

Energiespeicherlösungen für Gebäude und industrielle Prozesse basierend auf der Unterkühlungsmethode und Phasenwechsel-Slurry

Das Phasenwechsel-Slurry Forschungsteam des Instituts für Solartechnik am Campus Rapperswil geht neue Wege in der Entwicklung innovativer thermischer Speichertechnologien für Gebäude und die Industrie

Unterkühlung von Phasenwechselmaterialien

Unterkühlung, auch Übersättigung genannt, ist ein Begriff der in weiten Kreisen nicht oft verwendet wird, aber er ist der Name eines Phänomens, das die Forschung auf dem Gebiet von Slurry (dt. Brei) aus Phasenwechselmaterialien am Institut für Solartechnik (SPF) bestimmt. Während in den letzten 50 Jahren sehr viel Forschung betrieben wurde um das Phänomen der Unterkühlung in Phasenwechselmaterialien mit einem Übergang vom festen in den flüssigen Zustand zu unterdrücken, nutzen es Forscher am SPF auf Grund seiner Vorteile gegenüber herkömmlichen Wärmespeichern mit Phasenwechselmaterialien. Durch Unterkühlung eines Phasenwechselmaterials befindet sich dieses in einem meta-stabilen Zustand der flüssigen Phase mit einer Temperatur unterhalb seines Schmelzpunktes. Beispielsweise können Wasser, Softdrinks oder Bier, abgefüllt in Flaschen, im heimischen Gefrierschrank auf eine Temperatur unter Null Grad Celsius gekühlt werden und nach dem Herausnehmen aus dem Gefrierschrank durch Schütteln teilweise gefroren werden. Diese Beobachtung war die Grundlage zur kommerziellen Herstellung von Slush Eis – ein vor Allem in den USA und England weit verbreitetes Erfrischungsgetränk. Der Hauptvorteil in der Nutzung der Eigenschaft der Unterkühlung von Phasenwechselmaterialien liegt darin, dass sie in hydraulischen Kreisläufen, d.h. im Fluss, mittels konventioneller Wärmetauscher kontrolliert unterkühlt werden können, ohne dabei in den festen Zustand überzugehen – was eine Blockade des Leitungssystems verursachen würde.

Kostenreduktion durch thermische Speicher mit Phasenwechsel-Slurry

Die Unterkühlung von Phasenwechselmaterialien – hauptsächlich Wasser - in Wärmetauschern stand in den letzten Jahren im Fokus der Forschung am SPF und bildet die Grundlage in der Entwicklung neuartiger thermischer Speicher zum Heizen und Kühlen von Gebäuden sowie zur Speicherung industrieller Prozesswärme mittel Phasenwechsel-Slurry. Die Technologie basiert auf der Entkopplung der thermischen Speicherkapazität (kWh) unter Nutzung eines Phasenwechselmaterials, welches wiederholt vom festen in den flüssigen Zustand übergeht (und umgekehrt), und der Heiz- bzw. Kühlleistung (kW), die aus einer erneuerbaren Energiequelle stammt und an einen Verbraucher geliefert wird. Der Wärmetauscher ist dabei in einem hydraulischen System verbaut und wird nur von der flüssigen Phase des Phasenwechselmaterials durchflossen, so dass er immer die gleiche Effizienz besitzt. Durch dieses Vorgehen können die Kosten für die Speicherlösung reduziert werden, da keine komplexen und grossen Wärmetauscher in den Speichern selbst benötigt werden, welche durch die Kristallisation des Phasenwechselmaterials an ihrer Oberfläche von einem thermisch isolierenden Material überzogen werden. Dies ist beispielsweise in einem herkömmlichen Eisspeicher der Fall, wo der Wärmetauscher durch die Eisbildung auf seiner Oberfläche an Effizienz verliert, da Eis eine schlechte thermische Leitfähigkeit aufweist.

