Themeninfo **I**/2009

Energieforschung kompakt

BINE Informationsdienst

Latentwärmespeicher in Gebäuden

Wärme und Kälte kompakt und bedarfsgerecht speichern

Ein Service von FIZ Karlsruhe

Zur Sache

Lässt sich Wärme – oder Kälte – direkt in Wänden und Decken speichern? Kann man Wärme exakt auf dem Temperaturniveau speichern, auf dem sie später genutzt werden soll? Und lässt sich der Wärmespeichereffekt zeitlich und in seiner Intensität dosieren? Die Antwort lautet eindeutig: Ja – mit Materialien, die Wärme latent speichern, das heißt auf einem definierten Temperaturniveau und in hoher „Konzentration". Der englische Begriff Phase Change Materials – kurz: PCM – deutet an, dass es eine Vielzahl von Materialien für unterschiedliche Temperaturbereiche gibt, mit denen das Wärmemanagement in Gebäuden individuell auf die jeweiligen Anforderungen zugeschnitten werden kann.

Ein Blick in die Vergangenheit zeigt, dass das Thema Latentwärmespeicher nicht neu ist. Wasser ist bei 0 °C ein klassischer Latentwärmespeicher, der bereits seit vielen Jahren in der Kältetechnik eingesetzt wird. Als Alternative zu den traditionellen Warmwasserspeichern sollten Latentwärmespeicher bereits vor vielen Jahren in die Heizungstechnik eingeführt werden, um das Wärmespeichervermögen deutlich zu erhöhen. Neu ist allerdings die Idee, Phase Change Materials flächig in Wände und Decken zu integrieren. Das Wärmemanagement bzw. die angestrebte Stabilisierung der Raumtemperaturen funktioniert weitgehend passiv, wenn für das nächtliche Abführen der Wärme per Nachtlüftung gesorgt wird. PCM lassen sich auch sehr gut in thermoaktive Bauteilsysteme integrieren. So erhält man aktive Systeme, mit denen das Wärmemanagement nach Wunsch gesteuert werden kann. Aufgrund der geringen Temperaturdifferenzen beim Heizen und Kühlen werden Niedrig-Exergie-Systeme realisierbar, die sich durch einen besonders effizienten Umgang mit den Energieressourcen auszeichnen.

Niedrig-Exergie-Systeme und -Technologien stehen im Fokus von LowEx – einem Schwerpunkt der Forschungsinitiative EnOB des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi). Hier werden Systeme für Gebäude, Gebäudetechnik und Energieversorgung entwickelt, die bei der Wärme- und Kälteerzeugung und bei der Wärme- und Kälteverteilung im Raum mit möglichst geringen Temperaturdifferenzen auskommen. Auf diese Weise können auch regenerative Energiequellen genutzt werden – so z. B. die natürliche Kühle des Erdreichs oder des Grundwassers zum Kühlen sowie solare Wärme zum Heizen. Ein Schlüssel zu LowEx-Systemen sind Latentwärmespeicher bzw. Phase Change Materials.

Mit diesem Themeninfo präsentieren wir deren Entwicklungsstand, aktuelle PCM-Produkte und Einsatzmöglichkeiten. Hinzu kommt eine fundierte Auswertung erster Pilotprojekte.

Ihre BINE-Redaktion
redaktion@bine.info

Inhalt

3 *Phasenübergang puffert Wärme*
6 *Baustoffe stabilisieren Raumklima*
7 *Frostschutz für den Apfelbaum*
10 *Aktives Wärmemanagement*
11 *Aus der Praxis: Sanierung einer Druckerei*
13 *Demonstrationsgebäude mit PCM-Kühldecken*
14 *PCM-Konzepte für die Gebäudetechnik*
15 *Aus der Praxis: PCM-Lüftungsgerät im Test*
17 *Im Portrait: Hersteller, Entwickler und Anwender*
19 *Neuartiges Rückkühlkonzept mit PCM*

Impressum

ISSN
1610 - 8302

Herausgeber
FIZ Karlsruhe GmbH
Hermann-von-Helmholtz-Platz 1
76344 Eggenstein-Leopoldshafen

Autoren
Dr. Harald Mehling, ZAE Bayern
Dr. Peter Schossig, Fraunhofer ISE
Doreen Kalz, Fraunhofer ISE

Fachliche Beratung
Prof. Dr. Dirk Müller, RWTH Aachen

Redaktion
Uwe Friedrich

Titelbild
GLASSX, Gaston Wicky

Version in Englisch
Das Dokument finden Sie unter www.bine.info.

Urheberrecht
Eine Verwendung von Text und Abbildungen aus dieser Publikation ist nur mit Zustimmung der BINE-Redaktion gestattet. Sprechen Sie uns an.

BINE Informationsdienst wird vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) gefördert.

BINE Informationsdienst

FIZ Karlsruhe, Büro Bonn
Kaiserstraße 185-197, 53113 Bonn
Tel. 0228/92379-0
Fax 0228/92379-29
bine@fiz-karlsruhe.de
www.bine.info

Phasenübergang puffert Wärme

Wärmespeicherung ist in vielen Fällen notwendig für den effizienten Umgang mit Energie. Mit Materialien, die Wärme latent speichern, sind angepasste Lösungen für viele Anwendungsbereiche möglich. Entscheidend für den Einsatz ist eine geeignete Konfektionierung der Phase Change Materials, um einen effektiven Wärmeaustausch zu ermöglichen. Besonders flexibel sind mikroverkapselte PCM, die in viele Baustoffe und Bausysteme integriert werden können.

Abb. 1 *Der Einsatz von PCM dient der Vermeidung von Spitzentemperaturen im Gebäudeinnern und somit der Einsparung von Kühlenergie. Bei konventioneller Nachtlüftung wird die Warmluft im Gebäude durch kalte Nachtluft ersetzt. Quelle: GLASSX, Gaston Wicky*

Wärmespeicherung spielt immer dort eine wichtige Rolle, wo es gilt, Angebot und Nachfrage von Wärme oder Kälte im Zeitverlauf und in der Leistung anzupassen; aber auch dort, wo Versorgungssicherheit und netzunabhängige Versorgung gewährleistet sein muss. Durch Wärmespeicherung können viele „Wärmequellen“ wie Solarenergie oder Abwärme aus Industrieprozessen und Kraftwerken wirtschaftlich nutzbar, d. h. verfügbar gemacht werden, wenn sie gebraucht werden. Die Wärmebereitstellung durch eine Heizungs- oder Solaranlage muss somit nicht auf die maximale Nachfrage ausgelegt, sondern kann an den mittleren Bedarf angepasst werden. Alternativ lassen sich die niedrigen Temperaturen in der Nacht zum Kühlen am Tag verwenden.

Bedarfsgerechte Wärmespeicherung erfolgt heute üblicherweise durch Warmwasserspeicher – indem die Temperatur des gespeicherten Wassers auf die Bedarfstemperatur oder darüber erhöht wird. Die so gespeicherte Wärme nennt man sensible Wärme, da es sich um eine „fühlbare“ Speicherung handelt. Wasser für diesen Prozess zu nutzen hat den Vorteil, dass es meist gleichzeitig das Medium ist, das anschließend auch benötigt wird – z. B. kann es direkt zum Duschen aus dem Speichertank entnommen werden. Zudem ist Wasser in der Regel kostengünstig. Die sensible Wärmespeicherung wird z. B. auch beim Aufheizen der Kacheln eines Kachelofens genutzt. Diese geben die Wärme über viele Stunden ab – auch wenn das Feuer längst erloschen ist.

Latentspeichermaterialien, auch PCM (Phase Change Materials) genannt, speichern große Mengen Wärme durch einen Phasenwechsel – etwa von fest zu flüssig. Gegenüber konventionellen sensiblen Wärmespeichern ermöglichen PCM-Speicher hohe Energiedichten bei weitgehend konstanter Betriebstemperatur. Die für das Schmelzen von einem Kilogramm Wasser notwendige Energiemenge würde bei einer sensiblen Speicherung zur Temperaturerhöhung auf ungefähr 80 °C führen. So gilt für viele Materialien, dass bei einer Temperaturänderung um wenige Grad (10K) beim Schmelzvorgang gegenüber sensibler Speicherung eine bis zu 10-fach höhere Wärmespeicherdichte erzielt werden kann. Abbildung 2 zeigt: Die Speicherung von Wärme ist gewöhnlich mit einer Temperaturerhöhung des Speichermaterials verbunden, die der gespeicherten Wärmemenge proportional ist (blaue Kurve). Bei der „latenten“ (versteckten) Wärmespeicherung erfolgt nach Erreichen der Phasenübergangstemperatur eine Zeit lang keine Erhöhung der Temperatur – solange, bis das Speichermaterial vollständig geschmolzen ist (rote Kurve). Beim Erstarren wird die eingespeicherte Wärme wieder abgegeben.

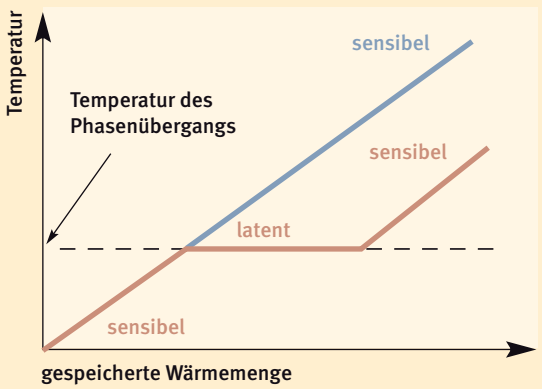


Abb. 2 *Temperaturverlauf als Funktion der gespeicherten Wärmemenge bei sensibler und latenter Wärmespeicherung. Quelle: ZAE Bayern*

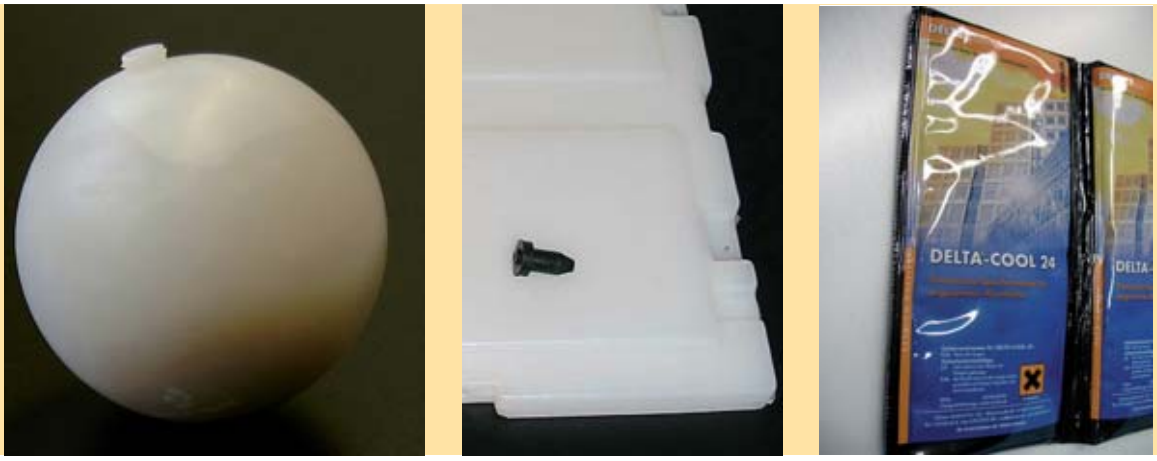


Abb. 4 *Beispiele von Makroverkapselungen. Quelle: ZAE Bayern*

Welche Speichermaterialien werden eingesetzt?

Aufgrund intensiver Forschung in den letzten beiden Jahrzehnten sind heute viele Phasenwechsel-Materialien bekannt, die sich für den Einsatz als Latentwärmespeicher eignen und mit ihren Schmelzpunkten einen weiten Temperaturbereich abdecken (Abb. 3). Durch unterschiedliche Mischungen von Wasser mit Salzen können z. B. eutektische Salzlösungen mit Schmelzpunkten weit unter 0 °C hergestellt werden – oder Salzhydrate mit Schmelzpunkten im Temperaturbereich von 5 °C bis 130 °C. Dadurch ergeben sich viele Anwendungen in den Bereichen Heizen, Kühlen und Klimatisieren. Sie zeichnen sich vor allem durch hohe Speicherdichten aus und sind vergleichsweise kostengünstig. Als organische Materialien eignen sich vor allem Paraffine und Fettsäuren. Sie haben meist niedrigere Speicherdichten und vergleichsweise höhere Kosten als Salzhydrate. Im Gegensatz zu Salzhydraten sind sie jedoch technisch leichter handhabbar.

