



# FACT SHEET SPEICHERTECHNOLOGIEN

## Feststoffspeicher für Hochtemperaturwärme

### ALLGEMEINE BESCHREIBUNG:

**Form der Energieaufnahme und –abgabe:** Wärmeübertragung durch direkten Kontakt von einem gasförmigen Wärmeträgermedium mit einem umströmten Feststoffspeichermaterial.

**Kurzbeschreibung des Speicherprozesses:** In Feststoffwärmespeichern wird thermische Energie durch Aufheizung und Abkühlen von Natursteinschüttungen oder stapelbaren keramischen Formsteinen (typischerweise Oxidkeramiken, siehe dazu [1]) gespeichert. Feststoffe können zur Wärmespeicherung bis zu Temperaturen über 1000 °C eingesetzt werden und deshalb Energie in hoher Dichte aufnehmen. Bei der Beladung strömt ein gasförmiges Wärmeträgermedium (z.B. solar oder elektrisch erhitze Heißluft, Verbrennungsgase einer Gasturbine, Rauchgase einer Ersatzbrennstoffanlage, adiabat komprimierte Druckluft) auf der heißen Seite in das Speicherinventar, heizt das poröse Speichermaterial auf und verlässt abgekühlt das Speicherinventar auf der kalten Seite. Bei der Entladung wird bei entgegengesetzter Durchströmung des Speicherinventars ein gasförmiger Wärmeträger erhitzt, der direkt weiter genutzt wird (z.B. als vorgewärmte Verbrennungsluft) oder die aufgenommene Wärme an ein Arbeitsmedium überträgt (z.B. Wasser zur Dampferzeugung). Die Geometrie des Speicherbehälters wird wesentlich bestimmt durch die thermische Speichereffizienz, geringen Druckverlust bei der Durchströmung und gleichmäßige Durchströmung des Speichermaterials, Maßnahmen zur Beherrschung der zyklisch induzierten thermischen Spannungen im Speichermaterial und die Herstellkosten des Behälters und der Isolation. Die Modularisierung der Speicherkapazität kann vorteilhaft sein z.B. im Hinblick auf geringe Druck- und Wärmeverluste und gute Regelbarkeit.

**Fokus auf Leistungs- oder Energiebereitstellung:** Energiebereitstellung

**Geeignete Anwendungsgebiete:** Die Anwendungsmöglichkeiten für Regeneratorspeicher sind vielseitig und bestimmt durch die Herkunft der Wärme des heißen Wärmeträgermediums für die Beladung (z.B. Abwärme, solar oder elektrisch erzeugte Wärme) und die Nutzung der Entladewärme (z.B. für die Luftvorwärmung eines Verbrennungsprozesses oder zur Dampferzeugung): Regeneratorspeicher werden z.B. in der Glasindustrie, in der Metallurgie und bei der Zementherstellung in diskontinuierlichen Prozessen zur Zwischenspeicherung von Hochtemperaturwärme und Erhöhung der Energieeffizienz eingesetzt. Im Hochofenprozess wird dieser Speichertyp „Winderhitzer“ oder nach seinem Erfinder „Cowper“ genannt, und die Verschaltung von 2 oder 3 Modulen dient der Bereitstellung von Heisswind (Abbildung X links). Eine weitere Anwendung ist die thermisch-regenerative Abluftreinigung von Kohlenwasserstoffen mit integriertem Wärmespeicher mit einer Be-/Entladeleistung von 4 MWth für Abluftmenge von bis zu 200.000 Nm<sup>3</sup>/h. Für weitere Anwendungen werden Konzepte untersucht [9].



