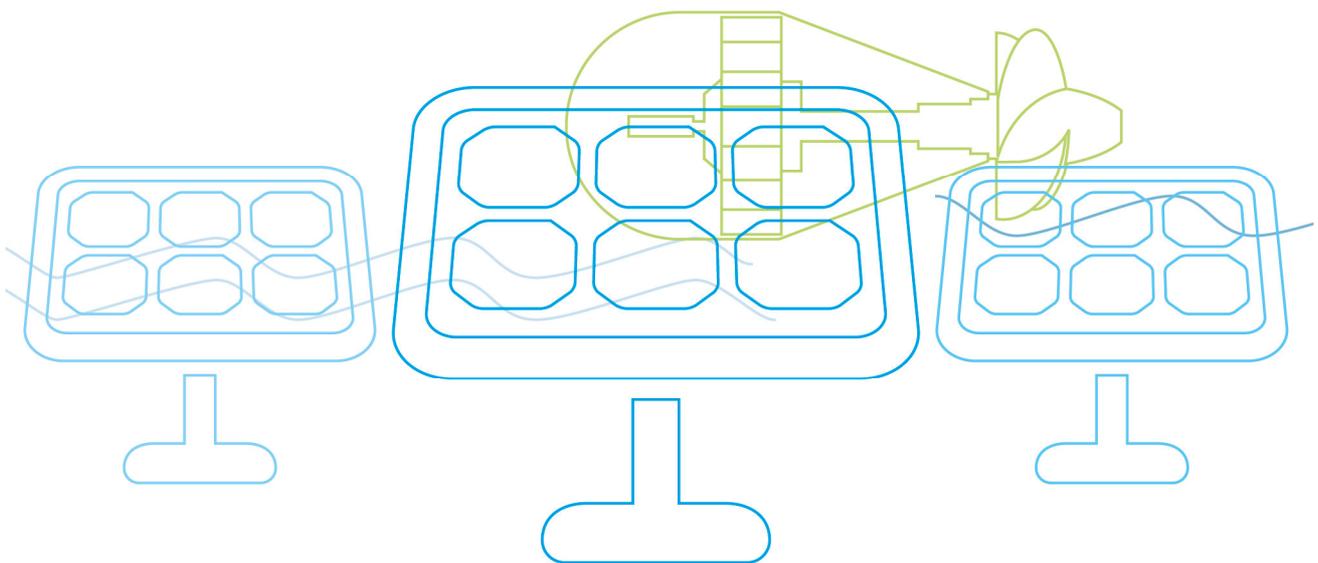




SOLIDHEAT

Fernwärme durch thermochemische
Energiespeicherung in Feststoffen



VORWORT

Die Publikationsreihe **BLUE GLOBE REPORT** macht die Kompetenz und Vielfalt, mit der die österreichische Industrie und Forschung für die Lösung der zentralen Zukunftsaufgaben arbeiten, sichtbar. Strategie des Klima- und Energiefonds ist, mit langfristig ausgerichteten Förderprogrammen gezielt Impulse zu setzen. Impulse, die heimischen Unternehmen und Institutionen im internationalen Wettbewerb eine ausgezeichnete Ausgangsposition verschaffen.

Jährlich stehen dem Klima- und Energiefonds bis zu 150 Mio. Euro für die Förderung von nachhaltigen Energie- und Verkehrsprojekten im Sinne des Klimaschutzes zur Verfügung. Mit diesem Geld unterstützt der Klima- und Energiefonds Ideen, Konzepte und Projekte in den Bereichen Forschung, Mobilität und Marktdurchdringung.

Mit dem **BLUE GLOBE REPORT** informiert der Klima- und Energiefonds über Projektergebnisse und unterstützt so die Anwendungen von Innovation in der Praxis. Neben technologischen Innovationen im Energie- und Verkehrsbereich werden gesellschaftliche Fragestellung und wissenschaftliche Grundlagen für politische Planungsprozesse präsentiert. Der **BLUE GLOBE REPORT** wird der interessierten Öffentlichkeit über die Homepage www.klimafonds.gv.at zugänglich gemacht und lädt zur kritischen Diskussion ein.

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus dem Forschungs- und Technologieprogramm „Neue Energien 2020“. Mit diesem Programm verfolgt der Klima- und Energiefonds das Ziel, durch Innovationen und technischen Fortschritt den Übergang zu einem nachhaltigen Energiesystem voranzutreiben.

Wer die nachhaltige Zukunft mitgestalten will, ist bei uns richtig: Der Klima- und Energiefonds fördert innovative Lösungen für die Zukunft!

A stylized, handwritten signature in black ink, consisting of several sweeping, connected strokes.

Ingmar Höbarth
Geschäftsführer, Klima- und Energiefonds

A handwritten signature in black ink that reads 'Theresia Vogel' in a cursive script.

Theresia Vogel
Geschäftsführerin, Klima- und Energiefonds

Projekttitle: SOLIDHEAT

Untertitel: Fernwärme durch thermochemische Energiespeicherung in Feststoffen

AutorInnen:

Dr. Andreas Werner

DI Thomas Fellner

DI Johannes Widhalm

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	5
2	Inhaltliche Darstellung	6
2.1	Ausgangssituation/Motivation des Projektes	6
2.2	Zielsetzungen des Projektes	8
3	Ergebnisse und Schlussfolgerungen	9
4	Ausblick und Empfehlungen	13
5	Literaturverzeichnis	13
6	Anhang	13
7	Kontaktdaten	14

1 Einleitung

1.1 Aufgabenstellung

Um einen Durchbruch der erneuerbaren Energieträger zu erzielen, ist es notwendig die Produktion zeitlich vom Verbrauch zu entkoppeln. Eine notwendige Technologie um dies zu erreichen ist die Speicherung von thermischer Energie.

