

# PROZESSKÜHLUNG EINER MILCHPULVER-PRODUKTION MIT INTEGRATION EINES PCM-LATENT-KÄLTESPEICHERS

*Die gültige F-Gase Verordnung EU Nr. 517/2014 reduziert das 2015 festgelegte CO<sub>2</sub>-Äquivalent der bisher verwendeten F-Gase (Kältemittel) bis zum Jahre 2030 auf 21 %. Dies hat zur Folge, dass in Zukunft hauptsächlich Kältemittel mit niedrigen GWP-Werten zum Einsatz kommen. Das sind in der Regel natürliche Kältemittel, welche allerdings leicht entflammbar, brennbar oder toxisch sind (Sicherheitsgruppe A2 L oder A3). Kälte-/Klimaanlagen werden in der Zukunft deshalb nicht mehr als direkte Verdampfungsanlagen mit großen Kältemittelfüllmengen ausgeführt, sondern der Kälte-transport vom Kälteerzeuger zur Kühlstelle wird als Kaltwasser- oder Kaltsolesystem ausgeführt (indirektes System). Zum einen wird der direkte Treibhauseffekt durch den Einsatz eines natürlichen Kältemittels reduziert, zum anderen bieten die wasser- oder solegeführten Systeme auch noch neue Möglichkeiten: Es können z. B. Kälte- und Wärmespeicher in das Anlagensystem integriert werden.*

*Gleichzeitig gibt es durch den stetigen Ausbau von erneuerbaren Energien einen steigenden Bedarf an Energiespeichern. Systembedingte Schwankungen bei der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien können mit verschiedenen Speichertechniken – darunter auch thermische Energiespeicher in Kälteanlagen – kompensiert werden. Die technischen Konsequenzen der genannten Mechanismen (natürliches Kältemittel, indirektes Solesystem und Kältespeicher) werden allesamt im beschriebenen Projekt vereint.*

## Allgemeine Beschreibung des Anlagenkonzepts

Die Kälteanlage erfüllt zwei Hauptaufgaben. Zum einen die allgemeine Regelaufgabe: Prozesskühlung beim Herstellungsprozess von Milchpulver. Als weitere Aufgabe soll sehr günstiger oder sehr umweltfreundlich erzeugter Strom thermisch in Form von Kälte eingespeichert werden. Die Kälte kann dann zu einem anderen Zeitpunkt genutzt werden, ohne weiteren Strom aus dem Netz zu beziehen.

Als Kältespeicher wird ein PCM-Latentspeicher verwendet, mit welchem eine Speicherkapazität von ca. 50 kWh pro m<sup>3</sup> Speichervolumen erreicht wird. Das PCM (Phase Change Material) befindet sich in luftdicht verschweißten, kugelförmigen Kapseln und kann so vom Kälte-träger homogen umströmt werden. Für den Ladevorgang (Flüssigkeitskühler in Betrieb) durchläuft das PCM einen Phasenwechsel, es wird eingefroren. Für den Entladevorgang wird es wieder aufgeschmolzen (Verbraucher wird mit Kälte versorgt). Weitere Vorteile des PCM-Speichers sind relativ konstante Austrittstemperaturen und eine erhöhte Sicherheit bei technischen Ausfällen der Anlage (Stichwort thermischer Backup-Speicher).

Dieser PCM-Latentspeicher inklusive separatem Flüssigkeitskühler ist zusätzlich in den Erzeugerkreis der Kälteanlage integriert. Eine hydraulische Weiche zur Trennung von Erzeuger- und Verbraucherkreis ist ebenfalls vorhanden.

Im Bild 1 ist der Aufbau eines PCM-Latentspeichers zu sehen. Mit Lochblechen und Einlaufbögen der Rohranschlüsse können die PCM-Elemente von der Kaltsole umströmt werden und das im Inneren befindliche PCM eingefroren und aufgeschmolzen werden.

