

## Solarthermische Kraftwerke und Hochtemperatur-Solarthermie (Strom und Prozesswärme)

**Solarturm des DLR in Jülich**  
Über 2000 bewegliche Spiegel (Heliostate) lenken einfallende Sonnenstrahlen auf den Solarturm, wo die konzentrierten Strahlen von einem Receiver aufgenommen und in Wärme umgewandelt werden. Angesaugte Umgebungsluft erhitzt sich auf bis zu 700 °C und erzeugt so Wasserdampf, der eine Turbine antreibt, die dann über einen Generator Strom produziert.

© DLR



### Kontakte

#### DLR

Prof. Dr. Robert Pitz-Paal  
Tel.: 02203/601-2744  
robert.pitz-paal@dlr.de

Prof. Dr. Bernhard Hoffschmidt  
Tel.: 02203/601-3200  
bernhard.hoffschmidt@dlr.de

#### Fraunhofer ISE

Dr.-Ing. Wolfgang Kramer  
(Solarthermie)  
Tel. 0761/4588-5096  
wolfgang.kramer@ise.fraunhofer.de

Dr. Thomas Fluri  
(Hochtemperaturspeicher für Kraftwerke)  
Tel.: 0761/4588-5994  
thomas.fluri@ise.fraunhofer.de

Dr. Thomas Schlegl  
(Energiesystemanalyse)  
Tel.: 0761/4588-5473  
thomas.schlegl@ise.fraunhofer.de

#### KIT

Prof. Dr. Robert Stieglitz  
Tel.: 0721/608-22550  
robert.stieglitz@kit.edu

Prof. Dr. Thomas Wetzel  
Tel.: 0721/608-23462  
thomas.wetzel@kit.edu

#### Wuppertal Institut

Dr. Peter Viebahn  
(Technikbewertung)  
Tel.: 0202/2492-306  
peter.viebahn@wupperinst.org

In solarthermischen Kraftwerken (engl. CSP = Concentrating Solar Power) wird mittels konzentrierender Kollektorsysteme eine so hohe Temperatur in einem Wärmeträgerfluid erzeugt, dass damit der Einsatz von fossilen Brennstoffen in einem konventionellen Kraftwerk ganz oder teilweise ersetzt werden kann. Die Technologie kann auch zur Bereitstellung von industrieller Prozesswärme, zur Kraft-Wärme-Kopplung und zur Entsalzung verwendet werden.

Solarthermische Kraftwerke sind zum Ausgleich der fluktuierenden Erneuerbaren wie Wind und PV geeignet, da sie in Kombination mit thermischen Energiespeichern (z. B. Speichertanks mit heißem geschmolzenem Salz) den Betrieb der Anlage auch bei Wolkendurchgängen oder nach Sonnenuntergang fortsetzen können. Zusätzlich kann ein Dampfkessel für fossilen Brennstoff, Müll oder Biomasse dafür eingesetzt werden, die sonnenarmen Zeiten zu überbrücken.

- + Solarthermische Kraftwerke können bedarfsgerecht Strom produzieren, weil sie kostengünstig thermische Energiespeicher integrieren oder fossile und biogene Brennstoffe zufeuern können. Sie können dies heute deutlich preiswerter als Batterien.
- + Mit konzentrierenden Kollektoren kann außerdem kostengünstige Hochtemperaturprozesswärme erzeugt werden.
- + Solarthermische Kraftwerke haben eine Energierücklaufzeit von wenigen Monaten.
- + Solarthermische Kraftwerke treiben rotierende Generatoren an und erhöhen damit die Netzstabilität.

### Potenziale

Bis Ende 2017 waren nach Angaben von SolarPACES 5,3 GW an solarthermischen Kraftwerken in Betrieb und etwa 1,3 GW im Bau sowie 4,4 GW in der Planung. Insbesondere in der MENA-Region und in China erfolgt zur Zeit das größte Wachstum.

Dabei sind deutliche Kostensenkungen zu beobachten: Verträge zu Stromlieferung aus solarthermischen Kraftwerken mit Speicher wurden 2018 in Dubai mit 7,3 \$cents/kWh abgeschlossen. In Verbindung mit PV-Systemen lässt sich Strom rund um die Uhr zu noch geringeren Kosten erzeugen.

Die weitere Integration solarthermischer Systeme in das europäische Verbundnetz erhöht die Stabilität der Netze auch in Deutschland und erlaubt mittelfristig sehr große Mengen an volatilen Wind- und PV-Strom stabil zu integrieren.

Ebenfalls besteht ein großes Potenzial für die Deckung des industriellen Prozesswärmebedarfs. Deutsche Unternehmen sind in der Projektentwicklung, bei Auslegung und bei der Lieferung von Komponenten im internationalen Wettbewerb gut aufgestellt.

