

## Short term heat or cold storage in industry - Shortstore

### Forschungsprojekt der Forschungsgemeinschaft der Ziegelindustrie e.V. (FGZ)

<b>Projektnummer</b>	<b>CORNET 184 N</b>
<b>Projektförderer</b>	<b>BMW über die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke“ e.V. (AiF) im Rahmen des Programms Collective Research Networking (CORNET)</b>
<b>Durchführung</b>	<b>Institut für Ziegelforschung Essen e.V. (IZF) und Gesellschaft zur Förderung angewandter Informatik e.V. (GFal), Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR), Universität Gent und Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek (VITO).</b>
<b>Projektleitung</b>	<b>Dr.-Ing. Anne Tretau</b>

### Hintergrund

In vielen industriellen Prozessen wird zu bestimmten Zeitpunkten Wärme freigesetzt, die zu einem späteren Zeitpunkt wiederverwendet werden könnte, sofern eine Zwischenspeicherung möglich ist. Speziell Abwärmeströme auf niedrigem Temperaturniveau werden derzeit in den seltensten Fällen in das Energiesystem integriert. Ungenutzte Abwärme ist im Ziegelwerk u.a. durch den gekoppelten Wärmehaushalt aus Ofen und Trockner gegeben. Die Durchsatzleistungen von Ofen und Trockner sind nicht gleich, daher stimmt der Energiebedarf der zur konvektiven Rohlingstrocknung erforderlichen Warmluft und der in der Kühlzone des Tunnelofens erwärmten Kühlluft nicht überein. Eine Synchronität von Ofen und Trockner ist daher nicht zu jedem Zeitpunkt gegeben. Hier können Speichersysteme eingesetzt werden, um zeitliche Ungleichgewichte in den Energieströmen zu überwinden.

### Zielsetzung

Wesentliche Ziele des Projekts ShortStore sind Einsparpotentiale in den verschiedenen Industriebereichen aufzudecken und Lösungsvorschläge auszuarbeiten. Dabei wird besonders auf die Integration bereits verfügbarer Speichertechnologien Wert gelegt. Auch die in der Praxis bisher wenig eingesetzten Latentwärmespeicher sollen vermehrt zum Einsatz kommen. Das Projekt evaluiert, wie sich der Einsatz der Speichertechnologie auswirkt. Hier kommt es darauf an, eine jeweils sinnvolle Speichertechnologie zu ermitteln, indem die aus praktischen Anwendungen resultierenden unterschiedlichen Anforderungen (Kosten, Sicherheitsaspekte, Kapazität, Temperaturniveau u.v.m.) berücksichtigt werden.

Ein weiteres Projektziel stellt die Integration der gewählten Technologien in die bestehenden Energiesysteme dar, um deren optimale Einbindung unter dem Gesichtspunkt der Energieeinsparung zu gewährleisten. Unter Berücksichtigung variabler Faktoren, wie veränderlicher Strom- oder Brennstoffpreise und zyklischer Prozesse mit unsteter Wärmeproduktion wird mithilfe von Simulations- und Optimierungsmodellen eine ökonomische und ökologische Bewertung durchgeführt.

### Durchführung und Ergebnisse

Im Temperaturbereich über 100 °C, der insbesondere für höherwertige industrielle Abwärme interessant ist, sind Wärmespeicher auf wenige Nischenanwendungen beschränkt. Voraussetzung für die erfolgreiche Integration von thermischen Energiespeichern in Industrieprozesse ist die optimale Abstimmung des Speichersystems sowohl auf die Wärmequelle als auch auf den Wärmeverbraucher. Im Ergebnis ist eine schnelle Identifikation einer geeigneten Speicherlösung für eine spezifische Anwendung unter Berücksichtigung von Parametern wie Temperaturbereich, Leistung, Kapazität und Arbeitsmedium möglich.

Thermische Energie muss zwischen der Wärmequelle und dem Speichersystem bzw. zwischen dem Speichersystem und dem Wärmeverbraucher übertragen werden. In der Prozessindustrie werden Abwärmeströme häufig durch Medien übertragen, die nicht direkt in ein Speichersystem eingekoppelt werden können. Hier müssen Wärmeübertragungssysteme mit dem Speichersystem kombiniert werden.

Der Schlussbericht ermöglicht für eine spezifische industrielle Anwendung die Auswahl eines geeigneten Wärmeübertragungskonzepts, das mit dem thermischen Speichersystem kombiniert werden kann.

Im Rahmen des Projektes wurde ein thermisches Speichersystem unter Betriebsbedingungen im Labor der Universität Gent aufgebaut. Im Projekt wurde der thermische Energiespeicher mit einer ORC-Turbine kombiniert. Dadurch ist eine verbesserte Nutzung von instationären Abwärmeströmen möglich. Der Speicher kompensiert die Schwankung und ermöglicht dadurch eine effektivere Umwandlung der Abwärme in elektrischen Strom. Hauptkomponenten des thermischen Speichers sind der Behälter mit der Speichermasse sowie der Wärmeübertrager, der in die Speichermasse integriert wird. Der Wärmeübertrager besteht aus 36 parallelen Rohren. Es wurde die eutektische Mischung der beiden Nitratsalze  $\text{KNO}_3$  und  $\text{NaNO}_3$  mit einem Schmelzpunkt von  $220^\circ\text{C}$  als Speichermedium gewählt. Durch die Kombination von sensibler und latenter Wärme erreicht das Speichersystem eine Kapazität im Bereich von 100 kWh.

