

LUFTWAND FÜR HOCHTEMPERATURANWENDUNGEN

Reduktion von konvektiven Wärmeverlusten in Solarturmsystemen

In Solarthermischen Kraftwerken wird mittels durch Spiegel gebündelte Strahlung der Sonne ein thermischer Kraftwerksprozess angetrieben um damit Strom zu generieren. Ein besonderes Merkmal dieser Kraftwerke ist der heutzutage standardmäßig vorgesehene Wärmespeicher, welcher es erlaubt, die Solarenergie Tag und Nacht entsprechend des Netzbedarfs in Strom zu wandeln. In modernen Systemen kommt als Speicher- und häufig als Wärmeträgermedium flüssiges Salz zum Einsatz, welches auf bis zu 600 °C aufgeheizt wird. Für die nächste Generation dieses Kraftwerkstyps werden vermehrt alternative Materialien wie feine hochtemperaturfeste Partikel erwartet, welche bei Temperaturen von über 1.000 °C eine erhöhte Speicherdichte und höhere Kraftwerkseffizienz aufweisen.

Die konzentrierende Solarthermie ist international erprobt und marktfähig. Da Dampfturbinen erst ab einer gewissen Größenordnung wirtschaftlich einsetzbar sind, sind die entsprechend großen Projekte mit hohem Investitionsrisiko verbunden, was in der Vergangenheit eine schnelle Marktdurchdringung verhindert hat. In der näheren Zukunft werden hybride Kraftwerke erwartet, bei welchen sich konzentrierende Solarthermie und Photovoltaik einen Netzanschluss teilen, um mit einer gemeinsamen Betriebsstrategie

über den thermischen Speicher bedarfsgerecht Strom bereitzustellen. So wird an Standorten mit hoher Direkteinstrahlung eine bedarfsgerechte und kostengünstige Bereitstellung von Strom rund um die Uhr ermöglicht.

Neben der Anwendung in Großkraftwerken gibt es einen Trend zu kleineren, modularen Solarturmsystemen, von welchen mehrere einen zentralen Kraftwerksblock betreiben oder direkt Prozesswärme für die Industrie bereitstellen. Insbesondere für Hochtemperaturanwendungen kommen Systeme mit sogenannten Hohlraum-Empfängern bzw. (engl.) Cavity-Receiver zum Einsatz, da sie einen hohen optischen und thermischen Wirkungsgrad versprechen.

Konvektionsverluste machen je nach Betriebstemperatur den beträchtlichen Anteil von 20 bis 40 % der thermischen Verluste an solchen Receivern aus. Es wurden verschiedene Lösungen vorgeschlagen, um diese Verluste zu vermeiden: Einbau eines transparenten Fensters (z. B. aus Quarzglas), das die Konvektionsverluste fast vollständig eliminieren würde. Auch gibt es die Überlegung eine Anordnung von Quarzrohrsegmenten, aus denen das Fenster besteht, zu verwenden. Eine Alternative ist eine Luftwand als transparente Abschirmung des Hohlraums. Hierbei wird das Innere des

Hohlraums durch einen dünnen, aber starken Luftstrahl von der kälteren Umgebung getrennt. Das „Airwall-Konzept“ wurde simuliert und auch experimentell getestet. Um zuverlässige Schlussfolgerungen aus einem Experiment ziehen zu können, müssen die relevanten Kennziffern des Versuchsaufbaus denen des realen Systems ähnlich sein.

Am Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE wurde im Rahmen des durch das BMWK geförderte Forschungsprojekt HelioGLOW¹⁾ eine Nachbildung eines Cavity-Strahlungsempfängers aufgebaut. Dieser Aufbau ermöglicht die experimentelle Bestimmung des energetischen Nutzens einer Luftwand in einem kleinen zentralen Cavity-Receiver-System und die Quantifizierung der Verringerung der konvektiven Wärmeverluste sowie der erwarteten Effizienzverbesserung. Die Luftwand wurde am Teststand integriert.

Vor der Konzeption des Versuchsaufbaus wurden Fluidodynamik-Simulationen eines vereinfachten Modells mit beheizter Rückwand und Abschirmung durch eine Luftwand durchgeführt (Bild 1). Aufbauend auf den Simulationen wurde ein Nachbau in Form des Teststandes erstellt und mit den erforderlichen Installationen versehen (Bild 2). Das realisierte Modell hat eine Öffnungsfläche von 3 x 3 m² und eine Tiefe von 2 m. Um reproduzierbare Messungen durchführen zu können, werden als heiße Absorberfläche 21 ebene elektrische Heizelemente mit je 12 kW Heizleistung eingesetzt. Mit der derzeitigen Energieversorgung kann eine Oberflächentemperatur von bis zu 650 °C erreicht werden. Die Temperatur jedes Heizelements wird mit Thermoelementen gemessen. Gleichzeitig wird die benötigte elektrische Leistung überwacht, um die Temperatur auf einem vorgegebenen Niveau zu halten. Die fünf Außenwände des Hohlraums sind mit Keramikfasern gedämmt. Der gesamte Aufbau kann darüber hinaus nach vorne gekippt werden, um geneigte Hohlräume zu simulieren. Außerdem kann die Rückwand nach vorne bewegt werden, um die Wirkung der Luftwand auf einen externen Empfänger zu testen, wie sie bei großen kommerziellen Kraftwerken, wie beispielsweise Cerro Dominador in Chile oder Noor III in Marokko, zum Einsatz kommen.

