

ENTWICKLUNG UND EXPERIMENTELLE ERGEBNISSE EINES SAISONALEN THERMOCHEMISCHEN SOLARSPEICHERSYSTEMS AUF SALZHYDRATBASIS

Samuel KNABL¹, Wim VAN HELDEN¹, Rebekka KÖLL¹, Henk HUININK²

Einleitung

Solarenergie hat ein hohes Potenzial den Gesamtwärmebedarf von Gebäuden zu decken. Voraussetzung hierfür ist aber, dass neben der Nutzung von Solarenergie in den Sommermonaten, diese saisonal und verlustfrei für die Verwendung im Winter gespeichert werden kann. Neben der verlustarmen Speicherung ist außerdem eine hohe Energiedichte des Speichers von großer Bedeutung. Thermochemische Speichersysteme, welche sich durch hohe Speicherdichten bei gleichzeitig verlustfreier Langzeitspeicherung auszeichnen, besitzen dementsprechend ein großes Potential für eine effiziente saisonale Speicherung von solarer Energie bzw. solarer Wärme. Im Rahmen des Horizon2020 Projektes CREATE wurde unter diesem Hintergrund bei AEE INTEC ein saisonales thermochemisches Solarspeichersystem auf Salzhydratbasis entwickelt und gebaut. Das aufgebaute Komplettsystem des thermochemischen Speichers wurde in Folge im Labor erfolgreich unter realen Bedingungen getestet.

Speicherprinzip

Die Beladung des Sorptionsspeichers findet im Sommer mit Solarenergie statt. Mit Strom aus Photovoltaikanlagen oder mittels Wärme aus solarthermischen Flachkollektoren wird Wasserdampf vom Speichermaterial dehydriert und nach der Kondensation mit Hilfe einer Niedertemperaturquelle (z.B. Erdwärme) in ein Wasserreservoir geleitet. Das trockene Sorptionsmaterial und das flüssige Wasser werden getrennt gelagert. Im Winter wird bei Bedarf im umgekehrten Schritt, Wasser mit Hilfe der Niedertemperaturquelle verdampft und vom Speichermaterial absorbiert. Hierbei wird Wärme frei, die für Raumwärme oder Warmwassererzeugung genutzt werden kann.

Prototyp Sorptionsspeichersystem

Das entwickelte geschlossene Speichersystem (Arbeitsdruckbereich bei rund 10mbar) zeichnet sich durch ein modulares, auf Kompaktheit optimiertes Design aus. Durch die Entwicklung eines prismatischen Modulansatzes kann, im Vergleich zu bisher üblichen zylindrischen Speichersystemen, das verfügbare Volumen in einem Gebäude bis zu 21% effektiver genutzt werden. Das Speichermodul selbst beinhaltet einen Lamellenwärmetauscher als Festbettreaktor zum Transport von Wärme vom/zum Speichermaterial sowie zum/vom Wärmeversorgungssystem. Darüber hinaus wird der Lamellenwärmetauscher als konstruktives Element eingesetzt, um die auf das prismatische Modul einwirkenden Vakuumkräften aufzunehmen; bei gleichzeitiger Minimierung der Materialmengen und -kosten. Neben dem Speichermodul wurde zudem ein simpler, kostengünstiger Verdampfer/Kondensator als Teil des Speichersystems konzipiert und gebaut.

Zur Feststellung des optimalen Speichermaterials wurden von dem Projektpartner der Technischen Universität Eindhoven eine Reihe unterschiedlicher Salzhydrate getestet. Im Rahmen der im Projekt durchgeführten Speichermaterialentwicklung wurden zunächst 262 Salzhydrate mit 563 Hydratationsreaktionen von der Technischen Universität Eindhoven (TUE) bewertet. Dabei hat sich unter Anbetracht des vorhandenen Temperaturniveaus, ökologischer Unbedenklichkeit sowie aus ökonomischer Sicht Kaliumcarbonat (K_2CO_3) als am besten geeignet herausgestellt. Dabei konnte in einem ersten Schritt die Gesamtliste auf 25 mögliche Materialpaarungen hinsichtlich der technischen Anforderungen Energiedichte, Wärmeleistung im Anwendungstemperaturbereich sowie ausreichend

