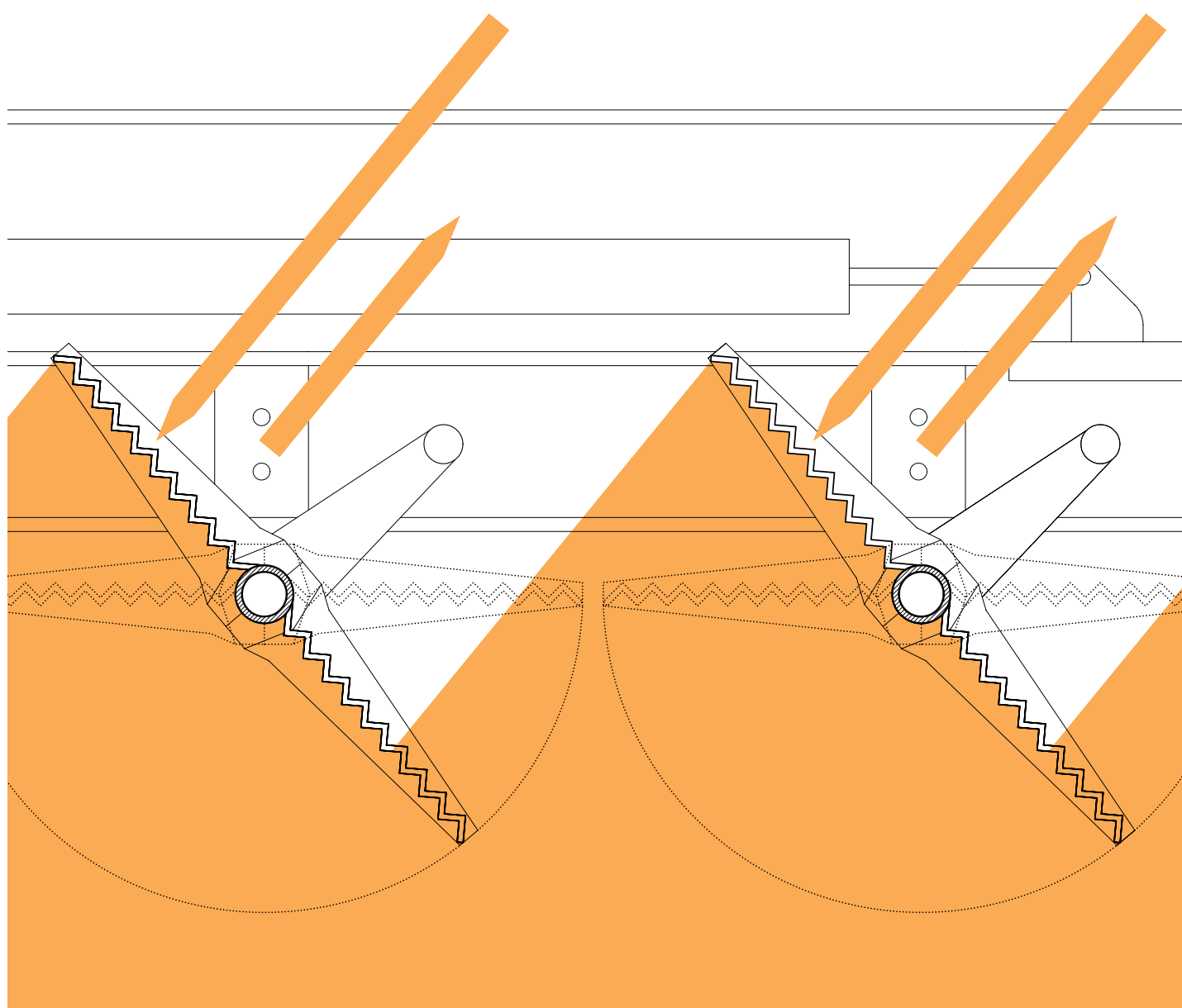


DETAIL

Zeitschrift für Architektur + Baudetail · Review of Architecture · Revue d'Architecture



Sonderdruck

PCM-Latentwärmespeicher – Heizen und Kühlen ohne Energieverbrauch?

PCM Latent Thermal-Storage Media – Heating and Cooling without Energy Consumption?

Frank Kaltenbach



Natürliche Energiequellen sind auf der Erde in ausreichendem Maße vorhanden, lediglich der Zeitpunkt der Verfügbarkeit entspricht nicht immer unseren Anforderungen. Die Strahlung der Sonne sorgt zwar im Winter für die gewünschte Wärme, im Sommer kann sie jedoch zu unerwünschter Überhitzung führen. Bei Nacht herrschen in heißen Sommern angenehme Temperaturen; ein Lebensrhythmus in Anlehnung an die Natur mit ausgedehnten Siestas in der Mittagszeit und Aktivitäten bis in die späte Nacht, wie es die Südländer jahrhundertlang praktizierten, ist in der heutigen Leistungsgesellschaft nicht mehr denkbar. Wie gelingt es also, mit möglichst wenig Energieaufwand im Winter die Wärme bis in die Nacht und im Sommer die kühlen Temperaturen bis weit in den Tag hinein aufrecht zu erhalten?

Als traditionelles Mittel dienen seit jeher Speichermassen aus Massivholz, Naturstein, Ziegel oder Beton, die umso mehr Energie speichern können, je mehr Masse vorhanden ist. Dabei erhöht sich ihre Temperatur proportional zur gespeicherten Wärmemenge. Da diese Energiezunahme fühlbar ist, spricht man von sensibler Wärmespeicherung. Für den Leichtbau, wo schwere Bauteilmassen nicht eingesetzt werden können, eröffnen Latentwärmespeicher neue Möglichkeiten der Wärmespeicherung, mit wesentlich weniger Masse und Volumen. Prinzipiell zeigen auch sie ein sensibles Verhalten, jedoch

mit einem gravierenden Unterschied. Im Bereich ihres Schmelzpunktes steigt die Wärmespeicherfähigkeit sprunghaft um ein Vielfaches an (Abb. 5, 6). Diese enorme Energiezunahme ist jedoch nicht durch eine Temperaturerhöhung fühlbar, deshalb nennt man sie latent (lat. latens: versteckt). Wenn bei erneuter Abkühlung die Schmelze in den festen Aggregatzustand übertritt, bilden sich wieder Kristalle, wobei die gespeicherte Energie (Schmelzenthalpie) als Kristallisationswärme abgegeben wird. Da sich der größte Anteil der Wärmespeicherung während des Wechsels des Aggregatzustandes – von flüssig nach fest bzw. von fest nach flüssig – abspielt und im Idealfall von der Bildung der ersten Kristallkeime bis zur vollkommenen Kristallisation des gesamten Volumens die Temperatur gleich bleibt, spricht man bei Latentwärmespeichern auch von Phasenwechselmaterialien (engl. Phase Change Materials, PCM). Der Vorgang ist in beide Richtungen beliebig oft reversibel.