Obwohl die Kombination Baustoffe und PCM auf den ersten Blick recht unspektakulär erscheint, sind jedoch eine Reihe von Anforderungen zu erfüllen. So muss neben einem ausreichenden Brandschutz – Paraffine z. B. sind brennbar – auch die mechanische Festigkeit der PCM-Materialien gegeben sein. Oft ist es auch sinnvoll, PCM zu modifizieren, um ihre Eigenschaften zu verändern. Beispiele sind schütt- und rieselfähige Granulate oder PCM-Grafit-Verbundmaterialien für hohe Heiz- oder Kühlleistungen.

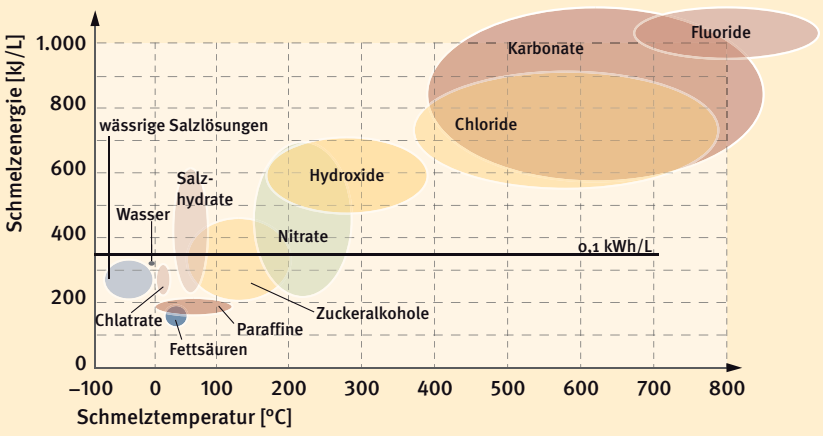


Abb. 3 *Materialklassen, die als PCM untersucht und eingesetzt werden. Quelle: ZAE Bayern*

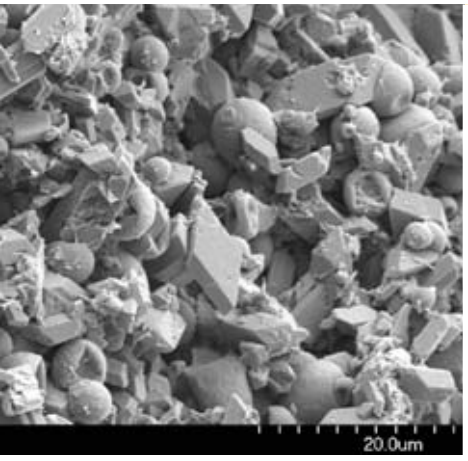
PCM – gut verkapselt und portioniert

PCM eignen sich zum Bau von Speichern mit hoher Speicherdichte sowie aufgrund des Schmelzens bei konstanter Temperatur zur passiven Temperaturstabilisierung. Da PCM bei ihrer Nutzung flüssig werden, ist es im Allgemeinen notwendig, sie in einem Behältnis zu kapseln. Bei konventionellen Speichern geschieht dies durch den Speicherbehälter. In vielen Anwendungen werden PCM jedoch als eigenständige Speicherelemente in einem bestehenden System eingesetzt.

In diesem Fall werden die eingesetzten Speicherbehälter der Phase Change Materials "Verkapselung" genannt. Sie werden nach ihrer Größe unterschieden in Makroverkapselungen mit mehr als 1 cm Durchmesser, Mikroverkapselungen mit weniger als 100 µm sowie Mesoverkapselungen, die den Zwischenbereich abdecken. Beispiele für konventionelle Makroverkapselungen zeigt Abbildung 4: Kunststoffbehälter in flacher Ausführung oder als Kugeln, Beutel usw. … Mit dieser Technik lassen sich beliebige Materialklassen “verpacken“. Jedoch sind solche Verkapselungen aufgrund ihrer Größe nicht überall einsetzbar.

Um PCM anderen Materialien, z. B. Baustoffen, zugeben zu können, ist es notwendig, die Mikroverkapselung einzusetzen. Durch die geringe Größe können die Kapseln gleich bei der Herstellung des Baustoffes beigemischt werden, sodass sich dessen Handhabung auf der Baustelle nicht von einem herkömmlichen Baustoff unterscheidet. Auch ein weiteres Bearbeiten während der Nutzungsphase ist möglich, denn die Kapseln werden aufgrund ihrer geringen Größe mit hoher Wahrscheinlichkeit nicht beschädigt. Sollten einzelne dennoch Schaden nehmen, so ist die austretende Menge verschwindend gering. Mikroverkapselte Paraffine sind seit etwa 10 Jahren kommerziell erhältlich. Die Mikroverkapselung von Salzhydraten sowie erste Ansätze zur Mesoverkapselung sind Gegenstand intensiver Forschung.

Generell erfordert die meist geringe Wärmeleitfähigkeit des Materials beim Bau von Wärmespeichern mit PCM ausgeklügelte Be- und Entladesysteme. Diese müssen ebenso wie die Speicherhülle auf oft beträchtliche Volumenänderungen von PCM ausgelegt sein. Zentrale



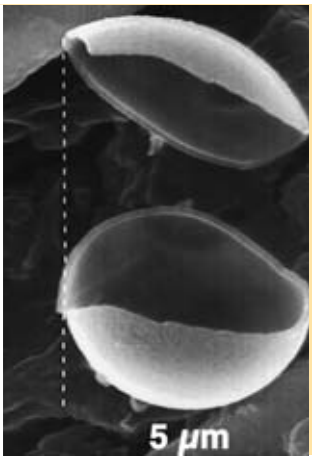


Abb. 5 *Mikroverkapselung.*
Quelle: Fraunhofer ISE, BASF

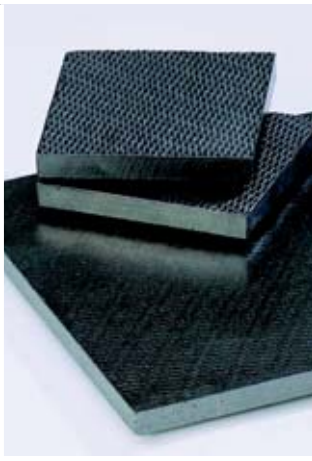


Abb. 6 *Beispiele von PCM-Verbundmaterialien: Mechanisch stabiles, schüttfähiges Granulat der Rubitherm GmbH; PCM-Grafit-Verbund mit hoher Wärmeleitfähigkeit.*
Quelle: ZAE Bayern

Kriterien für die Auswahl geeigneter Materialien sind hierbei Energie- und Leistungsdichten; aber auch Speicherverluste, Kosten und Sicherheit spielen eine wichtige Rolle.

Anwendungsmöglichkeiten von PCM

Die meisten Anwendungen von PCM mit dem Motiv „Energiesparen" dienen dem Puffern von Temperaturzyklen in Gebäuden. Schwerpunkt ist die Vermeidung von Spitzentemperaturen und somit die Einsparung Kühlenergie. Bei konventioneller Nachtlüftung wird die Warmluft im Gebäude durch kalte Nachtluft ersetzt; mit PCM kann die Wärmekapazität eines Gebäudes erhöht und dadurch die Nachtkälte in der Gebäudemasse gespeichert werden. Eine weitere wichtige Anwendung sind Speicher, die zur Unterstützung der Gebäudeheizung eingesetzt werden.

Generell lassen sich folgende Anwendungen von Phase Change Materials in Gebäuden unterscheiden:
- PCM in die Gebäudestruktur integriert (Wand, Decke)
- PCM in sonstigen Gebäude-Komponenten (z. B. Fassadenelement)
- PCM in separaten Wärme- und Kältespeichern

Die ersten beiden Anwendungen sind passive Systeme, die die gespeicherte Wärme oder Kälte automatisch abgeben. Das dritte System benötigt aktive Komponenten – wie Lüfter und Pumpen – sowie eine Regelung. Sie bietet jedoch den Vorteil, dass die gespeicherte Wärme oder Kälte bei Bedarf gezielt abgerufen werden kann. Abhängig vom Einsatzbereich werden PCM mit unterschiedlichen Phasenübergangstemperaturen eingesetzt. Bevorzugt werden in Gebäuden Speichertemperaturen von 0 °C bis 40 °C, mit Ausnahme der Warmwasser- und Heizwasserbereitung mit Temperaturen zwischen 50°C und 60 °C. Die Integration von PCM in die Gebäudestruktur ist auf den Temperaturbereich von 21 °C bis 26 °C fokussiert.

Eisspeicher mit ihrer im Vergleich zu Kaltwasserspeichern um ein Vielfaches höheren Speicherdichte sind heute in der Gebäudeklimatisierung und bei der Nutzung industrieller Prozesskälte Stand der Technik. Aufgrund ihrer Einbindung in das Kühlsystem über einen Solekreislauf mit Pumpe können die Speicher aktiv angesteuert werden, um sie gezielt zu be- und entladen sowie ihre Leistung zu regeln. Eine weitere Möglichkeit zur aktiven Einbindung bilden luftführende Heiz- und Kühlsysteme.

Zur passiven Temperaturstabilisierung hingegen werden PCM ohne äußere Steuerung eingesetzt. Ein Beispiel dafür ist der Einsatz makroverkapselter PCM in Transportboxen für temperaturempfindliche Güter wie Pharmazeutika und Blutplasma. In den letzten Jahren wurde vermehrt auch PCM in Bekleidung eingebracht. Hier puffern PCM kurzzeitig überschüssige Wärme und reduzieren das Schwitzen; oder sie nutzen gespeicherte Wärme, um Frieren zu verhindern. Für diese Fälle wird zumeist mikroverkapseltes PCM mit dem Bekleidungsstoff kombiniert.

Dieser Ansatz wird seit einigen Jahren auch zur passiven Temperaturstabilisierung in Gebäuden eingesetzt. Verglichen mit der Wärmespeicherfähigkeit von Baumaterialien wie Gips, Holz, Zement oder Steinen – die im Bereich von 0,8 bis 1,5 kJ/kg in einem 1 °C Intervall liegen – können PCM beim Schmelzen ein Vielfaches an Wärme speichern. Zumeist werden mikroverkapselte PCM in Baumaterialien eingebracht.

Ein weiteres Anwendungsfeld ergibt sich aus bereits etablierter Gebäudetechnik: So werden Gebäude mit bauteilintegrierten Rohrregistern gekühlt, um das Raumklima komplett oder unterstützend zu konditionieren. Diese thermoaktiven Bauteilsysteme (TABS) lassen sich kombiniert mit konventionellen Heizsystemen (Heizkörpern) sowie natürlicher oder maschineller Lüftung einsetzen. Bei dieser Anwendung ersetzen sie eine konventionelle Gebäudekühlung. Bei rein passiven Systemen – oder auch im Falle der TABS – sollte aufgrund des schlechten Wärmeübergangs zur Luft eine große Wärmeübertragerfläche zur Verfügung stehen. Bei aktiven Systemen ist dies nicht notwendig, denn bereits eine geringe Bewegung der Luft erhöht den Wärmeübergang und damit die Leistungsfähigkeit des Systems um ein Vielfaches.

Abb. 7 *Moderne Architektur zeichnet sich immer mehr durch leichte Konstruktionen und energieoptimierte Planung aus – ohne dass auf Komfort verzichtet werden muss. In Baustoffe integrierte PCM – z. B. in Form von Gipsbauplatten – sorgen per Temperaturausgleich für ein gutes Raumklima. Quelle: BASF*

Baustoffe stabilisieren Raumklima

Die Wärmekapazität von Gebäuden in Leichtbauweise kann deutlich erhöht werden, indem Latentwärmespeicher in die Oberfläche der Bausubstanz eingelagert werden. Der Effekt: Eine verbesserte „passive" Gebäudekühlung und Innentemperaturregulierung – und damit Energieersparnis und Komfortzuwachs. Baustoffe mit PCM zur passiven Gebäudekühlung sind bereits marktverfügbar.