Das Projekt SOLIDHEAT beschäftigte sich mit der Evaluierung der technischen sowie wirtschaftlichen Machbarkeit der thermochemischen Energiespeicherung in Verbindung zum industriellen Einsatz. Um diesen Ansprüchen zu genügen ist es notwendig verschiedene thermochemische Speichermaterialien (TCSM) zu quantifizieren und geeignete Reaktoren für die Einspeicherung / Freisetzung von thermischer Energie zu entwickeln. Schlussendlich ist es auch die Aufgabe von SOLIDHEAT Möglichkeiten zu finden, welche die thermochemische Speicherung (TCS) in industrielle Produktionsprozesse der Zementproduktion sowie der Fernwärmeproduktion zu integrieren und diese dann qualitativ zu bewerten.

1.2 Schwerpunkte des Projektes

- Thermochemische Speichermaterialien
Finden von einfachen Speichermaterialien für thermochemische Energiespeicherung (Kato, Kobayashi, Yoshizawa /3 ; Kato u. a. 2001a ; Kato u. a. 2001b ; Kim, Ryu, Kato 2013 ; Shkatulov u. a. 2012 ; Yukitaka Kato 31. January 2011 ; Yukitaka KATO 2009 ; Zamengo, Ryu, Kato 2013 ; F. Schaub 2009 ; Henner Kerskes 28.9.2010 ; Fadhel u. a. 2011 ; Cot-Gores, Castell, Cabeza 2012 ; Wongsuwan u. a. 2001)
- Prüfstand
Der Bau eines Prüfstandes für die Beurteilung thermochemischer Materialien, in der 2-Phasenreaktionen zwischen Gas und Feststoff durchgeführt und beurteilt werden können. Außerdem wurde ein flüssig-fest Reaktor gebaut, um den Hydrationsvorgang der Materialien auch in der Flüssigphase zu untersuchen.
- Reaktoren
Die Entwicklung und Untersuchung von geeigneten Reaktoren für die TCS sowie die Erstellung von Basismodellen für die Prozesssimulationssoftware „IpsePro“.
- Prozessintegration für die Nutzung von Abwärme
Die Entwicklung geeigneter Prozesse für die Reaktoren. Diese Entwicklungen sind dann in weiterer Folge in eine bestehende Prozesskette der Fernwärmeproduktion oder der Zementproduktion zu integrieren.
- Prozesssimulation
Die Schlussendlich entwickelten Prozessführungen für die TCS in der Fernwärmeproduktion und Zementproduktion wurden in IpsePro abgebildet und technisch bewertet.

- **Wirtschaftliche Betrachtung**

Es wurden gemeinsam mit unseren Projektpartnern Szenarien für die mögliche Nutzung der TCS entwickelt. Für die Szenarien wurden vier geeignete Prozessführungen ausgewählt und einer wirtschaftlichen Betrachtung zugeführt.

1.3 Einordnung in das Programm

Das Projekt SOLIDHEAT ist im Schwerpunkt 3.1 Smart Energy Forschung und Entwicklung und in weiterer Folge in den Subschwerpunkt 3.1.3 Speichertechnologie im Rahmen der 5. Ausschreibung Neue Energie 2020 eingeordnet. Der Fokus richtet sich auf die sinnvolle Nutzung und Speicherung von industrieller Abwärme zu Heizzwecken in Fernwärmenetzen.

1.4 Verwendete Methoden

Das Thema wurde mit einer einführenden Literaturrecherche begonnen, weitere angewandte Methoden sind die Materialcharakterisierung und Bewertung sowie die Reaktorsimulation und Prozessintegration.

1.5 Aufbau der Arbeit

Das Projekt ist in die folgenden Hauptpunkte unterteilt:

- Analyse der Materialeigenschaften
- Entwicklung von Reaktoren für TCS sowie Reaktormodellierung
- Prozessintegration
- Wirtschaftlichkeitsanalyse

2 Inhaltliche Darstellung

2.1 Ausgangssituation/Motivation des Projektes

Bei Fernwärmanlagen besteht das Problem, dass der Verbrauch der Kunden nicht exakt prognostiziert werden kann, und dadurch Überschusswärme anfällt, deren Nutzung derzeit nicht möglich ist. Ist der Verbrauch von Seiten der Endkunden im Fernwärmenetz zu niedrig (vor allem im Sommer), so steigt die Rücklaufemperatur im Fernwärmenetz an. In weiterer Folge kann die Wärme aus der Kraftwärmekopplungsanlage (z.B. Wien-Energie: Simmering, Donaustadt, Leopoldau) nicht vollständig an das Fernwärmenetz übertragen werden, und der Brennstoffnutzungsgrad sinkt. Dies lässt sich mit der Definition des Brennstoffwirkungsgrades sehr einfach verdeutlichen:

$$\eta_{\text{Brst}} = \frac{P_{\text{el}} + Q_{\text{Nutz}}}{Q_{\text{Zu}}}$$

Der Term steht dabei für die zugeführte Wärmeleistung. Bei der Kraftwärmekopplung können bei gemeinsamer Erzeugung von elektrischem Strom und Wärme Brennstoffnutzungsgrade von > 85% erreicht werden. Wird nur Strom produziert, so ist mit den modernsten kombinierten Gas- und Dampfkraftwerken ein Brennstoffnutzungsgrad zwischen 58% bis 60% erreichbar.