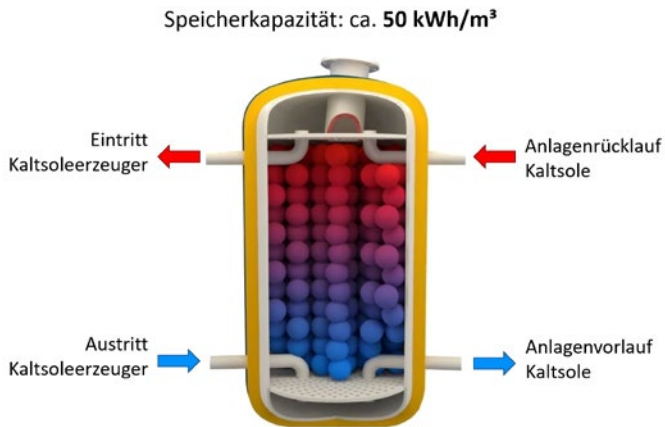


Bild 1: Aufbau eines PCM-Latentspeicher für eine Kälteanlage

Bei diesem Projekt steht der günstige und umweltfreundlich erzeugte Strom als „negative Regelenergie“ zur Verfügung. Negative Regelenergie heißt vereinfacht, dass ein Stromkunde bei einem Überangebot im Stromnetz den Strom günstiger erhält, diesen dann aber auch verbrauchen oder eben speichern muss. Zu vergleichen ist diese frei verfügbare Strommenge mit Überschüssen aus einer PV-Anlage. In beiden Fällen versucht man den eigenen Stromverbrauch entsprechend zu erhöhen, damit dieser (günstige und/oder „grüne“) Strom verbraucht werden kann. Es ist dann also wirtschaftlich und ökologisch sehr lohnenswert, den Eigenverbrauch an Strom zu erhöhen.

Zusammen mit dem Speicher ist ein zusätzlicher Flüssigkeitskühler installiert, der durch einen Frequenzumrichter (FU) stufenlos regelbar ist. Sobald eine Überschussleistung durch die negative Regelenergie vorhanden ist (oder eben ein Überschuss von einer PV-Anlage) wird dieser Flüssigkeitskühler in Betrieb genommen und speichert den „grünen“ Strom in Form thermischer Energie in den PCM-Latentspeicher ein. Der FU dient dazu, die benötigte Leistungsaufnahme der Maschine an das Angebot aus negativer Regelenergie (bzw. PV-Überschuss) anzugleichen. Hierzu wird eine stetiges Regelsignal verwendet.

Ist der Strombezug zu einem anderen Zeitpunkt dann wieder teuer (oder die PV-Anlage liefert z. B. nachts keinen Strom), kann zur Kühlung der Verbraucher die Kälte aus dem Speicher genutzt werden, ohne weiteren Strom aus dem Netz zu beziehen. Die Betriebskosten sowie der indirekte CO<sub>2</sub>-Verbrauch für diese Kälteanlage werden dadurch merklich reduziert.

### Umsetzung im Projekt: Prozesskühlung bei einer Milchpulverproduktion

Bild 2 zeigt das Anlagenschema der Kälteanlage. Es sind insgesamt drei luftgekühlte Flüssigkeitskühler installiert: Die beiden großen Maschinen mit jeweils 450 kW Kälteleistung können die gesamte Prozesskühlung abdecken. Eine kleine Maschine mit etwa 50 kW Kälteleistung und einer stufenlosen Leistungsregelung über einen Frequenzumrichter wird je nach der zur Verfügung stehenden negativen Regelenergie betrieben und lädt den PCM-Latentspeicher. Der PCM-Latentspeicher umfasst ein Speichervolumen von 5.000 Liter, in ihm können insgesamt ca. 250 kWh thermische Energie eingespeichert werden. Verbraucher- und Erzeugerkreis sind außerdem mit einer hydraulischen Weiche (4.000 Liter) voneinander getrennt.

Das von Frigoteam speziell für diese Art von Anlagen entwickelte Regelkonzept beinhaltet folgende Aufgaben:

- 1) Betrieb, Leistungsregelung und Grundlastwechsel der Kälteerzeuger
- 2) Be- und Entladung des PCM-Latentspeichers sowie dessen Einbindung in das System

Sobald ein Stromüberschuss herrscht, wird der Flüssigkeitskühler (50 kW) betrieben und lädt den PCM-Latentspeicher. Die Entladung des PCM-Latentspeichers, also die Integration der Kälte in das System kann auf folgende Arten erfolgen:

- a) Schwachlastbetrieb – Die Kälteanforderung des Verbrauchers ist relativ gering: Die beiden Flüssigkeitskühler (450 kW) müssen nicht eingeschaltet werden, die Kälteversorgung erfolgt komplett aus dem PCM-Latentspeicher.
- b) Vorkühlung – Die Kälteanforderung des Verbrauchers ist sehr hoch und sehr lange, der PCM-Latentspeicher kühlt den wärmeren Rücklauf vor, Flüssigkeitskühler 1 (und ggf. 2) sind ebenfalls in Betrieb, können aber mit reduzierter Leistungsstufe betrieben werden und verbrauchen somit weniger Strom.

