

# Leichte Gebäudeklimatisierung mit Latentwärmespeichern in Baustoffen

Funktionsweise von PCM, und effektive Kombination mit TGA vorab berechnen.

Dipl.-Ing. (FH) Marco Schmidt, Energieberater

Mehr als ein Drittel des Endenergieverbrauches in Deutschland erfolgt in Gebäuden. Einsparungen von jährlich über 60 Mio. Tonnen CO<sub>2</sub>-Emissionen ließen sich durch nachhaltiges Bauen und Sanieren erreichen. Insbesondere der Strombedarf zur Raumklimatisierung steigt steil an und umfasst bereits heute etwa 15% des Gesamtbedarfs. Der kontinuierliche Anstieg ist insofern problematisch, als ein Großteil dieser Energie zu Spitzenlastzeiten bereitgestellt werden muss.

Die Stromnetze kommen dadurch an ihre Grenzen und die Deckung durch erneuerbare Energien ist nur schwer möglich. Sie sind es jedoch, die zukünftig einen immer größeren Teil unserer Energieversorgung bereitstellen sollen. Noch kommt der Strom jederzeit und zu gleichen Kosten aus der Steckdose, aber die sich verändernden Rahmenbedingungen erfordern ein Umdenken, damit nachhaltig und energieeffizient ein komfortables Innenraumklima gesichert werden kann.



K.-Wand mit PCM-Technologie und Lehmfüllung für ein verbessertes Arbeitsklima

Zukunftsfähige Gebäude müssen also in der Lage sein, die zeitliche Brücke zwischen Energiebedarf und -verfügbarkeit selbstständig zu schlagen. Je entspannter sie auf Umwelteinflüsse reagieren, desto geringer ist der Zwang, mit aktiven technischen Mitteln ein angenehmes Innenraumklima aufrecht zu erhalten. Hierzu gehört im Winter ein möglichst guter U-Wert. Im Sommer dagegen werden allzu oft die enormen Wär-

memengen unterschätzt, die vor allem bei modernen Leichtbauten, Schulen oder Bürogebäuden aus Stahl und Glas durch die transparente Fassade eindringen. Der sommerliche Wärmeschutz erschöpft sich nicht mit der Frage nach dem U-Wert oder einer energetischen Betrachtung nach EnEV. Ein Großteil des Energieeintrags erfolgt durch die Fenster und ist somit relativ unabhängig von den U-Werten der Wände.

Auch der beste Dämmstandard hilft wenig, wenn die Wärme in Form von Strahlung ins Gebäude eindringt. Verschattung, Nachtlüftung, Masse und reduzierte innere Lasten sind für den sommerlichen Wärmeschutz essentiell. Der Speichermasse des Gebäudes kommt dabei eine besonders hohe Bedeutung zu. Die DIN 4108-2 (7/2003) trägt diesem Umstand Rechnung durch die Bewertung des  $C_{\text{wirk}}$  als leichte, mittlere oder schwere Bauart.

Insbesondere im modernen Leichtbau, der auf geringen Materialeinsatz optimiert ist, kann die entsprechende Masse jedoch kaum in ausreichendem Maße bereitgestellt werden. Die Kombination aus konventionellem Baustoff und zusätzlichem Phasenwechselmaterial (Phase Change Material = PCM) hilft, diesen Zielkonflikt aufzulösen. Jedoch sollte auf die Wahl des richtigen PCM-Produktes bereits bei Planung und Ausschreibung großer Wert gelegt werden. Vor allem unterscheiden sich die unterschiedlichen Lösungen in Punkten wie Leistungsfähigkeit und Lebensdauer. Auf den Internet-Seiten RAL der Gütegemeinschaft PCM e.V. sind diverse PCM zu finden, bei denen eine geprüfte und überwachte Qualität sichergestellt ist.

