

# Die Rolle konzentrierender Solarsysteme für die Strom-, Wärme- und Brennstoffversorgung in Europa

Die Herausforderung der Dekarbonisierung betrifft alle Sektoren gleichermaßen: Strom, Wärme/Kälte und Transport. Während bei der Stromproduktion der Anteil der erneuerbaren Energieträger in Deutschland und weltweit in den letzten Jahren stark angestiegen ist, ist er in den anderen beiden Sektoren noch vergleichsweise gering [1, 2]. Der weitere Ausbau der erneuerbaren Energieträger im Stromsektor erscheint heute als ein relativ leicht zu erreichendes Ziel, wohingegen die Wärmeversorgung und der Verkehrssektor vor komplexen Herausforderungen stehen, deren Lösung noch intensive Anstrengungen und Zeit erfordern werden. Innovative Multi-Technologie-Lösungen sind hierzu erforderlich, die sich auf die drei oben genannten Sektoren auswirken. Im Folgenden wird erläutert, wie die konzentrierte Solartechnik einen Teil zur Lösung dieser Herausforderungen beitragen kann.

## Konzentrierende Solartechnik

Hier werden konzentrierende Kollektoren genutzt, um die direkte Solarstrahlung zu bündeln und somit die Energiedichte zu erhöhen. Die Spiegelflächen der Kollektoren konzentrieren die Solarstrahlung auf einen Wärmeübertrager (Englisch: Receiver), in dem ein Wärmeträgerfluid erhitzt wird.

### Kollektor-Technologien

Es werden je nach Technologie unterschiedliche Kollektoren eingesetzt, die sich in ihrer Form und Anordnung unterscheiden:

- Linienfokussierende Systeme wie Parabolrinnen- oder Linear-Fresnel-Systeme, konzentrieren die Solarstrahlung auf ein Absorberrohr, durch welches ein Wärmeträgerfluid wie z. B. Thermoöl, Flüssigsalz oder Wasser strömt. Diese Systeme werden einachsig nachgeführt und erreichen eine bis etwa 100-fache Konzentration der Solarstrahlung.

- Punktfokussierende Systeme wie Solarturmsysteme nutzen eine Vielzahl von Spiegeln, sogenannte Heliostate, die jeweils einzeln dem Sonnenstand zweiachsig nachgeführt werden und die Strahlung auf einen Receiver auf der Spitze eines Turmes konzentrieren. Hierbei wird die Solarstrahlung um etwa 500-fach bis 1000-fach konzentriert.

Die Konzentrationsstärke der Solarstrahlung hat direkten Einfluss auf die maximale Temperatur, die im Receiver erreicht werden kann. Mit linienfokussierenden Systemen kann heute das Wärmeträgerfluid auf Temperaturen bis ca. 500 °C erhitzt werden. Punktfokussierende Systeme erreichen Temperaturen teilweise über 1000 °C.

Bei der Auswahl und Auslegung des Gesamtsystems sind die Beschaffenheit des eingesetzten Wärmeträgermediums und dessen obere Einsatztemperatur wichtige Faktoren, die sowohl die Bauweise des Receivers als auch der Gesamtanlage mitentscheiden.

### Wärmespeicher

Konzentrierende solarthermische Anlagen zeichnen sich insbesondere dadurch aus, dass sie thermische Energiespeicher (z. B. Speichertanks mit heißem, geschmolzenem Salz) integrieren können. Diese Art der Speicherung ist deutlich einfacher, effizienter und kostengünstiger als die Speicherung elektrischen Stroms.

Die Integration von Wärmespeichern ermöglicht den Weiterbetrieb einer Anlage auch bei Wolkendurchgängen oder nach Sonnenuntergang und bietet somit die Möglichkeit, Produktion und Bedarf der Energie zeitlich voneinander zu entkoppeln. Dies macht eine Flexibilisierung des Anlagenbetriebes möglich und erlaubt es, die Energie bedarfsgerecht zur Verfügung zu stellen. Zusätzlich lässt sich die Wärmeerzeugung durch den Einsatz von fossilem oder biogenem Brennstoff weiter an den Bedarf anpassen. Wie dies im Einzelnen für die unterschiedlichen Sektoren aussehen kann, wird im Folgenden erläutert.



