

Das Projekt TESIN – Entwicklung und Erprobung eines Hochtemperatur-Latent-Wärmespeichers

Andreas Dengel⁽¹⁾, Maïke Johnson⁽²⁾, Bernd Hachmann⁽³⁾

⁽¹⁾ Prof. Dr.-Ing. Andreas Dengel: Leiter „Innovationsprojekte“; korrespondierender Autor
STEAG New Energies GmbH; St. Johanner Straße 101; D-66115 Saarbrücken;
Telefonnummer: +49 (0)681 9494 1600; Faxnummer: +49 (0)681 9494 9366;
Mail: andreas.dengel@steag.com; Homepage: <http://www.steag-newenergies.com>,

⁽²⁾ Dipl.-Ing. Maïke Johnson;
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.; Pfaffenwaldring 38-40; D-70569 Stuttgart
Telefonnummer: +49(0)711 6862 344; Faxnummer: +49(0)711 6862 747;
Mail: maïke.johnson@dlr.de; Homepage: <http://www.dlr.de>

⁽³⁾ Dr.-Ing. Bernd Hachmann;
F. W. Brökelmann Aluminiumwerk GmbH & Co. KG, Werk Ense; Oesterweg 14; D-59469 Ense
Telefonnummer +49 (0)2938 808 194
Mail: bernd.hachmann@broekelmann.com; Homepage: <http://www.broekelmann.com>

Kurzfassung:

Von einem Heizkraftwerk wird neben Industriekunden insbesondere ein Werk zur Herstellung von Kunststofffolien mit Dampf (300 °C, 26 bar_g) versorgt. Dieser Produktionsprozess reagiert sehr empfindlich auf Parameteränderungen des Dampfes, so dass die Besicherung des von einer Gasturbine gefeuerten Abhitzekessels durch Dampfkessel erfolgt. Könnte nun ein Wärmespeicher innerhalb von zwei Minuten beim Ausfall des Abhitzekessels die Dampfversorgung für etwa 15 Minuten übernehmen, könnten die Dampfkessel aus der Warmhaltung heraus hochgefahren werden und müssten nicht dauerhaft mit Mindestlast betrieben werden. Diese hohe Ausspeiseleistung setzt jedoch eine diffizile Struktur der Wärmeübertragung zwischen Speichermedium und Dampf-, bzw. Wasserrohren voraus.

Keywords: Hochtemperatur-Latent-Wärmespeicher, Dampfversorgung, Besicherung, Produktionsprozesse, Rippenprofile, Wärmeleitstrukturen

1 Das Vorhaben TESIN

Gemeinsam mit den Partnern Badische Engineering GmbH (BSE), Badische Stahlwerke GmbH (BSW), Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR) und F.W. Brökelmann Aluminiumwerk GmbH & Co. KG (FWB) wird ein öffentlich gefördertes Vorhaben mit dem Titel „Thermische Energiespeicher für die Erhöhung der Energieeffizienz in Heizkraftwerken und Elektrostahlwerken“ unter dem Förderkennzeichen 03ESP011 beim BMWi durchgeführt. Neben einer Potenzialstudie für die beiden Unternehmen aus Energiewirtschaft und Stahlerzeugung, wird konkret die Entwicklung und Erprobung eines Latentwärmespeichers in einem Heizkraftwerk der STEAG New Energies GmbH umgesetzt.

2 Motivation

Unter den Abnehmern des Dampfes aus dem Heizkraftwerk Wellesweiler der STEAG New Energies (Abbildung 1), befindet sich ein Folienwerk, welches hohe Ansprüche an die Qualität und die Verfügbarkeit des Dampfes stellt. Deshalb wird immer, parallel zu einem von einer Gasturbine befeuerten Abhitzeessel, einer von zwei unter anderem zur Besicherung dort aufgestellten Heizkessel betrieben.