Die Unterkühlungsmethode mit einer Durchfluss-basierten Kristallisationseinheit

Ein Ablaufschema welches die Speicherlösung mittels der Unterkühlungsmethode und einer Durchfluss-basierten Kristallisationseinheit zeigt ist in Abbildung 1 zu sehen: flüssiges Wasser mit einer Temperatur von Null Grad wird durch den Wärmetauscher gepumpt, in welchem es unterkühlt wird. Nach dem Austritt aus dem Wärmetauscher wird das nun unterkühlte Wasser gezielt und an einem definierten Ort zur Eisbildung angeregt, dieses Bauteil wird Kristallisationseinheit genannt. Nach der Kristallisationseinheit ist

die Unterkühlung komplett aufgehoben und die als sensible Wärme im unterkühlten Wasser gespeicherte Energie wurde unter der Bildung von Eiskristallen in latente Wärme umgewandelt. Nach dem Austritt aus der Kristallisationseinheit ist der Eisbrei nicht mehr unterkühlt, sondern hat eine Temperatur von 0 Grad, so dass es nicht zum unkontrollierten Zufrieren der Leitungen kommen kann. Damit der Kreislauf funktioniert, müssen die Eiskristalle im Speicher vom flüssigen Wasser getrennt werden, um zu verhindern, dass Eiskristalle in den Supercooler gepumpt werden. Dies ist durch den Dichteunterschied zwischen der festen und flüssigen Phase sowie einer Vorrichtung im Tankinneren möglich. Abbildung 2 zeigt den in den Tank strömenden Eisbrei.

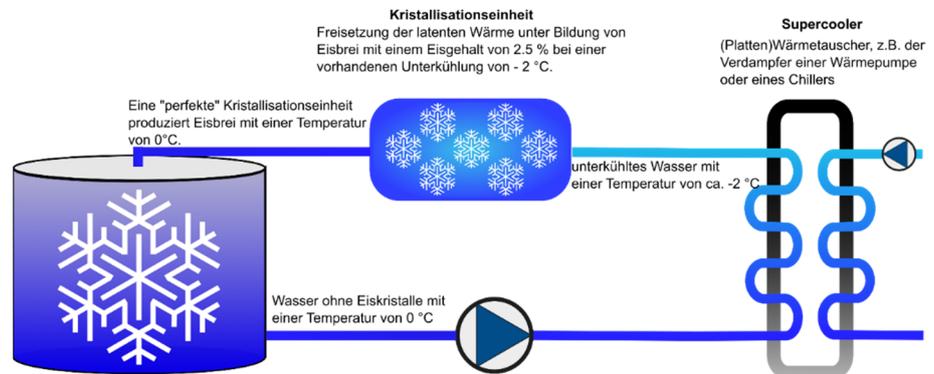


Abbildung 1: Ablaufschema der Speicherlösung mittels Unterkühlungsmethode und Eisbreierzeugung.

Herausforderungen im Eisbrei-Management

Es gibt drei wesentliche Herausforderungen, wenn Eisbrei mittels der Unterkühlungsmethode erzeugt wird. Erstens muss das Wasser verlässlich im Wärmetauscher unterkühlt werden und sicher in Leitungen flussabwärts des Wärmetauschers transportiert werden, ohne dort zu gefrieren. Zweitens muss das unterkühlte Wasser gezielt in der Durchfluss-Kristallisationseinheit kristallisiert werden ohne, dass das Leitungssystem blockiert wird (d.h. ein homogener Eisbrei mit einer Temperatur von 0 °C muss erzeugt werden). Die dritte Herausforderung besteht in der



Abbildung 2: Einströmender Eisbrei im Wassertank.

Speicherung des Eisbreis mit einer grossen Packungsdichte und ohne, dass Eiskristalle in den Supercooler gelangen. All diese Herausforderungen erfordern intelligente technische Lösungen basierend auf Kenntnissen aus den Materialwissenschaften, der (chemischen) Thermodynamik, im Bereich der mehrphasigen Flüssigkeitsströme sowie Wärme- und Massenausgleich im Zusammenhang mit Keimbildung und Kristallwachstumskinetik.