Das 3-Wege-Mischventil hinter dem PCM-Speicher regelt die Speicheraustrittstemperatur, da die Speichertemperatur tiefer als der gewünschte Sollwert der Vorlauftemperatur liegt. Das Umschaltventil (3-Wege-Mischventil) ist erforderlich, um zwischen den oben genannten Betriebsarten (a) und (b) zu wechseln. Weiterhin sind am PCM-Latentspeicher Temperaturfühler zur Erfassung der Ein- und Austrittstemperaturen für die Primär- und Sekundärseiten angebracht. Auf diese

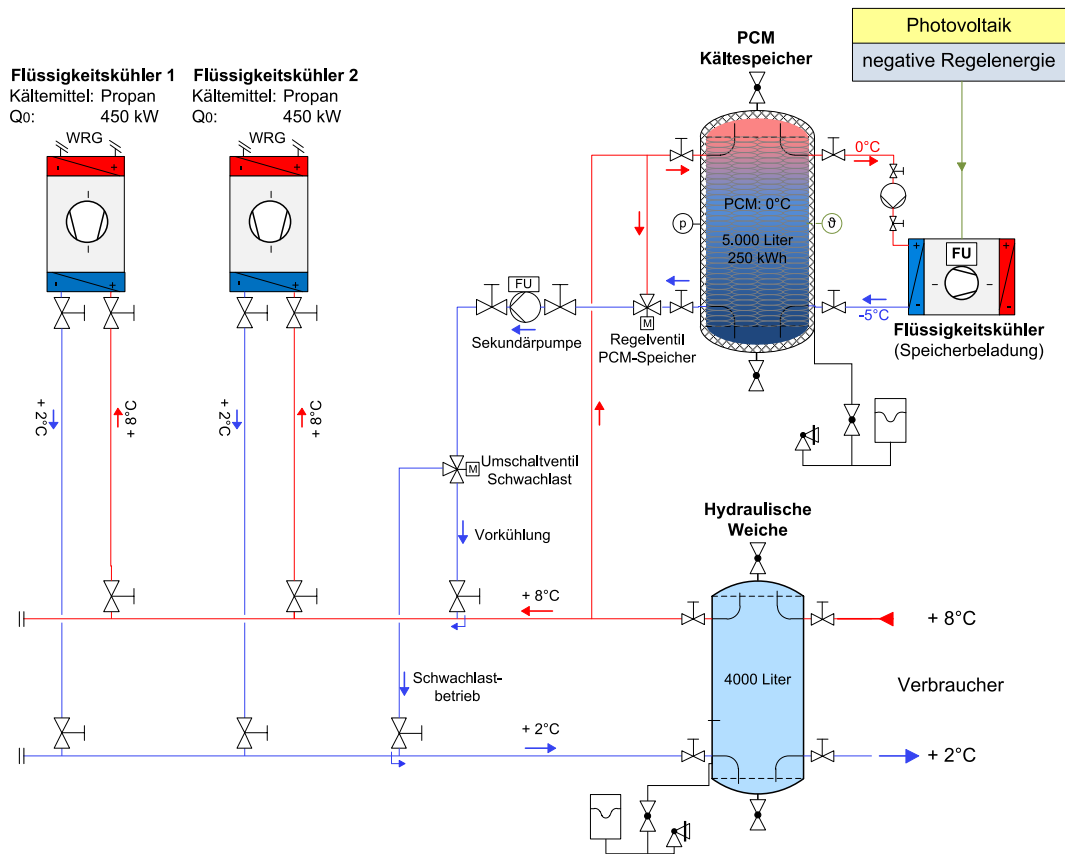


Bild 2: Aufbau eines PCM-Latentspeicher für eine Kälteanlage

Weise kann der Ladezustand des PCM-Latentspeichers genau erfasst werden, wodurch wiederum die Zeiten zur Be- oder Entladung des Speichers optimal vorgegeben werden können.

