WÄRMESPEICHER IM KOMPAKTFORMAT

Speichermaterialien, die den Phasenwechsel zwischen flüssigem und festem Aggregatszustand nutzen, können viel Energie aufnehmen und abgeben. Mit ihnen lassen sich Speicher bauen, die im gleichen Volumen deutlich mehr Wärme puffern als ein Warmwasserboiler. Ein vom Bundesamt für Energie (BFE) gefördertes Pilotprojekt hat das Speicherkonzept in einem Bündner Einfamilienhaus getestet. Mit den Erfahrungen aus der praktischen Erprobung konnte ein neuartiger Kompaktspeicher entwickelt und auf den Markt gebracht werden.



Jede Kapsel des Speichers, der im Pilotprojekt untersucht wurde, enthält 110 ml PCM auf Basis von Salzhydrat. Foto: Schlussbericht SunStore

Fachbeitrag zu den Erkenntnissen aus einem P+D-Projekt im Bereich Wärmepumpen und Kälte, das vom Bundesamt für Energie finanziell unterstützt wurde. Der Beitrag ist unter anderem im Fachmagazin ET Elektrotechnik (Ausgabe März 2026) erschienen.

Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Energie BFE

Wer im Physikunterricht aufgepasst hat, weiss: Beim Gefrieren von 0-grädigem Wasser zu 0-grädigem Eis wird viel Wärmeenergie frei – etwa soviel, wie für die Erwärmung der gleichen Wassermenge von 0 auf 80 Grad nötig ist. Umgekehrt muss entsprechend viel Wärme zugeführt werden, um 0-grädies Eis zu 0-grädigem Wasser zu schmelzen. Die Rede ist hier von latenter, also im Phasenwechsel verborgener Wärme – im Gegensatz zu der sensiblen Wärme, die beim Erhitzen von Wasser zugeführt bzw. beim Abkühlen von Wasser freigesetzt wird und sich über eine Temperaturänderung äussert.

Wasser vollzieht diesen energiereichen Phasenwechsel zwischen flüssigem und festem Zustand bei 0 Grad. Andere Phasenwechselmaterialien (engl. Phase Change Material/ PCM) haben eine andere Schmelztemperatur. Bei einem bestimmten PCM auf Basis von Salzhydraten beispielsweise liegt diese bei 45 °C. Mit dieser Schmelztemperatur eignet sich das Material für den Bau eines leistungsfähigen Heizwärmespeichers. Ein solcher Speicher arbeitet typischerweise im Temperaturbereich zwischen 50 Grad (geladen) und 35 Grad (entladen). Nutzt er als Speichermedium neben Wasser auch PCM, speichert er Energie als sensible Wärme von Wasser und PCM, und zusätzlich als latente Wärme von PCM.



Dieser Heizungsspeicher mit 762 l Füllvolumen wurde im Zuge des Projekts mit PCM-Kapseln befüllt. Foto: Schlussbericht SunStore



In diesem Einfamilienhaus im Bündner Dorf Pany wurde der PCM-Speicher im praktischen Einsatz getestet. Foto: Schlussbericht SunStore

Pilot im Prättigau

Ein derartiger PCM-Speicher stand im Zentrum eines BFE-Pilotprojekts auf knapp 1200 m ü. M. im Bündner Dorf Pany. Der Speicher bestand aus einem Stahltank mit 762 Litern Volumen. Dieser enthielt 280 Liter Wasser und 3500 kleine Kapseln, die das oben erwähnte PCM enthielten. Dank des PCM hatte der Speicher rein rechnerisch dreieinhalb Mal mehr Speicherkapazität als ein gleich grosser Wasserspeicher (39,9 kWh gegenüber 11,2 kWh). Der Speicher wurde von einer Luft-Wasser-Wärmepumpe geladen und für die Beheizung eines Einfamilienhauses mit Einliegerwohnung genutzt. Zum Energiesystem der Liegenschaft gehörten ferner eine Photovoltaikanlage (17 kWp) und ein Batteriespeicher (7.7 kWh Kapazität).

