

# **BVES FACTSHEET FESTSTOFFSPEICHER FÜR HOCHTEMPERATUR- WÄRME**

**STAND JUNI 2021**

# 1. ALLGEMEINE BESCHREIBUNG

## 1.1 FORM DER ENERGIEAUFNAHME UND -ABGABE:

Wärmeübertragung durch direkten Kontakt von einem gasförmigen oder flüssigen Wärmeträgermedium mit einem umströmten Feststoffspeicherkern. Die Wärmeübertragung erfolgt durch Strahlung und Konvektion.

## 1.2 KURZBESCHREIBUNG DES SPEICHERPROZESSES

In Feststoffwärmespeichern wird thermische Energie durch Aufheizung zum Beispiel von Stahlstrukturen, Natursteinschüttungen oder Kunstgesteinen, wie Beton oder keramischen Formsteinen gespeichert. Geeignete Feststoffe bleiben auch bei hohen Temperaturen form- und phasenstabil. Geeignet sind derartige Feststoffe, da sich mit zunehmender Temperatur deren Wärmekapazität erhöht. Derzeit erreichen Feststoffspeicher Speichertemperatur von **1000 °C +**.

Bei der Beladung wird ein gasförmiges oder flüssiges Wärmeträgermedium (z.B. solar oder elektrisch erhitzte Luft, Verbrennungsgase komprimierte Druckluft oder Thermoöle) im geschlossenen Kreislauf durch den Speicherkern gefördert (Gebläse, Pumpe) und heizt den Speicherkern auf. Bei der Entladung wird das erhitzte Trägermedium (gasförmig, flüssig) bedarfsgerecht entnommen. Die thermische Energie des Speicherkreislaufs wird mittels Wärmeüberträger (Wärmetauscher) an das nachgeschaltete Arbeitsmedium Wasser und/oder Luft übergeben. 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 durch die thermische Speicherkapazität sowie die thermodynamisch optimierte Anordnung des Speichermediums bestimmt. Augenmerk ist auf die dauerhaft verlustfreie und gleichmäßige Durchströmung des Speicherkerns sowie auf die Vermeidung spannungsbedingter Zersetzung des Speichermediums zu legen.

Feststoffspeicher können wärmegeführte Prozesse in der Industrie und der Versorgungsindustrie dauerhaft und verlässlich versorgen und dekarbonisieren.

## 1.3 FOKUS AUF LEISTUNGS- ODER ENERGIEBEREITSTELLUNG

Energiebereitstellung

## 1.4 GEEIGNETE ANWENDUNGSGEBIETE

Die Anwendungsmöglichkeiten 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).

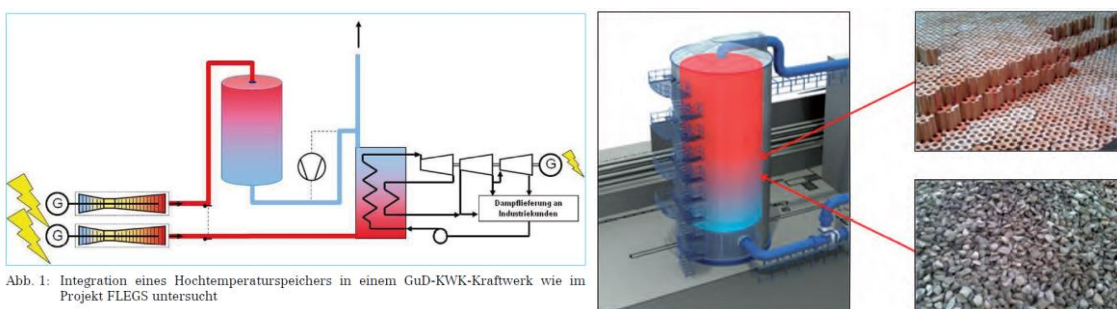
Hochtemperaturwärmespeicher basierend auf Feststoffen werden z.B. in der Glasindustrie, in der Metallurgie und bei der Zementherstellung in diskontinuierlichen Prozessen zur Zwischenspeicherung von Hochtemperaturwärme und Erhöhung der Energieeffizienz eingesetzt. Im Hochofenprozess wird dieser Speichertyp „Winderhitzer“ oder nach seinem Erfinder „Cowper“ genannt, und die Verschaltung von

2 oder 3 Modulen dient der Bereitstellung von Heisswind (Abbildung 1 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].



