

Wirtschaftlich und flexibel

Luft-Sand-Wärmeübertrager für die Energiespeicherung bei Temperaturen bis 800 °C



Shashikant Warerkar, Stefan Schmitz, Joachim Götttsche, Bernhard Hoffschmidt

Durch steigende Strompreise und den zunehmenden Anteil erneuerbarer Energien gewinnt die Speicherung von Energie an Bedeutung. Der Einsatz von Speichermedien ermöglicht, andernfalls verlorene Abwärme zu nutzen oder die Materialbeanspruchung von Komponenten zu reduzieren. In solarthermischen Kraftwerken können thermische Speicher dazu beitragen, die durch die Sonneneinstrahlung bedingte schwankende Kraftwerksleistung auszugleichen und die Anlage besser auszunutzen.

Autoren: Name und Firma Sh. Warerkar, St. Schmitz, J. Götttsche, B. Hoffschmidt, Fachhochschule Aachen, Solar-Institut, Jülich

Am Solar-Institut Jülich der Fachhochschule Aachen wird in Zusammenarbeit mit Partnern aus Industrie und Forschung gegenwärtig an einem neuartigen Wärmespeicherkonzept für Solarturmkraftwerke gearbeitet, bei dem Quarzsand als Speichermedium zum Einsatz kommt. Sand eignet sich aufgrund seiner hohen thermischen Stabilität und Wärmekapazität besonders gut. Im Vergleich zu bisher untersuchten keramischen Speichern verspricht die Verwendung von Sand, die Kosten des Energiespeichers und damit die Kosten der Stromgestehung deutlich zu senken. Neben dem Einsatz in Solarturmkraftwerken könnte diese Art der Wärmespeicherung auch in der Stahlherstellung angewendet werden.

Der im Luft-Sand-Wärmeübertrager auf etwa 800 °C erhitzte Sand gelangt über ein einfaches Fallrohr in den Heißspeicher und von dort weiter in den Fließbettkühler. Der Fließbettkühler, ein Aggregat, das in der Wirbelschichtfeuerung eingesetzt wird, treibt den Dampfkreislauf. Der erzeugte Dampf wird schließlich in einem konventionellen Kraftwerksprozess einer Dampfturbine zur Stromerzeugung zugeführt. Der abgekühlte Sand verlässt den Fließbettkühler bei einer Temperatur von etwa 150 °C und gelangt entweder zum Wärmeübertrager zurück oder wird im Kaltspeicher gelagert. Die wesentlichen Vorteile des Speichersystems sind:

- billiges Speichermedium
- drucklose Speicherung
- die Druckverluste des Wärmeübertragers und des Fließbettkühlers sind unabhängig von der Größe des Speichers

Entwicklungsarbeit

Um das Konzept realisieren zu können, wird ein geeigneter Luft-Sand-Wärmeübertrager benötigt. Ein Prototyp eines solchen Wärmeübertragers wird zur Zeit am Solar-Institut Jülich untersucht. Er soll eine gute Wärmeübertragung gewährleisten (Verlustwärme < 20 %, Rückwärmehzahl > 90 %), einen niedrigen Energiebedarf zum Betrieb erfordern sowie wirtschaftlich arbeiten und kompakt gebaut sein. Als Ansatz hierfür wurde die Anordnung der wärmeübertragenden Medien Luft und Sand im Kreuzstromprinzip gewählt.

Die ca. 800 °C heiße Luft strömt durch eine poröse Wand, durchläuft die bewegte Sandschüttung und fließt abgekühlt wieder durch eine zweite poröse Wand ab. Die Wände müssen sich dabei durch Tempera-

turbeständigkeit, Abriebfestigkeit und hohe Festigkeit auszeichnen sowie einen geringen Druckverlust garantieren.

Berechnungsmodell

Zur Dimensionierung des Wärmeübertrager-Prototypen wird die Finite Elemente Software Comsol Multiphysics eingesetzt. In einem 2-dimensionalen Berechnungsmodell werden das Strömungsfeld der Luft und die Wärmeübertragung von Luft auf Sand abgebildet. Das Modell bildet den Bereich der Sandschüttung zwischen den porösen Wänden ab und berücksichtigt Luft-ein- und -austrittsströmung sowie Wärmeverluste.

Zur Dimensionierung des Wärmeübertrager-Prototypen sind hinsichtlich des stationären Verhaltens bisher folgende Einflussfaktoren untersucht worden:

- Wärmeübertragerabmessungen auf die mittleren Austrittstemperaturen
- Wärmeleitung in Sand und Luft
- Sandkorngröße
- Luftgeschwindigkeit
- Sandgeschwindigkeitsprofil

Während die mittlere Sandtemperatur am unteren Austritt bei über 430 °C liegt, verlässt die quer dazu ausströmende Luft den Wärmeübertrager mit einer Temperatur von etwa 60 °C. Wärmeverluste durch Konvektion und Strahlung treten an Übergangsstück des Lufterlasses auf.