Die Thermochemische Energiespeicherung bietet hier eine ideale Möglichkeit die überschüssige Wärme mit geringem Platzbedarf zu speichern. Die gespeicherte Energie kann später zur Einsparung von teurem Primärbrennstoff herangezogen werden. Damit ergibt sich aufgrund des gesteigerten Brennstoffwirkungsgrades eine Reduktion der Kosten und des Ausstoßes von Kohlendioxid.

Die zweite Problemstellung die mit Hilfe von *SOLIDHEAT* gelöst werden soll betrifft die Nutzung Industrieller Niedertemperaturabwärme ($T < 200^{\circ}\text{C}$). Für viele Industriebetriebe, (wie z.B. Zementwerk Hatschek GmbH: Klinkerkühlluft) ist es derzeit nicht möglich die Niedertemperaturabwärme sinnvoll zu nutzen.

Auf der einen Seite ist dieses Temperaturniveau der Abwärme zu niedrig um wirtschaftlich Strom zu produzieren da aufgrund des niedrigen Temperaturniveaus der Wirkungsgrad sehr klein ist. Andererseits ist vor allem im Sommer die Möglichkeit der Einspeisung von Wärme in ein umliegendes Fernwärmenetz nicht gegeben, da kein bzw. wenig Bedarf an Wärme besteht. Die Möglichkeit in ein Fernwärmenetz Wärme einzuspeisen ist zudem für viele Industriebetriebe auf Grund der großen Entfernung zu Abnehmern wirtschaftlich betrachtet nicht realistisch. Besonders bei großen Entfernungen (30 km bis 50 km) zwischen Wärmequelle und Verbraucher ist die direkte Einspeisung in das Fernwärmenetz wirtschaftlich und thermodynamisch problematisch, da große Wärmeverluste durch die nicht perfekte Isolierung der Leitungen entstehen [LOO2008].

Für Industriebetriebe mit Abwärmepotential ist es daher von großem Vorteil die Niedertemperatur Abwärme mit vergleichsweise einfachen Methoden speicher- und transportierbar zu machen. Einerseits wird durch die Einspeicherung von Wärme mit Hilfe von Feststoffen die Flexibilität der Abwärmenutzung ungemein verbessert. **Die Wärme wird verlustlos gelagert und muss erst bei vorhandenem Bedarf genutzt werden.**

Andererseits ermöglicht die verlustlose Transportierbarkeit dieser gespeicherten Energie die **Erschließung von neuen Wärmeabnehmern** die bisher nicht wirtschaftlich verfügbar waren.

Zur Lösung obiger Problemstellungen in Industrie und Fernwärmanlagen sind im Zuge von *SOLIDHEAT* vier große Teilaufgaben bearbeitet worden:

1. Auswahl eines für die vorliegenden Temperaturbereiche geeigneten Materials.
2. Design von anwendungsgerechten Reaktoren.
3. Einbindung der thermochemischen Speicherung in bestehende Produktionsprozesse und Fernwärmanlagen
4. Wirtschaftlichkeitsbetrachtung.

2.2 Zielsetzungen des Projektes

Das Ziel von SOLIDHEAT war eine technische und vor allem wirtschaftliche Machbarkeitsstudie zur Einbindung von thermochemischen Speichern in Fernwärmeanlagen sowie Zementproduktionsprozesse durchzuführen.

Im Falle der Einbindung der thermochemischen Speicherung in Zementproduktionsprozesse steht die Produktion von „Ersatzbrennstoff“ (die Einspeicherung von Niedertemperaturabwärme in Feststoffen) zur Verwertung in Fernwärmeanlagen (Entnahme der Wärme) im Vordergrund.

Für die Nutzung im Bereich der Fernwärme soll die Machbarkeit hinsichtlich der Integration von thermochemischer Speicherung in bestehende Kraftwärmekopplungsanlagen erfolgen.

Aus diesen Zielen lassen sich die angestrebten Projektergebnisse ableiten:

1. Detaillierter Stand der Technik der thermochemischen Speichertechnologien:

Im Vorfeld der Einreichung von *SOLIDHEAT* wurde der Stand der Technik auf jeden Fall mit äußerster Sorgfalt erhoben. Im Sinne des größtmöglichen Know-How-Gewinns für die beteiligten Unternehmen, bestmöglichen Materialauswahl, des günstigsten Reaktordesigns sowie der optimalen Prozesseinbindung soll der Stand der Technik ergänzend zum derzeitigen Wissenstand vertieft aufbereitet und zusammengefasst werden.

2. Passende Materialpaarung:

Die optimale Materialpaarung zur thermochemischen Speicherung soll folgende Merkmale aufweisen:

- Ausreichend hohe Energiespeicherdichte im Vergleich zu Wasser und Zeolith.
- Passender Temperaturbereich der reversiblen Reaktion.
- Ausreichender Temperaturhub während der Wärmeentnahme aus dem Speicher
- Ausreichende Reaktionsgeschwindigkeit
- Ausreichende Partikelstabilität (keine oder zumindest beherrschbare Verklumpung und /oder oder Porenverstopfung)
- Ausreichende Langzeitstabilität bei zyklischer Belastung durch Speichervorgänge
- Gute Umweltverträglichkeit (keine für Natur und Mensch nachteiligen Eigenschaften)
- Niedriger CO₂-Fussabdruck bei der Herstellung der Materialien
- Niedrige Kosten der Materialien

3. Reaktordesign:

Am Ende des Projektes sollen entwickelbare Reaktorkonzepte für die unterschiedlichen Anwendungszwecke vorliegen. Die Wärmeeinbringung und Entnahme ist dabei zu optimieren.

