



Die „Testanlage für Wärmespeicherung in Salzschnmelzen (Tesis)“ wird seit Dezember 2017 in Köln betrieben. Mit der Anlage wird erstmalig für diese Technologie der Labormaßstab in Deutschland verlassen und die Hochtemperatur-Wärmespeicherung in Flüssigsalz im MWh-Maßstab untersucht.

Bild: DLR

Hochtemperatur-Wärmespeicherung in Flüssigsalzspeichern

Energie aus dem Salz

ENERGIESPEICHER | Für eine zukünftige klimaneutrale Energieversorgung mit volatilen erneuerbaren Quellen werden Energiespeicher benötigt. Im Niedertemperaturbereich dominieren Warmwasserspeicher den Gebäudewärmemarkt. Die Anwendungsfelder von Hochtemperatur-Wärmespeichern liegen hingegen im Bereich der energieintensiven Industrieprozesse und der Kraftwerkstechnik. Für diese Anwendungen untersucht das DLR in der „Testanlage für Wärmespeicherung in Salzschnmelzen (Tesis, Test Facility for Thermal Energy Storage in Molten Salt)“ innovative Hochtemperatur-Wärmespeicher.

Autor

Dr. **Thomas Bauer**, Jahrgang 1975, Studium der Elektrotechnik an der Hochschule Heilbronn. Promotion zum Thema Thermophotovoltaik an der Northumbria University, Vereinigtes Königreich. Leiter des Fachgebiets Thermische Systeme für Flüssigkeiten am Institut für Technische Thermodynamik des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR), Köln.

i thomas.bauer@dlr.de

Bei der fluktuierenden Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien können Hochtemperatur-Wärmespeicher in der Kraftwerkstechnik eingesetzt werden, um volatilen erneuerbaren Strom zu verstetigen. In solarthermischen Kraftwerken sind Flüssigsalzspeicher bereits für die bedarfsgerechte Stromerzeugung kommerziell und großtechnisch im Ein-

satz. Im Bereich der konventionellen fossilen Kraftwerke bieten Wärmespeicher das Potenzial, diese durch integrierte Wärmespeicherung zu flexibilisieren oder zu Wärmespeicherkraftwerken, die mit erneuerbarem volatilen Strom gespeist werden, umzurüsten. Ein weiteres Anwendungsfeld sind energieintensive Industrieprozesse wie bei der Produktion von Stahl, Eisen, Nichteisenmetallen, Glas, Zement oder chemischen Produkten. Die Speicher können in diesen Prozessen die Energieeffizienz steigern.

Thermische Energiespeicher im Hochtemperaturbereich

Die **Tabelle** zeigt die verschiedenen Technologien zur Hochtemperatur-Wärmespeicherung mit ihren jeweiligen Kennwerten. Die Auswahl der Speichertechnologie wird maßgeblich vom Temperaturbereich und Wärmeträgermedium bestimmt.

¹⁾ <https://www.tib.eu/de/suchen/id/TIBKAT%3A771259700/Flexibilisierung-von-Gas-und-Dampfturbinenkraftwerken/>

	Regenerator	Ruths	Flüssigsalz	Thermoöl	Latentwärmespeicher
Speichermedium	Keramik	Druckwasser	Flüssige Nitratsalze	Mineralöl	Nitratsalz
Speichertyp	Sensibel fest	Sensibel flüssig	Sensibel flüssig	Sensibel flüssig	Latent
Typ. Temperatur °C	400 bis 1 600	150 bis 230	170 bis 560	RT bis 300	120 bis 330
Wärmeträger	Gase	Sattdampf, Druckwasser	Typ. Wärmeübertragung auf (überhitzten) Dampf	Typ. Wärmeübertragung auf ORC	Dampf, maximale Überhitzung 330 °C
Druck Speichermedium	drucklos	5 bis 30 bar	drucklos	drucklos	drucklos
Sicherheitsaspekte	Hohe Temperatur	Druckgerät	brandfördernd	brennbar	brandfördernd
Medium kWh/m ³	70 bis 150	bis 100	75 bis 200	50 bis 150	50 bis 200
Medium kWh/t	50 bis 100	bis 100	40 bis 110	60 bis 190	30 bis 100
Typisches ΔT	100 bis 500 K	10 bis 100 K	100 bis 275 K	100 bis 275 K	20 K
Medium kW/m ³	20 bis 40	bis 3 000	Wärmeübertrager	Wärmeübertrager	5 bis 500
Medium kW/t	15 bis 25	bis 3 000	Wärmeübertrager	Wärmeübertrager	3 bis 300
Konstante Leistung	nein	nein	ja	ja	nein
Markteinführung	vor 1900	1920 bis 1930	2008	vorkommerziell	vorkommerziell
Power-to-Heat-Status	F&E	kommerziell	verfügbar	verfügbar	F&E