# Die effizientesten Kombinationen für zukunftsweisende Energienutzung.

Effizienz ist die wichtigste Energie-Ressource. Unser Komplettangebot für alle Energieträger bietet perfekt aufeinander abgestimmte Kombinationen für alle Anwendungsbereiche. Sie sind so effizient, dass die energie- und klimapolitischen Ziele für 2020 bereits heute erreichbar sind. Das leben wir vor. Mit unserem Nachhaltigkeitsprojekt Effizienz Plus.  
[www.viessmann.de](http://www.viessmann.de)



## Effizienz Plus



**WIESO MIKROVERKAPSELTE LATENTWÄRMESPEICHER IN BAUSTOFFEN?**

Der bekannteste Latentwärmespeicher bzw. PCM ist Wasser in Form von Eiswürfeln. Durch Schmelzen – also durch den Phasenübergang von fest nach flüssig – absorbiert es Wärme und hält so Getränke kühl bei konstant 0°C. Das Problem dabei ist jedoch, dass das entsprechende Getränk zunehmend verwässert. Es ist also eine clevere Verpackung nötig, die den

Innenraumtemperaturen am Tag zu sichern ohne dafür Fremdenergie zu benötigen. Die mikroverkapselten PCM der BASF SE mit dem Handelsnamen Micronal® PCM sind mit einer Kapselgröße von 2-10 µm Durchmesser etwa 20-30 mal kleiner als ein menschliches Haar. Das Produkt ähnelt in reiner Form Puderzucker bzw. herkömmlicher Dispersion. Die Miniaturisierung der Wachsverpackung führt zu mehreren Anwendungsvorteilen:

- ▶ Als feiner Rohstoff lassen sich alle mög-

lich mit der Umgebung ist gesichert, denn bereits 1 ml PCM-Dispersion stellt ca. 30m<sup>2</sup> Oberfläche bereit.

- ▶ Zur Funktion wird weder Strom noch eine Regelung benötigt und sie arbeiten völlig wartungsfrei.
- ▶ Die Wärmeleitfähigkeit wird vom Trägermaterial bestimmt und nicht vom Wachs. Die Wärmekapazität hängt vom PCM-Anteil im Baustoff ab. Durch Trennung dieser beiden physikalischen Größen lassen sich beide unabhängig

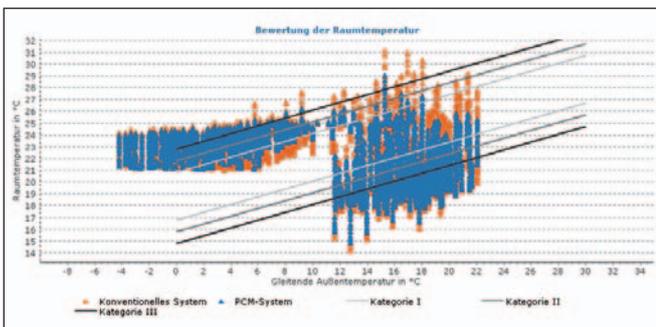


Abb. 1: Vergleichende Innenraumtemperatur nach DIN EN 15251

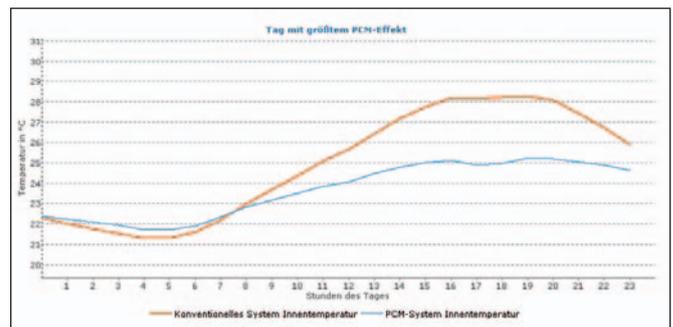


Abb. 2: Typischer Tagesverlauf im Sommer

Latentwärmespeicher vom umgebenden Medium trennt und ihn damit in reiner Form erhält. Nachdem Versuche in den 70er und 80er Jahren mit in Wachs getränkten Gipsbauplatten fehlschlugen, wurde von der BASF die Mikrokapsel als optimale Verpackungsmethode entwickelt, bei der Millionen kleine Wachströpfchen mit einer praktisch unzerstörbaren Hülle aus Acrylglas einzeln „verpackt“ werden. Die verwendeten hochreinen Wachse verflüssigen sich je nach Anwendung bei 23°C oder 26°C im Kern der Kapselhülle.

