

# Speicheroptionen für die solare Direktverdampfung

Wolf-Dieter Steinmann\*, Dörte Laing, Rainer Tamme

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) e. V.,  
Institut für Technische Thermodynamik, Thermische Prozesstechnik,  
Pfaffenwaldring 38-40, 70569 Stuttgart

## Zusammenfassung

Die direkte Dampferzeugung in Absorbern erfordert Speichersysteme, die bei der Be- und Entladung nur geringe Temperaturänderung aufweisen. Diese Anforderung kann durch den Einsatz von Speichermaterialien, bei denen die Energieübertragung mit einem Phasenwechsel verbunden ist, realisiert werden. Die Leistungsdichten derartiger Latentwärmespeichersysteme konnte durch die Integration von Graphitstrukturen erheblich gesteigert werden. Laborexperimente mit Leistungen im Bereich von 20kW wurden bereits durchgeführt, weitere Experimente sehen die Demonstration im MW-Bereich bei Dampfdrücken bis zu 100bar vor.

## 1 Einführung und Ziele

Mit der Integration von Energiespeichern bieten solarthermische Kraftwerke eine Option zur Gewährleistung der Versorgungssicherheit trotz variierender solarer Einstrahlung ohne die Notwendigkeit externer Reservesysteme. Bei Kraftwerken mit direkter Dampferzeugung lässt sich die Einkopplung der solaren Energie in drei Abschnitte unterteilen: Wasser wird zunächst bis zum Erreichen der Siedetemperatur erhitzt, dann erfolgt eine Verdampfung bei konstanter Temperatur, der schließlich eine Überhitzung des Dampfes folgt. Effiziente Speichersysteme sind daher in drei Segmente unterteilt, in den Bereichen der Vorwärmung und Überhitzung ändert sich die Temperatur entsprechend der zugeführten Energie, während im Zweiphasengebiet die Energieübertragung bei konstanter Temperatur erfolgt. Für die Energiespeicherung im Zweiphasenbereich werden Speichermaterialien eingesetzt, die bei der Beladung Energie vom kondensierenden Dampf aufnehmen und dabei aufschmelzen, während bei der Entladung die bei der Erstarrung des Speichermaterials freiwerdende Energie zur Dampferzeugung genutzt wird. Für den Kraftwerksbereich werden Latentspeicher mit Schmelzpunkten zwischen 220-320°C entwickelt, während für Anwendungen mit solarer Prozesswärme Systeme mit Schmelztemperaturen zwischen 120-220°C untersucht werden. Voraussetzung für wirtschaftliche Speichersysteme sind Konzepte, die eine ausreichend hohe Leistungsdichte bei den Lade- und Entladezyklen ermöglichen.

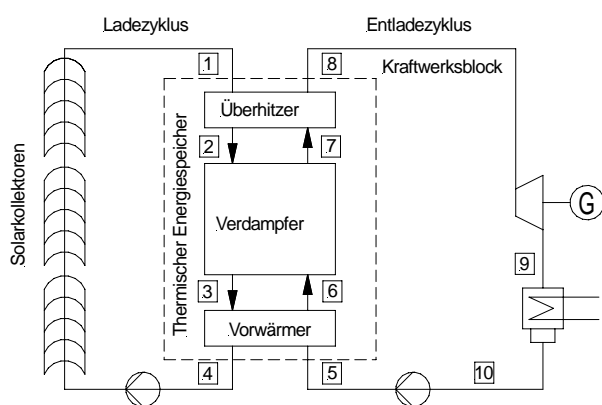


Abb.1: Vereinfachtes Schema eines solarthermischen Kraftwerkes mit integriertem Energiespeicher, bestehend aus drei Segmenten

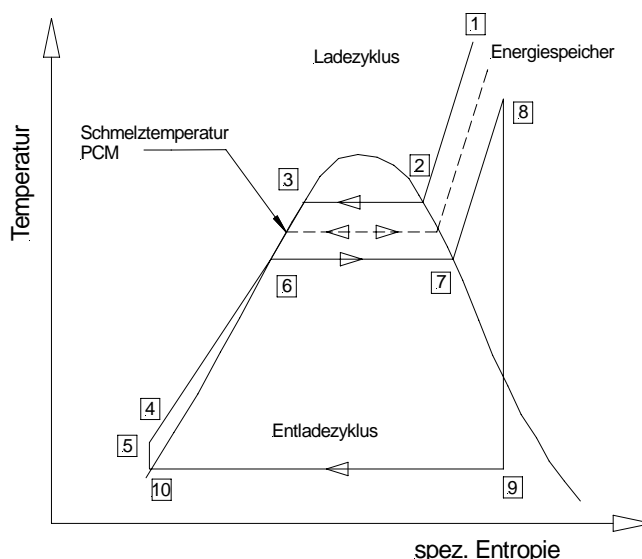


Abb.2: Darstellung Be- und Entladeprozess für Kraftwerk nach Abb.1 im T-s Diagramm

