröl eingesetzt, das bis ca. 400 °C thermisch stabil ist. Eine weitere Anhebung der Prozesstemperatur und damit des Systemwirkungsgrades ist mit diesem Ansatz nicht möglich.

Wird dagegen Wasser in den Kollektorfeldern direkt verdampft und überhitzt, so kann die obere Prozesstemperatur deutlich gesteigert werden. Die direkte Verdampfung des Wassers im Kollektorfeld ist aufgrund der auftretenden Zweiphasenströmung und des großen Dichteunterschiedes zwischen Wasser und Dampf, verfahrenstechnisch deutlich anspruchsvoller als die aktuelle Technologie. Die grundsätzliche Beherrschbarkeit der solaren Direktverdampfung, wurde an der so genannten DISS-Test-Anlage auf der Plataforma Solar de Almería (PSA) in mittlerweile mehr als 10.000 Betriebsstunden erfolgreich demonstriert.

Aktuelle Entwicklungsziele bestehen darin, Kernkomponenten des Kollektorfeldes soweit zu verbessern, dass sie bei Temperaturen bis 500 °C und Drücken bis ca. 130 bar einsetzbar sind.

Die Forschungsanstrengungen konzentrieren sich dabei auf

- das Absorberrohr, bei dem insbesondere die Temperaturstabilität der selektiven Beschichtung erhöht werden muss,
- die flexiblen Rohrverbindungen, die bei den deutlich höheren Prozessdrücken beweglich bleiben müssen, und
- das Speichersystem, bei dem wirtschaftliche Lösungsansätze für die Speicherung der latenten Verdampfungswärme erarbeitet werden.

Die Entwicklungsarbeiten haben inzwischen einen Reifegrad erreicht, der deutsche und spanische Konsortien ermutigt hat, erste Demonstrationsanlagen zu realisieren. Anfang 2009 nahm die Firma Novatec-Biosol in der Nähe von Murcia (Spanien) das erste solarthermische Kraftwerk mit solarer Direktverdampfung in Betrieb. Das Kraftwerk hat eine elektrische Leistung von 1,2 MW und verwendet lineare Fresnelkollektoren (*Abbildung 3*).

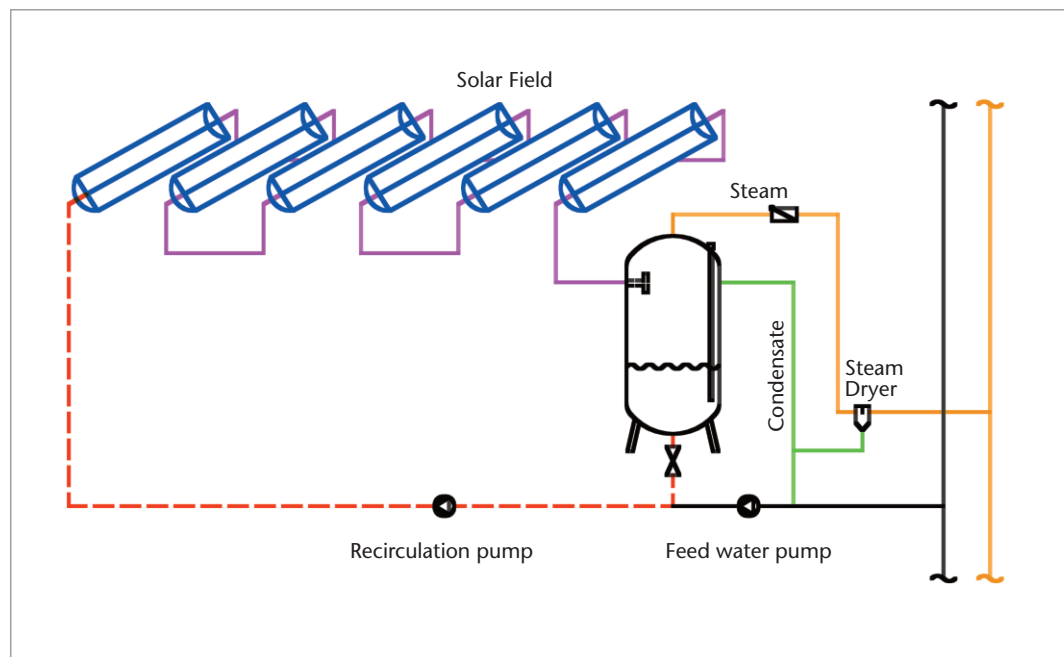
Industrielle Prozesswärme und Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung

Wasserdampf wird in Industriebetrieben und Hotels oftmals zur thermischen Versorgung verschiedener Verbraucher verwendet.