¹ AEE – Institute for Sustainable Technologies, Feldgasse 19, 8200 Gleisdorf Austria, Tel.: +43 3112 5886 229, E-Mail: s.knabl@aee.at

² Department of Applied Physics, TU Eindhoven, NL-5600 Eindhoven, The Netherlands, Tel: ++31 40 247 5375 , E-Mail: h.p.huinink@tue.nl

hoher Schmelztemperatur eingegrenzt werden. Unter Anbetracht der zu erwartenden Kosten, der Verfügbarkeit und der Toxizität wurde schlussendlich Kaliumcarbonat (K_2CO_3) als Basismaterial ausgewählt. Im Zuge weiterer Forschungsaktivitäten der Projektpartner Caldic, Dow, Technische Universität Eindhoven und TNO wurde aus dem Basismaterial in einem weiteren Schritt ein stabiles Verbundmaterial aus Kaliumcarbonat und einem Bindemittel entwickelt, welches im industriellen Maßstab hergestellt werden kann. Durch die Produktion einer Charge von ca. 1 Tonne des Materials am Standort Caldic in Düsseldorf konnte dies auch erfolgreich nachgewiesen werden.

Experimentelle Untersuchung des Saisonalsspeichers

Aufbauend auf den Entwicklungsergebnissen in Bezug auf Speichermaterial und Kompaktheit des Speichers wurde 2018 ein erster Prototyp mit rund 200 Litern Speichermaterial aufgebaut. Das Modul bzw. das gesamte Speichersystem wurden im weiteren Verlauf im Labor in einem Teststand integriert und mit über 230 Messpunkten ausgestattet. Bis Ende 2018 wurden mit dem 197-Liter-Prototypenmodul insgesamt 40 Zyklen unter verschiedenen Betriebsbedingungen, die dem zukünftigen Anwendungsfall entsprechen, durchgeführt. Aus den erfolgreich abgeschlossenen Experimenten konnten Rückschlüsse auf Energieinhalt, Speicherdichte, Leistung (Peak und Durchschnitt), Zyklenfestigkeit, Betriebsverhalten udgl. gezogen werden. Die auf Modulebene erreichten Speicherdichte beträgt nach Abschluss der Experimente für den 197-Liter-Prototypen 128 kWh/m³.



Abbildung 1: Aufbau des saisonalen thermochemischen Solarspeichersystems im Labor

Nach dem erfolgreichen Abschluss der Prototypen-Experimente wurde ein Speichersystem mit drei Speichermodulen und einer Speicherkapazität von insgesamt 1200 Litern Kaliumcarbonat als Speichermaterial umgesetzt. Das Gesamtsystem inkl. Pufferspeicher, Wärmepumpe und Regelung wurde in einem Container aufgebaut und nach weiteren detaillierten experimentellen Untersuchungen im Juli 2019 zum finalen Einsatzort, einem Waisenhaus in Warschau, transportiert. Nach abgeschlossener Implementierung in das Wärmeversorgungssystem des Hauses wird das Speichersystem ab August 2019 Wärme für Raumheizung und Warmwasserbereitung bereitstellen können. Eine durchgehend stattfindende messtechnische Begleitung erlaubt dabei eine Bewertung des Speichersystems in der realen Umgebung.

Experimentelle Ergebnisse des Laboraufbaus als auch des Demonstrators, die im Detail vorgestellt werden, sind der Zusammenhang zwischen der Moduleintrittstemperatur und der gemessenen Leistung bei der Dehydratation als auch Hydratation. Dabei reicht die Leistung bei der Dehydratation von 663 W bei 50°C Moduleintrittstemperatur bis zu 1.650 W bei 35°C (jeweils bei 10°C Verdampfer-temperatur) - vergleichbare Abhängigkeiten konnten bei der Hydratation (591 W bei 80°C bzw. 3.188 W bei 100°C Moduleintrittstemperatur) gemessen werden.