*DLR*

*Dr. Martina Neises von Puttkamer  
martina.neises@dlr.de*

*Prof. Dr. Robert Pitz-Paal  
robert.pitz-paal@dlr.de*

*Fraunhofer ISE*

*Dr. Thomas Fluri  
thomas.fluri@ise.fraunhofer.de*

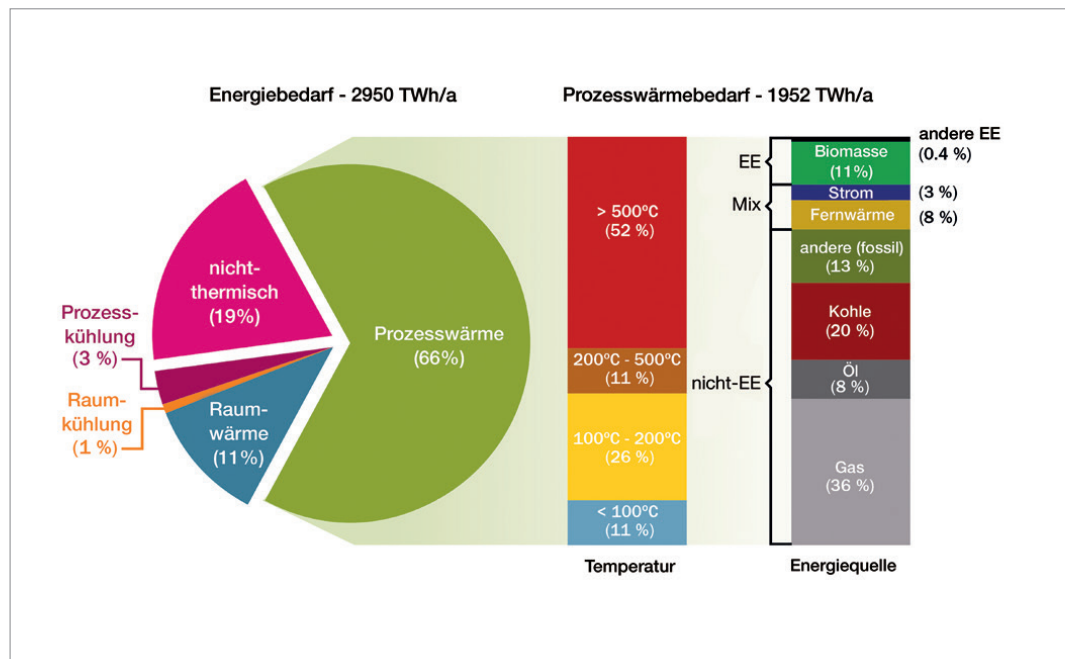
*Dr. Peter Nitz  
peter.nitz@ise.fraunhofer.de*

*KIT*

*Prof. Dr. Robert Stieglitz  
robert.stieglitz@kit.edu*

*Dr. Alfons Weisenburger  
alfons.weisenburger@kit.edu*

Abbildung 1  
**Endenergiebedarf  
in der europäischen  
Industrie**  
links: Nutzung  
Mitte: Temperatur  
rechts: Erzeugung  
(Quelle: [4])



### Stromerzeugung

Großtechnisch besonders bedeutend ist die Nutzung der Hochtemperaturwärme zur Stromerzeugung (Englisch: Concentrated Solar Power – CSP). Hierbei wird die durch das Kollektorsystem zur Verfügung gestellte Hochtemperaturwärme an ein konventionelles Kraftwerk übertragen. In Verbindung mit einem Wärmespeicher und/oder einer Zufeuerung mit Brennstoffen lässt sich kostengünstiger Strom nach Bedarf bereitstellen, ohne dass Reservekraftwerke für die Zeiten ohne Sonnenschein bereitgehalten werden müssen.

Die Stromgestehungskosten von CSP-Kraftwerken sind in den letzten zehn Jahren stark gesunken und betragen heute je nach Standort und Finanzierungsbedingungen unter 6 Euro ct/kWh einschließlich der Speicherfähigkeit über mehrere Stunden. Deutlich erkennbar ist hierbei der Trend zum Bau von Kraftwerken mit entsprechend groß dimensionierten thermischen Energiespeichern, die eine Energiebereitstellung noch mehr als 6 Stunden ohne Sonne ermöglichen.

Ebenfalls ein Trend ist der vermehrte Bau von CSP/PV-Hybridkraftwerken. An vielen sonnenreichen Standorten ist die Photovoltaik (PV) heute oftmals die kostengünstigste Option, wobei bei den Stromgestehungskosten von PV-Kraftwerken kein Speicher einberechnet ist. Durch eine Kombination mit CSP-Kraftwerken mit integriertem thermischem Energiespeicher kann eine flexible Stromproduktion

gewährleistet werden. CSP bietet hierbei eine Antwort auf die Herausforderung der Intermitzenz von PV- und Windkraftwerken und wird somit zu einem breiteren Einsatz von erneuerbaren Energien und einer Dekarbonisierung des Stromsektors beitragen bzw. ermöglicht erst die höheren Anteile intermittierender Quellen.