Das Reaktorkonzept muss vor allem die Frage der Partikelstabilität berücksichtigen da diese hohen Einfluss auf die zur Anwendung kommende Reaktortechnologie hat (Wirbelschicht / Festbett / Aufbereitungseinrichtungen/....)

4. Optimale Einbindung in bestehende Prozesse:

a. Fernwärme:

- Fossile Brennstoffeinsparung durch Speicherung von Überschusswärme bzw. Nutzung von Industrieabwärme
- Optimaler Betrieb der Kraftwärmekopplungsanlagen unabhängig vom Verbraucher (Endkunden)
- Potentielle **Steigerung der Wirtschaftlichkeit** der Energiedienstleistung
- **Umweltfreundlichere und effizientere Energiedienstleistung**

b. Zementproduktionsprozess:

- **Energieeffiziente Produktion** von Zement durch sinnvolle Abwärmenutzung
- Neues, zusätzliches Produkt: „**Ersatzbrennstoff**“
- Potentielle **Steigerung der Wirtschaftlichkeit** der Zementproduktion

5. Wirtschaftlichkeitsbetrachtung:

Überprüfung des wirtschaftlichen Vorteils der Verwendung von *SOLIDHEAT* für Zementwerks- und Fernwärmebetreiber.

3 Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Welche Erkenntnisse für das Projektteam wurden aus dem Projekt gewonnen?

Das Resümee zum Sondierungsprojekt ist positiv, die technische Verwertung ist allerdings noch weit entfernt. Im Zuge des Projektes Solidheat konnten die grundlegenden Probleme erfasst und Konzepte zur Lösung dieser erarbeitet werden. Die Anwendung dieser Konzepte erfolgt im Rahmen zweier Folgeprojekte die am IET gemeinsam mit Industriepartnern durchgeführt werden.

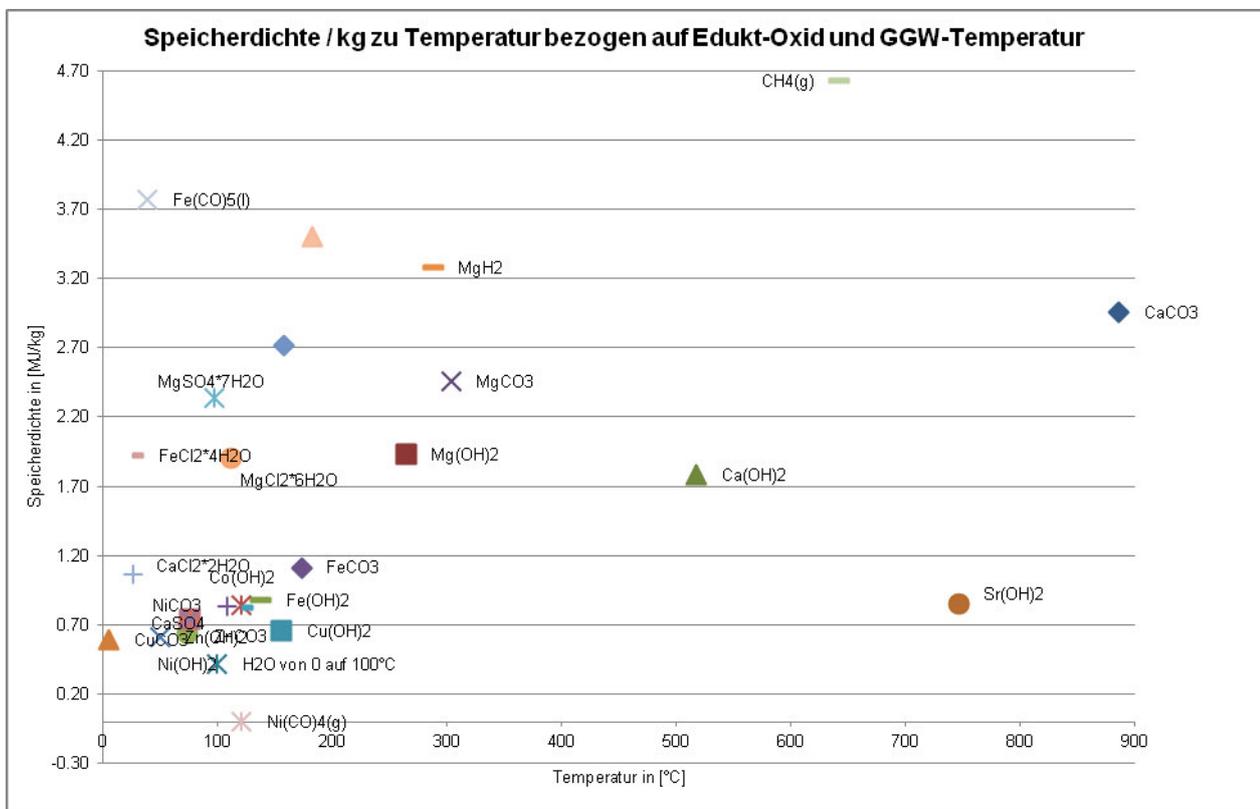
Versuche und Prozesssimulation zeigten, dass mit den derzeit verfügbaren thermochemischen Materialien noch kein wirtschaftlicher Speicherbetrieb machbar ist. Das Speichermaterial sollte die Fähigkeiten guter Kinetik und hoher Speicherdichte vereinen. Die gefundenen Materialien besitzen eine Speicherdichte im Bereich von 2 MJ/kg. Diese ist im Vergleich zu fossilen Energieträgern relativ gering. Aus diesem Grund lässt sich ein Transport über weite Strecken wirtschaftlich sowie ökologisch nur schwer darstellen. Außerdem werden dadurch für die Lagerung des Materials hohe Speichervolumina benötigt, dies ist wiederum ein entscheidender Faktor für die Wirtschaftlichkeit im Hinblick auf die Investitionskosten.