Tabelle Übersicht zu thermischen Energiespeichern im Hochtemperaturbereich.

Seit vielen Jahrzehnten werden Regeneratoren und Druckwasserspeicher im Prozesswärmebereich eingesetzt. Der Einsatz bezieht sich hierbei insbesondere auf die energieintensive Industrie. Für konventionelle Kraftwerke eröffnet die Integration thermischer Energiespeicher eine vielversprechende Option, um die zukünftigen Flexibilitätsanforderungen zu erfüllen und gleichzeitig die Wirtschaftlichkeit zu verbessern. Beispielsweise wurde im Projekt „Flexibilisierung von Gas- und Dampfturbinenkraftwerken durch den Einsatz von Hochtemperatur-Wärmespeichern (FleGs)⁽¹⁾ ein Konzept zur Integration eines Regenerators zur Flexibilisierung eines Gas- und Dampfturbinen (GuD)-Kraftwerks hinsichtlich der Strom- und Wärmebereitstellung ausgearbeitet. In solarthermischen Kraftwerken werden seit etwa zehn Jahren Flüssigsalzspeicher großtechnisch eingesetzt. Mittlerweile sind hier bereits signifikante Speicherkapazitäten in diesen Kraftwerken weltweit installiert. Die installierte Kapazität betrug mehr als 30 000 MWh (th.) mit einer netzdienlichen Speicherleistung von mindestens 1 500 MW (el.) im Jahr 2015. Typische Speichergrößen reichen hierbei von 7 bis 12 Stunden. Bild 1 zeigt ein Flüssigsalz-Speichersystem mit einer Kapazität von rund 1 000 MWh (th.).

Testanlage für Wärmespeicherung in Salzschnmelzen

Derzeitig werden Flüssigsalzspeicher ausschließlich im Sonnengürtel in solarthermischen Kraftwerken genutzt. Zur Weiterentwicklung der Technologie und



Bild: Andasol 3

Bild 1 Flüssigsalzspeicher in einem solarthermischen Kraftwerk.

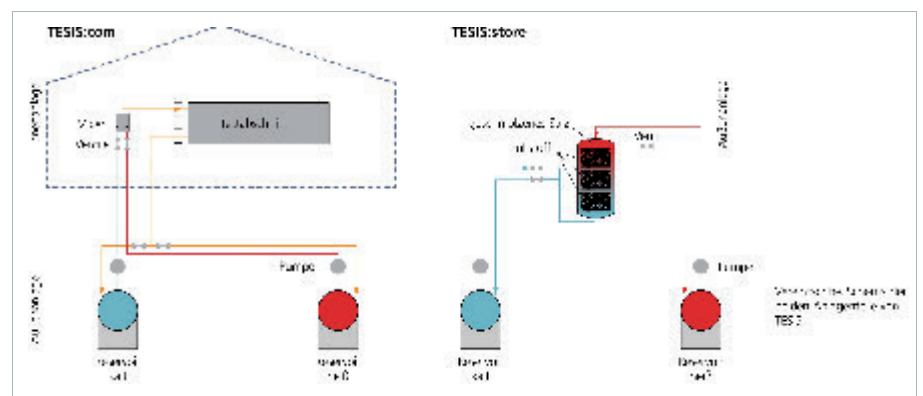


Bild 2 DLR-Testanlage für Wärmespeicherung in Salzschnmelzen mit vereinfachtem Schema der beiden getrennten Teilanlagen „Tesis:com“ und „Tesis:store“.