Taschenwärmer – der Trick mit dem »Klick«
Die im Alltag populärste Anwendung von PCM sind Taschenwärmer oder so genannte Hot-Packs. Sie bestehen aus einem Kunststoffbeutel mit einer unterkühlten Schmelze des Salzhydrates Natriumacetat-Trihydrat ($\text{NaCH}_3\text{COO} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) als PCM und einem unter mechanischer Spannung stehendem Metallplättchen. Verformt man das Plättchen

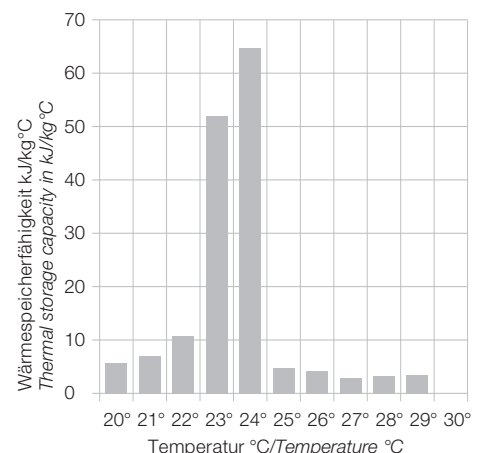
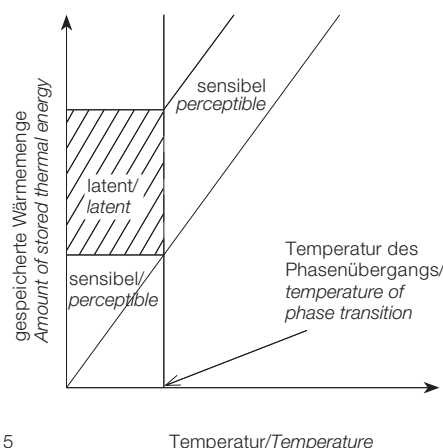
durch Verbiegen, werden kleinste Natriumacetat-Kristallkeime aus den feinen Rissen des Plättchens in die Schmelze katapultiert, wo sie durch die vergrößerte Oberfläche die gesamte Schmelze zum Auskristallisieren anregen. Bei der Bildung weiterer Natriumacetat-Kristalle erwärmt sich das PCM bis zu seinem Schmelzpunkt von 58°C und behält die Temperatur ca. 20 Minuten bei, bis die gesamte Lösung erstarrt ist. Durch kurzes Aufkochen des Beutels schmilzt das PCM wieder, der Hot-Pack ist für einen weiteren Einsatz bereit.

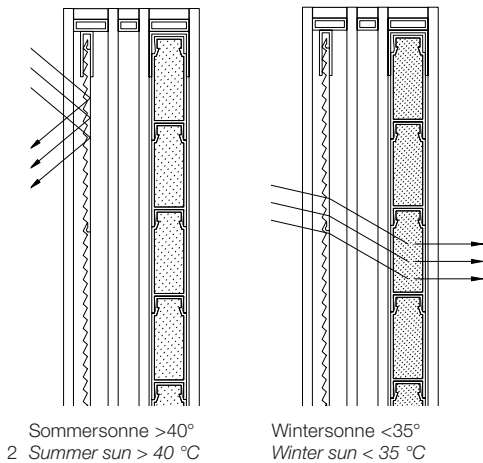
Für technische Anwendungen hat sich PCM überall dort verbreitet, wo keine permanente Energiezufuhr in Form von Wärme oder Kälte möglich ist: In Raumfahrtanzügen, bei Akkus für Transportboxen temperaturempfindlicher Lebensmittel, Medikamente oder Spenderorgane, als kühlende Unterlage für heißlaufende Laptops oder als Ummantelung im Kühlwasserkreislauf von Automobilen, um bei Kaltstarts Kraftstoff zu sparen und schnell angenehme Temperaturen in der Fahrgastzelle zu erreichen. Erste Anwendungen für Winterbekleidung sind bereits auf dem Markt.

Während bei technischen Anwendungen zur Kältespeicherung vorwiegend Wasser und Wasser-Salz-Lösungen als PCM eingesetzt werden mit Schmelzpunkten unter 0°C , stehen für Schmelzpunkte über 100°C organische Zuckeralkohole zur Verfügung.

- 1–3 PCM-Fassade aus Salzhydrat in Domat-Ems, 2004, Architekt: Dietrich Schwarz, Zürich
2a Fassadenschnitt, Sommer: Totalreflexion
2b Winter: Schmelzen des PCM, Wärmeabstrahlung
4 PCM-Fassade aus Paraffin, Haus in Ebnat-Kappel, 2000, Architekt: Dietrich Schwarz, Zürich
5 latente Energiezunahme im Bereich des Schmelzpunktes von PCM
6 Wärmespeicherkapazität eines PCM mit Schmelztemperatur von ca. 23°C

- 1–3 PCM facade with salt hydrate in Domat-Ems, 2004; architect: Dietrich Schwarz, Zurich
2a Section through facade in summer: full reflection
2b In winter: PCM melts; thermal transmission
4 PCM facade with paraffin: house in Ebnat-Kappel, 2000; architect: Dietrich Schwarz, Zurich
5 Latent energy gain around PCM melting point
6 Thermal storage capacity of a PCM with melting point around 23°C