Die Reaktionskinetik hat einen wesentlichen Einfluss auf die Einsetzbarkeit von MgO. Durch die relativ schlechte Kinetik sind bei realistischen Reaktortemperaturen und Reaktordrücken Verweilzeiten im Bereich von 45 Minuten bis hin zu einigen Stunden notwendig. Aus diesen großen Verweilzeiten resultieren große Reaktorabmessungen. Das Volumen einer Anlage steht somit im direkten Zusammenhang mit den Investitionskosten. Rein durch diese gefundenen Ergebnisse ist es schwierig die thermochemische Speicherung mit dem in der Literatur öfter genannten Speichermaterial MgO wirtschaftlich zu betreiben.

Einige Erkenntnisse, welche man nicht in der spezifischen Literatur findet, ist im Folgenden aufgelistet:

- der Einfluss der Verdampfungsenthalpie bei Reaktionen mit Wasser
- die Notwendigkeit einer einheitlichen Speicherdichten-Berechnung und die Schaffung entsprechender Kennzahlen
- widersprüchliche Angaben bei der Bestimmung der Gleichgewichtstemperaturen
- der erhebliche Einfluss zwischen theoretischer Speicherdichte und real zur Verfügung stehender Materialien (hinsichtlich der Schüttdichte)
- die Notwendigkeit von Kaskadenschaltungen von verschiedenen Materialien bei der thermochemischen Speicherung von Abwärme aus Prozessen oder die Verwendung von Salzhydraten, um das zur Verfügung stehende Wärmepotenzial voll ausnützen zu können
- die Erkenntnis das Forschungsziel auf chemische Wärmepumpen auszudehnen, um im Falle von geringen Speicherdichten und hoher Kinetik die Abwärme auf höhere Temperaturniveaus zu heben (Prozessdampfnetz)

Bezüglich der anfangs favorisierten Materialpaarung $MgO/Mg(OH)_2$ konnte festgestellt werden, dass die günstigen Eigenschaften hinsichtlich Preis, Reaktionsenthalpie, Toxizität, Verfügbarkeit und einfacher Reaktion die Nachteile dieses TCSM nicht aufwiegen. Dies ist hauptsächlich in der Tatsache begründet, dass bisweilen keine zufriedenstellend hohen Reaktionsraten gemessen werden konnte. Neue Ansätze aus der Literatur (Zamengo, Ryu, Kato 2013; Kim, Ryu, Kato 2013; Shkatulov u. a. 2012) versuchen mit inerten Salzen wie $LiCl$ die Kristallstruktur des MgO zu stören und somit die Wasseraufnahme zu beschleunigen. Die langsame Reaktionsrate wurde in dieser Literatur mit dem kleinen Ionenradius von MgO argumentiert.



Ein weiterer Punkt der in Bezug auf die Materialpaarung $MgO/Mg(OH)_2$ festgestellt wurde ist der, dass die ermittelten Reaktionsgleichungen für die Dehydratation (Wärmespeicherung) aus der Literatur (Ishitobi u. a. 2013) nur für einen Wasserpartialdruck von Null gültig ist. Falls es möglich ist die Kinetik von MgO

entscheidenden zu verbessern, muss diese Reaktionsgleichung noch um den Einfluss des Partialdrucks von Wasserdampf modifiziert werden.

Kalziumoxid, nach dem Periodensystem ebenfalls ein Erdalkalioxid, ist in seinem Reaktionsverhalten gänzlich verschieden zum Magnesiumoxid, zwar hat es eine ähnliche Reaktionsenthalpie jedoch eine sehr viel schnellere Reaktionskinetik (wie aus dem Kalklöschen bekannt). Aber aufgrund der Gleichgewichtstemperatur von ca. 500°C kann es für die Abwärmenutzung nicht eingesetzt werden. Das DLR untersucht es aber aufgrund der geringen Kosten als Speichermaterial bei Solarkraftwerken, wodurch die Elektrizitätsproduktion in den Tagesrandstunden verlängert werden soll (stabilere Produktion sonnenbetriebener Kraftwerke).

Als mögliche Alternativprozesse zur thermochemischen Energiespeicherung wurden die chemische Wärmepumpe und die thermochemische Trocknung identifiziert. Bei der Trocknung kommt als wesentlicher Vorteil hinzu, dass das verdampfte Wasser des Feuchtgutes gleichzeitig das Reaktionswasser für die chemische Umsetzung von Salz-Anhydraten sein kann und somit die energieintensive Wasserverdampfung entfällt und die Brutto-Speicherdichte erhöht wird.

Eine wesentliche Erkenntnis die aus dem Projekt SOLIDHEAT gewonnen werden konnte ist, dass der Einsatz von TCS in wirtschaftlichen Rahmenbedingungen nur möglich ist wenn die Betriebszeiten der Speicheranlagen möglichst hoch sind. Siehe hierzu die folgende Abbildung.