Für die Anwendung in der konzentrierenden Solarthermie wurde von LWT Airwalls ein spezielles Luftwandssystem mit Düsen aus hochtemperaturfestem

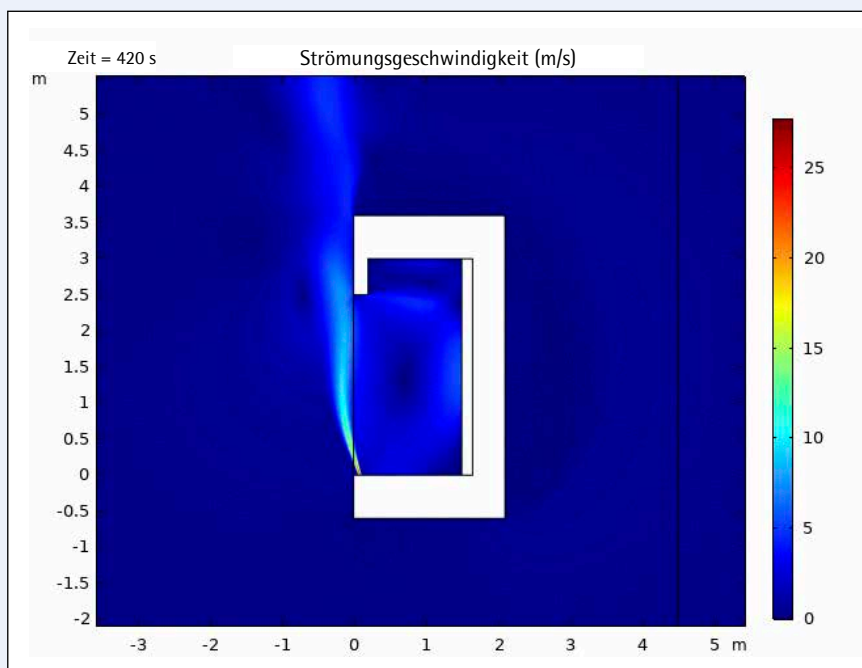


Bild 1: Numerische fluid-dynamische Simulation der Lufttemperatur und -geschwindigkeit in und um den Hohlraum, unter einseitigem Betrieb der Luftwand mit einem Luftstrom von unten.



Bild 2: Experimenteller Nachbau eines solarthermischen Cavity-Receiver in Freiburg.

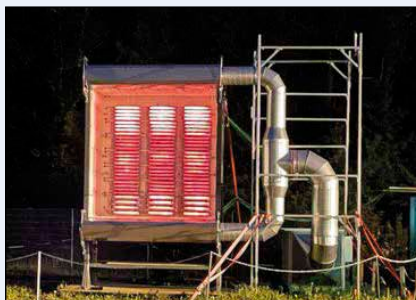


Bild 3: Untersuchung der Wärmeverluste des Hohlraums mit und ohne Luftwand.

Stahl entwickelt. LWT baut auf mehr als 20 Jahre Erfahrung in der Trennung von Luftvolumina zur Reduktion von Wärmeverlusten, wie beispielsweise an großen, befahrenen Toren von industriellen Hallen oder temperierten Räumen, zur Abschottung von Geräten oder auch Partikel-belasteten Volumina und in vielen weiteren Anwendungen. Für den Teststand wurde eine doppelwandige Luftwand vorgesehen, welche eine Anströmung von oben und unten erlaubt, um eine optimale Abschottung zu erreichen. Die Konstruktion des Gebläses und der Luftwand ermöglicht es, eine Luftaustrittsgeschwindigkeit von bis zu 30 m/s zu erreichen. Die Ausrichtung der Luftdüsen kann angepasst werden, um die optimale Leistung zu erzielen.

Während der Versuchsdurchführung (Bild 3) wird die Temperatur in sieben thermischen Zonen mit je drei Heizelementen durch einen Regler auf dem gewünschten Niveau gehalten. Die Messung der elektrischen Leistungsaufnahme der Heizelemente über einen längeren Zeitraum ermöglicht die Bestimmung der Wärmeverluste des Hohlraums unter

stationären Bedingungen. Der Vergleich mit dem Basisszenario ohne Luftwand ermöglicht eine Bestimmung der eingesparten Energie und damit der reduzierten Wärmeverluste. In verschiedenen Messkampagnen wurden die Austrittsgeschwindigkeit und der Austrittswinkel der Luftwand variiert und Versuche mit unterschiedlichen Oberflächentemperaturen durchgeführt.