In Gebäuden mit freiliegenden, massiven Betonwänden oder Mauerwerk ist es im Sommer oft angenehm kühl. Dieser Kühleffekt wird durch die hohe Wärmekapazität der Bausubstanz ermöglicht. Massive, freiliegende Gebäudeteile fungieren als Wärmepuffer – sie können tagsüber Wärme aufnehmen und diese während der Nacht wieder abgeben. In Gebäuden mit geringer Wärmekapazität – in Leichtbauweise z. B. mit Bauteilen aus Holz oder Gipskarton errichtet – steigt die Raumtemperatur dagegen schnell.

Wärme- und Kälteschutz in Gebäuden vollzieht sich allgemein durch ein Zusammenwirken von Wärmespeicherung in der Gebäudemasse und geeigneten Dämmmaßnahmen: Die Wärme wird von der Gebäudemasse ohne weitere technische Vorrichtung aufgenommen bzw. abgegeben. Daher nennt man sie „passive Temperaturstabilisierung". Aufgrund der hohen Speicherfähigkeit in einem schmalen Temperaturbereich eignen sich PCM hervorragend dazu, die Fähigkeit unterschiedlichster Materialien zur passiven Temperaturstabilisierung zu verbessern. Dieser Effekt wird deshalb seit einigen Jahren auch in der Gebäudetechnik kommerziell eingesetzt.

Den Grundstein für viele der im Folgenden dargestellten Entwicklungen und Produkte bilden die Arbeiten der Forschungsprojekte „Innovative PCM-Technologie" und „Mikroverkapselte Latentwärmespeicher". Die Forschungsarbeiten zu PCM-Technologieanwendungen wurden mittlerweile im BMWi-Förderkonzept EnOB gebündelt. Zum Einsatz von PCM in Gebäuden wurden die drei Fälle „Einbringen in den Außenputz, ins Mauerwerk und in den Innenputz" untersucht. Für jeden dieser Fälle wurden wiederum die Schmelztemperaturen im Hinblick auf den Anwendungsfall und die eingebrachten Mengen in Simulationsstudien variiert.
Bewertet wurden die Aspekte der Energieersparnis, der Komfortsteigerung und bei den Außenanwendungen des Bauteilschutzes. Aufgrund der deutlich geringeren Wärmeströme und des direkten Einflusses der Oberflächentemperaturen auf das Komfortempfinden der Nutzer ist der Einsatz von PCM im Innenbereich am vielversprechendsten. Werden PCM in unserer Klimazone eingesetzt, so sind die Heizenergieeinsparungen bei den üblichen Wohn- und Bürobauten bisher noch zu gering. Andererseits wird durch den Einsatz von PCM in Baustoffen jedoch der Nutzungskomfort in Gebäuden im Sommer deutlich verbessert. Und zusätzlich kann bei geeigneter Gebäudeplanung unter Umständen auf weitere Maßnahmen zur Kühlung verzichtet werden.

Vielversprechend ist der Einsatz von PCM in Leichtbauten; hier insbesondere Bürobauten aufgrund des stärker schwankenden Tag/Nacht-Lastprofils. Der Schmelzpunkt sollte so gewählt werden, dass Temperaturen über 26°C zeitlich stark beschränkt und über 28 °C möglichst ganz vermieden werden. Dies erfordert den größten Teil der Schmelzwärme unter 25 °C. Eine nächtliche Entladung des Speichers ist für die Funktion des Systems unabdingbar und durch geeignete Maßnahmen sicherzustellen. Generell müssen die auftretenden Lasten in einem sinnvollen Verhältnis zur Speicherfähigkeit des Systems stehen. Es ist also auf ausreichend verfügbare, unverstellte PCM-Flächen zu achten. Ein Sonnenschutzsystem kann durch diese Materialien nicht oder nur bei sehr geringer Einstrahlung ersetzt werden.

Aus der Praxis

Prototyp Wohnen 2015

Abb. 8 *Nordost-Ansicht des Prototyps Wohnen 2015.*
Quelle: TU Darmstadt, Kubina

Der von Studenten der TU Darmstadt konzipierte Solarhaus-Prototyp hat im Jahr 2007 den internationalen Wettbewerb "Solar Decathlon" um das attraktivste und energieeffizienteste Solarhaus in den USA gewonnen. Das energieautarke Gebäude wurde auf dem Campus der TU Darmstadt erbaut und nach Fertigstellung in die USA transportiert. Das Haus ist ein Holzleichtbau mit geringerer Wärmespeichermasse gegenüber Gebäuden in Massivbauweise. Es umfasst 80 Quadratmeter Grundfläche. Um höchsten Wohnkomfort mit niedrigstem Energieaufwand zu vereinen, wurde eine kompakte und hochgedämmte Gebäudehülle gewählt. In die Wände wurden 50 Quadratmeter einer PCM-haltigen Gipsbauplatte der BASF integriert. Hinzu kamen 50 Quadratmeter aktive, wasserdurchströmte PCM-Kühldeckenelemente der Firma Ilkazell.

Im Energiekonzept des Darmstädter Gebäudeprototyps trug der PCM-Einsatz entscheidend dazu bei, die geforderte konstante Innentemperatur des Gebäudes zu halten. Um die im geschmolzenen Wachs gespeicherte Wärme aus dem Haus zu transportieren, setzen die Studenten ein ausgeklügeltes System ein: Aus einem Wassertank leiten sie tagsüber 16 °C kaltes Wasser durch die Kühldeckenelemente und können dadurch den Raum aktiv kühlen. Nachts leiten sie das erwärmte Wasser auf die außen auf dem Dach angebrachten Photovoltaik-Module, wo ein Teil verdunstet. Die dabei anfallende Verdunstungskälte kühlt das restliche Wasser wieder ab, das zurück in den Wassertank geführt wird. Durch den Einbau der 15 mm starken PCM-Gipsbauplatten lässt sich im Darmstädter Leichtbau genau so viel Wärme speichern wie mit einer 90 mm starken Betonwand.

Abb. 9 *Innenansicht: Der Einsatz von PCM-Gipsbauplatten trug neben Kühldeckenelementen entscheidend dazu bei, die geforderten konstanten Innenraumtemperaturen zu erreichen.*
Quelle: TU Darmstadt, Christian Stumpf

En passant

Abb. 10 *Frostberegnung von Apfelbäumen im Alten Land bei Hamburg.*

Frostschutz für den Apfelbaum

Da Pflanzen keine eigene Körperwärme aufweisen, sind sie niedrigen Umgebungstemperaturen direkt und meist ohne Abwehrmöglichkeit ausgesetzt. Es gibt allerdings Pflanzen im Hochland der südamerikanischen Anden, die Wasser in einem Hohlraum ihres Stammes speichern und zur Abwehr von Frostschäden nutzen. In kalten Nächten beginnt dieses Wasser zu gefrieren und setzt somit die Kristallisationswärme – auch Erstarrungswärme – frei, die das weitere Abkühlen und damit das Einfrieren der Pflanze verhindert.

Der Mensch nutzt heute denselben Ansatz: Um Obstbäume vor Frostschäden zu bewahren, werden diese in kalten Nächten künstlich mit Wasser besprüht. Die Beregnung bewirkt, dass die Blüten und Knospen mit einer Eisschicht überzogen werden. Der Frostschutz-Effekt entsteht durch die Abgabe von Wärme zum Zeitpunkt der Erstarrung (Gefrieren) des Wassers auf den Blüten. Durch die fortdauernde Benetzung wird ein ständiger Gefrierprozess erzeugt, der eine konstante Temperatur von 0,5 °C im Inneren des Eispanzers gewährleistet. Die Knospen bzw. Blüten werden damit vor dem Erfrieren geschützt.

Quelle: Obsthof Axel Schuback, www.apfelpatenhof.de

Abb. 12 *PCM Gipsbauplatte von Knauf. Quelle: ZAE Bayern*

Abb. 13 *Gipsinnenputz mit PCM. Quelle: Maxit Deutschland*

Abb. 14 *PCM-Platte von DuPont Energain. Quelle: ZAE Bayern*

Baustoffe mit PCM

Im Rahmen der Entwicklungsarbeiten am Fraunhofer ISE wurden in Zusammenarbeit mit Industriepartnern verschiedene PCM-Baustoffe entwickelt und in Testräumen unter realem Außenbezug vermessen. Abbildung 11 zeigt das Potenzial eines PCM-Baustoffs zur Temperaturreduktion in Gebäuden unter optimalen Bedingungen. Eingesetzt wurde hier ein PCM-Gipsputz, der in einer Schichtstärke von 15 mm auf Wände und Decken aufgetragen wurde. Am Tag 1 (Idealfall) wurde der PCM-Speicher nur leicht überladen und es konnte ein Temperaturunterschied von bis zu 3,5 K zwischen Referenz- und PCM-Raum gemessen werden. Die folgenden Tage zeigen, dass vor der Verwendung von PCM-Baustoffen in der Regel weitere Wärmeschutzmaßnahmen – wie eine Verschattung oder die Optimierung innerer Lasten – erfolgen sollte. Hinzu kommt, dass insbesondere in warmen Nächten nicht auf eine mechanische Lüftung zur Regenerierung des Wärmespeichers verzichtet werden kann. Ist die Entladung des PCM nicht gewährleistet, so kann eine Überhitzung am Folgetag nicht sicher vermieden werden.

Einige Produkte zur passiven Gebäudekühlung sind bereits marktverfügbar und werden hier kurz vorgestellt. Dabei wird unterschieden in Produkte auf Basis mikroverkapselter sowie makroverkapselter PCM:

• Gipsplatte: Knauf PCM Smartboard
Für Trockenbau-Anwendungen verfügbare PCM-Gipskartonplatte mit rd. 30% Massenanteil PCM bei einer Schichtdicke von 15 mm. Verfügbare Schmelzbereiche: 23 °C und 26 °C; Speicherkapazität latent rd. 90 Wh/m²; Herstellung und Vertrieb: Knauf Gips KG.

• Gipsputz: Maxit
Gips-Maschinenputz mit rd. 20% Massenanteil PCM bei einer Schichtdicke bis zu 15 mm. Der Putz kann zusätzlich auch über wasserführende Systeme aktiviert werden. Verfügbare Schmelzbereiche: 21 °C, 23 °C und 26 °C; Speicherkapazität latent rd. 70 Wh/m²; Herstellung und Vertrieb: Maxit Deutschland GmbH.

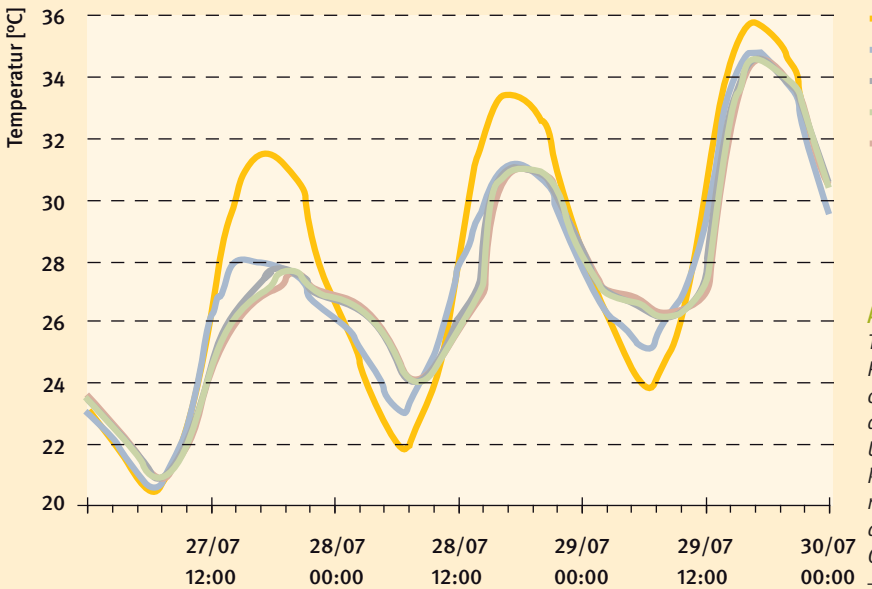


Abb. 11 *Messung zweier Testräume mit 15 mm PCM-Gipsputz auf allen opaken Innenflächen – außer dem Boden. Unter idealen Bedingungen kann eine Temperaturreduktion von rd. 3,5 K durch das PCM erzielt werden. Quelle: Fraunhofer ISE*

Abb. 15 *Beispiele von PCM-Komponenten: PCM-Kühldecke, PCM-Sonnenschutz, Fassadenbauelement GLASSXcrystal. Quelle: Dörken, ZAE Bayern, GLASSX*

Im Gegensatz zu den bisher beschriebenen Baumaterialien, in die mikroverkapselte PCM als Zuschlagstoff eingebunden sind, entwickelte die Firma DuPont eine Platte, in der Paraffin in eine Kunststoffmatrix integriert ist.