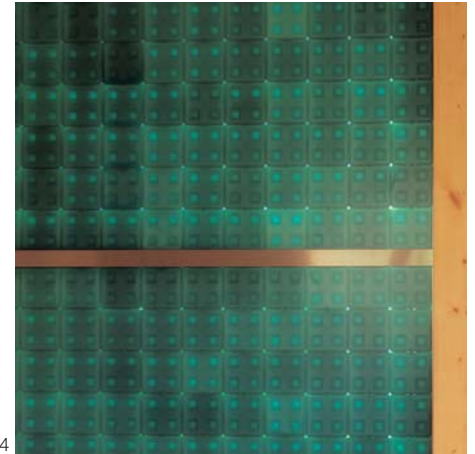


Sommersonne >40°
2 Summer sun > 40 °C

Wintersonne <35°
Winter sun < 35 °C



3



4

PCM im Bauwesen

Seit Jahrtausenden wird das bekannteste PCM eingesetzt: Wasser. In gefrorener Form als Eis wurde es aus zugefrorenen Seen ausgesägt, in unterirdischen Stollen über den Sommer hinweg gelagert und zum Kühlen von Lebensmitteln und Raumluft verwendet. In Japan und Schweden werden heute wieder ganze Gebäude mit Eis- und Schneespeichern von bis zu 2200 m³ klimatisiert. Zur Heizung und Kühlung von Räumen sind jedoch Materialien geeigneter, die ihren Schmelzpunkt im Bereich der gewünschten Raumtemperatur haben, die beibehalten werden soll, obwohl die Außentemperatur sinkt bzw. steigt. Für den Temperaturbereich mit Schmelzpunkten von ca 20 °C bis ca. 35 °C haben sich im Wesentlichen zwei Materialgruppen in der Praxis durchgesetzt: organische PCM, langkettige Kohlenwasserstoffmoleküle, die Paraffine (Kerzenwachs) und Salzhydrate wie z. B. Calciumchlorid-Hexahydrat (CaCl₂•6H₂O) mit einem Schmelzpunkt von 27 °C oder Natriumsulfat-Decahydrat (Na₂SO₄•10H₂O, Glaubersalz) mit einem Schmelzpunkt von 32 °C. Bereits 1948 wurden erste Untersuchungen mit Latentwärmespeichern für Gebäude durchgeführt, indem abstellkammergroße Speicherräume mit Glaubersalz befüllt wurden. Wegen Korrosionsproblemen und der Instabilität des Speichermediums wurden sie jedoch abgebrochen. Auch einer Wiederbelebung der Forschung in den 70er- und 80er-Jahren am MIT und anderen Instituten in den USA war kein langfristiger Erfolg beschieden. Erst jüngste Forschungsprojekte haben zu unterschiedlichen praxistauglichen Ausgangsstoffen und Bauteilsystemen geführt, die mit ihrer Funktion zur Klimatisierung bzw. Warmhaltung der Raumluft und des Brauchwassers auch für die Architektur von Bedeutung sein können.

Die Glasfassade als Kachelofen

Für das Einfamilienhaus in Ebnet-Kappel hat der Schweizer Architekt Dietrich Schwarz als Prototyp eine transluzente PCM-Fassade aus paraffingefüllten Kunststoffelementen entwickelt (Abb. 4, siehe auch Detail 6/2002,

S. 736 ff.). Im Sommer reflektiert eine vorgeschaltete Schicht aus Prismenglas die steil einfallenden Sonnenstrahlen, die Fassade wirkt wie eine konventionelle Transluzente Wärmedämmung (TWD). Im Winter jedoch strömt die flach einfallende Sonnenstrahlung ungehindert in den Raum und schmilzt dabei das Wachs. Bei zunehmender Abkühlung am Abend erstarrt das Wachs und strahlt die zuvor aufgenommene Schmelzenenergie zeitversetzt an den Raum ab. Dieses Prinzip hat der Architekt zur serienreifen Systemfassade weiterentwickelt, die erstmals in großem Maßstab 2004 bei der Altenwohnanlage in Domat-Ems eingesetzt wurde (Seite 659 und Abb. 1–3). Der Fassadenaufbau umfasst auch hier die vier Systemkomponenten Überhitzungsschutz, Transluzente Wärmedämmung (TWD), thermischer Speicher und Energieumwandlung. Eine 3-Scheiben-Wärmeschutzverglasung sorgt für einen U-Wert von unter 0,5 W/m²K. Aus Brandschutzgründen wurde anstelle des Paraffins ein Salzhydrat eingesetzt, das in korrosionsbeständige Polycarbonat-Stegplatten eingeschweißt ist, die zur Verbesserung der Absorptionswirkung grau eingefärbt sind (Abb. 3). Raumsseitig wird das Fassadenelement durch eine ESG-Scheibe abgeschlossen, die mit einem keramischen Siebdruck nach Wahl bedruckt werden kann. Oberflächentemperaturen von 26–28 °C führen als Strahlungswärme zu einer hohen Behaglichkeit im Raum. Die Umwandlung von solarer in thermische Energie ist nicht nur fühlbar, sondern auch sichtbar, da sich während des Schmelzprozesses die Lichtdurchlässigkeit des Panels erhöht.

Kühlen mit PCM – Speichern ohne Masse?

Andere Systeme nutzen die Eigenschaften der latenten Wärmespeicherung bei umgekehrtem Verlauf der Außentemperaturen von kalt nach warm zur Kühlung von Gebäuden. Dabei zeigt sich der Vorteil von PCM vorwiegend in Einsatzgebieten, wo massive Wärmespeicher nicht aktiviert werden können. Das ist der Fall, wo z. B. bei Sanierungen das vorhandene Tragwerk nicht zusätzlich belastet werden kann, Flexibilität durch

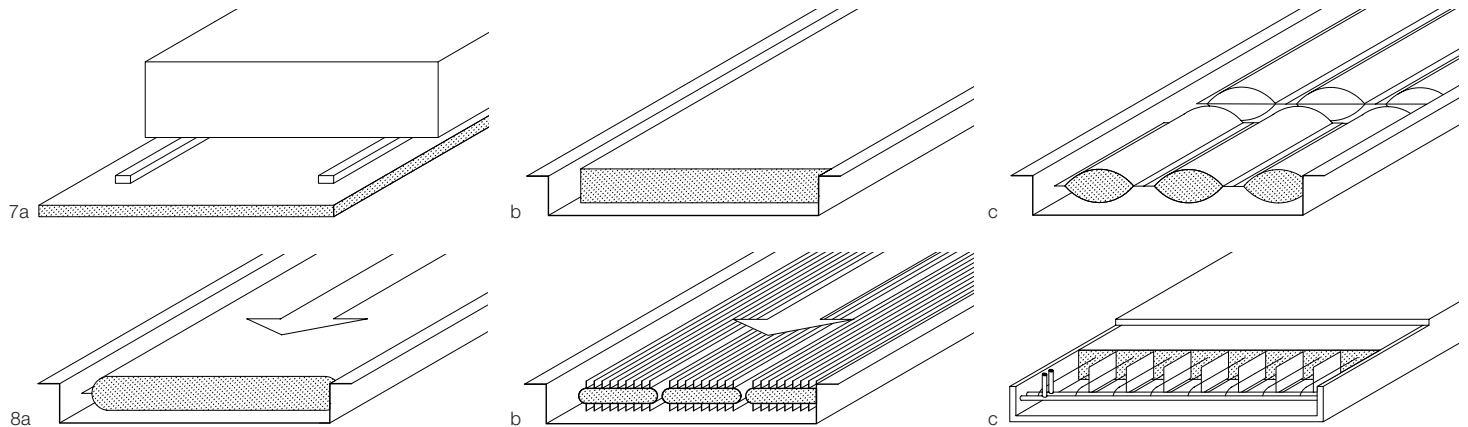
leichte Trennwände gewährleistet sein muss oder bei Leichtbauten mit Außenwänden dicker Dämmstärken, bei denen massive Wände einen zusätzlichen Verbrauch an wertvoller Nutzfläche bedeuten würden.