Abbildung 1: Heizkraftwerk Wellesweiler

Dieser läuft rund um die Uhr mindestens auf Minimallast, da er im Falle einer Störung der Turbine, die Sicherstellung der Dampfversorgung innerhalb von kurzer Zeit übernehmen muss. Durch den Minimallastbetrieb entfallen die sonst notwendigen Anfahrzeiten. Deshalb erzeugt das Kraftwerk vor allem in den Sommermonaten überschüssige Wärme.

Durch den Einsatz eines Wärmespeichers entfällt der Minimallastbetrieb eines zusätzlichen Heizkessels zur Sicherstellung der Dampfversorgung, da der Speicher die kurzzeitige Dampfversorgung im Falle einer Störung der Turbine übernimmt, bis ein Dampfkessel hochgefahren ist.

Hierfür muss ein Latentwärmespeicher für eine kurze Zeit (circa 15 Minuten) den erforderlichen überhitzten Dampf produzieren. Bisherige Speicher in diesem Temperaturbereich wurden für längere Entladezeiten im Bereich 1-2 oder 6-8 Stunden – insbesondere für solarthermische Kraftwerke, und mit entsprechend geringeren Leistungen ausgelegt. Zudem wird in dieser Anwendung überhitzter Dampf benötigt, der ebenfalls im Latentwärmespeicher erzeugt werden soll. Bisherige Erfahrungen beschränkten sich auf die Erzeugung von Sattdampf.

3 Verfahrenstechnische Einbindung

Der Speicher wird in der Anlage zwischen der Speisewasserpumpe und der Dampfleitung, parallel zu dem bestehenden Abhitzekessel (AHK) und dem zusätzlichen Heizkessel eingebunden [1].

Diese Einbindung ist schematisch in Abbildung 2 dargestellt. Für die Entladung wird Speisewasser von unten in den Speicher gepumpt. Dieses verdampft und wird zum Verbraucher weitergeleitet.

Die Beladung ist verfahrenstechnisch interessant, weil der überhitzte Dampf aus dem Abhitzekessel, der für die Beladung verwendet wird, bei dem im Speicher herrschenden Druckniveau nur zu Beginn der Beladung kondensiert werden kann. Daher wurde eine verfahrenstechnische Einbindung des Speichers geplant, bei der der Speicher während der Beladung zunächst nur von einem Teil des Massenstroms durchströmt wird. Der restliche Massenstrom wird am Speicher vorbei geleitet und an einer Mischstelle mit dem Dampfmassenstrom aus dem Speicher gemischt. Der Dampf vom Abhitzekessel wird zur Beladung mit einer Temperatur von 350 °C von oben in den Speicher eingeleitet. Dieser kühlt sich im Speicher zu Beginn auf unter 300 °C ab.