• Integrierter Speicherbehälter:
DuPont Energain® hat eine Dicke von 5 mm und ein Gewicht von rund 4,5 kg/m². Etwa 60% der Masse ist Paraffin, das einen Schmelzbereich von 18 °C bis 22 °C besitzt. Die Platten wurden in einem Gebäude der Universität Lyon getestet, wobei zwei identische Räume jeweils mit und ohne PCM-Platten ausgestattet waren.

Gebäudeintegration

Die bisher beschriebenen Baumaterialien nutzen überwiegend mikroverkapselte PCM als Zuschlagstoff. Daher ist es möglich, diese Baumaterialien in nahezu beliebigen Mengen und Formen ins Gebäude zu integrieren. Die Verarbeitung unterscheidet sich nicht von der konventioneller Baustoffe. Die geschilderten Ansätze zur Integration von PCM sind bisher lediglich für Paraffine oder Fettsäuren technisch ausgereift. Im Gegensatz zu Baumaterialien können die PCM-Komponenten komplett vorgefertigt werden, sodass bei der Installation keinerlei Bearbeitung notwendig ist. Daher ist es möglich, bei der Herstellung solcher Komponenten makroverkapselte PCM einzusetzen – z. B. von Salzhydraten.

Anwendungsbeispiele von PCM-Komponenten zeigt Abbildung 15: Erstes Beispiel ist die Integration von PCM in einer Decke – wobei das PCM vor allem zur Kühlung des Raumes eingesetzt werden soll. Die Firma Dörken verwendet hierzu verkapselte Salzhydrate. Erhöht sich die Lufttemperatur im Raum, so steigt die warme Luft nach oben, schmilzt das PCM und wird dadurch wiederum gekühlt. Dabei können maximale Kühlleistungen von 40 W/m² bis 45 W/m² erreicht werden. Zum Abführen der Wärme in der Nacht wird allerdings eine aktive Ventilation empfohlen. Die Ventilatorleistung ist in der Energiebilanz zu berücksichtigen.

Ein weiterer interessanter Ansatz, PCM in Gebäudekomponenten zu integrieren, ist ein PCM-Sonnenschutzverbundsystem. Ein solches System wurde von der Firma Warema in Zusammenarbeit mit dem ZAE Bayern innerhalb eines vom BMWi geförderten Projekts entwickelt. Ein innenliegender Sonnenschutz dient im Allgemeinen dazu, das Sonnenlicht zu reduzieren. Dabei heizt sich der Sonnenschutz jedoch auf und gibt diese Wärme an den Raum ab. Die Integration von PCM in den Sonnenschutz führt zu einer geringeren oder verzögerten Erwärmung des Raumes. Untersuchungen an Labormustern haben ergeben, dass das Maximum der Behangtemperatur um 3 Stunden verschoben wird und der Raum 2°C kühler bleibt. Die Strahlungsasymmetrie lässt sich um 6 °C verringern. Wie in allen anderen Anwendungen ist jedoch eine Wärmeentsorgung durch Nachtlüftung notwendig. Dieser Ansatz wird z. Zt. im Projekt PCM-Demo in realen Installationen untersucht.

Das transparente Fassaden-Bauelement der Firma GLASSX ist ein passives System, das vorwiegend zum Heizen, aber auch zum Kühlen eines Raumes dient. Es besteht aus mehreren Schichten: Eine PCM-Schicht auf der dem Raum zugewandten Seite speichert die Wärme der einfallenden Solarstrahlung. Eine Mehrfachverglasung an der Fassade verhindert Wärmeverluste und ein dazwischen befindliches Prismenglas lässt die Sonnenstrahlung nur bei flachem Einstrahlungswinkel passieren (also im Winter) – und schützt somit den Raum im Sommer vor Überhitzung. Ein keramischer Siebdruck auf der Rauminnenseite lässt dem Architekten Gestaltungsfreiheit in der Farbwahl. Das System wurde bisher in etwa einem Dutzend Gebäude in der Schweiz installiert. Das Titelbild dieses Infos zeigt den Einsatz der PCM-Wärmespeicher in der Fassade eines Altersheims.

Abb.16 *PCM-Deckenkühlpaneele in einem Großraumbüro*
Quelle: Julia Schmidt/ Deutscher Drucker

Aktives Wärmemanagement

Mit aktiven, wasserdurchströmten PCM-Systemen lässt sich der Wärmespeichereffekt zeitlich und in seiner Intensität steuern. Über flächige Bauteile können Kältebedarf und Kältebereitstellung zeitlich entkoppelt werden. In verschiedenen Demonstrationsobjekten kamen bereits PCM-Kühldecken zum Einsatz.

Passive Kühlkonzepte – insbesondere in Kombination mit PCM – unterliegen im Wesentlichen zwei Restriktionen, die den Einsatz behindern können: Zum einen limitiert der Wand-Luft-Wärmeübergang die Wärmemenge, die in einem 24-h-Zyklus beladen und vor allem auch wieder entladen werden kann. Ein Verdoppeln der Putzschicht führt hier nicht automatisch zu einer doppelt hohen, real nutzbaren Wärmespeicherkapazität. Zweitens ist die einzig verfügbare Kältequelle die Nachtluft. Gerade in heißen Sommernächten kann dies dazu führen, dass der Latentwärmespeicher nicht entladen werden kann und somit am nächsten Tag nicht mehr zur Verfügung steht. Die gespeicherte Wärme lässt sich jedoch effizient und sicher über Kühlwasser-Kreisläufe abführen. Diese Systeme können in die Wand oder die Decke integriert oder auch als abgehängte Deckenelemente installiert werden. Zum Heizen werden sie in Wand oder Fußboden integriert.

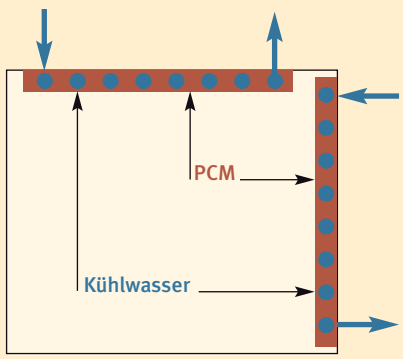


Abb. 17 *Schematische Darstellung von aktiven PCM-Systemen zum Kühlen.*
Quelle: ZAE Bayern

Innovative Flächenkühl- und -heizsysteme

Im Forschungsprojekt „PCM-Aktiv“ untersuchte das Fraunhofer ISE in Zusammenarbeit mit Projektpartnern aktiv durchströmte Flächenkühlsysteme in Kombination mit PCM-Baustoffen. Ziel der Arbeiten war zunächst die Entwicklung einer wasserdurchströmten Kühldecke – basierend auf den verfügbaren PCM-Baustoffen. Das PCM in der Kühldecke ermöglicht hierbei, dass ein Großteil der Wärme – die bei konventionellen Systemen aktiv abgeführt werden muss – passiv zwischengespeichert werden kann. Nur der verbleibende Überschuss muss aktiv abgeführt werden. Außerhalb des Schmelzbereichs bleibt die schnelle Reaktionsfähigkeit einer dünnschichtigen Kühldecke jedoch erhalten. Ein weiterer Vorteil von PCM in Kühldecken ist, dass Kälteleistung akkumuliert werden kann. Konventionelle Kühlanlagen müssen so ausgelegt werden, dass sie die Spitzenlast abfangen können. PCM ermöglichen durch die Kältespeicherung jedoch eine kleinere Dimensionierung der Kälteanlage. Außerdem lassen sich zusätzliche Kältequellen einsetzen, die nur eine geringe Kälteleistung aufweisen. Ein Beispiel hierfür sind Umweltwärmesenken wie z. B. Erdsonden.

Kühldecken lassen sich bedarfsgerecht betreiben, so dass sie zu energetisch oder wirtschaftlich sinnvollen Zeiten mit Kälte beladen werden. Eine der zentralen Fragestellungen im Projekt „PCM-Aktiv“ war die Bestimmung des optimalen Schmelzbereichs von PCM. Während für passive Anwendungen der Schmelzbereich am oberen Ende des Komfortbereichs des Menschen liegen muss, sollte er bei aktiven Systemen so gewählt werden, dass die Decke energetisch hocheffizient betrieben werden kann. In mehreren Versuchsreihen und Simulationsstudien hat sich bisher gezeigt, dass ein Schmelzbereich zwischen ca.

Aus der Praxis

Sanierung einer Druckerei: Kühlen mit Umweltenergie in Kombination mit thermoaktiven Bauteilsystemen und PCM

Abb. 18 *Druckerei Engelhardt & Bauer in Karlsruhe nach umfangreicher Sanierung. Quelle: Patrick Beuchert*

Das Verwaltungsgebäude der Druckerei Engelhardt&Bauer in Karlsruhe ist eine Gewerbeimmobilie aus den 70er Jahren, die typische Schwachstellen wie zum Beispiel hohen Energieverbrauch, unzureichendes Tageslicht und thermische Unbehaglichkeit aufwies. Der nun sanierte und um ein Stockwerk erweiterte Flachbau (Nutzfläche von 900 m², umbautes Volumen 3.000 m³) hat Vorbildcharakter: Es wurde eine architektonisch ansprechende Lösung für ein Gebäude in Leichtbauweise mit hohem Glasanteil unter marktüblichen Bedingungen umgesetzt.

Eine Möglichkeit, thermische Masse bei wenig Gewicht in das Leichtbaugebäude einzubringen, besteht in der Nutzung von PCM. Erstmalig kamen im Obergeschoss 260 m² Deckenkühlpaneele der Firma ILKAZELL zum Einsatz, die den Latentwärmespeicher von BASF in Form eines handelsüblichen SmartBoard (Schmelztemperatur 22 °C) mit einer aktiven Kühlung über Kapillarrohrmatten verknüpfen. Die zur Verfügung stehende Fläche für die PCM-Kühldecke ist durch die Gebäudegeometrie vorgegeben, wodurch die übertragbare Gesamtleistung auf ca. 12 kW begrenzt ist. Im Untergeschoss werden verputzte Kapillarrohrmatten an der vorhandenen Betondecke als schnelles, ergänzendes System mit einer Leistung von rund 10 kW eingesetzt.

Der thermische, visuelle und akustische Komfort konnte gegenüber der bestehenden Situation deutlich verbessert und der Energiebedarf zum Heizen, Kühlen, Lüften sowie für die Beleuchtung um 50% reduziert werden. Die vorhandenen Splitgeräte für die Kältebereitstellung werden dabei durch eine energieeffiziente Kühlung mit thermoaktiven Bauteilsystemen ersetzt. Als natürliche Wärmesenke dient das Erdreich, das mittels 13 Erdwärmesonden mit einer Tiefe von 44 m erschlossen wird. Trotz der Stahl-Leichtbauweise des Gebäudes wird damit ein stabiles Raumklima im Sommer gewährleistet. Für das Betriebsjahr 2008 beträgt die über PCM-Deckenkühlpaneele bereitgestellte Energie 80 kWh/m²$_{Decke}$a. Neben der richtigen Anlagendimensionierung und Wahl der einzelnen Komponenten ist die Regelung des Systems entscheidend für einen energieeffizienten Betrieb.