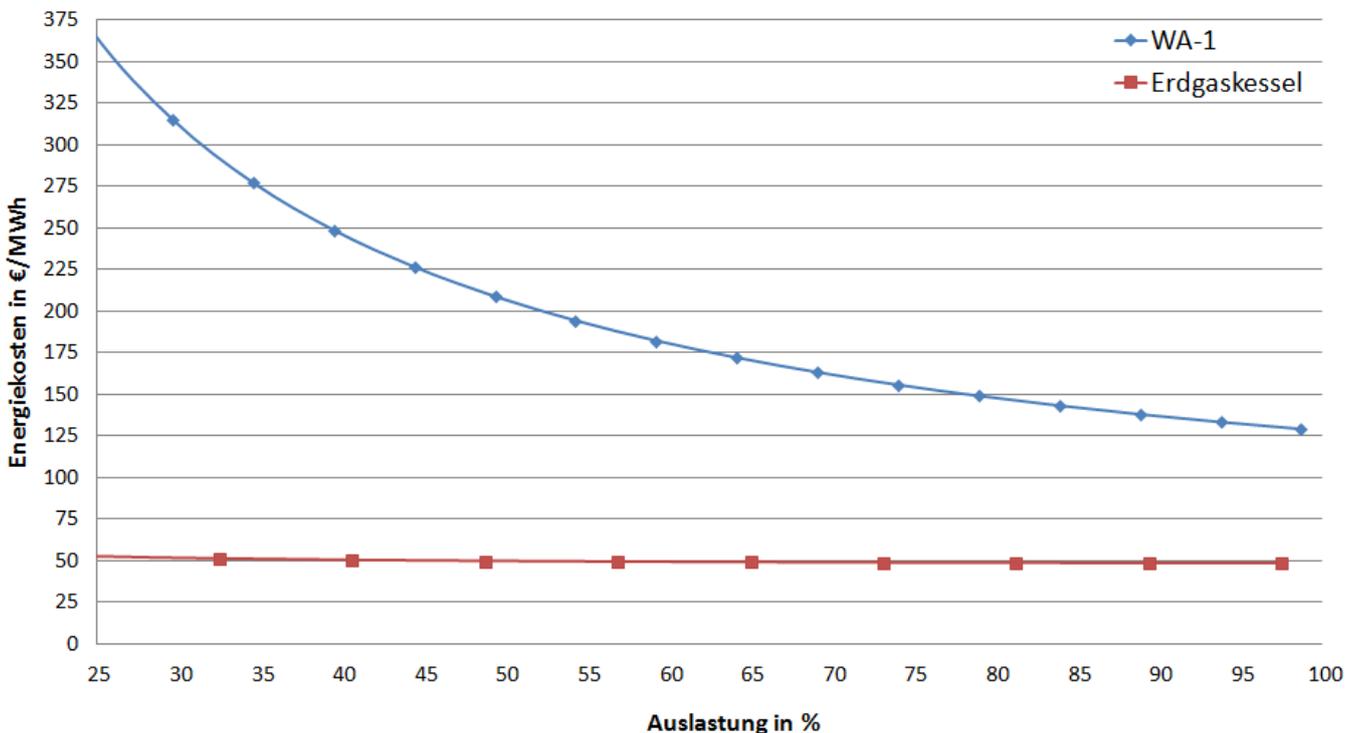


Abbildung 3-1 Darstellung des notwendigen Verkaufspreises für die MWh Wärme für die TCS (blaue Linie) und für einen Erdgaskessel (rote Linie) über die Auslastung der Anlagen

Der blauen Kurve liegt ein entwickeltes Speicherkonzept für MgO aus dem Projekt SOLIDHEAT zu Grunde. Es zeigt sich, dass trotz einer 98,7 % Auslastung der Anlage der Unterschied zu einem Erdgaskessel in Hinblick auf den erforderlichen Verkaufspreis mehr als 75 €/MWh beträgt. Bei

Verringerung der Auslastung erhöht sich diese Differenz noch erheblich, dies ist leicht durch die höheren Investitionskosten einer TCS-Anlage zu erklären.

Was diese Ergebnisse jedoch auch zeigend ist jedoch, dass gerade die steigenden fossilen Brennstoffpreise und die hohen Entwicklungspotentiale auf dem Gebiet der TCS dazu führen werden, dass die Differenz des Verkaufspreises sich zwischen diesen beiden Technologien kontinuierlich verkleinern wird.

[Wie arbeitet das Projektteam mit den erarbeiteten Ergebnissen weiter?](#)

Ein lückenloser Übergang von SOLIDHEAT auf das K-Projekt GSG und das Materialforschungsprojekt aus der 2.AS e!Mission SOLIDHEAT Basic welches am 1. Oktober 2013 beginnt, garantieren eine bestmögliche Verwertung der Projektergebnisse.

Im K-Projekt liegt der Fokus auf der technischen Machbarkeit wie der Entwicklung geeigneter Reaktoren und der Prozessintegration während im Grundlagenforschungsprojekt systematisch nach neuen nutzbaren Materialien gesucht wird und am Ende eine Datenbank mit den charakteristischen Kennzahlen und Verwendungsmöglichkeiten entstehen soll.