Von außen betrachtet kann das Material darum Wärme speichern und abgeben und bleibt trotzdem pulverförmig. Mit einer Partikelgröße von wenigen Mikrometern lassen sich die winzigen Kapseln entweder als Dispersion oder Pulver gut in Putze, Mörtel, Gipsbauplatten, Beton oder auch Holzwerkstoffe etc. einarbeiten. Der Baustoff selbst wird dadurch zum Funktionselement im Gebäude, ohne seine sonstigen Eigenschaften wesentlich oder gar sichtbar zu verändern. Werden Baustoffe mit mikroverkapselten Latentwärmespeichern direkt modifiziert, sind sie in der Lage, durch deutlich mehr Speicherung von Nachtkälte komfortable In-

nenraumtemperaturen am Tag zu sichern ohne dafür Fremdenergie zu benötigen. lichen Baustoffe wie Putze, Gipsbauplatten, Beton, Estrich oder Holzwerkstoffe direkt vom Hersteller veredeln.

- ▶ Die Kapselhülle sichert das hochreine Paraffin im Kern als Einzelstoff. So kann es über Jahrzehnte hinweg zehntausende Male schmelzen und wieder erstarren.
- ▶ Auslaufen oder Ausschwitzen ist bei Anwendungstemperatur unmöglich.
- ▶ Die sehr kleinen Partikel sind mechanisch praktisch unzerstörbar. Bohren, Schleifen, Sägen, Pumpen etc. überstehen die Kapseln klaglos.
- ▶ Im seltenen Fall einer Beschädigung treten nur vernachlässigbare Mengen eines herkömmlichen Wachses aus. Alle anderen Kapseln bleiben unberührt. Dies ist bei makroverkapselten PCM in Folienbeuteln oder Metallcontainern eines der Hauptprobleme.
- ▶ Die Volumenänderung, die jeder Stoff am Phasenübergang erfährt, tritt makroskopisch nicht in Erscheinung, da jede Mikrokapsel für sich ihr Volumen ändert und sich in die vorhandenen Poren hinein ausdehnen kann.
- ▶ Ein sehr schneller Wärmeaustausch

voneinander optimieren.

- ▶ Da die Baustoffe ohnehin verwendet werden, fallen außer für das Material an sich keine weiteren konstruktiven Kosten oder etwa höherer Arbeitsaufwand an. Ein Gebäude mit dem PCM-Effekt auszustatten und damit die Temperatur konstant zu halten, beschränkt sich somit auf die reine Anschaffung ohne Folgekosten.

**PCM IM PASSIVEN ANWENDUNGSFALL**

Ziel ist, in Neubauten mit geringer Masse und Innenausbau in Trockenbauweise, einen thermischen Komfort zu schaffen, der vergleichbar ist zu massiven Gebäuden mit Innenwänden aus Beton oder Stein. Bei der Sanierung älterer Funktionsgebäude (z. B. Schulen, Krankenhäuser oder Hotels) ermöglicht der Einsatz von Latentwärmespeichermaterialien große Komfortsteigerungen, ohne dass auf Klimaanlage zurückgegriffen werden muss. Selbstverständlich sind die rein passiven Kühlmöglichkeiten nördlich der Alpen deutlich größer als südlich davon. In Regionen mit ausreichendem Nachtkühlungspotential können Gebäude deshalb oft ohne

Klimaanlagen gebaut werden, wenn bereits in der Planung für ausreichende nächtliche Durchlüftung des Gebäudes gesorgt wird. In der Planung sind Luftwechselraten von  $a=3$  bis 4 anzustreben. Ob der passive Anwendungsfall – in dem nur das Kühlungspotential der Nachtluft genutzt werden kann – auch in südlichen Gefilden in Frage kommt, muss dort im Einzelfall geprüft werden. So unterscheidet sich beispielsweise das Klima in Burgos (Zentralspanien, 900m ü.N.N.) deutlich von Barcelona am Meer, obwohl beide Städte i.e. auf dem gleichen Breitengrad liegen.