Abbildung 3
Kollektorfeld des ersten solarthermischen Kraftwerkes mit solarer Direktverdampfung in der Nähe von Murcia
(Foto: Novatec-Biosol)

Abbildung 4
Wasser-Dampf-Kreislauf
für die direkte solare
Prozessdampf-
erzeugung



Ein wesentlicher Vorteil sind kleine Wärmeübertragerflächen und schnelles Aufheizen der angeschlossenen Prozesse. Solarkollektoren können Dampf dafür bereitstellen, jedoch gibt es bisher nur wenige realisierte Anlagen, die dieses umsetzen. Dabei wurde der Dampf indirekt erzeugt, im Solarfeld wurde Öl oder Druckwasser erhitzt und in einen Dampferzeuger oder in eine Entspannung geführt. Durch eine direkte Verdampfung im Solarfeld können allerdings der Wirkungsgrad erhöht und möglicherweise die Anlagenkosten gesenkt werden [3].

Die Direktverdampfung wird derzeit im Projekt „Pilotanlage zur solaren Prozesswärmeerzeugung mit Parabolrinnenkollektoren“ demonstriert. Hierzu wurden mit Unterstützung des BMU 100 m² Kollektoren des Typs PTC1800 der Firma Solitem auf dem Dach einer Produktionshalle der Firma Alanod aufgestellt [4]. Das Solarfeld wird im Rezirkulationsmodus betrieben, d. h., nur ein Teil des Wassers wird verdampft. Das Wasser/Dampf-Gemisch wird in eine Dampftrommel geführt und dort getrennt. Der Satttdampf wird der Dampfschiene der Produktion zugeführt, sobald ein Druck über 4 bar (abs) entsprechend einer Temperatur von 143 °C erreicht ist. Das Wasser der Dampftrommel wird wieder in das Solarfeld gepumpt (rezirkuliert). Die verdampfte Wassermenge wird

dem Solarfeld aus der Kondensatleitung wieder zugeführt (Abbildung 4).

Die kombinierte Erzeugung von Strom und Wärme wurde am Fraunhofer ISE im BMU geförderten Projekt „Medifres“ ausführlich untersucht. Fallstudien haben gezeigt, dass sich unter günstigen Bedingungen in strahlungsreichen Ländern schon heute der Ersatz von Dieselgeneratoren durch solare Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung lohnt. Eine Vernetzung von Firmen und Forschungsinstituten zum Thema „Medium and Small Scale CSP“ wird über die Homepage www.mss-csp.info ermöglicht.

Zusammenfassung und Ausblick

Konzentrierende Kollektoren können einen wichtigen Beitrag leisten zur zukünftigen solaren Wärme- und Stromversorgung. Konzentrierende Kollektoren unterstützen die Industrie dabei, von fossilen Energieträgern unabhängiger zu werden.

Dezentrale Kraft-Wärme-Kältekopplung kann eine interessante zukünftige Option sein. Um diese Technologien global zu etablieren sind

weitere Demonstrationsprojekte notwendig sowie Forschung und Entwicklung im Bereich kleiner Wärmekraftmaschinen, Systemintegration und an Zielmärkte angepasste Kollektorentwicklung, um die konzentrierenden Kollektoren in Zukunft als einen wichtigen Baustein zu entwickeln.

Literatur

- [1] Werner S. (2007): "The European Heat Market", ECOHEATCOOL – Work Package 1. Final Report, IEE ALTENER Project, Euroheat & Power, Belgium
- [2] Weiß, W. et al. (2008): "Process Heat Collectors", IEA Task 33/IV: Solar Heat for Industrial Processes. AEE INTEC, Gleisdorf. www.iea-shc.org/task33/publications/index.html
- [3] Krüger, Dirk; Hennecke, Klaus; Hirsch, Tobias; Eck, Markus: Demonstration solarer Prozessdampferzeugung. 10. Kölner Sonnenkolloquium, Köln, 21.6.2007
- [4] Hennecke, Klaus; Hirsch, Tobias; Krüger, Dirk; Lokurlu, Ahmet; Walder, Markus: The P3 Demonstration Plant: Direct Steam Generation for Process Heat Applications. In: Proceedings of the 14th International SolarPACES Symposium, Las Vegas, USA, 3.–7. März 2008
- [5] Platzer, Werner (2009), „Solarthermische Kraftwerke für den mittleren Leistungsbereich – Machbarkeitsstudie unter Einbeziehung neuer Kraftwerkskomponenten und Versorgungsstrategien“, Endbericht MEDIFRES, Freiburg, Oktober 2009