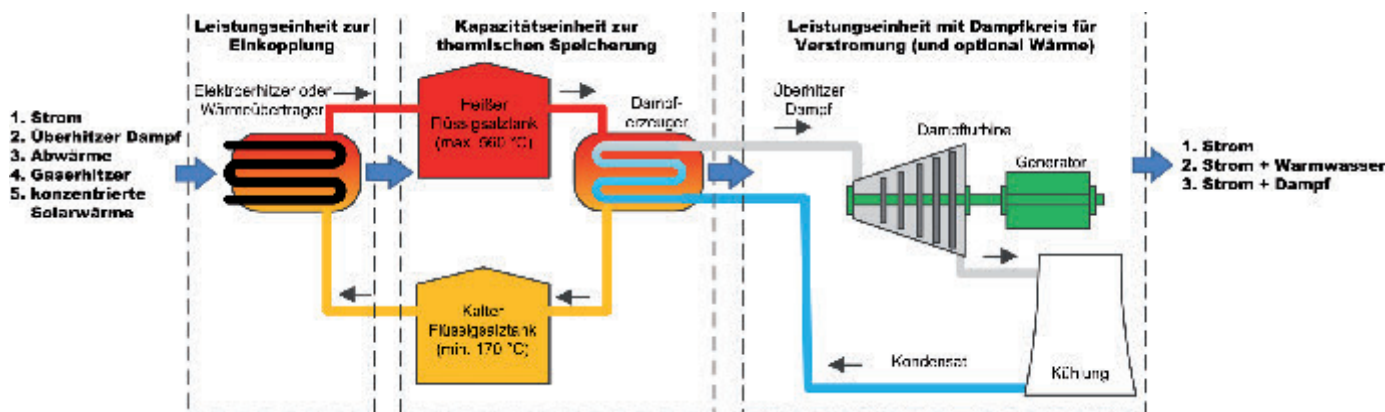


Bild 3 Nutzungsmöglichkeiten von Flüssigsalzspeichern mit den drei Teilsystemen:
1. Leistungseinkopplung, 2. Wärmespeicherung, 3. Leistungsauskopplung;
beispielsweise in einem Wärmespeicherkraftwerk.

Anpassung an neue Anwendungen in Deutschland forscht das DLR an der weltweit einzigartigen Testanlage für Wärmespeicherung in Salzschnmelzen. Forschungsschwerpunkte im Bereich der Flüssigsalztechnologie sind die Erweiterung des Temperaturarbeitsbereichs und die weitere Senkung der Kapitalkosten. Diese Aspekte sind für einen breiteren Einsatz der Technologie unerlässlich.

Die Testanlage Tesis besteht aus zwei Teilanlagen, die völlig unabhängig voneinander betrieben werden können (Bild 2). Ziel der Teilanlage „Tesis:store“ ist es, den üblichen Aufbau mit zwei Tanks durch einen Tank mit einer Temperaturschichtung mit kostengünstigen Füllstoffen wie Gestein zu ersetzen. Durch den Einsatz von nur einem Tank und die Reduktion des Salzvolumens durch den Einsatz von kostengünstigen Füllstoffen besteht das Potenzial, die Kapitalkosten im zweistelligen Prozentbereich zu senken.

„Tesis:com“ dient der Qualifizierung von Flüssigsalzkomponenten und zur Klärung von verfahrenstechnischen Fragen. Mit der Anlage können Flüssigsalzkomponenten in einer Halle flexibel ein- und umgerüstet sowie flexible Testprogramme hinsichtlich Temperaturen und Massenströmen voll automatisiert durchgeführt werden. Zweck der Teilanlage ist es, Flüssigsalzkomponenten zu qualifizieren und zu verbessern. Beispiele sind Ventile, elektrische Heizungen, Dichtungen und Messtechnik. Weiterhin sind verfahrenstechnische Fragen wie Einfrier- und Überhitzungsvorgänge bei Flüssigsalz ein Untersuchungsgegenstand.