Abb. 19 *Kühldeckensystem mit PCM (Ilkatherm). Quelle: Sven Meyer*

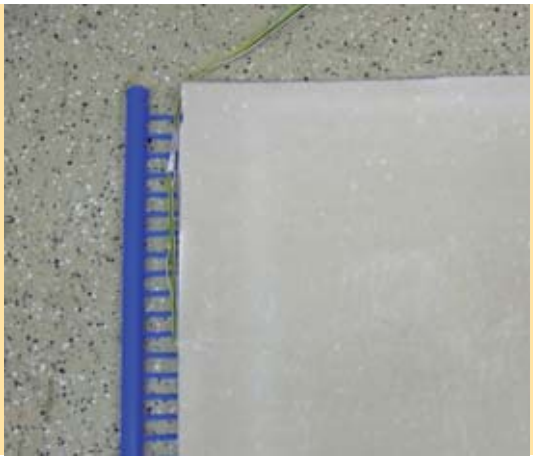


Abb. 20 *PCM-Estrich-Fußbodenheizung. Quelle: Maxit Deutschland*

19 °C und 22 °C für Kühldecken ideal ist. Er ermöglicht sowohl das Entladen in der Nacht mit relativ hohen Vorlauftemperaturen im Kühlkreis – wie sie bei Umweltwärmesenken auftreten können – als auch ein Betreiben der Kühldecken mit maximalen Oberflächentemperaturen von rd. 23 °C. Messungen der Kühlleistung bestätigen, dass – wie erwartet – keine wesentlichen Unterschiede zu konventionellen Putzkühldecken mit Kapillarrohrmatten bestehen.

Die zweite zentrale Fragestellung: Wie lässt sich eine PCM-Kühldecke regeln mit dem Ziel, bei Einhaltung der Komfortkriterien eine energieeffiziente Steuerung der Decke zu erreichen. Dazu sind deren Betriebsstunden zu minimieren, aber auch Volumenströme und Kühlwassertemperaturen zu berücksichtigen, die sich je nach verwendeter Wärmesenke unterscheiden können. An unterschiedlichen Test-Kühldecken werden derzeit Untersuchungen zur Betriebsführung vorgenommen. Dazu werden auch Kühldecken in realen Gebäuden – z. B. am Fraunhofer ISE in 5 Büros mit insgesamt 100 m² Deckenfläche – eingesetzt.

Als erstes aktives Kühlsystem am Markt wird von der Firma Ilkazell die Ilkatherm®-Kühldecke vertrieben. Sie basiert auf der PCM-Gipsplatte, die auf der raumseitigen Oberfläche eines PU-Sandwich-Verbundes aufgeklebt wird. Zur Aktivierung wurden Kapillarrohrmatten zwischen Smartboard und Rückseitenisolation eingebracht. Das System wurde bereits in einem Demonstrationsgebäude – der Druckerei Engelhardt & Bauer in Karlsruhe – kombiniert mit Erdsonden als Wärmesenke eingesetzt. Die Kühldecke ist modular aufgebaut und kann vollflächig als abgehängte Decke oder als einzeln hinterlüftetes Deckenelement eingesetzt werden.

Als Flächenheizung wurde in Zusammenarbeit mit Maxit Deutschland ein Estrich-Fußbodenheizsystem entwickelt. Als PCM wurde Micronal® von BASF verwendet. Der thermische Vorteil durch den zusätzlichen PCM-Einsatz ist aufgrund der ohnehin schon sehr hohen Speicherfähigkeit des Estrichsystems jedoch eher gering. Vorteilhaft ist, dass die Schichtdicke der Fußbodenheizung gegenüber einer konventionellen Estrich-Fußbodenheizung rd. 25% geringer ausfallen kann.

Neben den Tests von Produkten in Laborteträumen ist auch eine Prüfung unter praxisnahen Bedingungen notwendig. Denn zum einen benötigen die Hersteller belastbare Daten, wie effizient ihre Produkte unter realen Bedingungen tatsächlich sind. Zum anderen wünschen die Anwender neben den technischen Daten auch Anschauungsobjekte, die zeigen, wie PCM architektonisch und gebäudetechnisch in einen Leichtbau integriert werden können.

Nach der erfolgreichen Entwicklung von Komponenten und Materialien geht es nun darum, die Akzeptanz von Planern und Nutzern gegenüber PCM im Gebäudebereich zu erhöhen und speziell bei Architekten ein Bewusstsein für PCM als energiesparende Alternative oder Ergänzung zu aktiver Klima- und/oder Heiztechnik zu schaffen. Forschungsgegenstand ist deshalb zur Zeit der „Praxisnahe Test der Performance von Gebäudekomponenten mit PCM in Demonstrationsobjekten“ (BMWi-Projekt „PCM-Demo“).

Im Teilprojekt „Wasserdurchströmte Kühldecken mit PCM“ wird eine Kombination aus makroverkapselten PCM und wasserdurchströmter Kühldecke untersucht. Abgehängte wasserdurchströmte Kühldecken erreichen hohe Kühlleistungen (max. 100 W/m²) bei kurzen Ansprechzeiten. Sie erfordern dadurch jedoch oft hohe Spitzenlasten bei der Kältebereitstellung. Durch die Integration von PCM lässt sich tagsüber zu Zeiten der Kühllastspitzen eine rein passive Grundkühlleistung von rund 40 W/m² sicherstellen. In der Nacht wird das PCM dann durch kühles Wasser regeneriert. Auf diese Weise lassen sich tagsüber Lastspitzen vermeiden und die Kühllast wird vergleichmäßigt. Vor allem bei der Kältebereitstellung über oberflächennahe Geothermie (Erdsonden) ergeben sich Vorteile, da die Erdsonden auf die Spitzenlasten ausgelegt werden müssen. Kombiniert man das PCM-System mit konventioneller Technik (PCM-Module nur in Teilbelegung) behält man auch weiterhin die Vorteile kurzer „Ansprechzeiten“ und muss nur noch Spitzenlasten abfangen, die über die Grundlast hinausgehen. Der aktuelle Stand der Untersuchungen wird ab Herbst 2009 der Fachöffentlichkeit präsentiert.

Aus der Praxis

Demonstrationsgebäude mit PCM-Kühldecken

Abb. 21 *Kühldecke DAW mit Kaltwassersatz als Wärmesenke. Quelle: Fraunhofer ISE*

Im Rahmen des Projektes „PCM-Aktiv" wurden zwei unterschiedliche PCM-Kühldeckensysteme in Demonstrationsgebäuden realisiert. Im Laborgebäude der Deutschen Amphibolin Werke (DAW) in Ober-Ramstadt – mit rund 100 m² Deckenfläche – basiert die Kühldecke auf einer 1 cm dicken Schicht PCM-Spachtelmasse mit ca. 40% PCM-Anteil, deren Rückkühlung mit einem außenaufgestellten Kaltwassersatz erfolgt. Damit sollte demonstriert werden, dass auch konventionelle Kältetechnik von der Kombination mit einer PCM-Kühldecke profitieren kann. Ausgenutzt werden hier vor allem die reduzierten Betriebsstunden der aktiven Kühlung sowie die Verschiebung der Rückkühlung in kühlere Nachtstunden.

In fünf Büros am Fraunhofer ISE in Freiburg (ebenfalls ca. 100 m² Deckengesamtfläche) wurde eine PCM-Kühldecke mit einer Kraft-Wärme-Kälte-Kopplungs-Anlage (KWKK) als Wärmesenke realisiert. Diese Anlage besteht aus einem BHKW, das zur Stromerzeugung genutzt wird. Dessen Abwärme wird über Adsorptionskältemaschinen in Kälte umgewandelt und an die Verbraucher abgegeben. Die Kälteanlage (mit ca. 11 kW thermischer Leistung) versorgt tagsüber nach Bedarf ein Großraumbüro über Heiz-/Kühlkonvektoren. Ausschließlich nachts werden die 5 PCM-Kühldecken mit Kälte beladen, um am folgenden Tag dieselben Büroflächen passiv zu kühlen. Die Kombination zweier alternierend betriebener Verbraucher führt zu einer deutlich besseren Auslastung des BHKW – ohne große Wasserwärmespeicher vorhalten zu müssen. Die gekühlte Bürofläche kann deshalb bei gleich dimensionierter Kälteanlage verdoppelt werden. Abbildung 23 belegt das prinzipielle Funktionieren dieses Konzepts im Sommer 2008. Aufgezeichnet wurden die Raum-, Putz- und Wassertemperaturen in einem der Büros. Bei einer Außentemperatur von bis zu 30 °C wird der Raumkomfort mit einer Maximaltemperatur von 25 °C eingehalten. Gleichzeitig reicht der PCM-Speicher aus, um den kompletten Tag passiv zu überbrücken. Erst gegen 15:00 Uhr verlassen die Deckentemperaturen den Schmelzbereich des PCM (grau hinterlegt).

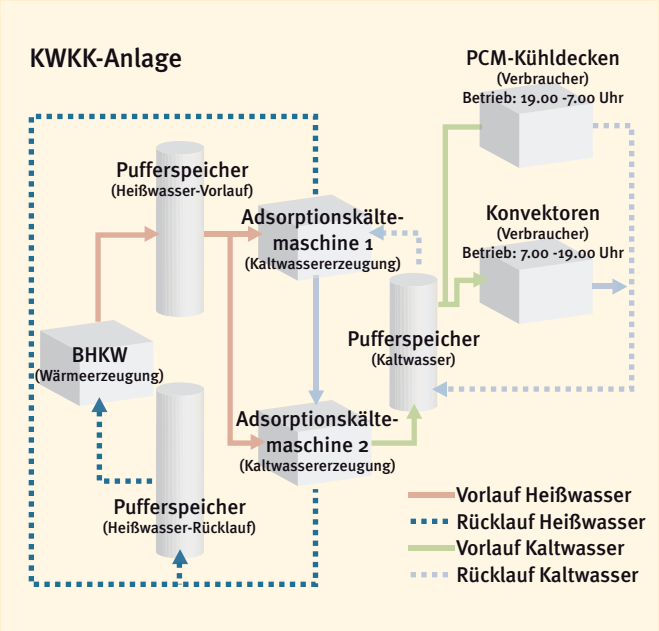


Abb. 22 *KWKK-Anlage realisiert am Fraunhofer ISE zur Kühlung eines Großraumbüros über Kühl-/Heizkonvektoren und 5 Büros über PCM-Kühldecke. Quelle: Fraunhofer ISE*

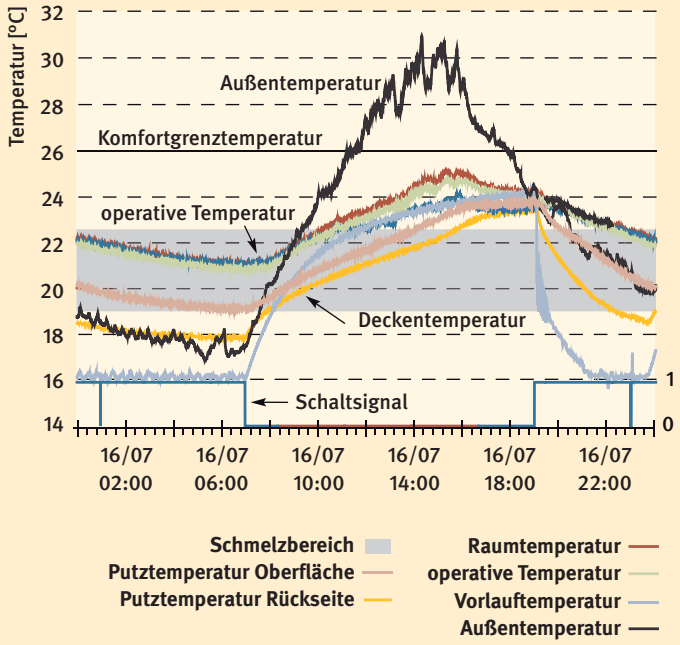


Abb. 23 *Temperaturverlauf in einem PCM-gekühlten Büro. Quelle: Fraunhofer ISE*

Abb. 24 *Innovative Konzepte zur Raumkühlung schaffen ein gutes Klima – auch in Werk- und Arbeitsstätten Quelle: Lichtblau Architekten*

PCM-Konzepte für die Gebäudetechnik

Speichersysteme zur Raumkühlung und Heizung mit unterschiedlichen Wärmeträgerfluiden sind energetisch sehr effizient und zum Teil bereits in Produkte umgesetzt. Mit PCM-Slurries als flüssigen, pumpfähigen Speichermedien können zusätzlich große Wärmespeicherkapazitäten erreicht werden.