Durch die Temperaturerfassungen mit mehreren Temperaturfühlern an der hydraulischen Weiche kann ein genauer Vergleich von Kälteanforderung (Verbraucher) und der Kältebereitstellung (Erzeuger) analysiert werden: Je nach Bedarf werden dann eine oder zwei Kältemaschinen in der vorgesehenen Leistungsstufe betrieben. Der PCM-Latentspeicher wird unterstützend oder als alleinige Erzeugereinheit eingegliedert. Es erfolgt außerdem ein Grundlastwechsel der beiden Kältemaschinen. Die Regelung besitzt auch eine Schnittstelle für einen Online-Fernzugriff. Neben der Visualisierung der Betriebsdaten gibt es ein Alarmierungssystem sowie ein Monitoring der gesamten Anlage.

### Einsparungen und Mehrwert der Anlage (des Konzeptes im Allgemeinen)

Im Vergleich zu einer herkömmlichen Kälteversorgung erfordert diese Anlage zwar eine höhere Investition, weist aber gesenkte Betriebskosten durch Erhöhung des Eigenstromverbrauchs bei günstigen Bedingungen auf. Außerdem ist die Laufzeit vieler Vergütungsverträge für PV-Anlagen auf 20 Jahre befristet, danach wird die Erhöhung des Eigenverbrauchs noch wesentlich wichtiger und lukrativer, weil eine Rückvergütung entfällt.

Das natürliche Kältemittel R290 Propan mit einem GWP-Wert von 3 reduziert den direkten Treibhauseffekt bei Leckagen im Vergleich zu herkömmlichen, synthetischen Kältemitteln. Für die Einbindung negativer Regelenergie (beziehungsweise von Strom aus einer PV-Anlage) wird durch dieses Konzept wesentlich mehr „grüner Strom“ als konventioneller Strom verwendet. Betrachtet man die Kälteanlage als Systemgrenze, gibt es somit wesentlich weniger CO<sub>2</sub>-Emissionen als bei einer herkömmlichen Kälteanlage.



*Bild 3: Flüssigkeitskühler (450 kW) für Prozesskühlung; Kältemittel R290 Propan*

Seit Beginn 2019 gibt es eine neue Förderung durch das BAFA, welche genau diese Art von Anlagen mit natürlichen Kältemitteln fördert. Maschinen, Rohrleitungen und auch Kältespeicher werden innerhalb definierter Leistungsgrenzen gefördert. Außerdem gibt es für die Errichtung einer PV-Anlage und die Ausführungsplanung zusätzliche Förderungen.

Ein weiterer Nebeneffekt bei der Integration von Kältespeichern ist die erhöhte Betriebssicherheit. Wenn eine Maschine ausfällt, kann die Kälteversorgung (je nach Auslegung) über einen bestimmten Zeitraum ausschließlich durch den PCM-Latentspeicher abgedeckt werden (Entladepumpe muss hierfür funktionieren).



*Bild 4: PCM-Latentspeicher 5 m³ mit Flüssigkeitskühler (50 kW) als Lademaschine*

Der PCM-Latentspeicher kann beliebig groß oder leistungsstark ausgelegt und gefertigt werden. Außerdem kann die Schmelztemperatur des PCM variabel ausgewählt werden. Auf diese Weise kann ein Speicher für die jeweiligen Randbedingungen – verfügbarer Stromüberschuss, Kältebedarf, Kühllast und Nutzungstemperatur – optimal dimensioniert werden.

## ZUSAMMENFASSUNG

Art der Kälteanlage:

Indirektes System mit Kältschleifleitungen

Kältemittel: Propan R290 GWP = 3

Temperaturen (Verbraucher):

+2 °C / +8 °C Hycool 20 Kühlsole

Kälteleistung (gesamt): 950 kW

Kältemaschine 1 und 2: je 450 kW

Kältemaschine (Speicherbeladung):

50 kW mit FU

PCM-Latentspeicher

Volumen: 5.000 Liter

Speicherkapazität: 250 kWh

PCM-Schmelzpunkt: 0°C

PCM-Beladungstemp.: -5 °C

### Autor:

Stefan Käfer

Frigoteam Handels GmbH

Fritschestraße 68, 10585 Berlin

kaefer@frigoteam.com, www.frigoteam.com