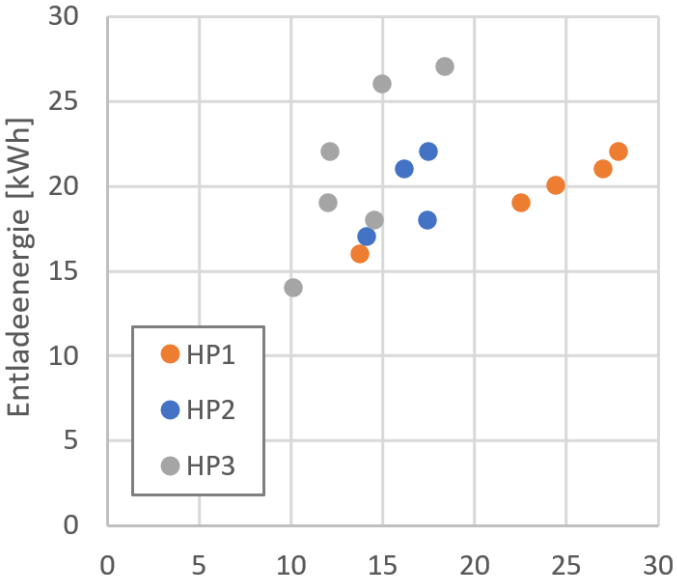
Das Institut für Energietechnik (IET) der Ostschweizer Fachhochschule (OST) in Rapperswil hat das Energiesystem von 2021 bis 2025 während vier Heizperioden im praktischen Einsatz getestet. In der ersten Heizperiode war das Speichergefäss nur mit Wasser gefüllt, in den drei folgenden Jahren wurden dem Wasser jeweils PCM-Kapseln in unterschiedlicher Ausführung zugegeben. Nie zuvor war ein PCM-Speicher auf diese Weise als Teil eines realen Heizsystems erprobt worden.

Bis zu 80 % mehr Speicherkapazität

Im Pilotversuch hat sich der Speicher bewährt: Das Speicherkonzept hat grundsätzlich funktioniert, ebenso das Handling der PCM-Kapseln etwa beim Einfüllen und Auswechseln.

Trotz Einsatz von PCM konnten für Speichertank, Wärmepumpe und das weitere Heizungssystem Standardkomponenten genutzt werden. Die Messergebnisse zeigen, dass die Speicherkapazität gegenüber einem reinen Wasserspeicher dank PCM um bis zu 80 % erhöht werden konnte. Damit wurde das theoretische Potenzial etwa zu einem Viertel ausgeschöpft.

Dank der grösseren Speicherkapazität konnte in der Pilotliegenschaft mehr eigener Solarstrom genutzt werden: Der Strom, der nicht für elektrische Geräte im Haus benötigt wurde, wurde mittels Wärmepumpe in Warmwasser umgewandelt und als Wärme im PCM-Speicher gepuffert. Der Anteil des selbst erzeugten Stroms am gesamten Stromverbrauch (als Eigendeckungsgrad oder auch Autarkiegrad bezeichnet) konnte so von 21 auf 35 bis 40 % erhöht werden. Dazu sagt OST-Wissenschafter Carsten Wemhöner: «Die Verbesserung von Speicherkapazität und Eigendeckungsgrad dürfte massgeblich auf die PCM-Kapseln zurückzuführen sein, aber auch klimatische Einflüsse oder Änderungen im Nutzerverhalten könnten eine Rolle gespielt haben.» Die bessere Nutzung des eigenen Solarstroms ist finanziell interessant. Diesen Mehreinnahmen stehen allerdings die Mehrkosten für den PCM-Speicher gegenüber. Die Amortisationszeit für den neuartigen Speicher beträgt laut den OST-Forschenden «im besten Fall» 12 Jahre.