In innovative Gebäudelösungen eingebundene Wärme- und Kälte-Speicher beruhen im Wesentlichen auf drei verschiedenen Konzepten. Abbildung 26 führt links das bekannteste System auf, bei dem sich das Speichermaterial in einem Speichertank befindet und das Wärmeträgerfluid (WTF) durch Kanäle in einen Wärmeübertrager strömt. Beim zweiten Konzept befindet sich das PCM makroverkapselt in PCM-Modulen, die im Speicherbehälter positioniert sind und vom Wärmeträgerfluid umströmt werden. Im dritten Konzept ist das PCM Bestandteil des Wärmeträgerfluids und erhöht dessen Fähigkeit, Wärme zu speichern. Es kann somit an jeden beliebigen Ort im System gepumpt werden – wo es direkt Wärme freisetzt oder aufnimmt. Wärmeträgerfluid und PCM bilden zusammen ein pumpfähiges Speichermedium – auch als „PCM-Slurry“ bezeichnet.

Während für die ersten beiden Konzepte Luft sowie Wasser oder andere Flüssigkeiten als Wärmeträgerfluid eingesetzt werden können, eignet sich Letzteres lediglich für Flüssigkeiten.

Systeme mit Wärmeübergang an Luft

Speicher in thermisch aktivierten Bauteilen (TABS) nutzen raumseitig lediglich die freie Konvektion der Luft sowie den Strahlungsaustausch zur Wärmeübertragung. Sie sind daher in ihrer Leistung eingeschränkt. Dies gilt besonders in Zusammenhang mit PCM als Wärmespeicher, da hier die Temperaturdifferenz zwischen Speichermaterial und Raumluft nur wenige Grad Celsius beträgt. Abhilfe schafft die Nutzung erzwungener Konvektion, d. h. die Luft wird aktiv an der Oberfläche des Speichermaterials vorbei geblasen. Der Einfachheit halber wird dieser Ansatz meist für die Be- und Entladung gleicherweise genutzt. Mögliche Einbauformen sind die in einer Deckenkonstruktion, im Fußboden oder als separate Einheit. Da Luft als Wärmeträger genutzt wird, ist bei den meisten Systemen eine Kälteversorgung durch kühle Nachtluft angestrebt. Da in diesem Fall die Kälte frei zur Verfügung steht, werden solche Systeme auch „Free cooling“-Systeme genannt. Sie sind energetisch sehr effizient, da keine Energie zur Kälteerzeugung eingesetzt wird. Allerdings sind die Kanäle so auszuführen, dass eine Reinigung des Luftwegs ermöglicht wird.

• Systeme zur Raumkühlung in der Deckenkonstruktion

...werden derzeit in Pilotanlagen erprobt. Mit Salzhydraten gefüllte PCM-Beutel werden bereits in passiven Kühldeckensystemen eingesetzt. Diese sind einfach zu installieren. Jedoch ist aufgrund der geringeren Wärmeleitfähigkeit der raumseitig abgrenzenden Platten – z. B. Gipskartonplatten – die Kühlleistung begrenzt. Eine aktive Hinterlüftung verbessert den Wärmetransport und erlaubt tagsüber höhere Kühlleistungen und eine gezielte nächtliche Regeneration des Systems mit kühler Außenluft. Der berechnete Temperaturverlauf eines Büroraumes mit hinterlüfteter Deckenkonstruktion mit PCM zeigt, dass die Spitzentemperaturen durch das PCM um rund 2 K reduziert werden können. Eine solche „hinterlüftete Kühldecke mit PCM“ wird im Projekt „PCM-Demo“ untersucht. Ein weiteres Beispiel ist das von der Firma Climator (Schweden) entwickelte CoolDeck. Es besitzt eine spezielle Luftführung, bei der die Decke des Raumes die obere Begrenzung des Luftkanals bildet. Dadurch wird nicht nur das PCM selbst, sondern auch die Decke als Speicher verwendet. Das System ist als Teil eines Demonstrationsprojekts im Rathaus von Stevenage (England) installiert. Die maximale Raumlufttemperatur im Sommer wurde um 3–4 K reduziert. Da die Kälte allein aus der Nachtluft bezogen wurde, entstand der einzige Energieverbrauch durch den Ventilator. Hieraus ergab sich laut Climator ein Wirkungsgrad (COP) im Bereich 10 bis 20. Heute ist das System bereits in mehreren Gebäuden installiert.

Aus der Praxis

Dezentrales PCM-Lüftungsgerät im Test

Für ein Demonstrationsprojekt wurden 50 Module des von der Firma Imtech entwickelten Lüftungs- und Kühlsystems mit einem PCM-Grafit-Verbundmaterial als Speichermedium in einem Verwaltungsgebäude installiert – jeweils ein Modul pro 7 m² Bürofläche. Dies entspricht einer PCM-Menge von 5 kg/m² und einer Speicherfähigkeit von 0,14 kWh/m². Vorausgehende Gebäudesimulationen ergaben, dass die installierten Module die operative Temperatur in normalen Sommern nahezu ständig unterhalb von 26 °C halten sollten. Die im März 2006 begonnenen Tests zeigten, dass das System in der Lage ist, die Raumluft um bis zu 5 K zu kühlen, bevor sie wieder dem Raum zugeführt wird. Dabei wurde eine maximale Kühlleistung von 300 W erreicht. Verglichen mit einem konventionellen System mit Kompressionskältemaschine liefert das neue System 82% der Kälte mit nur 5–7% des Stromverbrauchs. Es ermöglicht damit tagsüber eine energieeffiziente Raumkühlung mit Stromeinsparungen zwischen 60% und 90%. Die PCM-Lüftungsgeräte sind inklusive Kontrolleinheit seit 2007 am Markt verfügbar. Derzeit werden sie auf den Einsatz in Patienten- und Hotelzimmern angepasst.

Abb. 25 *Das Imtech-Haus in Hamburg: Testobjekt für 50 PCM-Lüftungsmodule. Quelle: Imtech*

Forschungsschwerpunkt LowEx

EnOB
Forschung für
Energieoptimiertes Bauen

LowEx

LowEx steht für »Niedrig-Exergie-Technologien«. Hier werden verschiedene innovative Systeme für Gebäude, Gebäudetechnik und Energieversorgung entwickelt, die eines gemeinsam haben: Sie kommen bei der Wärme- und Kälteerzeugung und bei der Wärme- und Kälteverteilung im Raum mit möglichst geringen Temperaturdifferenzen zur Raumtemperatur aus. Auf diese Weise können auch regenerative Energiequellen genutzt werden – wie die natürliche Kühle des Erdreichs oder des Grundwassers zum Kühlen sowie solare Wärme zum Heizen. LowEx ist ein Schwerpunkt der Forschungsinitiative „Energieoptimiertes Bauen“ (EnOB) des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi).

Weitere Informationen finden sich im Internet unter
www.enob.info

RAL-GÜTESIEGEL

RAL GÜTEZEICHEN
Phase Change Material

Mit zunehmender Vermarktung der PCM-Technologie steigt die Bedeutung der Qualitätssicherung. Daher wurde im Jahr 2004 von mehreren deutschen Firmen die Gütegemeinschaft PCM e.V. gegründet und die Entwicklung geeigneter Verfahren zur Qualitätssicherung an das Bayerische Zentrum für Angewandte Energieforschung e.V. (ZAE Bayern) sowie das Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE vergeben. Ziel ist es, die Qualität der Speichermaterialien selbst sowie von Objekten bzw. Systemen, die solche Speichermaterialien beinhalten, zu gewährleisten. Nach Abschluss der Arbeiten wurde im Juni 2008 das RAL-Gütezeichen erteilt. Die wesentlichen Gütekriterien sind die gespeicherte Wärmemenge als Funktion der Temperatur, die zyklische Wiederholbarkeit des Speichervorgangs sowie die thermische Leitfähigkeit der Speichermaterialien, die für die Lade- und Entladezeit der Speicher wichtig ist.

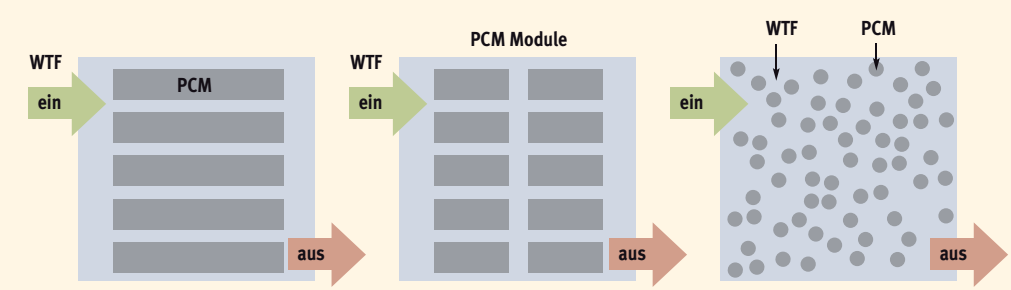


Abb. 26 *Speicherkonzepte zur aktiven Einbindung in Heiz- und Kühlsysteme. Quelle: H. Mehling*

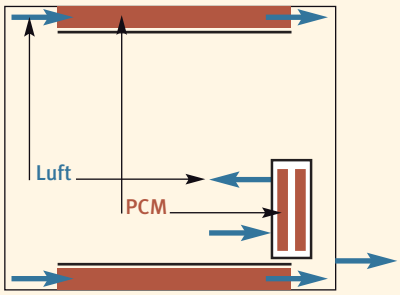


Abb. 27 *Schematischer Ansatz für aktive Systeme mit Luft als Wärmeträgerfluid. Quelle: ZAE Bayern*

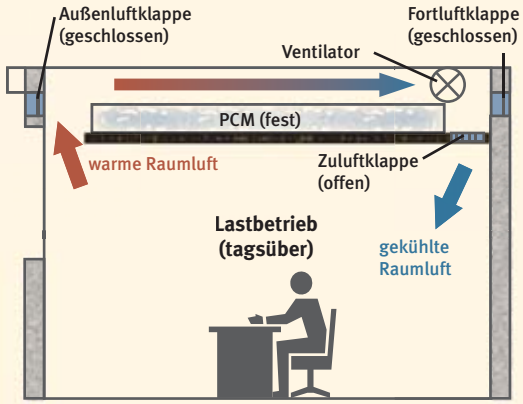


Abb. 28 *Schematische Funktion einer aktiven PCM-Kühldecke. Quelle: ZAE Bayern*

• Systeme zur Raumkühlung in der Fußbodenkonstruktion

..werden bisher lediglich im Labormaßstab getestet. An der Universität von Hokkaido in Japan wurde ein solches System getestet – wobei das PCM als Granulat in einen doppelten Boden eingebracht wurde. Zur Kühlung des Raumes wird dessen Luft über eine Ventilationsöffnung angesaugt, beim Durchströmen des PCM-Granulats gekühlt und über Öffnungen in der Bodenabdeckung dem Raum wieder zugeführt. Als Backup zur Entsorgung der gespeicherten Wärme in der Nacht ist eine Kältemaschine mittels eines Wärmeübertragers in den Luftkreislauf zugeschaltet. Es ist geplant, dieses Konzept kommerziell umzusetzen.

• Systeme zur Raumkühlung als separate Einheit

...sind bereits als Produkt am Markt verfügbar. Die Firma Imtech hat solch ein System (innerhalb des BMWi-Forschungsfeldes „Low-Ex“) entwickelt. Abbildung 30 zeigt den schematischen Aufbau. Als Speichermaterial wird ein PCM-Grafit-Verbundmaterial eingesetzt, das eine hohe Speicherfähigkeit mit hoher Leistung bei kleinen Temperaturdifferenzen verbindet. Es speichert etwa 30 Wh/kg (108 kJ/kg) im Temperaturbereich 18 °C bis 22 °C. Das Speichermaterial ist als Stapel von Speicherplatten, die von Luft umströmt werden, in das Gerät integriert. Jedes Gerät beinhaltet etwa 35 kg des Speichermaterials – was einer Speicherfähigkeit von etwa 1 kWh entspricht. Auch hier wird die Nachtluft als Kältequelle genutzt. Mit der gespeicherten Kälte kann dann – je nach Einstellung der Außenluftklappe – die Innenluft des Raumes gekühlt werden. Es ist auch möglich, im Ventilationsmodus Frischluft von außen anzusaugen, bevor sie dem Raum zugeführt wird.