**Abb. 1: Winderhitzer im Hochofenprozess (links), Thermisch-oxidative Abluftreinigung (rechts). Quelle: [1](links), [7](rechts)**

Weitere Anwendungen und aktuelle Entwicklungsarbeiten zielen auf die Nutzung in Kraftwerken: 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 MWth [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 im einem 300 MW GuD-KWK-Kraftwerk (RWE/DLR) Quelle: [5](links), [10](rechts)**

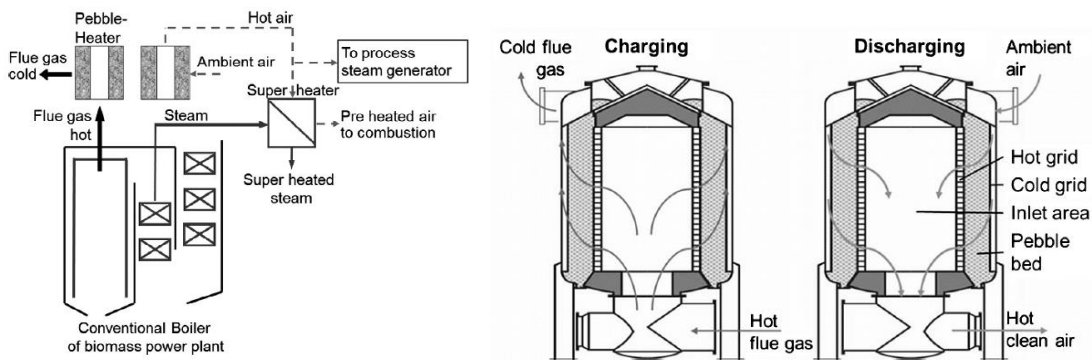


Abbildung 3: Lösungen für die Integration eines Schüttspeichers in ein Biomasse-Kraftwerk (FhG Umsicht)[8]

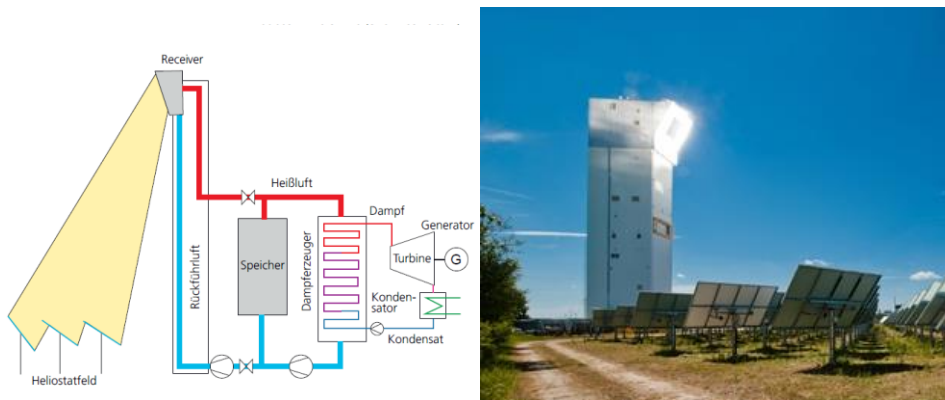


Abbildung 4: Integration eines Formsteinspeichers in das Solarkraftwerk Jülich [6]

## 1.5 STAND DER ENTWICKLUNG / KOMMERZIELL VERFÜGBAR

Systeme zur Verwendung in der Industrie 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.

# 2. RELEVANTE TECHNISCHE SPEZIFIKATIONEN FÜR ADIABATE SPEICHERSYSTEME<sup>1</sup>

<b>Spezifische Energiespeicherdichte</b>	<b>kWh<sub>th</sub>/m<sup>3</sup></b>	<b>kWh<sub>th</sub>/t</b>
	70 - 150	50-100
<b>Spezifische Leistungsdichte</b>	<b>kW/m<sup>3</sup></b>	<b>kW/t</b>
	20-40	15-25
<b>typische / realisierbare Speichergöße</b>	<b>MWh<sub>th,out</sub></b>	<b>MW<sub>th, out</sub></b>
	1 - 1000	

<sup>1</sup> FCHJU – Commercialization of energy storage in Europe - [http://www.fch.europa.eu/sites/default/files/CommercializationofEnergyStorageFinal\\_3.pdf](http://www.fch.europa.eu/sites/default/files/CommercializationofEnergyStorageFinal_3.pdf)

<b>Speicherwirkungsgrad</b>	98 %	
<b>Speicherdauer</b>	Stunden bis Tage	
<b>Reaktionszeit</b>	Minuten	
<b>Lebensdauer (maximal)</b>	<b>Zyklen</b>	<b>A</b>
	> 10.000	> 20
<b>Verluste pro Zeit</b>	~2-4% der Nennkap. pro Tag	

## 3. ÖKONOMISCHE SPEZIFIKATIONEN

**Investitionskosten pro kWhth** 15 – 40 €

**Investitionskosten pro kWh** 100 – 150 € für 6 Stunden-Speicher

### 3.1 ERLÄUTERUNGEN

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

### 3.2 BETRIEBS- UND INSTANDHALTUNGSKOSTEN (BEZOGEN AUF INVEST /KWHTH):

1 % der Gesamtinvestition pro Jahr

### 3.3 KOSTEN FÜR BEREITGESTELLTE ENERGIE IN KONKRETER ANWENDUNG

Beispiel 1:

- Abwärmenutzung Wärmequelle Schmelzofen 1 MWhth pro Charge,
- 12 Chargen pro Tag = 12 Wärmespeicherzyklen pro Tag
- Speichergröße 1,3 MWhth, 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 €

### 3.4 WEITERE INFORMATIONEN UNTER:

- 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.