Weiters sind einige zukünftige Forschungsprojekte geplant:

- Aufbau und Untersuchung von chemischen Wärmepumpen für Prozesswärmebereitstellung
- Thermochemisch unterstützte solare Trocknung für landwirtschaftliche Produkte und Lebensmittel, um gleichmäßige Trocknungsprozesse über mehrerer Tage und Wochen fahren zu können, oder um Trocknung im Herbst (von zB. Mais, Soja,...) aus den solaren Erträgen des Sommers thermochemisch zu ermöglichen, was somit hilft Erdgas zu substituieren.
- Nutzung von thermochemischen Prozessen in der Energienutzung von Abgasströmen in Verbrennungskraftmaschinen. Dazu könnten Energieströme der Motorstaubremse oder aber auch nach dem Katalysator verwendet werden, als Speicher für den nächsten Start oder für Zusatzantriebsleistung.

Eine eventuelle Fokussierung auf chemische Wärmepumpen hätte den Vorteil einer einfacheren Umsetzung vor allem ist die Frage der Speicherdichte von geringerer Bedeutung, da es sich um einen (Quasi-) Kreisprozess handelt, welcher keine Speichereigenschaft aufweisen muss.

[Für welche anderen Zielgruppen sind die Projektergebnisse relevant und interessant und wer kann damit wie weiterarbeiten?](#)

Die Ergebnisse sind in jedem Fall für andere Forschungsgruppen im Bereich der thermochemischen Speicherung interessant, da derzeit die wirtschaftliche Betrachtung dieser Technologien sowie die Integration dieser Technologie in industrielle Prozesse bis dato nicht betrachtet wurde.

Die Ergebnisse sind noch in einem Bereich in dem diese für die industrielle Umsetzung nicht von Bedeutung sind. Daraus ergibt es sich, dass die Forschung in Bereich der industriellen Nutzung noch vorangetrieben werden muss, auch um das Potential für die industrielle Umsetzung aufzuzeigen.

Weiters sind Veröffentlichungen zu den Themen Benchmarking und charakteristische Kenngrößen sowie ein Review zum Stand der Technik geplant, welche aus Zeitgründen vor Abschluss des Sondierungsprojektes nicht umgesetzt werden konnten.

4 Ausblick und Empfehlungen

Wie bereits in Punkt 3 erläutert, sind neben der vertiefenden Materialforschung und der Effekten die die Materialeigenschaften entscheidend verbessern von Vorteil. Hierzu sind weitere theoretische sowie experimentelle Untersuchungen nötig.

Die im Projekt SOLIDHEAT theoretisch entwickelten Reaktoren sollten einer experimentellen Untersuchung zugeführt werden um die theoretisch ermittelten Kennzahlen zu verifizieren. Derzeit wurden nur grobe Reaktorkonzepte erstellt, welche in einem nachfolgenden Projekt noch detaillierter ausgeführt werden sollten. Hierbei handelt es sich zum Beispiel um die Auswirkung des pneumatischen Transports bei einem Schneckenreaktor oder um die Zu- und Abführung von TCSM beim Drehrohrreaktor um nur einige zu nennen.

Die Suche nach neuen Anwendungsmöglichkeiten / Anwendungspotentialen sollte eines der Fundamental Themen weiterer Untersuchungen darstellen. Dies kann jedoch erst durch ein geeignetes Screening erfolgen, bei dem Industrielle Prozesse bis ins Detail verstanden werden müssen um Potentiale nutzen zu können. Ein Beispiel wäre die Kombination der Abwärme mit einer chemischen Wärmepumpe oder die thermochemische Unterstützung der (solaren) Trocknung. Neben diesen Möglichkeiten existieren durchaus noch mehr Prozesse in denen chemische Reaktionen von Vorteil wären.

Erst durch die Entwicklung im Materialbereich wird es möglich sein wirtschaftlich Konkurrenzfähige Systeme zu schaffen die Niedertemperatur Wärme und Mitteltemperatur Wärme speichern. Als Vorbild sollte uns das TCSM CaO (Hochtemperatur) dienen, welches eine hohe Kinetik mit einer relativ hohe Speicherdichte vereint.

5 Literaturverzeichnis

COT-GORES, Jaume ; CASTELL, Albert ; CABEZA, Luisa F.: *Thermochemical energy storage and conversion: A state-of-the-art review of the experimental research under practical conditions*. In: *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16 (2012), Nr. 7, S. 5207–5224. URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032112002651>

F. SCHAUBE, A. Wörner (Mitarb.): *High temperatur heat storage using gas-solid reactions*. Effstock 2009, 2009

FADHEL, M. I. ; SOPIAN, K. ; DAUD, W. R. W. ; ALGHOUL, M. A.: *Review on advanced of solar assisted chemical heat pump dryer for agriculture produce*. In: *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15 (2011), Nr. 2, S. 1152–1168. URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032110003473>

HENNER KERSKES, Barbara Mette Sebastian Asenbeck Harald Drück and Hans Müller-Steinhagen: *EXPERIMENTAL AND NUMERICAL INVESTIGATIONS ON THERMO-CHEMICAL HEAT STORAGE* (EuroSun 2010, September 28th – October 1st 2010, Graz, Austria). Graz, 28.9.2010. URL http://members.iea-shc.org/publications/downloads/Task42-Experimental_and_Numerical_Investigations_on_Thermo-Chemical_Heat_Storage.pdf – Überprüfungsdatum 2013-02-08

ISHITOBI, Hirokazu ; URUMA, Keirei ; TAKEUCHI, Masato ; RYU, Junichi ; KATO, Yukitaka: *Dehydration and hydration behavior of metal-salt-modified materials for chemical heat pumps*. In: *Combined Special*