Abbildung 1: Winderhitzer im Hochofenprozeß (links), Thermisch-oxidative Abluftreinigung (rechts). Quelle: [1](links), [7](rechts)



Neuere Anwendungen und aktuelle Entwicklungsarbeiten zielen auf die Nutzung von Regeneratorspeichern in Kraftwerksanwendungen: Sie können zur Betriebsflexibilisierung von Gas- und Dampfturbinen Kraftwerken, Kohlekraftwerken, Biomasse- oder Ersatzbrennstoffkraftwerke eingesetzt werden. Ziele sind dabei die Verbesserung der Lastwechselfähigkeit und Mindestlastreduktion sowie bei KWK-Kraftwerken die Aufhebung der starren Kopplung von Wärme- und Stromerzeugung. Als Lösung wurden Schüttspeicher im Rauchgaspfad einer Gasturbine untersucht, siehe Abbildung 2 unten [5, 10]. Ähnliche Untersuchungen wurden auch für Biomasse-Kraftwerke durchgeführt, Abbildung 3 unten [8]. In adiabaten Druckluftspeicherkraftwerken zur Stromspeicherung ermöglicht ihr Einsatz eine erhebliche Anhebung des elektrischen Speicherwirkungsgrades [1,4]. Dabei wurden Entwürfe für Speicherkapazitäten von etwa 1 GWh<sub>th</sub> erarbeitet. In solarthermischen Kraftwerken mit Luftreceivern erlauben sie die zeitliche Entkopplung von Solarstrahlung und Stromerzeugung. Hier existieren Pilotanwendungen: Der thermische Wärmespeicher im Solarturmkraftwerk Jülich hat eine Speicherkapazität von 12 MWh<sub>th</sub> und eine Entladeleistung von 5,7 MW<sub>th</sub> [1, 3], siehe Abbildung 4 unten.

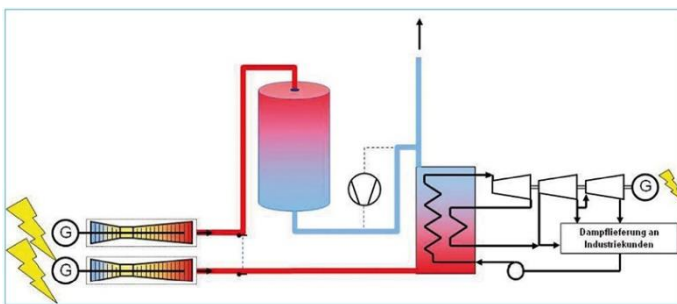


Abb. 1: Integration eines Hochtemperaturspeichers in einem GuD-KWK-Kraftwerk wie im Projekt FLEGS untersucht

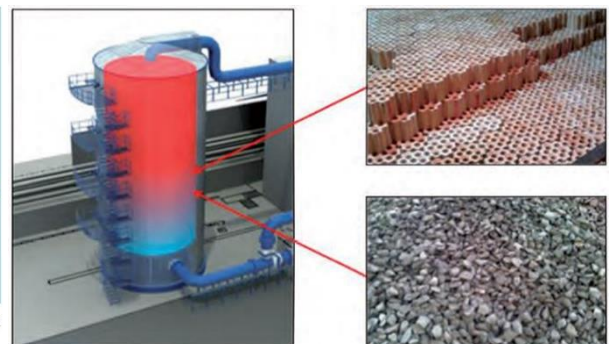


Abbildung 2: Integration eines Schüttspeichers in einem 300 MW GuD-KWK-Kraftwerk (RWE/DLR) Quelle: [5](links), [10](rechts)

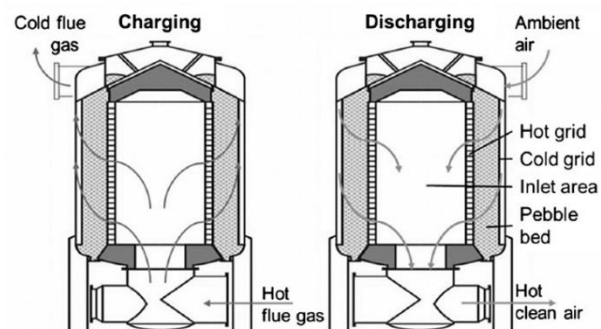
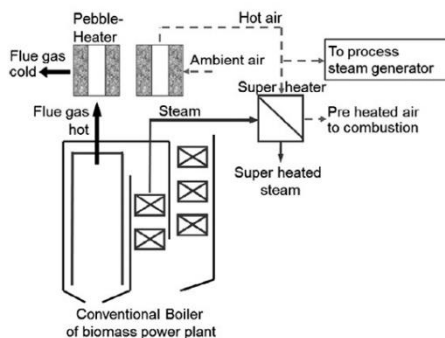