• Systeme zur Raumheizung

...werden z. B. in Solar-Luft-Anlagen eingesetzt. Diese bieten den Vorteil, dass sie Ventilation und Heizen in einem System verbinden können. Die entsprechenden Latentwärmespeicher werden seit Jahren erforscht und bereits in Pilotanlagen getestet. Ein Beispiel ist der Speicher, den die Firma Grammer in Zusammenarbeit mit dem ZAE Bayern im Rahmen des Projekts „Innovative PCM-Technologie“ entwickelt hat: Beim Aufladen werden vom Solarkollektor verursachte Temperaturspitzen in der Luft geglättet und beim Entladen die Lufttemperatur über einige Stunden hinweg um 5–8 K erhöht. Der Speicher war von Februar 2003 bis Dezember 2007 in Betrieb. Während der gesamten Betriebsdauer zeigte sich keine erkennbare Veränderung im thermischen Verhalten gegenüber dem Neuzustand.

Systeme mit Wärmeübergang an Wasser

Für Systeme, die Wasser oder andere Flüssigkeiten als Wärmeträgerfluid nutzen, gibt es viele Beispiele. Bekannt sind Speicher mit Wärmeübertrager oder mit makroverkapselten PCM-Modulen. Zum Kühlen von Gebäuden werden solche Speicher meist als Eisspeicher in Kombination mit Kältemaschinen eingesetzt. Der wichtigste

Simulationssoftware

Im Rahmen des Forschungsverbundprojekts „PCM-Aktiv“ wurde die Simulationssoftware PCMexpress entwickelt und veröffentlicht. Die Software ermöglicht eine erste einfache und schnelle Abschätzung von Komfortgewinnen durch den Einsatz eines PCM-Baustoffs. Sie erarbeitet Empfehlungen darüber, welche PCM wie sinnvoll eingesetzt werden können und trifft erste Aussagen zur Wirtschaftlichkeit. Die Simulationssoftware enthält eine umfassende Baustoff-, Konstruktions- und Wetterdatenbank, die beliebig erweiterbar ist. PCMexpress ist kostenfrei über die Homepage der Valentin Energiesoftware GmbH zu beziehen. Sie ersetzt allerdings nicht einen Nachweis nach EnEV.

Abb. 29 *Screenshot PCMexpress unter www.valentin.de*

energetische Vorteil liegt in der Steigerung des Wirkungsgrads durch die nächtliche Kälteerzeugung. Hinzu kommt ein optimaler Betrieb der Kältemaschine. Durch den Einsatz einer kleineren Kältemaschine – ausgelegt für mittlere Last – werden die Investitionskosten reduziert. Und auch die Verbrauchskosten lassen sich durch den erhöhten Wirkungsgrad senken – ebenso wie die Reduktion des Strombezugs zu Spitzentarifen. Im Bereich der Gebäudeheizung wurden Latentwärmespeicher zunächst vor allem für den Einsatz in Solar-Heiz-Systemen erforscht, um den solaren Deckungsanteil zu erhöhen. Ziel war es, von Beginn an bei gleichem oder kleinerem Bauvolumen Wärme für mehrere Tage zu speichern. Erste Produkte sind seit einigen Jahren am Markt. Ein Speicher der Alfred Schneider GmbH nutzt ein Salzhydrat als Speichermedium. Er wurde bereits in mehreren Dutzend Systemen installiert. Dabei können nicht nur Solarkollektoren, sondern auch BHKW und Holzfeuerungsanlagen als Wärmequelle eingesetzt werden (Abb. 31).

Ein fassadenintegriertes Speichersystem, das mit dem Wärmetransportmedium Wasser arbeitet, wurde im Rahmen eines weiteren Forschungsvorhabens von der TROX GmbH entwickelt. Die besonders kompakte Ausführungsform des Latentwärmespeichers ermöglicht es, das System raumbezogen in der Fassade unterzubringen. Dadurch ist es auch für Sanierungsmaßnahmen geeignet. Abbildung 32 zeigt das untersuchte System zur Raumkühlung unter Verwendung der Umgebungsluft als Wärmesenke: Das System besteht aus dem Latentwärme-

Im Portrait

Hersteller, Entwickler und Anwender – drei Expertenmeinungen

Marco Schmidt
Technisches Marketing für Micronal® PCM bei der BASF SE, Mitentwickler mikroverkapselter PCM-Systeme für bauchemische Industrie und Baustoffhersteller.

Mikrokapseln sind das Vehikel, um den physikalischen Effekt von PCM in beliebige Baustoffe einzubringen. Durch diese Technologie eröffnen sich der latenten Wärmespeicherung neue Möglichkeiten. Der Mehraufwand beim Einsatz in Gebäuden bleibt dabei gering. Hersteller herkömmlicher Baustoffe müssen lediglich überschaubare Produktanpassungen vornehmen. Nach der Entwicklung von ersten Baustoffen wie Gipsbauplatten, Innenputze oder Porenbeton werden in absehbarer Zeit noch weitere Innovationen mit PCM folgen. Denn Gebäude müssen in Zukunft selbst in der Lage sein, die zeitliche Differenz zwischen aktuell verfügbarer (Umwelt-)Energie und ihrer eigentlichen Nutzung auszugleichen. PCM schlägt vor allem im Leichtbau die Brücke zwischen Wärmeangebot und -nachfrage – und dies besonders effizient.

Bruno Lüdemann
Imtech Deutschland F&E, Projektleiter, Entwicklung und Optimierung energieeffizienter Systeme für die Gebäudetechnik, beteiligt an der Entwicklung eines PCM-Lüftungsgerätes sowie von PCS-Speichern.

Innovative Speichertechniken sind eine Schlüsseltechnologie, um die Effizienz von Energieanlagen zu optimieren und zeitlich verschobene Potenziale an Umweltenergie in hohem Maße zu nutzen. Als technologische Alternative zu bereits erprobten Anwendungen dient mikroverkapseltes Material in Form wasserbasierter Slurries (PCS). Die PCS-Technik wird von Imtech in einem Pilotprojekt zur Kühlung von Werkzeugmaschinen in der Industrie eingesetzt. Die Wirtschaftlichkeit von PCM-Systemen ließe sich durch Nutzung deutlich kostengünstigerer Salzhydrate verbessern; oder durch Entwicklung stabiler Emulsionen, die gegenüber den Slurries eine höhere PCM-Konzentration im Wasser bei geringeren Kosten versprechen.

Rolf Disch
Geschäftsführer Solarsiedlung GmbH und Wirtschaftsverband Erneuerbare Energien Regio Freiburg; seit 40 Jahren Entwicklung zukunftsweisender Lösungen für nachhaltiges Bauen wie das Plusenergiehaus® und die Projekte Heliotrop®, Solarsiedlung und Sonnenschiff.

Das von uns konzipierte Plusenergiehaus kombiniert Energieeffizienz sowie aktive und passive Nutzung von Sonnenenergie – auch mit Hilfe der Aktivierung der Gebäudemassen. Im Freiburger Gewerbebau Sonnenschiff kamen PCM-Leichtbauwände zum Einsatz, in den Bürozonen wurde ein hoher thermischer Komfort erzielt. Allerdings konnte messtechnisch kein kausaler Zusammenhang zum PCM-Material festgestellt werden. Dies kann an der ohnehin schon großen Masse der Konstruktion liegen. Bei leichten Konstruktionsarten bietet sich die Nutzung von PCM an. Hierbei können die energetischen Speicherpotenziale von Massivbauten auch auf den Holz- und Stahlbau übertragen werden. In Kombination mit einer Nachtlüftung verbessert sich das Behaglichkeitsfeld enorm. Bei guter Planung kann auf eine technische Kühlung verzichtet werden.

Abb. 31
PCM-Heizungsspeicher. Quelle: Alfred Schneider GmbH

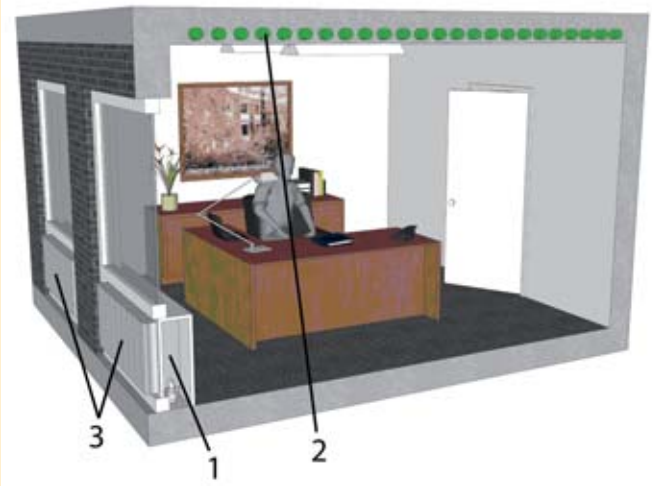


Abb. 32 *Aufbau des Kühlsystems bestehend aus Latentwärmespeicher (1), Kühldecke mit Kapillarrohrmatte (2) und Fassadenwärmeübertrager (3). Quelle: TU Berlin, Hermann-Rietschel-Institut*

speicher (1) mit Paraffin als Speichermaterial, einer Kühldecke mit Kapillarrohrmatten (2) und einem Fassadenwärmeübertrager (3). Die tagsüber anfallende überschüssige Wärme wird dem Raum über die Kühldecke entzogen. Dieser Vorgang erfolgt unter Erwärmung des Wassers innerhalb der Kapillarrohrmatten.

Das erwärmte Wasser im Kühlkreislauf wird anschließend über eine Pumpe zum Latentwärmespeicher gefördert. Innerhalb des Latentwärmespeichers erfolgt die Abkühlung des Wassers mit einhergehendem Phasenwechsel des PCM. Der Speicher wird regeneriert, nachdem entweder das Latentmaterial vollständig geschmolzen ist oder kein weiterer Kühlbedarf im Raum besteht. Dieser Vorgang erfolgt während der Nachtstunden unter Ausnutzung der niedrigeren Außenlufttemperatur. Das Wasser zirkuliert während dieser Betriebsphase zwischen dem Latentwärmespeicher und dem Fassadenwärmeübertrager. Innerhalb des Speichers wird Wärme vom PCM zum Wasser übertragen und anschließend durch konvektiven und radiativen Wärmetransport vom Fassadenwärmeübertrager an die Umgebung abgegeben. Das Latentmaterial geht dabei in den festen Aggregatzustand über und kann anschließend wieder für die Raumkühlung genutzt werden.

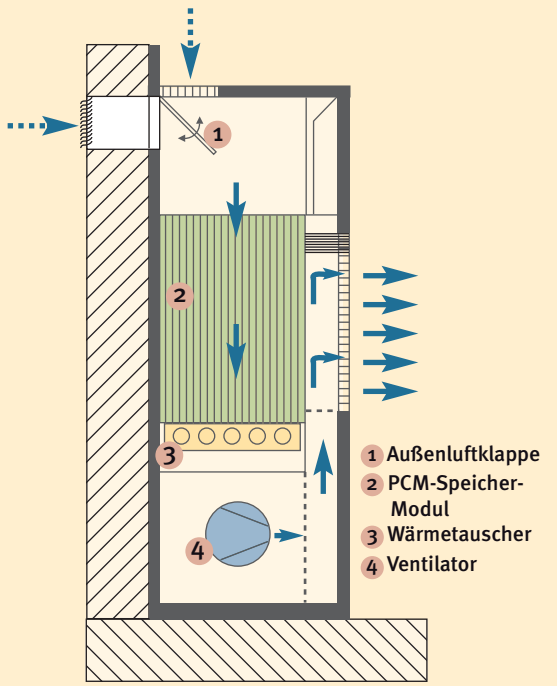


Abb. 30 *Schematische Darstellung des aktiven PCM-Kühlmoduls der Firma Imtech. Quelle: Imtech*

Zusätzlich ermöglicht das System eine direkte Nachtkühlung aller Raumumschließungsflächen, ohne dass ein sicherheitstechnisch bedenkliches Öffnen der Fenster notwendig ist. Experimentelle und numerische Untersuchungen an der Technischen Universität Berlin ergaben unter typischen Lastbedingungen in Büroräumen eine Temperaturabsenkung um bis zu 4 K. Für diese deutliche Temperaturreduktion waren 2 kg Paraffin pro Quadratmeter Raumfläche erforderlich. Zusätzlich wurde die wasserbasierte Nachtkühlung der Raumumschließungsflächen genutzt.