Die im Experiment beobachtete Reduktion konvektiver Verluste aufgrund des Airwall-Betriebs wird auf etwa 30 % bestimmt (Bild 4), was mit den Erwartungen übereinstimmt, welche numerische Simulationen vorhersagen. Da für die durchgeführten Experimente der Aufbau noch nicht vollständig optimiert wurde, besteht die begründete Erwartung, dass in Zukunft noch höhere Werte erreicht werden können. Ein erhebliches Optimierungspotenzial wird durch die Düsenausrichtung und -geometrie erwartet, sowie in einer individuellen Ausblasgeschwindigkeit der beiden Düsen. Der Energiebedarf der Gebläse ist bereits berücksichtigt und gegenüber den erzielten Einsparungen vernachlässigbar klein.

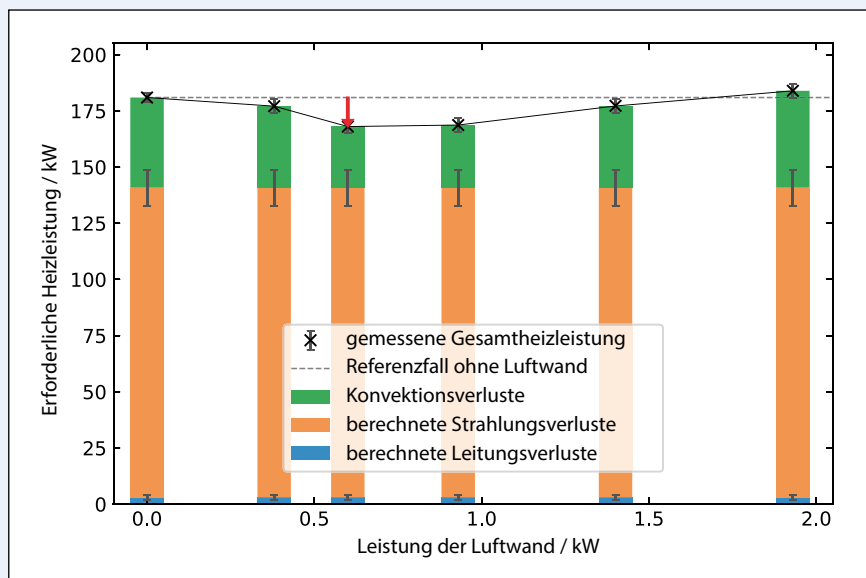


Bild 4: Aufteilung der Wärmeverluste des Cavity-Receiverteststands in Abhängigkeit von der Gebläseleistung. Die Kreuze zeigen die gemessene Heizleistung, welche im Aufbau den Wärmeverlusten für verschiedene Gebläseleistungen entsprechen.

Neben dem Einsatz am Strahlungsempfänger von Solarturmsystemen für die Stromerzeugung bieten sich vielfältige weitere Anwendungen an, für welche die Untersuchungen relevant sind. In Industrieöfen, Brennereien, Hochöfen, in der Glasherstellung, in der Solarchemie für Bio-Kraftstoffe und vielen anderen Hochtemperaturprozessen kann ein Teil des Energieeinsatzes durch eine Abschottung und damit Reduktion der Wärmeverluste eingespart werden.

Erstmals konnten die Funktion im Hochtemperatureinsatz in relevanter Größe belegt werden. Ziel geplanter weiterführender Forschungsvorhaben ist die Optimierung der Stellparameter wie Anstellwinkel, Luftvolumen und eine adaptive Steuerung, um auf den Einfluss von Wind und anderen Umgebungseinflüssen reagieren zu können.

Die bereits demonstrierte Reduktion von ca. 30% der konvektiven Wärmeverluste bedeutet ca. 7% geringere Wärmeverluste insgesamt. Da der Einsatz einer Luftwand im Kraftwerk nur unerhebliche Zusatzkosten mit sich bringt, zeigt sich damit für die Anwendung bei 650 °C auch die Wirtschaftlichkeit der Technologie. Luftwände können basierend auf der angestrebten Weiterentwicklung somit als Ersatz für Fenster in drucklosen Strahlungsempfängern eingesetzt werden und zur weiteren Kostensenkung der konzentrierenden Solarthermie zur bedarfsgerechten Strom- und Wärmebereitstellung beitragen.

Fußnote

¹⁾ Das dieser Publikation zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz unter dem Förderkennzeichen 0324174A gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren

ZU DEN AUTOREN:

▶ Dr.-Ing. Gregor Bern,
M.Sc. Moritz Bitterling
Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE
gregor.bern@ise.fraunhofer.de

Produkte | Innovationen

In dieser Rubrik stellen wir Ihnen aktuelle Entwicklungen aus Wirtschaft und Forschung vor: Neue Produkte und Ideen aus dem Bereich Erneuerbare Energien und Energieeffizienz.

Anregungen und Themenvorschläge nimmt die Redaktion gerne entgegen:
redaktion@sonnenenergie.de