Passive und aktive Systeme

Bei passiven Systemen wird die Regeneration des Wärmespeichers nach dem Schmelzen allein durch freie Lüftung und natürliche Abkühlung erreicht. Für die Dauer lange anhaltender Hitzeperioden mit hohen Nachttemperaturen oder bei ungewollter direkter Sonneneinstrahlung auf das PCM ist der Latentwärmespeicher vorübergehend nicht aktivierbar. Deshalb wurden aktive Systeme entwickelt, bei denen der Zeitpunkt und die Geschwindigkeit des Entladens durch gezielte Zufuhr von Kühlenergie gesteuert werden. Die aktive Erstarrung der PCM-Schmelze kann durch eingelegte Wasserrohre erfolgen oder durch kühle Luft, die mit Kleinstventilatoren bei geringem Stromverbrauch über die Elemente geführt wird.

PCM-Systeme für Boden, Wand und Decke

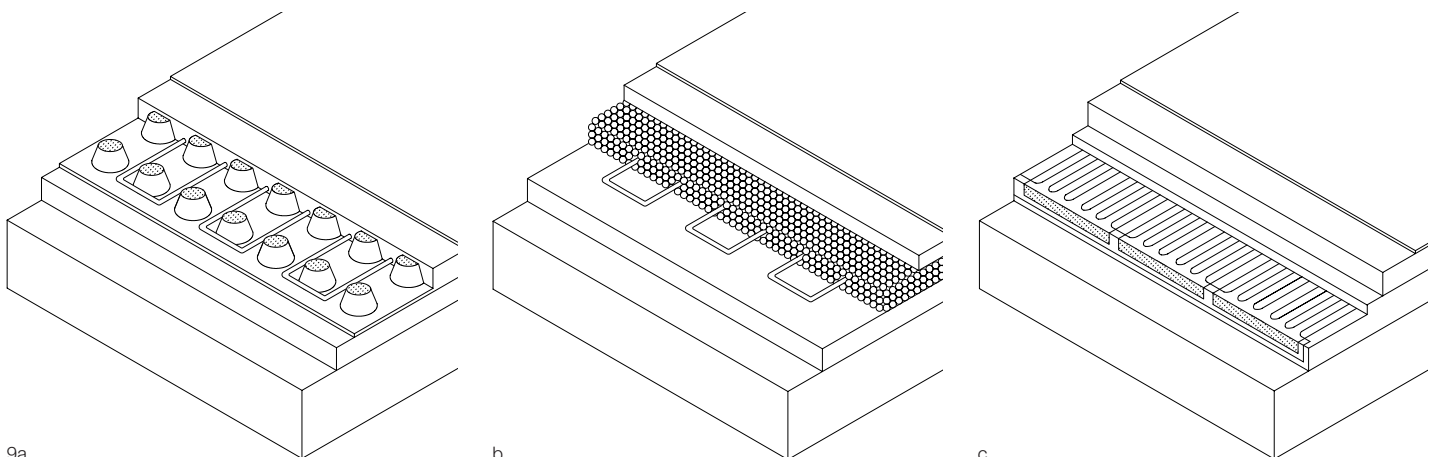
Beim Haus der Gegenwart 2005 in München von Allmann Sattler Wappner wurde mikroverkapseltes Paraffin als PCM erstmals in konventionell zu verarbeitende Gipsbauplatten an Decke und Wand eingesetzt (Abb. 7a). In Kassettendecken kann PCM – kapillar eingelagert – als Schaum- oder Hohlfaserplatten (Abb. 7b) oder als Füllung von Aluminiumtaschen (pouches) gelegt werden, deren Größen auf die gängigen Rastermaße abgestimmt sind. Die Nachrüstung mit zusätzlichen Pouches oder die Mitnahme beim Standortwechsel des Büros ist unproblematisch (Abb. 7c). Die Kassettendecken sollten aus Metall bestehen, um eine gute Wärmeleitung zu gewährleisten. Das Prinzip lässt sich zum aktiven System ausbauen, indem mit einem Kleinstventilator Luft zum Entladen kontrolliert über die PCM-Pouches geführt wird (Abb. 8a). In England klimatisiert eine so ausgeführte Speicherdecke erfolgreich die Büros des Rathauses von Stevenage, in Schweden die Büchermagazine der Bibliothek von Skövde. Um die Oberfläche der



PCM-Elemente zu erhöhen und damit den Wärmeübergang zu beschleunigen, wurden Aluminiumpaneele mit Kühlrippen entwickelt, die außerdem besser vor mechanischen Beschädigungen z. B. beim Bohren in die Decke geschützt sind. Sie werden u. a. zum Kühlen von Pumpstationen in Algerien eingesetzt (Abb. 8b). In der Leichtbauhalle der LUWOG in Ludwigshafen von Allmann Sattler Wappner kommen seit 2004 Speicherkühldeckenelemente aus 5 cm hohen Aluminiumpaneelen zum Einsatz, die annähernd über das gleiche Wärmespeichervermögen verfügen sollen wie eine 30 cm starke Betondecke. Entladen wird die PCM-Füllung – ein Paraffin-Gips-Gemisch – des 200 x 50 cm großen geschlossenen Paneels von einer Kühlflüssigkeit, welche die eingelegte Kapillarrohrrmatte durchströmt (Abb. 8c). Auch für Fußbodenheizungen stehen erste PCM-Systeme zur Verfügung, zu denen jedoch noch wenige Erfahrungen vorliegen. Dabei kann das PCM in Noppenbahnen eingeschweißt sein (Abb. 9a) oder als Granulatschüttung den Unebenheiten der Leitungsführung und dem Untergrund angepasst werden (Abb. 9b). Ein japanischer Hersteller arbeitet mit stromgespeisten 2,5 cm hohen PCM-Akkus, die zwischen Wärmedämmplatten verlegt sind (Abb. 9c). Wandsysteme sind dagegen schon länger im Einsatz. Bei der Sanierung des Verwaltungsgebäudes der Badenova 2002 in Offenburg von Lehmann Architekten