Abbildung 3: Lösungen für die Integration eines Schüttspeichers in ein Biomasse-Kraftwerk (FhG Umsicht)[8]

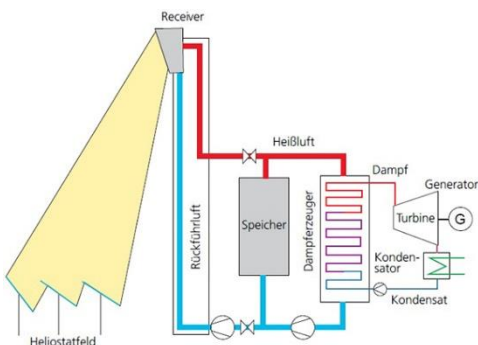


Abbildung 4: Integration eines Formsteinspeichers in das Solarkraftwerk Jülich [6]



**Stand der Entwicklung / kommerzielle Verfügbarkeit:** Regeneratorspeicher zur Verwendung in der Stahl- und Glasindustrie sowie zur Abluftreinigung sind kommerziell verfügbar. (TRL 9). Die Verwendung in der Kraftwerkstechnik hat einen anwendungsnahen, aber noch vorkommerziellen Status. Im Solarturmkraftwerk Jülich ist die Technik im Pilotmaßstab realisiert.

**Technology Readiness Level (TRL)<sup>1</sup> : 6-7**

<sup>1</sup>Definition gemäß EU Horizon 2020

([http://ec.europa.eu/research/participants/data/ref/h2020/wp/2014\\_2015/annexes/h2020-wp1415-annex-g-trl\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/research/participants/data/ref/h2020/wp/2014_2015/annexes/h2020-wp1415-annex-g-trl_en.pdf))

## RELEVANTE TECHNISCHE SPEZIFIKATIONEN:

Spezifische Energiespeicherdichte	<b>kWh<sub>th</sub>/m<sup>3</sup></b>	<b>kWh<sub>th</sub>/t</b>
	70 - 150	50-100
Spezifische Leistungsdichte	<b>kW/m<sup>3</sup></b>	<b>kW/t</b>
	20-40	15-25
typische / realisierbare Speichergröße	<b>MWh<sub>th,out</sub></b>	<b>MW<sub>th, out</sub></b>
	1 - 1000	
Speicherwirkungsgrad in %	98	
Speicherdauer	Stunden bis Tage	
Reaktionszeit	Minuten	
Lebensdauer (maximal)	<b>Zyklen</b>	<b>a</b>
	> 10.000	> 20 Jahre
Verluste pro Zeit in %	~2-4 der Nennkap. pro Tag	

## ÖKONOMISCHE SPEZIFIKATIONEN:

Investitionskosten pro kWh<sub>th</sub>: 15 – 40 €

Investitionskosten pro kW<sub>th</sub>: 100 – 150 € für 6 Stunden-Speicher

**Erläuterungen:** Die angegebenen spezifischen Kosten beziehen sich jeweils auf die Investition eines Wärmespeichers ab Werk. Die Kosten für Transport, Installation und Inbetriebnahme sind länderspezifisch.