## 2 Resultate

Eine erste Auswahl von Latentspeichermaterialien erfolgt im Hinblick auf den Schmelzpunkt, der im Bereich der Siedetemperatur liegt, die sich aus dem Druck im Dampfkreislauf ergibt. Für den Temperaturbereich zwischen 120°C und 320°C bieten sich unter Kostenaspekten insbesondere Nitratsalze bzw. deren Mischungen an. Charakteristisch für diese Speichermaterialien ist eine niedrige thermische Leitfähigkeit, wodurch der Energietransport im Material erschwert wird. Bei thermischen Speichern wird ein Wärmeübertrager, der vom Dampf durchströmt wird, in das Speichermaterial eingebettet. Bei der Verwendung von reinen Nitratsalzen kann eine ausreichende Leistungsdichte nur dann erreicht werden, wenn die Distanz für den Wärmetransport im Material nur bei wenigen Millimetern liegt, hohe Investitionen für einen ausgedehnten Wärmeübertrager wären erforderlich. Im Rahmen der Entwicklung von Speichersystemen wurden am DLR verschiedene Konzepte zur Steigerung der Leistungsdichte untersucht. Durch Zugabe eines Materials mit hoher Wärmeleitfähigkeit wurden Verbundmaterialien hergestellt, die eine ausreichend hohe effektive Wärmeleitfähigkeit aufweisen. Bei einem weiteren Konzept wird das Speichermaterial in Kapseln gefüllt, die dann in einem Druckbehälter mit dem Dampf in Kontakt gebracht werden. Derzeit wird das Sandwich-Konzept, bei dem Graphitfolien senkrecht zu den dampfführenden Rohren des Wärmeübertragers im Speichermaterial angeordnet werden, als das wirtschaftlich aussichtsreichste Konzept betrachtet. Durch die Integration von Graphitstrukturen verringert sich die effektive mittlere Distanz für den Wärmetransport innerhalb des Speichermaterials, ohne dass der Umfang des dampfführenden Wärmeübertragers vergrößert werden muss. Nachdem zunächst in einem Labormodell mit einer Leistung von 2.5kW die Funktionsfähigkeit des Sandwichkonzeptes nachgewiesen wurde, konnte bei einem zweiten Speicher die Leistung auf ca.20kW gesteigert werden. Mit einer Schmelztemperatur von ca. 145°C zielen diese Experimente vor allem auf Anwendung in der Prozessindustrie mit Dampfdrücken zwischen 3-6bar. Im Rahmen des Projektes Distor entwickelt das DLR zusammen mit Partnern aus Industrie und Forschung Speicher für die solare Direktverdampfung. Nachdem das Sandwichkonzept in Laborexperimenten untersucht worden ist, wurde im DISTOR-Projekt ein 100kW-Speicher entworfen und gebaut, der mit solar erzeugten Dampf bei 20-40bar betrieben werden soll. Parallel dazu wurde im ITES-Projekt mit der Entwicklung eines Speichers mit 1MW Leistung begonnen, der bei Dampfdrücken im 100bar-Bereich eingesetzt werden soll. Die experimentellen Ergebnisse bilden die Grundlage für die Optimierung der Geometrieparameter in Abhängigkeit von geforderter Leistung und Kapazität.

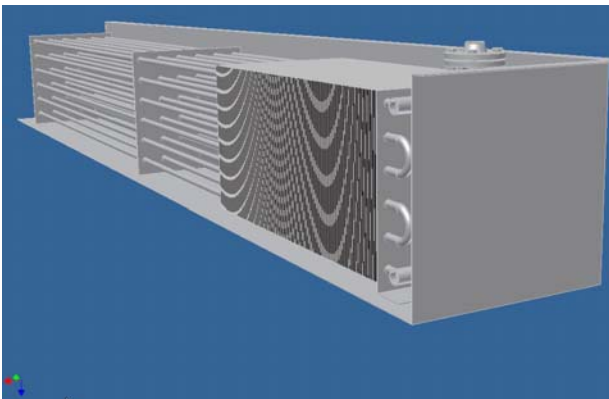


Abb.3: Schnittdarstellung DISTR-Speicher, Rohrregister mit teilweiser Integration Graphitfolien (vorne)



Abb.4: 100kW Distor Speicher mit geöffneter Abdeckung,

### **3 Zusammenfassung und Ausblick**

Auf Basis des Sandwich-Konzeptes können wirtschaftliche Energiespeicher für den Leistungsbereich solarthermischer Kraftwerke realisiert werden. Für den Temperaturbereich zwischen 145°C bis 300°C werden verschiedene Latentspeichermaterialien untersucht. Nach der erfolgreichen Demonstration des Konzeptes zielen die aktuellen Arbeiten auf eine wirtschaftliche Optimierung, die experimentellen Ergebnisse ermöglichen die Validierung physikalischer Modelle, die für systemtechnische Untersuchungen zur Integration des Speichers in das Kraftwerk benötigt werden.

*Die Autoren danken der Europäischen Kommission für die finanzielle Unterstützung im Rahmen des DISTOR-Projektes sowie dem Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit für die Unterstützung im Rahmen des Projektes ITES*