wurden die Bürotrennwände im Gipskartonständerbau beidseitig mit 15 mm PCM-Gipsputz (20 % PCM-Anteil) ausgestattet. Die 2003 gemessenen Innenraumtemperaturen entsprechen den Simulationen und ergaben bei freier Nachtlüftung eine Amplitudendämpfung von bis zu 3 Kelvin. Gipsputz kann auch als aktives System auf eine wasserdurchströmte Kapillarrohrrmatte aufgebracht werden, wie bei der Sanierung der Gotzkowskistraße in Berlin 2004 ausgeführt. Bei der Verwendung von PCM-Putzen muss beachtet werden, dass es durch den Auftrag eines Deckputzes oder von Tapeten zu Beeinträchtigungen des Wärmeübergangs kommen kann. Trotz des hohen Paraffinanteils kann für PCM-Putze mit einem Anstrich aus dämmschichtbildender Dispersionsfarbe die Baustoffklasse 1 erreicht werden (Abb. 10a). Ein neues Patent für Wandlüftungsgeräte dient der Klimatisierung als Bestandteil der kontrollierten Lüftung: Das 12 cm tiefe und 120 cm breite Bauteil ist modular aufgebaut und kann in der Höhe den Erfordernissen angepasst werden. Die warme Raumluft wird auf Höhe der Decke durch einen innenliegenden Ventilator angesaugt, zwischen drei mit PCM befüllten Aluminiumpaneelen nach unten geführt, dabei gekühlt und auf Bodenhöhe wieder ausgelassen. Über Kupferrohre kann die Entladung durch Kühlwasser gesteuert werden (Abb. 10b).

Welche Materialien sind am besten geeignet?
Die Eigenschaften der Speichermedien werden nicht nur vom PCM selbst bestimmt, sondern auch von Additiven wie z. B. Keimbildnern, die sehr teuer sein können. Die Schmelzenthalpien der Salzhydrate unterscheiden sich nur unwesentlich von denen der Paraffine. Da Salzhydrate jedoch größere Dichten besitzen (1,4 bis 1,6 kg/L) als Paraffine (0,7 bis 0,9 kg/L) verfügen sie über eine größere volumenbezogene Wärmespeicherfähigkeit (Abb. 17). Entscheidend bei der Planung ist die Wahl des richtigen Schmelzpunktes. Viele PCM weisen eine sogenannte Unterkühlung auf, das heißt das Material erstarrt erst einige Grad unter dem physikalischen Schmelzpunkt. In Innenstädten mit geringerer Nachtauskühlung sind andere Temperaturbereiche zu wählen wie auf dem Land. Während bei den Salzhydraten für jeden gewünschten Schmelzpunkt ein geeignetes Salzhydrat gefunden werden muss, kann der Schmelzpunkt bei Paraffinen durch die molekulare Veränderung der Kohlenwasserstoffketten beliebig festgelegt werden. Inzwischen sind Salzhydrate mit Schmelzpunkten von -7 bis $+100^\circ$ auf dem Markt. Paraffine sind ohne zusätzliche Maßnahmen brennbar, während Salzhydrate die Brandschutzklasse B1 erfüllen. Bei vertikal aufgestellten PCM-Paneelen können jedoch inhomogene Strukturen im Salzhydrat auftreten, die Wärme wird dann über die Hö-



Kühldecken passive Systeme:

- 7a Gipsbauplatte aus mikroverkapseltem Paraffin
- b Platten als Matrix für Salzhydrat/Paraffinmischung
- c Aluminiumtaschen mit Salzhydratfüllung

Kühldecken aktive Systeme:

- 8a Aluminiumtaschen mit Salzhydratfüllung, Kleinstventilator zur Entladung
- b Aluminiumpaneelle mit Salzhydratfüllung, Kleinstventilator zur Entladung
- c,d Aluminiumpaneel mit eingelegter Kapillarrohrrmatte, Befüllung aus Paraffin-Gips-Mischung

Fußbodenheizung, aktive Systeme:

- 9a Wasserführung zum Entladen zwischen Noppenkapseln mit Salzhydratfüllung
- b Wasserführung zum Entladen zwischen Schüttung aus Paraffin-Granulat
- c Paneelle zum Beladen mit Strom: h = 25 mm

Cooling soffits in passive systems

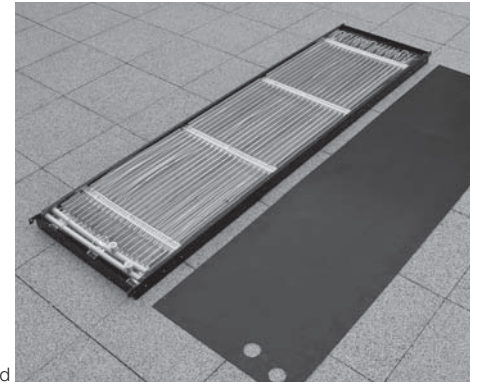
- 7a Gypsum plasterboard with microencapsulated paraffin
- b Sheets as matrix for salt-hydrate/paraffin mixtures
- c Aluminium pouches with salt-hydrate filling

Cooling soffits in active systems

- 8a Aluminium containers with salt-hydrate filling; mini-fan for discharge of heat
- b Aluminium panels with salt-hydrate filling; mini-fan for discharge of heat
- c,d Aluminium panel: inlaid capillary-tube mat; filled with paraffin-gypsum mixture

Floors in active systems

- 9a Water tubes between bossed capsules with salt-hydrate filling for discharge of heat
- 9b Water runs between paraffin-granule filling for discharge of heat
- 9c Panels for charging with electricity; h = 25 mm



8d

he unterschiedlich gut gespeichert. Außerdem sind Salzhydrate gegenüber einigen Metallen korrosiv, weshalb Behälter aus Edelstahl oder mit Kunststoff ausgekleideten Aluminiumtaschen bestehen sollten. Paraffine sind gegenüber fast allen Materialien inert, das heißt sie reagieren chemisch nicht mit ihnen (lat. parum affinis: zu wenig reagierend). Sie sind biologisch abbaubar und lebensmittelecht. Um die Vorteile beider Materialien zu nutzen, werden von einem Hersteller Mischungen aus Salzhydraten und Paraffinen eingesetzt.