Zusammenfassend wurden durch Simulationsberechnungen bisher folgende Ergebnisse gefunden:

- Bei Sandkorngrößen < 3 mm ist für den Wärmeübertrager-Prototypen mit Wärmeübertragerleistung ~ 15 kW und Abmessungen von 50 cm × 5 cm × 10 cm die Korngröße nur von geringem Einfluss auf die Wärmeübertragung.
- Zur Minimierung der Druckverluste im Sand und zur Erhöhung der volumenspezifischen Wärmeübertragerleistung (Größenordnung 1 MW/m³) ist eine Sandkörnung im Bereich 1 bis 3 mm vorteilhaft.
- Dynamisches Verhalten: Kurzzeitige Sandblockaden mit Sandstillstandsdauer < 20 s sind aufgrund der Trägheit des Systems unproblematisch hinsichtlich Erhöhung von Luftwärmeverlusten

Messungen am Prototyp

Nachdem die Simulationsberechnungen nahe gelegt haben, dass die gewünschten thermischen Eigenschaften des Wärmeüber-

bertragers realisierbar sind, wurde im vergangenen Jahr ein Prototyp hergestellt, der momentan vermessen wird und an dem verschiedene Filterwände auf Eignung untersucht werden.

Der Prototyp ist für einen Lufterhitzer mit einer thermischen Leistung von bis zu 15 kW und Lufteintrittstemperaturen bis ca. 800 °C ausgelegt. Die Abmessungen des Wärmeübertragungsbereichs zwischen den beiden Filterwänden sind 50 cm × 5 cm × 10 cm. Sandein- und -austritt sind um etwa 50 cm lange Schächte verlängert, um Luftleckagen zu minimieren.

Zur Bestimmung der übertragenen Leistung und der Wärmeverluste werden Volumenströme, Druckverluste sowie in verschiedenen Bereichen des Wärmeübertragers Luft- und Sandtemperaturen über Thermoelemente erfasst. Untersucht wurden bisher drei Sandsorten mit Körnungen 0,4 bis 0,8, 0,7 bis 1,2 und 1 bis 2 mm.

Die Untersuchung des Wärmeübertragerverhaltens lieferte bisher folgende Ergebnisse:

1. Abhängig von der Korngröße können Unregelmäßigkeiten bei der Sandströmung auftreten. Dieser Effekt beeinträchtigt bei kleiner Kornung die Wärmeübertragung. Eine genauere Untersuchung in einem Sandkanal mit Glasfenster zeigte, dass es oberhalb einer bestimmten Luftgeschwindigkeit im Sand zur Verdichtung der Schicht am Luftaustritt kommt, die bis zur Unterbrechung des Sandflusses führen kann. Nach Auftreten dieses Zustandes wird der Sandstrom unregelmäßig, der Sand fällt in Stößen nach. Während der Unterbrechung des Sandflusses können Luftkanäle zwischen den porösen Wänden entstehen, sodass die heiße Luft nahezu ohne Energieabgabe durch den Wärmeübertrager strömt und die Sandaustrittstemperatur damit stark schwankt. Bei der Lufteintrittsgeschwindigkeit (Leerrohr) im Wärmeübertrager von 1 m/s reduzierte sich der Effekt bei der Sandkornung 0,7 bis 1,2 mm merklich und wurde bei der Kornung 1 bis 2 mm nicht mehr festgestellt.

2. Nach den bisherigen Messungen liegen die Verluste im Wärmeübertrager etwa 50 % über den berechneten Werten, was sich angesichts der fehlenden Wärmeisolierung auf Ungenauigkeiten der Verlustberechnung zurückführen lässt.

3. Bei Sandsorten mit 1 bis 3 mm mittlerer Kornung scheinen damit die geforderten Wärmeübertragungseigenschaften realisierbar zu sein.