Die Grafik zeigt die Energie, die bei verschiedenen Entladevorgängen mit unterschiedlichen Temperaturdifferenzen aus dem PCM-Speicher gewonnen werden konnte. In Heizperiode 1 (HP 1) war der Speicher nur mit Wasser gefüllt, in Heizperiode 2 und 3 zusätzlich mit PCM-Kapseln, die die Kapazität des Speichers erhöht haben. Lesebeispiel: Bei einem Entladevorgang von 50 auf 35 °C (Temperaturdifferenz von 15 Grad) konnten dem Speicher in HP 1 ca. 16 kWh Wärme entzogen werden, in HP 2 und 3 bis zu ca. 26 kWh. Bei dieser Temperaturdifferenz liegt die Speicherkapazität mit PCM somit bis zu 60 % höher als nur mit Wasser. An ausgewählten Tagen konnten die OST-Forschenden sogar Kapazitätssteigerungen von 80 % messen. Grafik: Schlussbericht SunStore

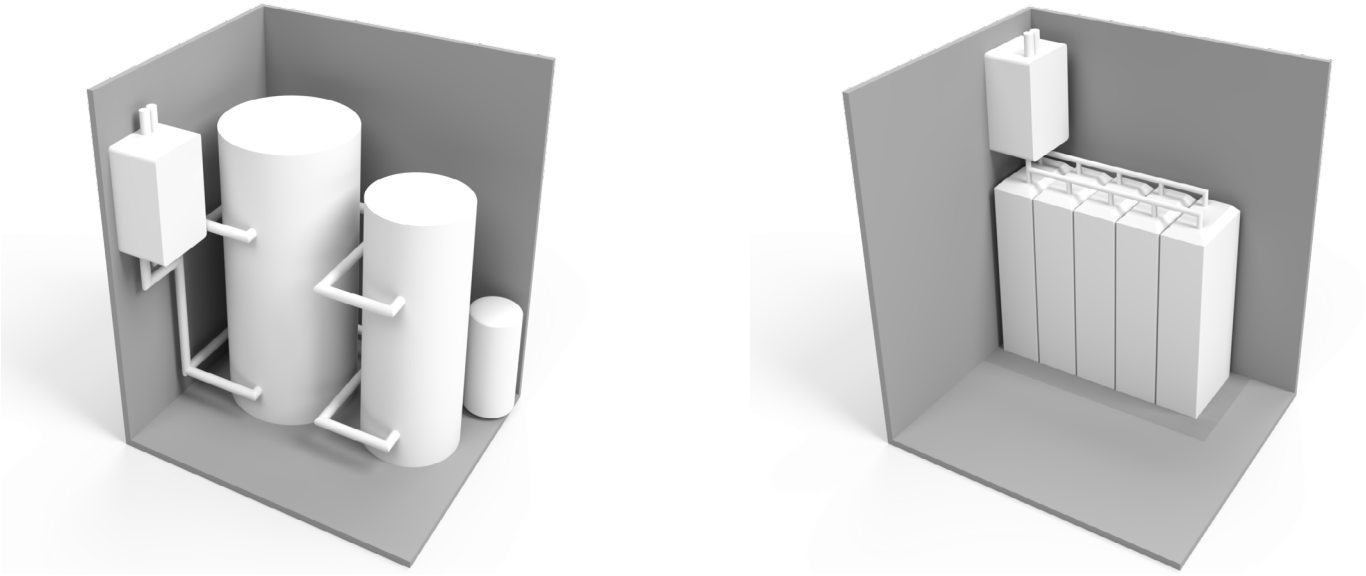
Unzureichender Wärmetransfer

Das Pilotprojekt hat auch die Schwächen von Phasenwechselmaterialien vor Augen geführt. So blieben die Lade- und Entladeleistung des PCM-Speichers hinter den Erwartungen zurück, die hohe Speicherkapazität der PCM-Kapseln konnte im praktischen Betrieb also nicht wie gewünscht ausgeschöpft werden. Im Vorfeld war erwartet worden, die Wärmepumpe würde dank des PCM-Speichers mit einer höheren Effizienz (Jahresarbeitszahl) arbeiten, weil sie die Wärme dank PCM-Speicher bei niedrigeren Temperaturen bereitstellen kann als bei einem Wasserspeicher. Diesen Nutzen konnten die OST-Wissenschaftler im praktischen Betrieb aber nicht nachweisen. Die unerwartet tiefe Speicherkapazität führte zu mehr Ein-/Ausschalt-Vorgängen bei der Wärmepumpe. «Das ist nachteilig, weil das die Lebensdauer der Wärmepumpe reduziert und ihre Effizienz mindert», sagt OST-Wissenschaftler Christoph Meier. «Die Wärmepumpe braucht nämlich nach jedem Einschaltvorgang einige Minuten, bis sie optimal läuft.»