Wie kommt das PCM ins Bauteil?

Wesentlich ist bei Anwendungen von PCM im Bauwesen eine gute Verarbeitbarkeit und einfache Handhabung. Um PCM in Bauteilen zu integrieren, stehen drei unterschiedliche Technologien zur Verfügung:

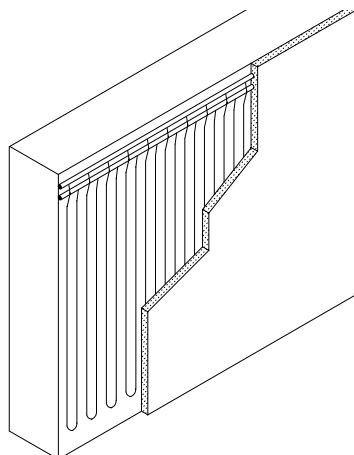
- Mikroverkapselung
- kapillare Einlagerung in Trägermaterialien
- Makroverkapselung

Die größte Gestaltungsfreiheit bietet die Mikroverkapselung. Dabei werden mikroskopisch kleine Mengen an Paraffin in einer Acrylathülle zu Kügelchen von 2 bis 20 µm Durchmesser eingeschlossen, ohne beim Schmelzen auslaufen oder an der Luft ausdampfen zu können (Abb. 21). Mit einer Emulsion aus Mikrokügelchen und Wasser können z. B. Gipsbauplatten gegossen werden (Abb. 11). Durch das Verdampfen des

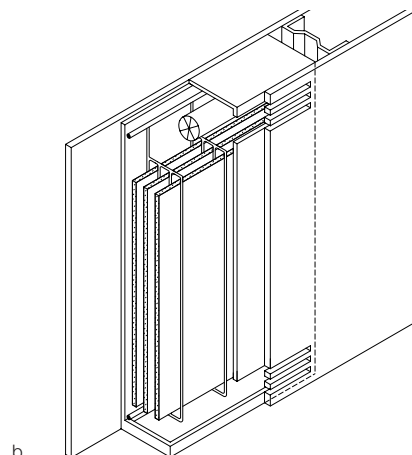
Wasseranteils während des Pulversprüh-trocknungsprozesses wird aus der Emulsion mikroverkapseltes Pulver gewonnen, das Gips- oder Lehmputzen untergemischt oder in kleinste Hohlräume von Kleidungsstücken gefüllt werden kann. Die Mikroverkapselung ist bisher nur bei Paraffinen geglückt, für Salzhydrate sind entsprechende Produkte lediglich von der Industrie angekündigt. Eine weitere Möglichkeit, PCM als Pulver, Granulat oder Platten weiterzuverarbeiten, ist die gebundene Form als Einlagerung in die geschlossenporige Kapillarstruktur von Trägermaterialien, wie Silikatpulver, Hohlfasern und Schäumen (Abb. 13, 20). Graphit als Matrix z. B. erhöht die Wärmeleitung an die Umgebung um ein Vielfaches. Makroverkapselungen sind als Kunststoffkugeln mit 7,5 cm Durchmesser auf dem Markt, die u. a. in Speichertanks eingesetzt werden (Abb. 14), als Noppenbahnen in Fußbodenaufbauten (Abb. 15), meist aber als Aluminiumtaschen für Kühldecken (Abb. 16) oder Kunststoff-Akkus für Transportboxen. Wegen der Volumenausdehnung beim Schmelzen ist bei geschlossenen Behältern ein Ausgleichsraum zu berücksichtigen. Makroverkapselte PCM und Verbundmaterialien weisen in der Regel eine höhere Wärmespeicherfähigkeit als in Gips eingelagerte Mikrokapseln auf. Aufgrund des geringeren Oberflächenanteils stehen sie jedoch nicht so schnell zur Wärmefaufnahme zur Verfügung.

Chancen und Grenzen von PCM

Durch den Einsatz von PCM kann bei richtiger Anwendung in Leichtbauten der Komfort gesteigert und die Anlagentechnik geringer dimensioniert oder eingespart werden. Die Amplitudendämpfung des Temperaturverlaufs von 2 bis 6 Kelvin an heißen Tagen kann jedoch nur dann realisiert werden, wenn das Material die Möglichkeit hat, sich nach dem Schmelzen durch erneutes Erstarren wieder aufzuladen. Je nach Klimazone ist das über freie Lüftung und Nachtauskühlung möglich. In lang anhaltenden heißen Sommern reicht bei passiven Systemen die Kapazität jedoch nur wenige Tage. Essenziell ist ein ausreichender Sonnenschutz der kühlenden Flächen, da bei direktem Sonneneinfall eine unerwünscht schnelle Beladung nicht mehr zu stoppen ist. Aktive Systeme können trotz des erhöhten Aufwandes sinnvoll sein, da das PCM den Gesamtwirkungsgrad erheblich erhöht, wenn durch billige Nachtstromtarife teure Tagesttarife umgangen werden können oder in Regionen der Erde, an denen eine Energieversorgung nur an wenigen Stunden am Tag gewährleistet ist. Die Anwendungen für PCM werden auch im Bauwesen immer breiter. Erste Materialmuster mit mikroverkapseltem PCM als Folien, die mit der Wärmefaufnahme die Farbe ändern, liegen vor – ob in Kürze Vorhänge die Speicherkapazität einer Betonwand erreichen, bleibt abzuwarten.