## Forschungs- und Entwicklungsbedarf

Bei solarthermischen Kraftwerken unterscheidet man diese Typen:

- Parabolrinnensysteme
- Solarturmsysteme
- Fresnelkollektorsysteme

Für alle drei solarthermischen Kraftwerkstypen besteht folgender F&E-Bedarf mit dem übergeordneten Ziel der Kostensenkung:

- 1) Integrationskonzepte für solarthermische Kraftwerke und Wärmespeicher im Verbund mit anderen erneuerbaren Energien mit dem Ziel einer bedarfsgerechten Bereitstellung von Strom und/oder Wärme, z. B. durch
  - Entwicklung neuer Hybridkraftwerke (z. B. CSP+PV oder CSP+Bioenergie)
  - Optimierung der Speicher in Bezug auf Be- und Entladeverhalten
  - Erhöhung der Wüstantauglichkeit und Minimierung des Wasserverbrauchs
- 2) Techno-ökonomische Effizienzsteigerung von solarthermischen Kraftwerken zur planbaren netzstabilisierenden Bereitstellung kostengünstiger elektrischer Energie, z. B. durch
  - Erhöhung der Receiver-Austrittstemperaturen zur Steigerung des Systemwirkungsgrades
  - Kostenoptimierung thermischer Speicher
  - Verbesserung des optischen und thermischen Wirkungsgrades von Konzentrator und Receiver
  - Gewichtsreduktion durch Struktur- und Materialoptimierung von Kollektoren und Konzentratoren
- 3) Nutzung innovativer digitaler Technologien, um CSP-Kraftwerke kostengünstiger, effizienter und zuverlässiger zu machen, z. B. durch
  - Automatisierung des Anlagenbetriebs mithilfe hochaufgelöster lokaler Strahlungsvorhersage (nowcasting)
  - Optimierung der Fertigungs- und Montagelogistik (BIM) und Nutzung von Rapid Prototyping/additiven Fertigungsverfahren (3D-Druck) für Schlüsselkomponenten, um Entwicklungszyklen zu beschleunigen
  - hochaufgelöste optische Messtechnik zur beschleunigten Inbetriebnahme sowie zur Erfassung des Betriebs-, Verschmutzungs- und Degradationszustands von Solarfeldern und Receivern in Verbindung mit maschinellem Lernen
- 4) Vorbereitung von Standards durch die Entwicklung von robusten Mess- und Prüfverfahren um die die Qualität von Komponenten und Subsystemen zu erfassen
  - Entwicklung von Messverfahren zur Zertifizierung von Komponenten und Systemen
  - In-situ Testverfahren zur Abnahme von Kollektorfeldern

- Entwicklung beschleunigter Alterungsverfahren für Aussagen über die Lebensdauer der kritischen Komponenten

### Parabolrinnen- und Fresneltechnologie

- Weiterentwicklung der Direktverdampfungs-Technologie
- Entwicklung alternativer Wärmefluidе wie Silikonöle und Salzschnelzen
- Selektive Solarabsorberschichten für hohe Temperaturen um 500 °C
- Entwicklung neuer optischer Konzentratorkonzepte

### Solarturm-Technologie

- Technologieentwicklung zur Einkopplung der Solarwärme in Gasturbinen zur Erschließung des Hochtemperaturpotenzials
- Entwicklung kostengünstiger bzw. hochreflektierender Spiegel, sowie Heliostate und Heliostatfeldsteuerungssysteme
- Neue Wärmeträgerfluide mit erweitertem Temperatureinsatzbereich von 100–1000 °C (Salzmischungen, keramische Partikel, Metallschnelzen)

### F&E für Hochtemperatur-Prozesswärme

Der Prozesswärmebedarf (80 bis 250 °C) verläuft in einigen Branchen parallel zum Strahlungsangebot. So könnten im Sommer nennenswerte Anteile des erhöhten Kühlbedarfs für Lebensmittel solar gedeckt werden. Insbesondere in Verbindung mit Wärmespeichern kann solare Prozesswärme auch für industrielle Prozesse bereitgestellt werden.

- Entwicklung integrierter Solaranlagentechnologien in mehreren Leistungsklassen und Demonstration in Pilotanlagen
- Entwicklung hocheffizienter und kostengünstiger Kollektoren, darunter auch konzentrierender Systeme für industrielle und gewerbliche Prozesswärme (auch in Verbindung mit KWK) sowie Meerwasserentsalzung
- Identifizierung erfolgversprechender Anwendungen durch Vorstudien (Screening) in Zusammenarbeit mit Forschungseinrichtungen und Branchenverbänden (z. B. Getränkeindustrie)
- Monitoring des Anlagenbetriebs und Zusammenfassung der Ergebnisse in Branchenenergiekonzepten
- Weiterentwicklung und Optimierung von Systemkomponenten und von Regelungs- bzw. Betriebsautomatisierungssystemen
- Aufbau, Betrieb und Monitoring von Pilotanlagen
- Entwicklung und Kostenoptimierung von Komponenten (z. B. Absorber und Speicher) für die jeweiligen Anwendungstemperaturen
- Entwicklung angepasster Finanzierungs- und Geschäftsmodelle zur Förderung der Markteinführung bzw. Marktdurchdringung

## Niedertemperatur-Solarthermie (Wärme)

Röhrenkollektor  
© Fraunhofer ISE



### Kontakte

#### DLR

Prof. Dr. Robert Pitz-Paal  
Tel.: 02203/601-2744  
robert.pitz-paal@dlr.de

Prof. Dr. Bernhard Hoffschmidt  
Tel.: 02203/601-3200  
bernhard.hoffschmidt@dlr.de