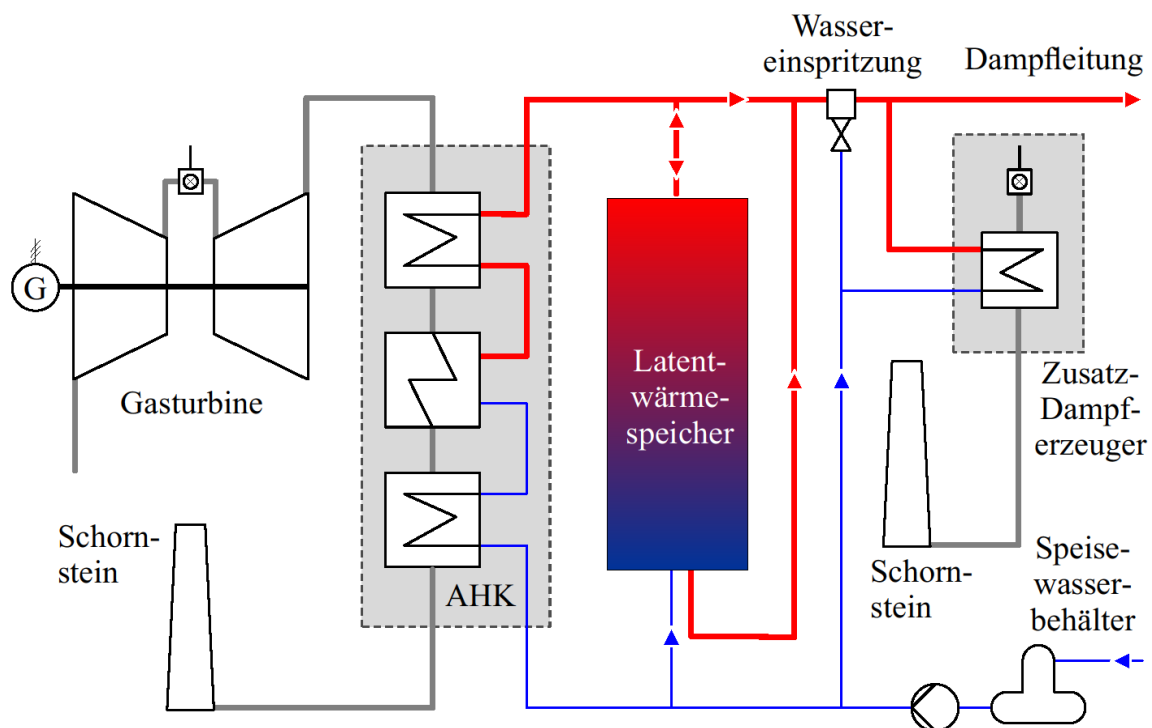


Abbildung 2: Verfahrenstechnische Einbindung des Speichers im Heizkraftwerk Wellesweiler

Das Kondensat wird abgeleitet; an der Unterseite austretender Dampf wird an einer Mischstelle wieder mit dem Dampf aus dem Abhitzekeßel vermischt. Durch die beschriebene Aufteilung des Massenstroms ist es möglich, an der Mischstelle eine Mischtemperatur größer 300 °C zu gewährleisten. Der Massenstrom, der durch den Speicher geleitet wird, wird langsam erhöht, bis der komplette Massenstrom durch den Speicher geleitet wird. Bis zur vollständigen Beladung des Speichers wird dieser von dem gesamten verfügbaren Dampfmassenstrom durchströmt.

4 Speicherauslegung

Für diese Anwendung wurde ein Speicher mit Natriumnitrat als Speichermedium konzipiert. Dieses ändert seine Phase von flüssig zu fest während der Entladung des Speichers, und gibt dabei thermische Energie frei. Das Speicherkonzept basiert auf dem Konzept eines Rohrbündelwärmeübertragers. Durch die Rohre im Bündel fließt Wasser, bzw. Wasserdampf und nimmt Wärme vom Speichermaterial auf. Das Speichermaterial befindet sich im Mantelraum vom Rohrbündelspeicher. Um die hohe Leistung der Anwendung bereitstellen zu können, sieht die Auslegung vor, Wärmeleitstrukturen an Rohre zu fixieren. Geplant ist ein Rohrabstand von 70 mm. In Gesprächen mit Herstellern von Speichern wird dieser Rohrabstand als noch fertigbar betrachtet.

Ausgehend von einer hexagonalen Anordnung der einzelnen Wärmeleitstrukturen wurde von F. W. Brökelmann ein Rippendesign erarbeitet, das durch eine zweifache Auffächerung der innen anliegenden 8 Rippen bis zu 32 Rippen im äußeren Bereich eine effektive und radial gleichmäßige Durchdringung des Speichermediums darstellt. Die von DLR und FWB patentierte Zweiteilung der Struktur erlaubt zum Einen eine wirtschaftliche Herstellung durch Strangpressen, zum Anderen eine dauerhaft kraftschlüssige und dabei thermisch unempfindliche Verbindung mittels Federklammern. Das Rippendesign ist in Abbildung 3 links dargestellt. Hierfür wurden Simulationen zur Wärmeverteilung durchgeführt, gezeigt in Abbildung 3 rechts.