Es wurden mathematische Algorithmen zur Berechnung gekoppelter Energiesysteme mit thermischen Wärme- und Kältespeichern entwickelt. Zur Ermittlung einer sinnvollen Temperaturdiskretisierung und zur Ermittlung von Speichertemperaturen, wurde testweise ein Pinchalgorithmus mit nachgeschalteter Ermittlung eines Wärmeübertragernetzwerkes umgesetzt. Für zeitlich nicht konstante Energieströme kann dieser Algorithmus verwendet werden, um Temperaturniveaus aufzufinden, auf denen Energie zwischen Zeitschritten verschoben werden sollte. Des Weiteren wurden mathematische Modelle für verschiedene Technologien entwickelt, die in den betrachteten Energiesystemen vorkommen. Dies sind für die Anwendungsfälle in der Ziegelindustrie insbesondere der Tunnelofen mit den dazugehörigen Wärmequellen sowie der Trockner und ein thermischer Speicher mit Ziegeln als Speichermedium. Dafür wurden die für das Energiesystem ausschlaggebenden Komponenten Tunnelofen, Trockner und thermischer Speicher in der Software TOP-Energy entwickelt, im Energiesystem integriert und damit eine ökonomische Optimierung durchgeführt. Die Modellkomponenten setzen sich aus thermodynamischen Gesetzmäßigkeiten und notwendigen Nutzereingabedaten zusammen. Die Eingabedaten beinhalten zum Beispiel Messergebnisse der zur Verfügung gestellten Abluftströme aus dem Ofen (Wärmequellen) und den Energiebedarf des Trockners (Wärmesenken). Mit dem Ergebnis der Simulation aus diesem Modell können grobe wirtschaftliche Abschätzungen abgeleitet werden, ob sich die Installation eines thermischen Speichers rentiert. Das Modell des Energiesystems eines Ziegelwerks bietet vielfältige Erweiterungsmöglichkeiten, unter anderem eine Gasturbine.

Die Dimensionierung und wirtschaftliche Betrachtung zur Investition in einen Wärmespeicher variiert individuell in jedem Energiesystem. Es wurden vier typische Ziegelwerke untersucht. In zwei von vier Fällen erwies sich die Installation eines Wärmespeichers als unwirtschaftlich, da nicht genug ungenutzte Abwärme vorhanden war. Im Fall eines Schnellrockners mit hohem Wärmebedarf, der nicht vom Ofen gedeckt werden kann, kann die Installation eines thermischen Speichers sinnvoll sein. Der einzig wirtschaftliche Betrieb ist die Einspeicherung der heißen Abluft aus der oberen direkten Absaugung des Tunnelofens. Die untere Absaugung hat eine geringere Temperatur, welche einen schlechteren Wärmeübergang an das Speichermedium zur Folge hat. Die benötigte elektrische Energie des Ventilators zur Einspeicherung der kälteren unteren Absaugungswärme übersteigt deren Nutzen. Zusammenfassend sind kompakte Kurzzeitwärmespeicher auf hohem Temperaturniveau wirtschaftlich. Die Be- und Entladezeiten sollten kurz sein und nicht länger als einen Tag gespeichert werden.

Als aussichtsreiche Option für die Integration elektrischer Energie aus erneuerbaren Quellen wurden elektrisch beheizte Speicher-Dampferzeuger für die Prozessindustrie identifiziert. Vorteilhaft ist hier der geringe Umfang der erforderlichen Anlagenmodifikationen sowie wie die Emissionsverminderung. Es wurde ein System zur bedarfsgerechten Bereitstellung von Prozessdampf im Temperaturbereich bis  $200^\circ\text{C}$  entwickelt. Dabei wird die elektrische Energie direkt in das Speichermaterial eingekoppelt, wodurch eine flexible Speicherung von Überschussenergie aus fluktuierenden Quellen möglich ist.

Es handelt sich um ein Forschungsprojekt der Forschungsgemeinschaft der Ziegelindustrie e.V. (FGZ). Es wurde vom Institut für Ziegelforschung Essen e.V. (IZF) unter Projektleitung von Dr.-Ing. Anne Tretau durchgeführt. Weitere Projektpartner sind die Gesellschaft zur Förderung angewandter Informatik e.V. (GFaI), das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V. (DLR), die Universität Gent und das Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek (VITO).

Das transnationale Vorhaben 184 N der Forschungsvereinigung Ziegelindustrie wurde über die AiF im Rahmen des Programms Collective Research Networking (CORNET) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Der 502 Seiten lange **Schlussbericht auf Englisch** kann bei der Forschungsgemeinschaft der Ziegelindustrie e.V. in Berlin angefordert werden.