10a



b

aktive Wandsysteme mit Wasserkühlung:

- 10a PCM-Gipsputz auf Kapillarrohrrmatte
- b Wandlüftungsgerät freistehend oder Einbau in Trennwand als modulares System b=120 mm, h= 2,10 – ca. 4 m. Aluminiumpaneelle mit Salzhydrat/Paraffinmischung und Kupferrohren zur Entladung, Kleinstventilator zur Luftansaugung

Active wall systems with water cooling

- 10a PCM gypsum plaster on mat with capillary tubes
- b Wall ventilation plant, mounted on or built into partition as a modular system; w = 120 mm, h = 2.10 – ca. 4 m. Aluminium panels with salt-hydrate/paraffin mixture, and copper tubes for recharging; mini-fan for air intake



11



12

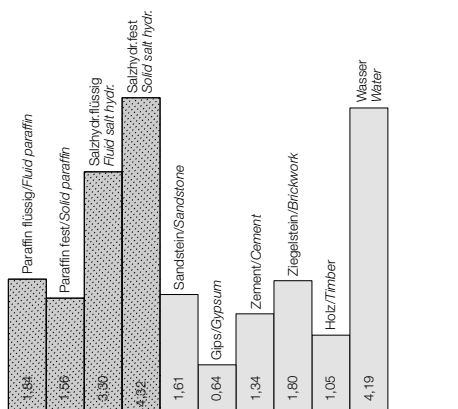


13

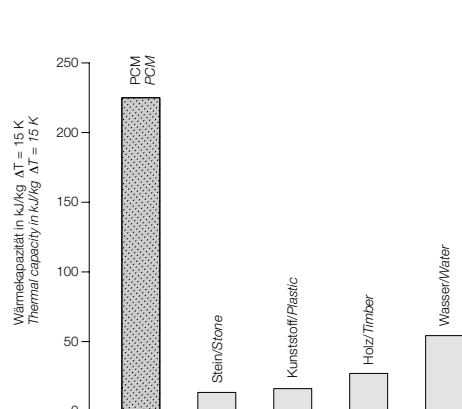
Natural sources of energy exist in adequate quantities on earth, but they are not always available when one needs them. How can daytime warmth be preserved till deep in the night or cool night temperatures maintained far into the day? One traditional means of doing this is to exploit the thermal storage capacity of solid materials, such as timber, stone, bricks or concrete. In lightweight forms of construction, however, building elements of great mass are not used. In such situations, latent thermal-storage media offer new scope for storing heat. Around the melting point, the thermal-storage capacity of the aggregate leaps to several times the normal level (ills. 5, 6). This enormous energy gain is not perceptible in the form of higher temperatures, which is why it is referred to as "latent". When the reverse process takes place and the melted substance cools, it reverts to its crystalline state, yielding the stored energy (the melting enthalpy) in the form of heat of solidification. Since the major part of the thermal-storage process takes place when the aggregate changes its state (from liquid to solid or vice versa), latent thermal-storage media are sometimes referred to as "phase-change materials" (PCM). For the heating and cooling of buildings, materials with a melting point close to the desired room temperature should be chosen. Two main groups of materials have asserted themselves in practice with melting points in the temperature range between

roughly 20 °C and 35 °C: organic PCMs such as paraffin; and hydrates of salt with a melting point around 27 °C or sodium sulphate decahydrates with their melting point at 32 °C. For the single-family house in Ebnat-Kappel, the Swiss architect Dietrich Schwarz developed a prototype translucent PCM facade, consisting of plastic elements filled with paraffin (ill. 4; see also DETAIL 6/2002, p.736). In summer, the outer, prismatic-glass skin reflects the high-angle rays of the sun away from the building, and the facade functions like a layer of translucent thermal insulation. In winter, the flat rays of the sun enter the space to the rear without hindrance, melting the wax in the process. As the temperature falls in the evening, the wax solidifies again, transmitting the energy it has absorbed into the interior. This system was used for the first time on a large scale in 2004 in a housing development for senior citizens in Domat-Ems (page 659 and ills. 1–3). Here, a hydrate of salt was used instead of paraffin for reasons of fire protection. The PCM was sealed in polycarbonate hollow cellular slabs, which were coloured grey to improve the heat absorption (ill. 3). Surface temperatures between 26 °C and 28 °C are transmitted as radiant heat and ensure a high level of comfort internally. With passive systems, the regeneration of the thermal storage medium after melting can only occur by means of free ventilation and natural cooling. During long hot periods with

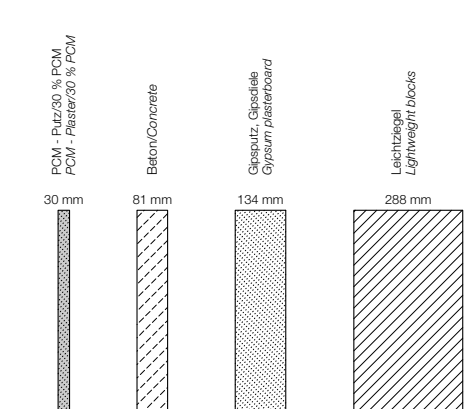
high night-time temperatures, or where unwanted direct insolation of the PCM occurs, it will not be possible to activate the latent thermal-storage medium for some time. Active systems have been developed, therefore, in which the time and the speed of discharge can be controlled by supplying minimal quantities of additional energy – by running water-bearing pipes through the PCM, for example, or by blowing cool air over the surface. In the House of the Present, 2005, in Munich by Allmann Sattler Wappner, microencapsulated paraffin was used for the first time as a PCM in conventional plasterboard to the ceilings and walls (ill. 7a). To increase the surface area of the PCM elements, thereby speeding up the heat-transfer process, aluminium panels with cooling ribs have been developed. Cooling pumping stations in Algeria, for example, are fitted with elements of this kind (ill. 8b). In the lightweight hall construction for the LUWOGE concern in Ludwigshafen by Allmann Sattler Wappner, 5 cm thermal soffit-cooling panels have been in use since 2004, which, it is claimed, possess nearly the same thermal storage capacity as a 30 cm concrete slab. The discharge of heat is achieved by means of a cooling liquid that flows through capillary tubes in an inlaid mat (ill. 8c). Only minor differences exist in the melting enthalpies of salt hydrates and paraffins. Since



17 sensible Wärmespeicherkapazität cp (kJ/L°C) für 1 Liter
Perceptible thermal storage cap. cp (kJ/L°C) for 1 litre



18 erhöhte Speicherkapazität durch Schmelzenthalpie
Increased storage capacity through melting enthalpy



19 erforderliche Wandstärke bei gleicher Speicherkapazität
Requisite wall thickness for same storage capacity