Betriebs- und Instandhaltungskosten (bezogen auf Invest /kWh<sub>th</sub>): 1 % der Gesamtinvestition pro Jahr

Kosten für bereitgestellte Energie in konkreter Anwendung



### Beispiel 1:

Abwärmenutzung Wärmequelle Schmelzofen 1 MWh<sub>th</sub> pro Charge,

12 Chargen pro Tag = 12 Wärmespeicherzyklen pro Tag

Speichergröße 1,3 MWh<sub>th</sub>, Abwärmenutzung zur Vorwärmung der Schmelzprodukte und Verbrennungsluft der

Beheizungseinrichtungen des Schmelzofens, zusätzlicher elektrischer Leistungsbedarf der Ventilatoren 3 kW,

Einsparung Erdgas 45 m<sup>3</sup>/h, (ca. 75.000 €/Jahr), Gesamtinvestition System ca. 300.000 €

### Weitere Informationen:

- Laing, Doerte und Zunft, Stefan (2014) *Using concrete and other solid storage media in thermal energy storage (TES) systems*. In: *Advances in Thermal Energy Storage Systems. Methods and Applications*. Woodhead Publishing Series in Energy. Woodhead. Seiten 65-86. ISBN 9781782420880
- [2] Krüger, Michael und Dreißigacker, Volker und Zunft, Stefan und Meier, Hans-Joachim (2015) *Flexibilisierung von Kohlekraftwerken durch Integration von Wärmespeichern: Ergebnisse des Verbundvorhabens Partner-Dampfkraftwerk*. In: *Kraftwerkstechnik 2015: Strategien, Anlagentechnik und Betrieb*. SAXONIA. Kraftwerkstechnisches Kolloquium, Dresden. ISBN 3934409709
- [3] Zunft, Stefan und Hänel, Matthias und Krüger, Michael und Dreißigacker, Volker (2013) *A design study for regenerator-type heat storage in solar tower plants – Results and conclusions of the HOTSPOT project*. *Energy Procedia* 49 ( 2014 ) 1088 – 1096, doi: 10.1016/j.egypro.2014.03.118
- [4] Zunft, S., Krüger, M., Dreißigacker, V., Mayer, P.–M., Niklasch, C. and Bertsch, C., 2012. *Adiabate Druckluftspeicher für die Elektrizitätsversorgung – der ADELE-Wärmespeicher*. In *Kraftwerkstechnik*, vol. 4. Dresden: TK Verlag, pp. 749–757
- [5] Zunft, Stefan und Dreißigacker, Volker und Krüger, Michael (2014) *Einsatz von Hochtemperaturspeichern in der Kraftwerkstechnik und ihre Entwurfsaspekte*. In: *Kraftwerkstechnik 2014 - Strategien, Anlagentechnik und Betrieb*, Seiten 637-646. Saxonia. 46. Kraftwerkstechnisches Kolloquium, 14.-15. Oktober 2014, Dresden. ISBN 978-3-934409-62-0.
- [6] Zunft, Stefan und Hänel, Matthias und Krüger, Michael und Dreißigacker, Volker und Göhring, Felix und Wahl, Eberhard (2011) *Jülich Solar Power Tower – Experimental Evaluation of the Storage Subsystem and Performance Calculation*. *Journal of Solar Energy Engineering*, Volumen 133 (Issue 3), Seiten 1019-1023. American Society of Mechanical Engineers International. DOI: 10.1115/1.4004358. ISSN 0199-6231.
- [7] KBA-Metalprint, <http://www.kba-metalprint.com/kba-cleanair/produkte/product/tra-thermisch-regenerative-abluftreinigung>
- [8] Daschner, R., Binder, S., Hornung, A.: *Pebble bed regenerator and storage system for high temperature usw*. *Applied Energy* 109 (2013), 394-401.
- [9] *Konzept zur Abwärmenutzung bei Schmelzanlagen*, Fa. KBA-Metalprint, <http://www.kba-metalprint.com/kba-cleanair/produkte/product/thermischer-energiespeicher-tes/detail/>
- [10] Stahl, K. und Zunft, S. (2012) *Entwicklung eines Hochtemperatur-Wärmespeichers zur Flexibilisierung von GuD-Kraftwerken*. In: *Kraftwerkstechnik*, Bd. 4, Bd. 4, Seiten 777-784. TK Verlag. 44. Kraftwerkstechnisches Kolloquium 2012, Oktober 2012, Dresden, Deutschland. ISBN 978 3 935317 87 0.