Neue Entwicklungen bei solarthermischen Kraftwerken zielen insbesondere auf kostengünstigere Kollektoren ab sowie auf die Erprobung neuer Wärmeträgermedien, die eine Erhöhung der oberen Prozesstemperatur ermöglichen. Hierbei sind unter anderem Konzepte mit keramischen Partikeln, Flüssigmetallen und neuen Salzschnmelzen vielversprechende Alternativen zu den existierenden Wärmeträgern. Verbunden hiermit ist auch immer die Frage der Speicherbarkeit und des Speicherkonzeptes. Somit zielen neue Entwicklungen nicht mehr nur auf die Optimierung einer einzelnen Komponente ab, sondern auf die kostengünstige Optimierung des Gesamtkreislaufs mit Receiver und Speichersystem als integrale Bestandteile.

### Prozesswärmebereitstellung und Brennstoffherzeugung

Die Dekarbonisierung des Industriesektors ist im Vergleich zum Stromsektor noch wenig vorangeschritten. Wichtige Beiträge erneuerbarer Energien können durch die Bereitstellung hoher Prozesstemperaturen und nachhaltiger Brennstoffe erreicht werden. Hier kann die konzentrierende Solarthermie

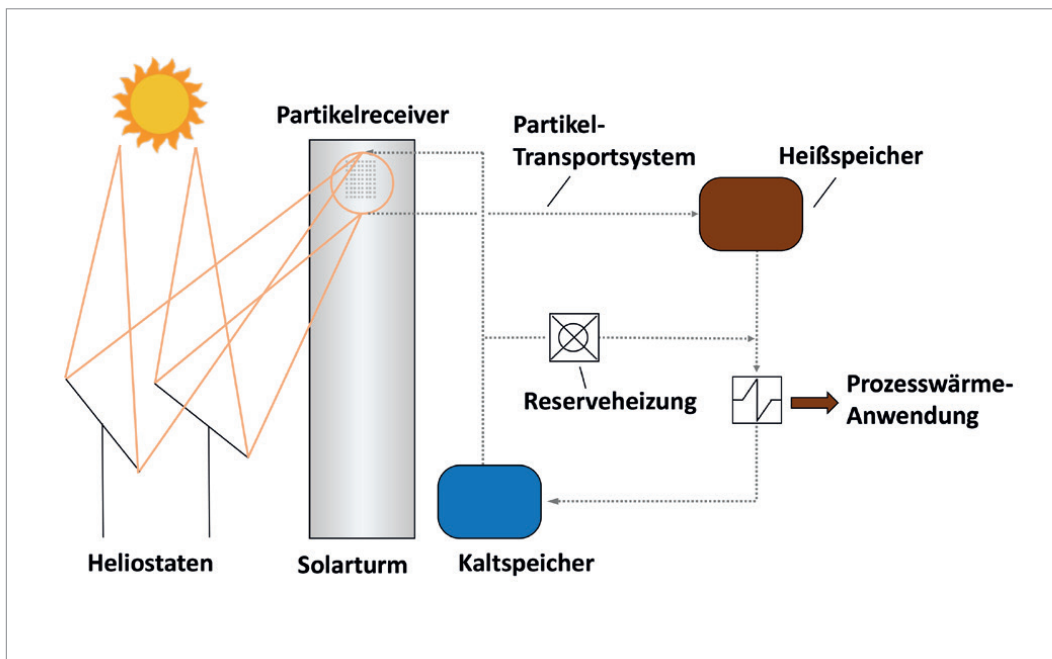


Abbildung 2

**Solarturm  
mit Partikelkreislauf  
bestehend aus**

- Receiver
- Heiß- und Kaltspeicher
- Wärmeübertrager

(Englisch: Concentrated Solar Thermal – CST) eine wichtige Rolle insbesondere für Südeuropa spielen. Bedarfsseitig wird der weitaus überwiegende Teil von fast 90% der industriellen Wärme in Europa oberhalb von 100°C benötigt, dem Temperaturbereich den die konzentrierende Solarthermie adressiert. Insbesondere wird ein hoher Anteil der industriell benötigten Prozesswärme bei Temperaturen über 500°C benötigt (52%, ► *Abbildung 1*), typischerweise in den sogenannten energieintensiven Industrien.

Konzentrierende Solartechnik kann, wie bereits oben beschrieben, Hochtemperaturwärme bei Temperaturen bis zu 1000°C bereitstellen und speichern. Die Wärme kann zudem durch die Integration thermischer Energiespeicher mit einem hohen Kapazitätsfaktor von bis zu 7000 Stunden pro Jahr kontinuierlich geliefert werden. Dies ist insbesondere wichtig, da industrielle Prozesse nicht nur einen bestimmten Temperaturbedarf haben, sondern auch eine gewisse Prozess-Kontinuität erfordern. Eine Anpassung der Prozesse an eine intermittierende Energiebereitstellung ist vielfach aufwändig und kostenintensiv. Daher ist eine kontinuierliche Bereitstellung der Wärme von hoher Bedeutung, welche durch CST-Anlagen mit integriertem Speicher ermöglicht werden kann. Hier kommt auch die Herstellung von alternativen Brennstoffen ins Spiel, da sich CST-Anlagen für einen effizienten Betrieb zur Produktion erneuerbarer Brennstoffe eignen. Aktuell wird hier einerseits die Kopplung von CST mit Hochtemperaturelektrolyse zur Herstellung von Wasserstoff sowie von Synthesegas untersucht. Andererseits werden innovative

Wege der Herstellung von synthetischen Kraftstoffen durch sogenannte thermochemische Kreisprozesse betrachtet.