Die Ursache der unbefriedigenden Performance liegt bei der begrenzten Wärmeübertragung zwischen PCM-Kapseln und Wasser: Wird der Speicher entladen, sinkt zuerst die Wärme des Wassers von 50 auf 45 °C, anschliessend beginnen die PCM-Kapseln (bei Abgabe von Wärme) zu erstarren. Das geschieht von der Kapseloberfläche nach innen, es bildet sich also eine erstarrte Schicht, die es schwerer macht, dass die im Innern der Kapseln gespeicherte Wärme nach aussen abgegeben werden kann. Das hat zur Folge, dass die Temperatur im Wasser weiter absinkt und für den Heizkreislauf bald nicht mehr genügend Wärme (z.B. 40 °C) zur Verfügung steht – obwohl im Innern der Kapseln eigentlich noch 45-grädige Wärme verfügbar wäre, die aber nicht schnell genug aus den Kapseln herausbefördert werden kann. Kurzum: Der PCM-Speicher lässt sich nicht vollständig entladen.

Neuer Anlauf zum Kompaktspeicher

Für die Firma Cowa Thermal Solutions AG, die den PCM-Speicher entwickelt hat, war die tiefe Lade- und Entladeleistung



Grössenvergleich im Heizkeller des Einfamilienhauses in Pany: Links die bisherigen Speicher für Heizwärme (der im Pilotprojekt mit PCM-Kapseln befüllt wurde) und ein zweiter Speicher für Trinkwarmwasser. Rechts: Der von Cowa neu entwickelte Kompaktspeicher für Heizwärme und Trinkwarmwasser, der im Oktober 2025 installiert wurde. Illustration: Schlussbericht SunStore

ein grundsätzliches Problem, denn sie stellte die Wirtschaftlichkeit des neuartigen Speichers in Frage: «Wir hätten zwar versuchen können, die Wärmeleitfähigkeit des PCM zu erhöhen, oder die Kapseln zu verkleinern», sagt Philipp Roos, Forschungsleiter bei Cowa. «Die Erfahrungen aus dem Pilotprojekt haben uns aber dazu bewogen, unseren PCM-Speicher noch vor Abschluss des BFE-Pilotprojekts neu zu konzipieren.»

Das neue Speicherdesign stellt das ursprüngliche Konzept quasi auf den Kopf: Neu wird nicht mehr das PCM von Wasser umströmt, sondern das Wasser durchströmt das PCM. Dafür wird ein Wärmetauscher – bestehend aus Kupferrohren mit Aluminiumlamellen – in einen mit PCM gefüllten Tank eingebracht. Die neue Konstruktionsweise vergrössert die spezifische Oberfläche für den Wärmetausch zwischen PCM und Wasser. In der Folge lässt sich der Speicher mit höherer Leistung laden und entladen. Dieser PCM-Speicher wird bereits gemeinsam mit der Heizungsfirma Meier Tobler in der Schweiz vermarktet. Er ist unterdessen in 40 Gebäuden verbaut, seit Oktober 2025 auch im Einfamilienhaus in Pany.

Wärmepumpen ersetzen Gas-Durchlauferhitzer

Der neue Speicher lässt sich auch als Durchlauferhitzer für Trinkwarmwasser nutzen. Bei dieser Anwendung ist allerdings zu beachten, dass das Warmwasser eine vergleichsweise tiefe Temperatur hat. Im Fall von Pany liegt diese nur bei gut 40 °C, im Gegensatz zu 50 bis 60 Grad bei einer herkömmlichen Heizung. Um die Hygiene zu gewährleisten, muss der Speicher einmal wöchentlich auf 65°C aufgeheizt werden. Wünscht man eine höhere Warmwassertemperatur, kann man alternativ ein PCM z.B. mit einem Schmelzpunkt bei 58 °C einsetzen, verbunden mit einer Wärmepumpe, die Temperaturen bis 70 °C bereitstellt.