14



15

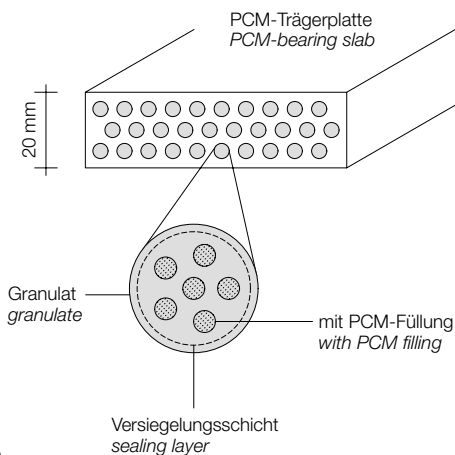


16

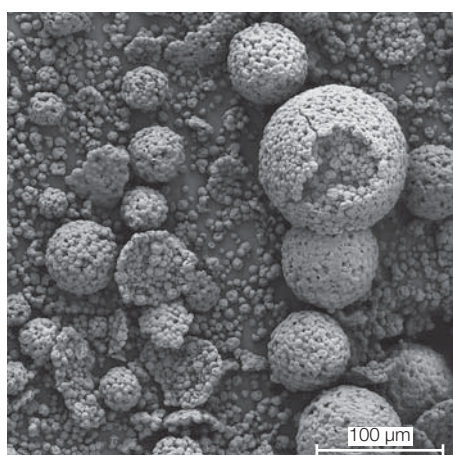
salt hydrates have a higher density (1.4–1.6 kg/l) than paraffins (0.7–0.9 kg/l), though, they also possess a greater volume, which influences their thermal storage capacity (ill. 17). One decisive planning factor is the choice of the correct melting point. Many PCMs have a “supercooling” character. In other words, the aggregate begins to solidify only when it is a few degrees below the physical melting point. Salt hydrates are available with melting points between -7 °C and +100 °C. With this PCM, one has to select the type with the desired level, whereas the melting point of paraffins can be adjusted by a molecular modification of the hydrocarbon chain. Today, increasing use is made of mixtures of salt hydrates and paraffins. PCMs used in building should be easily workable. Three technologies exist for integrating them in building components: microencapsulation, capillary storage in the bearer substance, and macroencapsulation. Microencapsulation offers the greatest design latitude. Microscopically small quantities of paraffin are enclosed in an acrylic casing to form tiny spherules 2–20 µm in diameter. The paraffin should not be able to evaporate nor run out when it melts (ill. 21). Using an emulsion consisting of microspherules and water, for example, one can cast plasterboard sheets (ill. 11). Up to now, microencapsulation has been possible only with paraffins, although industry has announced the develop-

ment of salt-hydrate products for the future. For macroencapsulation, plastic spherules with a diameter of 7.5 cm are used. These can be applied in storage tanks (ill. 14) or as bossed sheets in floor construction (ill. 15). Most commonly, though, the PCM is filled in aluminium pouches for insertion in cooling soffits (ill. 16). Used properly, PCMs can increase the sense of comfort in lightweight structures and allow service installations to be dimensioned more economically or omitted altogether. The amplitude reduction in temperature from 2 to 6 °K on hot days can be attained only if the material is able to recharge itself; in other words, if it can revert to a solid state after melting. In some climatic zones, this may be achieved through a process of free ventilation and night-time cooling. In long, hot summers, however, the capacity will be sufficient for just a few days where only a passive system exists. Above all, adequate sunshading of the cooling areas is essential, for if they are exposed to direct sunlight, there will be no way of stopping the absorption of solar energy. Despite the increased outlay, active systems are worthwhile, since the PCM considerably increases the overall effectiveness of a structure. PCMs are making their presence felt more and more in building today. Whether curtains will soon be available that achieve the thermal storage capacity of a concrete wall remains to be seen, however.

- PCM-Forschungsprojekte :
 ZAE Bayern Herr Harald Mehling:
www.muc.zae-bayern.de/zae/specials/symposium_2004.html
 Transluzentes Fassadensystem, :
 Fa. GlassX, Dietrich Schwarz www.glassx.ch
 Mikroverkapselung, PCM-Gipsbauplatten:
 Fa. BASF www.micronal.de, www.btc-de.com
 PCM-Gipsputz, mikroverkapselt:
 Fa. Maxit www.maxit.de
 PCM-Lehmputz, PCM-Lehmbauplatten:
 Fa. Lebast www.lebast-lehmbaustoffe.de
 Speicherkühldeckenpaneel mit Kapillarrohrmatte,
 Fa. Lindner mit Transsolar www.transsolar.com
 Hersteller Salzhydrat, Kühldecken, Alupaneele etc.:
 Fa. Climator www.climator.com/application/stevenage_cooldeck.html
 Hersteller Salzhydrat, Makroverkapselung:
 Fa. Teap www.teappcm.com
 PCM-Aluminium-Pouches, Deckensysteme:
 Fa. Dörken www.doerken.de/bvf/de/produkte/pcm/index.php
 PCM in Trägermaterial, PCM-Fußboden, Decken:
 Fa. Rubitherm www.rubitherm.de
 Graphitmatrix für PCM-Trägerplatten:
 Fa. SGL Carbon
www.sglcarbon.com/sgl_t/expanded/index_d.html
 Wand-Lüftungspaneel:
 Fa. Emco mit Barath & Wagner www.ibw-gmbh.de
 Elektrisches PCM-Fußbodensystem:
 Fa. Sumika Plastech www.sumikapl.co.jp/e/main_pd05.html
 PCM-Speichertanks für z.B. Solaranlagen:
 Fa. Powertank www.powertank.de
 Fa. Cristopia www.perso.wanadoo.fr/cristopia
 Fa. Schneider www.schneiderspeicher.de/
 Verpackungen, Einschweißen von PCM in Alu:
 Fa. Va-q-tec www.va-q-tec.com/deutsch/anwendungen/anwendungen3d.htm
 PCM-Deckenpaneel, PCM-Leitungsröhren
 Fa. EPS Ltd www.epsltd.co.uk/
 PCM-Kleidung für Sport, Raumfahrt:
 Fa. Outlast www.outlast.com/flash.cfm
 Fa. Schoeller www.schoeller-textiles.de



20



21

- 11 Emulsion aus mikroverkapselten Paraffinkugeln
 12 verschiedene Modifikationen von Paraffinen
 13 PCM eingelagert in verschiedene Trägermatrizen
 14–16 Makroverkapselung: Kunststoffkugeln Ø 7,5 cm, Noppenbahnen, Aluminium-Pouches
 17–19 Vergleich Wärmespeicherfähigkeit
 20 Makroverkapselung: Granulat in Platte gebunden
 21 Mikroverkapselung Elektronenmikroskop-aufnahme
- 11 Emulsion with microencapsulated paraffin spherules
 12 Various modified forms of paraffin
 13 PCM contained in various matrixes
 14–16 Macroencapsulation: Ø 7.5 cm spheres, bossed sheets, aluminium pouches
 17–19 Comparison of thermal storage capacity
 20 Macroencapsulation: granules in slabs
 21 Microencapsulation: electron micrograph