Issues: *ECP 2011 and IMPRES 2010* 50 (2013), Nr. 2, S. 1639–1644. URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359431111003772>

KATO, Yukitaka ; KOBAYASHI, Kei ; YOSHIZAWA, Yoshio: *Durability to repetitive reaction of magnesium oxide/water reaction system for a heat pump*. In: *Applied Thermal Engineering* 18 (/3), 3-4, S. 85–92. URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359431197000586>

KATO, Yukitaka ; MINAKAMI, Atsushi ; LI, Guangzhe ; YOSHIZAWA, Yoshio: *Operability of a thermally driven magnesium oxide/water chemical heat pump*. In: *The Canadian Journal of Chemical Engineering* 79 (2001a), Nr. 4, S. 536–541

KATO, Yukitaka ; TAKAHASHI, Fu-uta ; WATANABE, Akihiko ; YOSHIZAWA, Yoshio: *Thermal analysis of a magnesium oxide/water chemical heat pump for cogeneration*. In: *Applied Thermal Engineering* 21 (2001b), Nr. 10, S. 1067–1081. URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359431100001034>

KIM, Seon Tae ; RYU, Junichi ; KATO, Yukitaka: *Optimization of magnesium hydroxide composite material mixed with expanded graphite and calcium chloride for chemical heat pumps*. URL http://ac.els-cdn.com/S1359431112004772/1-s2.0-S1359431112004772-main.pdf?_tid=d4b3d3ce-273c-11e3-9d65-00000aab0f01&acdnat=1380262977_ad1b689be57323ebab2e13431233efba – Überprüfungsdatum 2013-09-27

SHKATULOV, Alexandr ; RYU, Junichi ; KATO, Yukitaka ; ARISTOV, Yury: *Composite material “Mg(OH)₂/vermiculite”: A promising new candidate for storage of middle temperature heat*. In: *Energy* 44 (2012), Nr. 1, S. 1028–1034

WONGSUWAN, W. ; KUMAR, S. ; NEVEU, P. ; MEUNIER, F.: *A review of chemical heat pump technology and applications*. In: *Applied Thermal Engineering* 21 (2001), Nr. 15, S. 1489–1519. URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359431101000229>

YUKITAKA KATO: *Possibility of Chemical Heat Pump Technologies*. Keynote 2 - Thermochemical Energy Storage. Keynote 2 - Thermochemical Energy Storage (High Density Thermal Energy Storage Workshop). Arlington, Virginia, 22203, USA, 31. January 2011 – Überprüfungsdatum 22.2.12

YUKITAKA KATO, Rui TAKAHASHI Toshiya SEKIGUCHI Junichi Ryu: *Study on medium-temperature chemical heat storage using mixed hydroxides*. In: *International Journal of Refrigeration* 32 (2009), S. 661–666

ZAMENGO, Massimiliano ; RYU, Junichi ; KATO, Yukitaka: *Magnesium hydroxide – expanded graphite composite pellets for a packed bed reactor chemical heat pump*. In: *Applied Thermal Engineering* (2013)

6 Anhang

7 Kontaktdaten

ProjektleiterIn: Dr. Andreas Werner

Institut/Unternehmen: TU Wien, Institut für Energietechnik und Thermodynamik

Kontaktadresse:

Getreidemarkt 9 / E302, 1060 Wien

+43 1 58801 302314

+43 1 58801 30299

Andreas.werner@tuwien.ac.at

Neue Energien 2020 - 5. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

www.ite.tuwien.ac.at

Auflistung der weiteren Projekt- bzw. KooperationspartnerInnen Name / Institut oder Unternehmen

Fernwärme Wien GesmbH

DI Martin Höller

Spittelauer Lände 45

1090 Wien

www.wienenergie.at

Zementwerk Hatschek GmbH

Rohrdorfer Gruppe

Dr. Helmut Leibinger

Hatschekstraße 25

4810 Gmunden

www.rohrdorfer.eu

IMPRESSUM

Verfasser

ProjektleiterIn: Andreas Werner
TU Wien, Institut für Energietechnik und
Thermodynamik
Getreidemarkt 9 / E302, 1060 Wien
Tel: +43 1 58801 302314
Fax: +43 1 58801 30299
E-Mail: Andreas.werner@tuwien.ac.at

AutorInnen

Andreas Werner
Thomas Fellner
Johannes Widhalm

Projektpartner

Fernwärme Wien GesmbH
Martin Höller
Spittelauer Lände 45, 1090 Wien
Web: www.wienenergie.at

Zementwerk Hatschek GmbH
Rohrdorfer Gruppe
Helmut Leibinger
Hatschekstraße 25, 4810 Gmunden
Web: www.rohrdorfer.eu

Eigentümer, Herausgeber und Medieninhaber

Klima- und Energiefonds
Gumpendorfer Straße 5/22
1060 Wien
E-Mail: office@klimafonds.gv.at
Web: www.klimafonds.gv.at

Disclaimer

Die Autoren tragen die alleinige
Verantwortung für den Inhalt dieses
Berichts. Er spiegelt nicht notwendigerweise
die Meinung des Klima- und Energiefonds
wider.

Weder der Klima- und Energiefonds noch
die Forschungsförderungsgesellschaft
(FFG) sind für die Weiternutzung der hier
enthaltenen Informationen verantwortlich.

Gestaltung des Deckblattes

ZS communication + art GmbH