Geeignete Filterwände

Wegen der hohen Anforderungen an die Filterwände zur Temperaturbeständigkeit und Abriebfestigkeit wurden im ersten Schritt Wände aus rekristallisiertem Siliziumkarbid (RSiC) untersucht. Die verwendeten Strukturen werden bisher u. a. in Die-

Bild 1: Temperatur- und Strömungsfeldberechnung mit Comsol Multiphysics

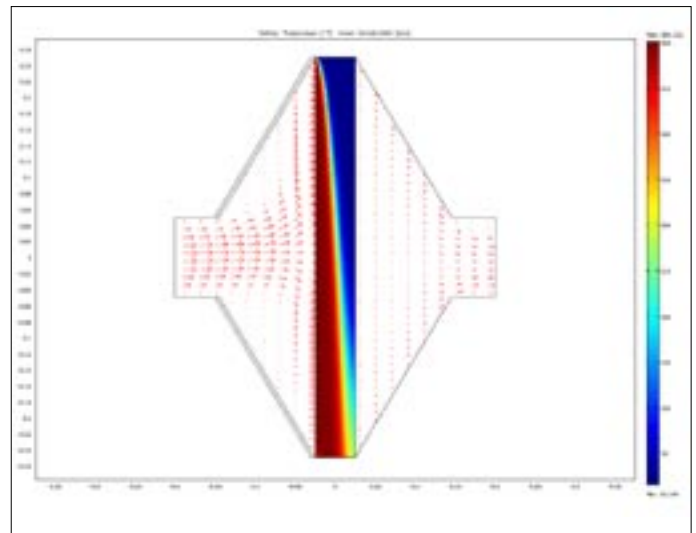
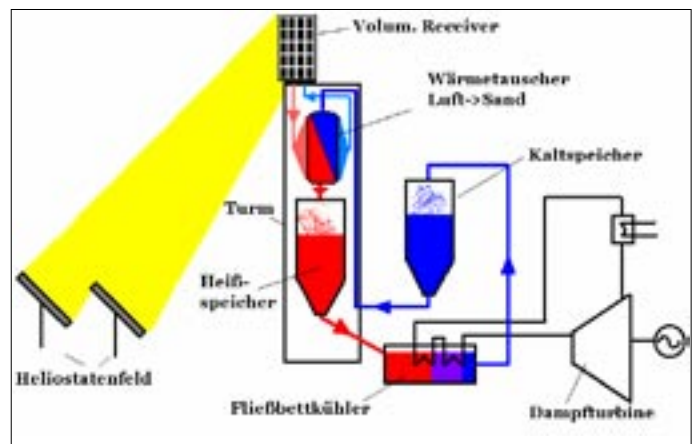


Bild 2: Sandspeicherkonzept für Solarkonzentratorwerke



selrusspartikelfiltern eingesetzt. Um einen möglichst geringen Druckverlust zu erzielen, wurde Material mit einer hohen, offenen Porosität von 45 % verwendet. Die Begrenzung des Druckverlusts auf maximal 5000 Pa zeigt sich mit dieser Struktur allerdings problematisch. Bei den eingesetzten Wänden traten Risse auf, wobei auch bei dieser vergleichsweise geringen Wandstärke von 2,4 mm der angestrebte Druckverlust nicht eingehalten werden konnte.

Zur Untersuchung der grundsätzlichen Funktion wird alternativ feinmaschiges Stahldrahtnetz eingesetzt, mit dem die Anforderung an den Druckverlust erfüllt wird. Da die Gitternetzweite zu groß ist, um Staubpartikel zurückzuhalten, muss bei diesem Prinzip ein weiteres Aggregat zur Luftfilterung nachgeschaltet werden. Die

Untersuchungen zeigen, dass ein Wärmeübertrager nach dem beschriebenen Arbeitsprinzip, der die Anforderungen an die Wärmeübertragung erfüllen kann, realisierbar ist. Durch Wärmedämmung zur Senkung der Wärmeverluste wird zukünftig die Messung der Wärmeübertragung verfeinert. Zur Minimierung des Druckverlusts sind weitere Materialien zu untersuchen und ein geeignetes Design der Filter zu entwickeln. Um auch Sand mit mittlerer Kornung unterhalb von 1 mm einsetzen zu können und die Nachteile einer unregelmäßigen Strömung zu vermeiden, wird bei den kommenden Messungen auch die diskontinuierliche Sandaufwärmung untersucht.

FEMLAB

000

www.vfmz.de/150004

INFO CD mit Fachbeiträgen

Dieser Beitrag wurde während der Comsol Konferenz zur Multiphysik-Simulation im Oktober 2006 in Frankfurt gehalten. Eine CD mit Fachbeiträgen zur Multiphysik-Simulation ist ab sofort erhältlich. Die CD umfasst neben den fast 300 Übersichts- und Fachvorträgen auch zahlreiche Präsentationen und Beispielmodelle aus der Praxis. Die CD stellt einen wichtigen Beitrag zur aktuellen Forschungsdiskussion rund um die Mathematische Modellierung und Simulation dar. Die CD ist kostenlos unter der oben angegebenen Kennziffer erhältlich.