Klaus Hennecke  
Tel.: 02203/601-3213  
klaus.hennecke@dlr.de

#### Fraunhofer IEE

Dr. Dietrich Schmidt  
(Gesamtsystembetrachtung)  
Tel.: 0561/804-1871  
dietrich.schmidt@iee.fraunhofer.de

Dr. Michael Krause  
(Komponentenbewertung,  
Systemauslegung und Betrieb)  
Tel.: 0561/804-1875  
michael.krause@iee.fraunhofer.de

#### Fraunhofer ISE

Dr.-Ing. Wolfgang Kramer  
(Thermische Solaranlagen)  
Tel.: 0761/4588-5096  
wolfgang.kramer@ise.fraunhofer.de

Dr. Korbinian Kramer  
(Prüfung und Zertifizierung,  
TestLab Solar Thermal Systems)  
Tel.: 0761/4588-5139  
korbinian.kramer@ise.fraunhofer.de

#### ISFH

Dr. Federico Giovannetti  
(Kollektoren)  
Tel.: 05151/999-501  
f.giovannetti@isfh.de

Carsten Lampe  
(Prüfung und Zertifizierung,  
Thermal applications ISFH CalTeC)  
Tel.: 05151/999522  
c.lampe@isfh.de

Dr. Rolf Reineke-Koch  
(Beschichtungen)  
Tel.: 05151/999-431  
r.reineke-koch@isfh.de

#### ZAE Bayern

Manfred Reuß  
Tel.: 089/329442-30  
manfred.reuss@zae-bayern.de

Rund 40% des Endenergieverbrauchs werden heute zur Beheizung von Gebäuden aufgewendet. Mittel- bis langfristiges Ziel ist es, im Neubau eine weitgehend vollständige Wärmeversorgung (Heizen und Brauchwasser) auf Basis von Solarwärme (aktiv und passiv) zu erreichen und im Gebäudebestand einen nennenswerten Anteil abzudecken. Ein weiteres Anwendungsgebiet mit wachsender Bedeutung ist die Bereitstellung von Prozesswärme auf höherem Temperaturniveau.

- + einfache und effiziente Wärmeerzeugung im Niedertemperaturbereich
- + niedrige Wartungs- und Betriebskosten
- + Verfügbarkeit und hohe flächenspezifische Erträge der Solarenergie
- + hohe Lebensdauer im Vergleich zu anderen Wärmeerzeugern

+ Niedertemperatur-Solarthermie ist mit allen anderen, konventionellen und erneuerbaren Wärmeerzeugern kompatibel und hat dabei systemstabilisierende Wirkung.

Sonnenkollektoren wandeln die auftreffende Sonnenstrahlung in Wärme um. Sie kann mit unterschiedlichen Technologien in verschiedenen Temperaturbereichen genutzt werden:

- Solarthermische Flach- oder Vakuumröhrenkollektoren erwärmen Brauch- und Trinkwasser für Haushalt und Raumheizung.
- Flach- und Vakuumkollektoren sowie konzentrierende Solarkollektoren (Parabolrinnen- und lineare Fresnelssysteme) stellen Prozesswärme auf höherem Temperaturniveau bereit für industrielle Anwendungen, für die Unterstützung von Wärmenetzen und zur Gebäudeklimatisierung.

### F&E für Niedertemperatur-Solarthermie

- Entwicklung effizienter Kollektoren und Anlagenkonzepte für die Gebäudeheizung zur Erhöhung der Betriebssicherheit und Senkung der Kosten im System
- Konzepte zur Reduzierung des Installationsaufwandes
- Entwicklung von Photovoltaik/Solarthermie-Hybridkollektoren, insbesondere im Kontext einer optimierten Systemintegration
- Entwicklung verbesserter und kostengünstiger Langzeitspeicher
- Entwicklung von modellbasierten vernetzten Regelungssystemen und Fernüberwachungsverfahren zur Ertragsoptimierung
- Konzepte für die Integration von Solarkollektoren in die Gebäudehülle bzw. Entwicklung von solaraktiven Gebäudehüllen
- Weiterentwicklung und Erprobung von Systemkonzepten zur solarer Deckung über 50%, mit den

- Schwerpunkten Vereinfachung der Systemtechnik und Kostensenkung
- Nachweis der Wirksamkeit von Niedertemperatur-Solarthermie in Bezug auf Endenergieeinsparung in breit angelegten Felduntersuchungen
- Entwicklung effizienter und kostengünstiger Kollektoren zur Wärmeerzeugung auf höherem Temperaturniveau
- Demonstration von „neuen“ Anwendungsfeldern mit Evaluierung des Anlagenbetriebs: Mehrfamilienhäuser, Solare Wärmenetze (gesamte Bandbreite: kalte Nahwärme, Low-Ex, 100 °C Netze), Prozesswärme
- Neue Materialien für kostengünstige Systeme und intelligente Gebäudeintegration
- Weiterentwicklung der Systemtechnik von Solarluftkollektoren