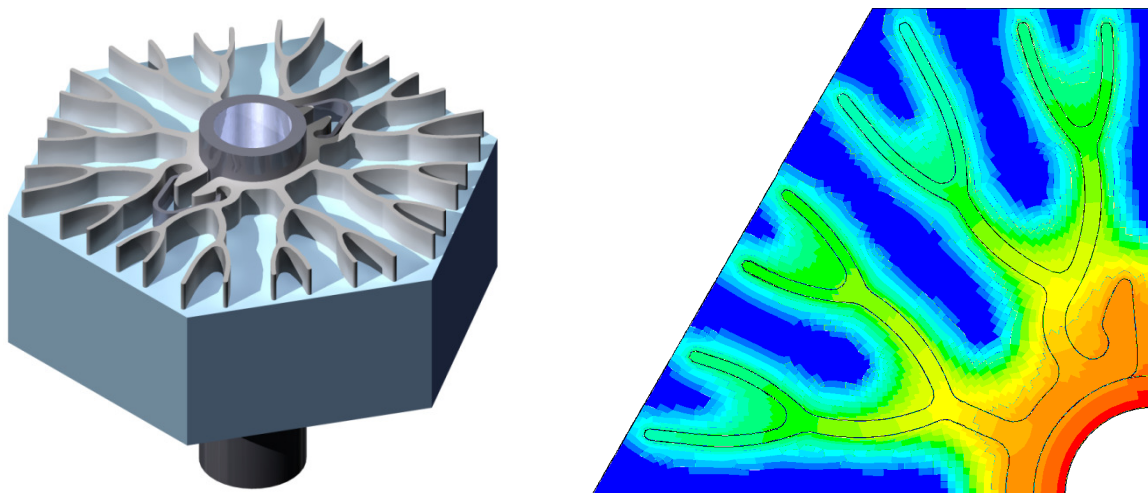


Abbildung 3: Links: Rippenauslegung in grau, mit Speichermaterial in blau und ein Rohr in dunkelgrau dargestellt. Rechts: transient thermisches Berechnungsergebnis während der Beladung des Speichers

Mit diesem Rippendesign wurde der Speicher ausgelegt und im System simuliert. Die Temperaturverläufe während einer Entladung am Speicherausgang sind in Abbildung 4 links in rot dargestellt. Diese sinken langsam von der Beladetemperatur von 350 °C auf die Grenztemperatur ab, bis diese nach 28 Minuten erreicht ist. Die Speisewassertemperatur bleibt konstant bei 103 °C (blau). Auch dargestellt sind die gemittelten Temperaturen im oberen, mittleren und unteren Bereich des Speichermaterials in grün. In Abbildung 4 rechts ist die Auslegung des Speichers gezeigt. Der Speicher hat Abmessungen von ca. 1,5 m x 2 m im Querschnitt und ist ca. 8 m hoch. Im Speicher befinden sich ca. 850 berippte Rohre, um die angeforderte Leistung im Heizkraftwerk Wellesweiler bereitzustellen.