Aktuelle und vergangene Projekte am SPF mit Phasenwechsel-Slurry

Im letzten Jahrzehnt haben Forscher am SPF in verschiedenen Projekten erste Erfolge mit Wasser-Eis Systemen erzielt, welche zum Kühlen von Gebäuden eingesetzt werden können (EU TRI-HP¹, BFE SlurryHP I² & II³, BFE SlurryStore⁴ and US DOE IceCO₂). Vor wenigen Jahren startete ausserdem das

¹ <https://tri-hp.eu/>

² <https://www.ost.ch/de/forschung-und-dienstleistungen/technik/erneuerbare-energien-und-umwelttechnik/spf-institut-fuer-solartechnik/forschung/projekte/details/slurry-hp-machbarkeitsstudie-zum-einsatz-von-eisbrei-waermepumpen-in-solar-unterstuetzen-heizungsanlagen-1384>

³ <https://www.ost.ch/de/forschung-und-dienstleistungen/technik/erneuerbare-energien-und-umwelttechnik/spf-institut-fuer-solartechnik/forschung/projekte/details/slurry-hp-ii-unterkuehlende-eisbrei-waermepumpen-in-solar-unterstuetzten-heizungsanlagen-1252>

⁴ <https://www.ost.ch/de/forschung-und-dienstleistungen/technik/erneuerbare-energien-und-umwelttechnik/spf-institut-fuer-solartechnik/forschung/projekte/details/slurrystore-kontinuierliche-eisbrei-produktion-zur-kaeltespeicherung-1086>

vom Schweizer Bundesamt für Energie (BFE) finanzierte Projekt HT-PCM, welches die Unterkühlungsmethode mit Phasenwechsel-Slurry bei höheren Temperaturen um die 120 °C anwendet und den kalorienarmen Süsstoff Erythrit als Phasenwechselmaterial verwendet. Seit Kurzem wird die Methode ausserdem im von der EU finanzierten Konsortium Projekt BEST Storage ⁵ erforscht, das zum Ziel hat ein Phasenwechsel-System basierend auf einer Salzwasserlösung bei 6 – 11 °C zu entwickeln, um Wohngebäude zu kühlen. Abbildung 3 zeigt Aufnahmen einer Salzhydrat-Wasser Lösung zu verschiedenen Zeitpunkten, die in einem Wasserbad um 10 °C unterkühlt und durch die Zugabe eines sogenannten Impfkristalls zur Kristallisation angeregt wurde (die Aufnahmen stammen vom Projektpartner Tekniker (<https://www.tekniker.es/en>) im Baskenland, Spanien).

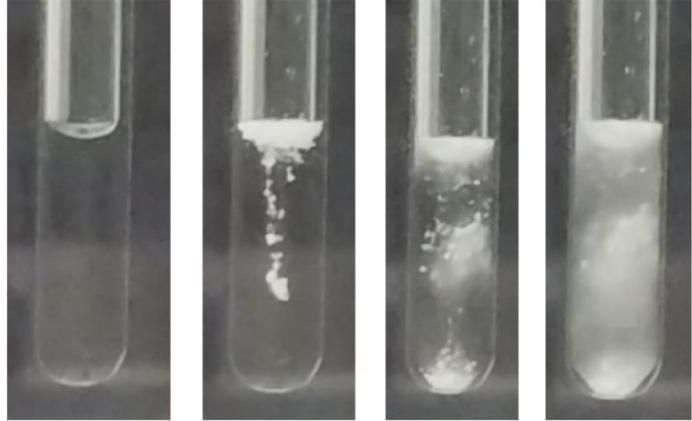


Abbildung 3: Kristallisierende Salzhydrat-Wasser Lösung, angeregt durch Zugabe eines Impfkristalls (Fotos von Projektpartner Tekniker).

Autoren:



Dr. Daniel Carbonell



Dr. Louis Desgrosseilliers



Dr. Ann-Katrin Thamm

⁵ <https://www.best-storage.eu/>