Phasenwechsel-Flüssigkeiten

Das am häufigsten eingesetzte pumpfähige – oder flüssige – Wärmespeichermaterial ist Wasser. In vielen Fällen werden auch Mischungen aus Wasser und Glykol eingesetzt. Bei hohen Temperaturen finden oft auch Öle Anwendung. Diesen flüssigen Wärmespeicher-Materialien ist gemeinsam, dass die Wärme in ihnen sensibel gespeichert wird.

Sollen große Wärmespeicherkapazitäten erreicht werden, so kann der Anwender mit großen Volumina arbeiten – oder er nutzt eine große Temperaturerhöhung bzw. -verringerung. Kann ein System mit großen Temperaturunterschieden zwischen tatsächlich benötigter Temperatur und ausgehender Speichertemperatur arbeiten, so erreichen sensible Wärmeträgerflüssigkeiten hohe Wärmespeicherkapazitäten. Sind hingegen nur kleine Temperaturspreizungen möglich, so verringert sich die speicherbare Wärmemenge bei sensiblen Wärmeträgermedien sehr stark. Bei einer Speichertemperatur, die z. B. nur 10 K über oder unter der Anwendungstemperatur

Aus der Praxis

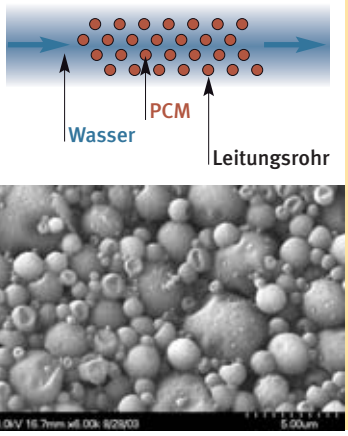


Abb. 33 *Phasenwechsel-Flüssigkeiten (Slurries) bestehen aus einer Trägerflüssigkeit und darin suspendierten oder emulgierten PCM. Aufgrund der Partikelgrößen entsteht eine weiße Flüssigkeit. Quelle: ZAE Bayern (li.), Fraunhofer ISE (re.)*

liegen darf, würde man mit reinem Wasser nur noch eine Wärmemenge von 42 kJ/kg speichern können. Bei diesen Anwendungen ist eine Flüssigkeit, die PCM enthält, von großem Vorteil. Bei geeigneter Schmelztemperatur kann die Wärmekapazität genau im gewünschten Temperaturbereich erhöht werden.

Marktgängig sind bereits Wasser/Eis-Mischungen, die bis zu einem gewissen Anteil an Eiskristallen pumpfähig bleiben. Sie können jedoch materialbedingt nur unter 0 °C eingesetzt werden. Oberhalb 0 °C werden heute hauptsächlich zwei verschiedene Technologien eingesetzt, um Paraffine in Wasser einzubringen. Zum einen werden sie mikroverkapselt und anschließend in Wasser suspendiert, zum anderen kann Paraffin mithilfe entsprechender Additive in Wasser direkt emulgiert werden. Beide Prozesse sollen verhindern, dass das Paraffin – wenn es geschmolzen ist – zu größeren Tropfen zusammenfließt und sich vom Wasser trennt. Gleichzeitig sorgt die Dispergierung dafür, dass das Paraffin im flüssigen wie im festen Zustand überhaupt gepumpt werden kann.

Für den Einsatz von Phasenwechsel-Flüssigkeiten (PCM-Slurries) erscheinen Kälteanlagen besonders geeignet, da bei ihnen die Forderung nach geringen Temperaturspreizungen im System erfüllt ist. Zudem ist hier eine Kältespeicherung sinnvoll, um günstigere Betriebsbedingungen für die eingesetzten Kältemaschinen zu erreichen und das öffentliche Stromnetz tagsüber zu entlasten. Soll z. B. ein Gebäude in dieser Zeit auf 20 °C gekühlt werden, so ist es zwar möglich, während der Nacht einen Kältespeicher bis 0 °C zu beladen. Dies führt aber zu geringen Wirkungsgraden der eingesetzten Kältemaschine sowie zu hohen Speicherverlusten. Beim Einsatz einer Phasenwechsel-Flüssigkeit mit einem Schmelzbereich zwischen 10 °C und z. B. 20 °C und der doppelten Speicherdichte von Wasser, könnte dieselbe Speicherdichte schon beim Kühlen des Speichers auf 10 °C erreicht werden. Ein weiteres Potenzial der Slurries liegt im vergleichsweise einfachen Einsatz als Wärmeträgerflüssigkeit in bestehenden Kältespeichern, um deren Speicherkapazität zu erhöhen.

Neuartiges Rückkühlkonzept mit PCM

In herkömmlichen Systemen zum solaren Heizen und Kühlen mit Absorptionskälteanlagen wird die Abwärme über einen Nasskühlturm abgegeben, was einen erheblichen Wasserverbrauch und hohen Wartungsaufwand zur Folge hat. Deshalb wird mit dem Forschungsprojekt „Solares Heizen und Kühlen mit kompakter Absorptionskälteanlage und Latentwärmespeicher“ (SolCool) ein gänzlich neuer Ansatz verfolgt: An Stelle des Nasskühlturms wird ein patentiertes Rückkühlkonzept mit trockenem Luftkühler und innovativem Latentwärmespeicher erprobt. Der Latentwärmespeicher mit einer Phasenwechsel-Temperatur von 29 °C speichert tagsüber einen Teil der Abwärme, die dann nachts abgegeben wird. Zudem steht dieser Speicher mit hoher Kapazität für die Kurzzeitpufferung des solaren Ertrags während der Heizperiode zur Verfügung. Der Versuchsbetrieb am ZAE Bayern hat gezeigt, dass durch den Einsatz eines Latentwärmespeichers die Rückkühlung der Absorptionskälteanlage im Kühlbetrieb auch bei hohen Außentemperaturen auf dem geforderten Temperaturniveau von 32 °C gehalten werden kann. Die erhöhte Leistungsaufnahme durch das nächtliche Entladen des Speichers ist hierbei klein. Sie wird durch die Verlagerung des Spitzenlaststrombedarfs für die Rückkühlung in die Schwachlastzeiten mehr als ausgeglichen.

Im Heizbetrieb steigt die solare Deckungsrate durch den Einsatz des Speichers stark an. Zum einen kann überschüssige Wärme tagsüber für die Nacht gepuffert werden, zum anderen sinken die Verluste des Kollektors während des Ladevorgangs. Maßgeblich hierfür ist die latente Wärmespeicherung bei konstant niedriger Temperatur. Ein „Hochlaufen“ der Kollektortemperatur und damit verbundene Wirkungsgradeinbußen – wie bei üblichen sensiblen Warmwasserspeichern – können dadurch vermieden werden. Innerhalb der zwei Betriebsjahre hat der Speicher etwa 300 Heiz- und Kühlzyklen ohne Störung durchlaufen. Er führt innerhalb des Systems zu einer wesentlichen Verbesserung der Systemeffizienz, speziell im Heizbetrieb – was durch seine niedrige Speichertemperatur erreicht wird. Die Anlage wird jetzt hinsichtlich der Regelungsstrategie und Minimierung des Hilfsenergiebedarfs optimiert. Für das Gesamtsystem wird eine elektrische Leistungsziffer – das Verhältnis von mittlerem Stromverbrauch zu erzeugter Nutzkälte – während des Kühlbetriebes von über 10 und in der Heizperiode um 8 angestrebt.

Abb. 34 *Niedertemperatur-Latentwärmespeicher des Projekts „SolCool“. Quelle: ZAE Bayern*

Ausblick

Aufgrund intensiver Forschung in den letzten beiden Jahrzehnten sind heute viele Phasenwechsel-Materialien bekannt, die sich für den Einsatz als Latentwärmespeicher eignen. Mehr als einhundert decken den Temperaturbereich von etwa -40 °C bis etwa 130 °C ab und sind am Markt verfügbar; einige dieser Materialien werden bereits seit mehr als 10 Jahren in unterschiedlichen Anwendungen erfolgreich eingesetzt. Die dabei verwendeten Kapseltechniken – Mikro- und Makroverkapselung – sind ebenfalls Stand der Technik. Es existiert hierzu ein anerkanntes Gütesiegel der RAL.

Abgesicherte Erfahrungswerte für die unterschiedlichen Anwendungen (Solarenergie- und Biomassenutzung, Kraft-Wärme-Kopplung) liegen bislang noch nicht ausreichend vor, sodass der Nutzen von Latentwärmespeichern jeweils im Detail nachgewiesen werden muss. Die Ergebnisse einiger Demonstrationsprojekte zeigen jedoch bereits, dass bei geeigneter Dimensionierung und Auslegung signifikante Energieeinsparungen und höhere Wirkungsgrade erreicht werden können. Baumaterialien, die mikroverkapselte PCM nutzen, sind mittlerweile in vielfältiger Form erhältlich. Beispiele sind Gips-Putze, Gips-Platten sowie Verbund-Materialien mit PCM. Erste Installationen in realen Gebäuden wurden 2004 durchgeführt. Vor allem Gips-Platten werden heute bereits in großem Maßstab kommerziell produziert und eingesetzt. Im Bereich der flüssigen Speichermedien (PCS) werden erste Demonstrationsvorhaben durchgeführt. Doch sind hier weitere Optimierungen und vor allem Untersuchungen zur Langzeitstabilität notwendig, um zu marktfähigen Produkten zu gelangen. Zur besseren Verbreitung und Akzeptanz dieser Materialien tragen anerkannte Planungswerkzeuge und Simulationsmodelle wesentlich bei. Denn der Vorteil dieser Materialien lässt sich quantifizieren und belegen.

Neben der materialbezogenen Forschung und Entwicklung wird es in den nächsten Jahren wichtig sein, weitere Erfahrungen in Demonstrationsprojekten zu sammeln und diese zu evaluieren. Die ersten Pilotanwendungen von PCM-Baumaterialien fanden bereits im Jahr 2004 statt, Energieeinsparungen und Komfortverbesserungen wurden seitdem nachgewiesen. Es ist deshalb damit zu rechnen, dass diese Materialien in wenigen Jahren als Stand der Technik akzeptiert werden. Die deutliche Steigerung der Energiekosten hat inzwischen weltweit – auch in den USA – zur Gründung neuer Firmen in diesem Marktbereich geführt.

Mehr von BINE

- Thermoaktive Bauteilsysteme, BINE-Themeninfo I/2007
- www.bine.info

Links

- www.enob.info
- www.zae-bayern.de
- www.ise.fraunhofer.de
- www.lowex.info
- www.pcm-ral.de
- www.pcm-storage.info
- www.micronal.de
- www.glassx.ch
- www.effstock2009.com

Literatur

Heat and cold storage with PCM – An up to date introduction into basics and applications, H. Mehling, L.F. Cabeza, Springer, ISBN 978-3-540-68556-2

Energieeffiziente Klimatisierung mit Phasenwechselmaterialien, KI Luft- und Kältetechnik 7-8/2006

PCM eröffnet neue Wege für die Raumlufttechnik, KI Luft- und Kältetechnik 9/2004

Aktive Raumkühlung mit Nachtkälte – Entwicklung eines dezentralen Lüftungsgerätes mit Latentwärmespeicher, KI Kälte – Luft – Klimatechnik 4/2007

Förderung

Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi)
11019 Berlin

Projektträger Jülich
Forschungszentrum Jülich GmbH
52425 Jülich

Förderkennzeichen
0327303
0327360 A,B,C
0327370 F,G,J,K,S,U
0327384 A-C
0327427 A,B
0329279 A
0329605 D
0329840 A-D

Kontakt · Info

Fragen zu diesem Themeninfo?
Wir helfen Ihnen weiter:
0228/92379-44

Weitere Informationen zum Thema sind beim BINE Informationsdienst oder unter www.bine.info abrufbar.

BINE Informationsdienst

Gedruckt auf Recyclingpapier · Gestaltung und Layout: KERSTIN CONRADI · Mediengestaltung, Berlin