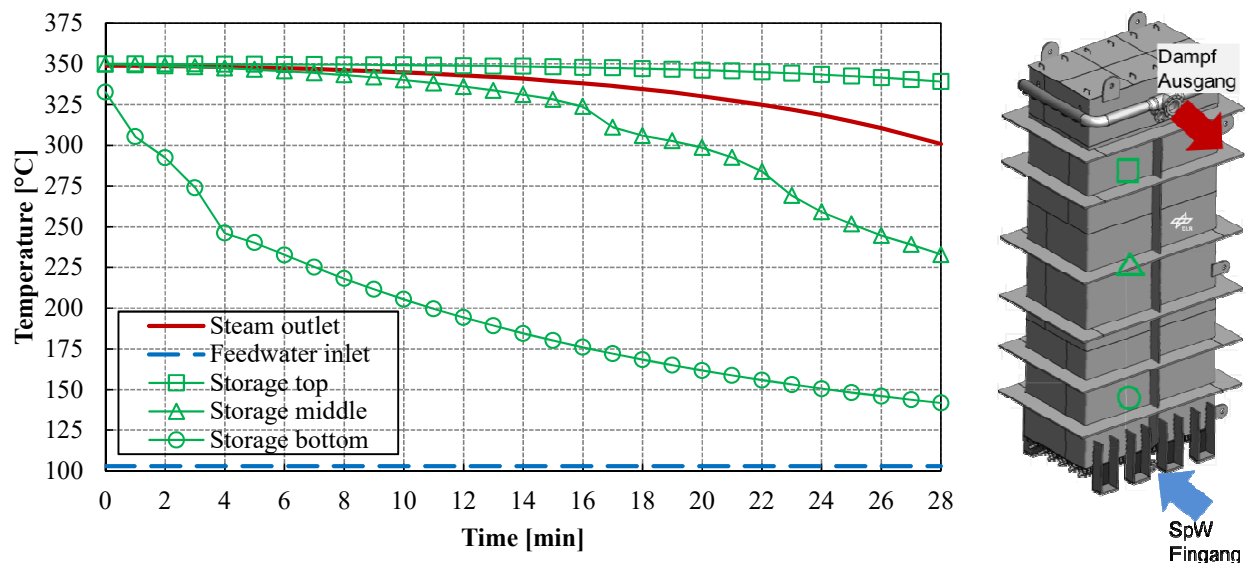


Abbildung 4: Temperaturverlauf im Speicher und an den Ein- und Ausgängen während der Entladung

5 Zusammenfassung und Ausblick

Die detaillierte Auslegung des Speichers sowie die Einbindung des Speichers im Heizkraftwerk Wellesweiler ist nahezu abgeschlossen. Mit diesem Speicher wird der größte Hochtemperatur-Latentwärmespeicher mit der ersten großtechnischen Anwendung von axial berippten Rohren gebaut (Abbildung 5).

Mittlerweile befindet sich der Speicher vor Ort (Abbildung 6). Die nächsten Arbeiten sind die Anbindung an das Rohrsystem des Heizkraftwerkes, die leittechnische Einbindung, die Isolierung des Speichers sowie die Abnahmen durch den TÜV und Behörden. Danach kann der Speicher mit dem Natriumnitrat befüllt und in Betrieb genommen werden.

Somit werden in diesem Kraftwerk dann die ersten Untersuchungen an einem Speicher in diesem realen Maßstab möglich sein.



Abbildung 5: Bau des Latentwärmespeichers



Abbildung 6: Anlieferung und Errichtung des Latentwärmespeichers

6 Danksagung

Die Autoren bedanken sich beim Bundesministerium für Wirtschaft und Energie für die Förderung des Projekts TESIN (Förderkennzeichen 03ESP011).

7 Literatur

- [1] Johnson, M., Vogel, J., Hempel, M., Hachmann, B. & Dengel, A. (2017). Design of High Temperature Thermal Energy Storage for High Power Levels. *Sustainable Cities and Society*, 35(November), 758-763. doi: 10.1016/j.scs.2017.09.007 Presented at Greenstock, Beijing, China, May 2015
- [2] Johnson, M., Vogel, J., Hempel, M., Dengel, A., Seitz, M., & Hachmann, B. (2015). High temperature latent heat thermal energy storage integration in a co-gen plant. *Energy Procedia*, 73 (June), 281- 288. doi: 10.1016/j.egypro.2015.07.689. Presented at IRES 2015, Düsseldorf, Germany, Feb. 2015
- [3] Johnson, M., Hübner, S., Braun, M., Schönberger, M., Martin, C., Fiß, M., Hachmann, B., & Eck, M. (2018). Assembly and attachment methods for extended aluminum fins onto steel tubes for high temperature latent heat storage units. *Applied Thermal Engineering*, 144, 96-105, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2018.08.035
- [4] Johnson, M., Hachmann, B., Dengel, A., Fiß, M., Hempel, M. & Bauer, D. (2018). Design and Integration of High Temperature Latent Heat Thermal Energy Storage for High Power Levels. *Proceedings of the ASME IMECE*, IMECE2018-86281, Pittsburgh, USA, Nov. 2018. Accepted manuscript.