## PCM IM AKTIVEN ANWENDUNGSFALL

In südlichen Regionen oder feuchtwarmen Gebieten sind Gebäude meistens klimatisiert, denn die Klimaanlagen kontrollieren nicht nur die Temperatur, sondern leisten immer auch einen großen Beitrag zur Begrenzung und Regelung der Innenraumfeuchte. Entsprechend ist ein Totalverzicht auf Luftentfeuchtung in Wärmetauschern

größer angesetzt, als für den tatsächlichen Betrieb nötig wäre. In der Folge arbeitet die installierte Anlage dann selten bei optimaler Auslastung. Steht nun eine relevante Menge PCM im Gebäude zur Verfügung kann ein großer Anteil der im Tageszyklus anfallenden Wärmemenge temperaturunschädlich zwischengespeichert werden. Die zum Zeitpunkt X benötigte Kühlleistung der Anlage ist dann signifikant kleiner. Dies führt zu kleiner dimensionierten Anlagen, die effektiver laufen. So können die Mehrkosten auf der Baustoffseite durch Einsparungen auf Seiten der Technik ausgeglichen werden. Die Betriebskosten des Gebäudes sind zudem reduziert, was zu sehr wirtschaftlich zu betreibenden Gebäuden führt. Unter Umständen kann die Klimatisierung auch zu anderen Zeiten betrieben werden, als sonst üblich. Ein Bürogebäude kann dann z. B. Kühlenergie außerhalb der Spitzenlastzeiten bereitstellen und dann mehrere Stunden autark bleiben. Insbesondere wenn Engpässe im Versor-

ist also durchaus nicht auf bestimmte Klimaregionen oder die passive Anwendung beschränkt. Am Ende entscheidet das Gesamtkonzept, wie viel Vorteil aus ihrem Einsatz gezogen werden kann.

Es stellt sich die Frage, welchem Gewerke funktionale Baustoffe, die eine direkte Rückwirkung auf die Klimatechnik und deren Leistung haben, zugeordnet werden müssen/dürfen. Hier gibt die HOAI im § 52 Abs. 4 nähere Auskunft:

„(4) Werden Teile der Technischen Ausrüstung in Baukonstruktionen ausgeführt, so können die Vertragsparteien vereinbaren, dass die Kosten hierfür ganz oder teilweise zu den anrechenbaren Kosten gehören. Satz 1 gilt entsprechend für Bauteile der Kostengruppe Baukonstruktionen, deren Abmessung oder Konstruktion durch die Leistung der Technischen Ausrüstung wesentlich beeinflusst wird.“ Latentwärmespeicherhaltige Baustoffe und Konstruktionen daraus können sowohl als TGA-Elemente als auch als Baukörper

