

Energie für die Fabrik

Optimierung der Wärmespeicherung durch den Einsatz von Phase Change Material

Diplomand



Silas Nett

Ziel der Arbeit: Diese Bachelorarbeit widmet sich der Untersuchung des Einsatzes von Phasenwechselmaterialien (Phase Change Materials, PCM) zur Stabilisierung industrieller Wärmesysteme. Hintergrund ist die ProzesswärmeverSORGUNG der Schokoladenproduktion bei Lindt & Sprüngli, wo durch fehlende Speicher deutliche Temperaturschwankungen im 70 °C-Netz auftreten. Klassische Wasserspeicher können solche Schwankungen zwar dämpfen, benötigen dafür jedoch grosse Volumina und Platzreserven, die in gewachsenen Fabrikstrukturen nicht vorhanden sind. PCM besitzen die Fähigkeit, Wärme überwiegend als Latentwärme beim Phasenübergang fest-flüssig zu speichern. Dieser Prozess läuft nahezu isotherm ab, was eine gleichmässige Abgabe oder Aufnahme von Energie erlaubt. Ziel der Arbeit ist es, diese Eigenschaft experimentell nachzuweisen, das Glättungspotenzial von PCM im Vergleich zu Wasser zu quantifizieren und daraus Dimensionierungsparameter für eine industrielle Umsetzung abzuleiten.

Vorgehen: Zunächst erfolgte eine theoretische Einarbeitung in thermische Speicherprinzipien, Wärmeübertragungsmechanismen sowie Materialeigenschaften relevanter PCM. Eine orientierende Simulation diente der Voranalyse, um Stellgrößen wie Temperaturfenster, Wärmestrom und PCM-Masse zu identifizieren. Da die Simulation Übergangsphänomene nur eingeschränkt reproduzieren konnte, wurde ein praxisnaher Laboraufbau konzipiert und realisiert. Der Prüfstand besteht aus einem Speichertank, der wahlweise mit Wasser oder mit makroverkapselten PCM-Elementen gefüllt wird. Über einen elektrischen Heizstab wurden definierte Temperaturzyklen zwischen 40 °C und 55 °C erzeugt, die typische Schwankungen im Fabrikbetrieb nachbilden. Ein konstanter Volumenstrom stellte reproduzierbare Bedingungen sicher. Messgrößen waren primär Einlass- und Austrittstemperaturen, aus denen sich der Glättungsfaktor berechnen lässt. Untersucht wurden verschiedene Speicherzustände: reine Wasserspeicherung, Wasserspeicherung mit kleinem sowie mit höherem PCM-Anteil. Als Material wurden heatStixx L Kapseln von kraftBoxx eingesetzt, welche mit ATS 50 (anorganisches Salz-hydrat) von Axiotherm gefüllt sind.

Ergebnis: Die Messungen zeigen deutlich, dass PCM im Vergleich zu reinen Wasserspeichern eine signifikante Dämpfung von Temperaturschwankungen bewirken können. Während Wasserspeicher ihre Glättung ausschliesslich über die sensible Wärmekapazität realisieren, entsteht bei PCM ein kleines Plateau im Temperaturverlauf, das Schwankungen im Bereich der Schmelztemperatur effektiv abfедert. Je nach eingesetzter PCM-Masse konnte die Amplitude der Austrittstemperatur um bis

zu 55 % reduziert werden. Die Untersuchungen bestätigten zudem, dass die Geometrie und Packungsdichte der PCM-Elemente, die Wärmeleitfähigkeit des Materials sowie die Strömungsführung im Tank entscheidende Faktoren für die erreichbare Glättung darstellen.

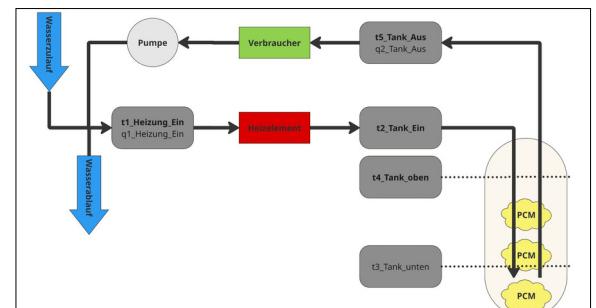
Die Ergebnisse zeigen, dass PCM-Speicher eine kompakte, technisch realisierbare und effiziente Lösung zur Stabilisierung industrieller Wärmesysteme bieten. Sie erhöhen Prozessqualität und Versorgungssicherheit, senken Energieverluste und CO₂-Emissionen und können so einen wichtigen Beitrag zur Dekarbonisierung leisten.

Kapseln mit Salzhydrat-PCM (ATS50) im Labortank: speichern Energie im Phasenwechsel und geben diese bedarfsgerecht ab
Eigene Darstellung

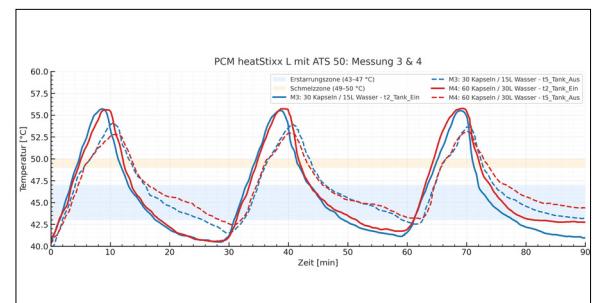


Flussdiagramm für Laboraufbau: Einlauf mit Temperaturschwankungen, die im Tank durch PCM am Ausgang

Eigene Darstellung



Messungen mit PCM (ATS50) im Tank: Phasenwechsel sichtbar, zudem Reduktion der Temperaturschwankungen sichtbar
Eigene Darstellung



Referent
Prof. Stefan Bertsch

Korreferent
PhD Leon Brendel

Themengebiet
Maschinenbau