Mit dem derzeitigen laufenden Forschungsbetrieb der ersten Freiflächenanlage mit rund 100 t Salzschnmelze in

Köln ist der Nachweis der Genehmigungsfähigkeit der Flüssigsalz-Technologie in Deutschland bereits erbracht.

Nutzungsmöglichkeiten von Flüssigsalzspeichern

Insbesondere die Bereiche Prozesswärme und Kraftwerkstechnik bieten Potenziale, die Technologie in Deutschland einzusetzen. Bei der Entladung eignen sich Flüssigsalzspeicher insbesondere zur Versorgung von Dampfturbinen bis zu einer Temperatur von 560 °C. Zukünftige Einsatzmöglichkeiten ergeben sich somit in allen Bereichen mit Dampfturbinentechnologie wie zum Beispiel zentrale KWK-Anlagen, Kohlekraftwerken und GuD-Kraftwerken. Für die Beladung des Flüssigsalzspeichers können verschiedenste Quellen wie elektrische Energie, überhitzter Dampf, Abwärme, Gasfeuerung oder konzentrierte Solarwärme genutzt werden. Eine Kombination von verschiedenen Energiequellen zur Beladung ist hierbei ebenfalls möglich. Komponenten für den elektrischen Energieeintrag (Power-to-Heat) in Flüssigsalzspeicher sind kommerziell im Megawattmaßstab prinzipiell verfügbar. Somit besteht das Potenzial für sogenannte Strom-Wärme-Strom-Speicher, die auch Wärmespeicherkraftwerke oder Carnot-Batterien [1; 2] genannt werden. Es besteht das Potenzial, den Wirkungsgrad dieser Speicherkraftwerke durch Hochtemperatur-Wärmepumpen zukünftig weiter zu steigern.

Die Nutzungsmöglichkeiten von Flüssigsalzspeichern sind in Bild 3 zusammengefasst. Das System besteht aus drei Einheiten:

1. einer Leistungseinheit zur Energieeinkopplung;

2. einer Kapazitätseinheit zur Speicherung in Flüssigsalz;

3. dem Dampfkreis zur Verstromung oder gekoppelten Strom- und Wärme-Bereitstellung.

Oft stellt der Dampfkreis mit Verstromung hierbei die teuerste Leistungskomponente dar. Um die Kosten zu senken, ist es daher zielführend, die Nutzung bestehender Dampfinfrastrukturen zu prüfen.

Fazit

Insgesamt ist festzuhalten, dass die vorgeschlagenen Konzepte zumeist auf kommerziellen Komponenten beruhen, aber in dieser Kombination neu und bisher nicht umgesetzt sind. Erste Demonstrationsanlagen sind daher für einen Markteintritt erforderlich. Hierzu ist es zielführend, zunächst die mögliche Kostensenkung durch Integration der Flüssigsalzspeicher in bestehende Prozesse zu untersuchen. Neben der Umsetzung von Demonstrationsanlagen besteht zukünftig das Potenzial, durch Forschung und Entwicklung an Hochtemperaturkomponenten wie Wärmepumpen, Wärmespeichern, Wärmeübertragern und Elektroerhitzern diese an die Prozesse optimal anzupassen, um dadurch die Investitionskosten weiter zu senken und die Gesamtwirkungsgrade zu steigern.

Literatur

- [1] Laughlin, R. B.: Pumped thermal grid storage with heat exchange. *Journal of Renewable and Sustainable Energy* 9 (4), 2017. <https://doi.org/10.1063/1.4994054>.
- [2] Steinmann, W.-D.: Thermo-mechanical concepts for bulk energy storage. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 75 Suppl. C, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.10.065>.