Neben Cowa bemühen sich auch Firmen wie Axiotherm und Sunamp um den Bau von PCM-Speichern. Philipp Roos sieht diese Speicher als «thermische Batterie», die einen Beitrag zur Dekarbonisierung des Gebäudesektors leisten können:

KNOWHOW ZU PCM

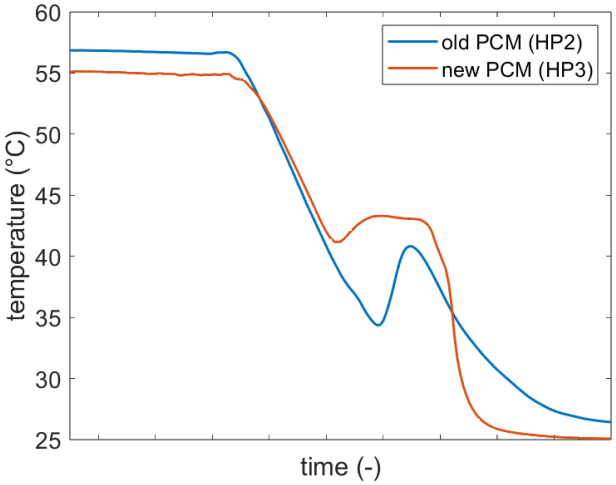
Die Entwicklung und Herstellung von Phasenwechselmaterialien (PCM) erfordert umfassendes Wissen über chemische und thermodynamische Prozesse. Die PCM-Speicher der Firma Cowa Thermal Solutions beruhen auf einem Phasenwechselmaterial auf Salzhydratbasis. Diese PCM wurden und werden an der Hochschule Luzern erforscht. Aus dem Forschungsschwerpunkt ging 2019 das Spin-off Cowa Thermal Solutions in Root (LU) hervor. Seither entwickelt Cowa die PCM im eigenen Labor und in Kooperation mit der École polytechnique fédérale in Lausanne (EPFL) weiter und stimmt sie auf die Bedürfnisse ihrer Kunden ab.

«PCM-Speicher machen es zum Beispiel möglich, Gas-Durchlauferhitzer durch Kompaktgeräte aus Wärmepumpen und Speicher zu ersetzen. Zwar sind PCM-Speicher der Firma Cowa heute noch um ca. einen Faktor 2 teurer als Wasserspeicher, aber sie machen es möglich, in beengten Platzverhältnissen – ein relevantes Problem in sehr vielen bestehenden Einfamilien- und Mehrfamilienhäusern – überhaupt fossilfreie Heizlösungen zu realisieren.»

- Der **Schlussbericht** zum Projekt ‹SunStore – Latenter, kompakter Pufferspeicher für mit Photovoltaik betriebene Wärmepumpen› ist verfügbar unter: https://www.aramis.admin.ch/Texte/?ProjectID=49316.

- **Auskünfte** zu dem Projekt im Namen des BFE erteilen Men Wirz (men.wirz@bfe.admin.ch) und Stephan Renz (info@renzconsulting.ch), externer Leiter des Forschungsprogramms Wärmepumpen und Kälte.

- Weitere **Fachbeiträge** über Forschungs-, Pilot-, Demonstrations- und Leuchtturmprojekte im Bereich Wärmepumpen und Kälte finden Sie hier.



Detailanalyse von zwei unterschiedlichen Arten von PCM-Kapseln, die während des Pilotprojekts in Pany in Heizperiode 2 und 3 genutzt wurden. Die Kurven zeigen die Unterkühlung beim Erstarrungsvorgang. Unterkühlung bedeutet, dass das PCM zuerst unter die eigentliche Erstarrungstemperatur absinkt, bevor es anfängt zu erstarren. Erst beim Erstarrungsvorgang wird die Erstarrungsenthalpie (oder vereinfacht die Erstarrungsenergie) freigesetzt. D.h. die blaue Kurve war bis unter 34 °C noch im sensiblen Modus, erst dann ist die Erstarrung gestartet, das PCM hat sich dabei wieder erwärmt. Beim roten PCM ist die Unterkühlung geringer, so kann auch eine höhere Temperatur im Heizungswasser gehalten werden. Grafik: Schlussbericht SunStore

Autor: Benedikt Vogel, im Auftrag des Bundesamts für Energie (BFE)
Stand: April 2026