Eine Möglichkeit zur Integration von CST in Prozesswärmeanwendungen ist in ► *Abbildung 2* gezeigt. Hier ist ein Solarturmsystem mit einem Partikelreceiver und nachgeschaltetem Partikelkreislauf skizziert. Die Erzeugung von bis zu 950°C heißen keramischen Partikeln in einem solaren Receiver konnte bereits demonstriert werden [3]. Die Partikel eignen sich zudem auch als Speichermedium, die wie in ► *Abbildung 2* gezeigt, in einem Heißspeicher gelagert werden. Die Anbindung an den Prozess erfolgt über einen Wärmeübertrager, der je nach Anwendung Dampf, Luft oder andere heiße Gase liefern kann. Die Entwicklung der entsprechenden Partikel-Dampferzeuger und Partikel-Luft-Direktkontakt-Wärmeübertrager sind wichtige Bestandteile der aktuellen Forschung.

Ein aktuelles Beispiel zur Einbindung von CST in einen industriellen Prozess ist das EU H2020 Projekt HIFLEX, welches den Bau eines Solarturmsystems basierend auf Partikeln als Wärmeträgermedium in Süditalien vorsieht, um Prozesswärme für eine existierende Pastafabrik zu liefern.

### Ausblick

Konzentrierende Solartechnik kann einen Beitrag zur nachhaltigen Energiewende leisten. Insbesondere durch die Einbindung von thermischen Energiespeichern können CSP und CST bedarfsgerecht

Energie zur Verfügung stellen. Im Zusammenspiel mit und ergänzend zu anderen erneuerbaren Technologien wie PV und Wind kann hier ein bedeutender Beitrag zur Dekarbonisierung des Strom-, Wärme- und Verkehrssektors in Europa geleistet werden.

Die konzentrierende Solartechnik ist zudem in vielen Bereichen eine marktreife Technologie, für die weitere Kostenreduktionen in den nächsten Jahren erwartet werden. Der breitere Einsatz insbesondere in Hochtemperaturanwendungen in der Industrie ist Gegenstand aktueller Forschungs- und Demonstrationsvorhaben.

#### Erweiterte Technologiebewertung

Neben der Reduktion der Stromgestehungskosten werden in Zukunft weitere Zielgrößen ausschlaggebend für die Weiterentwicklung einer Technologie sein. Im Zuge der Energiewende und der komplexen Umstellungen die daraus folgen, wird es zukünftig notwendig sein, andere Bewertungs- und Vergleichsgrößen zu schaffen als die bisher existierenden. So sollten zur Bewertung und zum Vergleich verschiedener Technologien nicht nur die reinen Stromgestehungskosten einer Technologie betrachtet werden, sondern auch andere Faktoren wie:

- zusätzliche Flexibilität eines Systems durch die Integration von Wärmespeichern
- Umweltauswirkungen für jeden Sektor (Reduzierung von CO<sub>2</sub> und Treibhausgas-Emissionen)
- gesellschaftliche und makroökonomische Auswirkungen auf die nationalen Volkswirtschaften aufgrund neuer Business Cases für europäische Unternehmen mit nachhaltigeren Arbeitsplätzen
- geopolitische Auswirkungen auf die Weltmärkte und die Unterstützung der politischen Instrumente der Europäischen Union

Diese und weitere Faktoren zu erfassen und in vergleichbare, nachvollziehbare und standardisierte Kriterien umzuwandeln, ist ein wichtiger Schritt in ein nachhaltiges Energiezeitalter.

#### Referenzen

- [1] Umweltbundesamt auf Basis Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien – Statistik (AGEE-Stat), Stand 08/2020.
- [2] Renewables 2020, Global Status Report – REN 21.
- [3] M. Ebert et al., Operational Experience of a Centrifugal Particle Receiver Prototype, Proc. SolarPACES Conference 2018, Oct. 2–5, 2018, Casablanca/Morocco.
- [4] R. de Boer et al. Strengthening Industrial Heat Pump Innovation /Decarbonizing Industrial Heat. Whitepaper, TNO, 2020. Daten: Eurostat. Energy Balances. 2019, and T. Fleiter et al. Heat Roadmap Europe. Deliverable 3.1: Profile of heating and cooling demand in 2015. 2017.