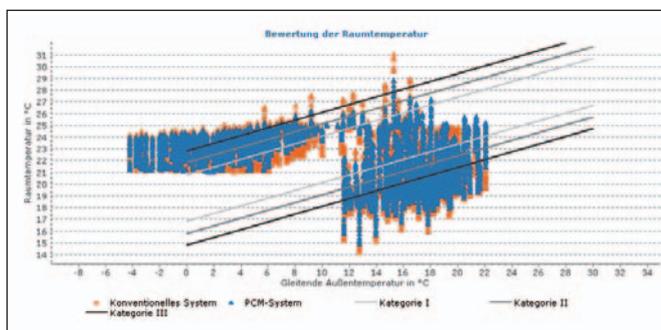


Abb. 3: Ähnlicher Komfort bei PCM- oder Splitgeräte-Lösung

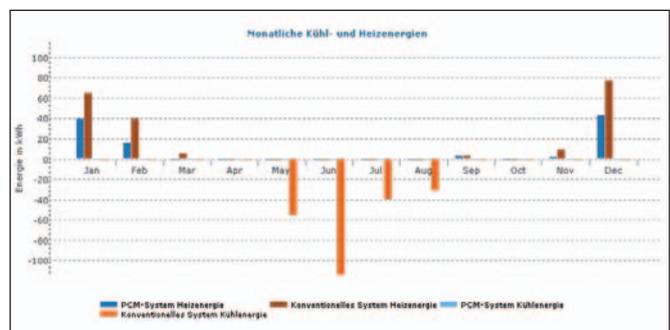


Abb. 4: Energiediagramm in monatlicher Auflösung

normalerweise nicht sinnvoll.

Ist eine Klimatisierung, gleich welcher Kühltechnologie, vorhanden, so ist der Latentwärmespeicher im Baukörper als Teil der TGA zu betrachten. Er stellt dann einen Wärmepuffer dar, der Spitzenlasten glättet und so ein gleichmäßigeres Lastprofil bewirkt. Insbesondere Klimatisierungslösungen, die Luft als Wärmeträgermedium nutzen, sind i.d.R. so ausgelegt, dass sie just-in-time die Energie aus dem Gebäude hinausbefördern, die gerade anfällt.

In ihrer Leistung sind sie auf die maximale Last bei größtmöglicher Raumbelastung im ungünstigsten Raum ausgelegt. Meist ist die absolute Leistung der Anlage dann

gungsnetz oder der firmeninternen Infrastruktur gegeben sind, kann das PCM den Schlüssel zur Lösung darstellen. Interessant ist auch zu prüfen, ob im gegebenen Gebäude durch den Einsatz von PCM ein Wechsel der Kühltechnologie, weg von mechanischer Kälte und hin zu regenerativen Kältequellen, möglich wird. Denn regenerative Umweltenergie ist oft 24 h verfügbar, wird aber mit kleinerer Leistung als zu Spitzenzeiten benötigt. Auch hier werden die Vergleichmäßigung von Wärmespitzen und deren zeitliche Verlagerung genutzt und der Wärmeeinfall und die Wärmebehandlung zeitlich entkoppelt. Der Einsatz von Latentwärmespeichern

verstanden werden.

Somit können sowohl der Architekt als auch der TGA-Planer darauf Anspruch erheben. Die gerechte Zuordnung könnte z.B. am Einflussgrad auf die restliche Techn. Gebäudeausrüstung abgeleitet werden.

## PCM-LEISTUNGSFÄHIGKEIT KONKRET BESTIMMEN MIT PCMPRESS

Die mehr oder weniger qualitativen Aussagen zum erreichbaren Effekt wurden bereits anhand zahlreicher Praxisobjekte für die unterschiedlichen Anwendungsformen nachgewiesen. Doch jedes Gebäude ist thermisch gesehen ein eigenständiger Fall, so

dass auf dynamische Gebäudesimulation zurückgegriffen werden muss, wenn der zu erwartende PCM-Nutzen bei den jeweiligen individuellen Rahmenbedingungen eines Bauwerks sicher und im Voraus quantifiziert werden soll. Hierzu wurde im Rahmen des öffentlich geförderten Entwicklungsprojektes „Aktive PCM-Speichersysteme für Gebäude“ (FKZ 0327370K) Anfang 2008 die Software PCMexpress veröffentlicht. Die kostenlose Software wurde gemeinsam mit den Partnern Maxit und DAW als Vertreter der Baustoffindustrie, BASF, Valentin Energie-Software und dem Fraunhofer ISE entwickelt. Sie ist in der Lage, konventionelle Gebäudetechnik gegenüber einer optimierten Variante mit Berücksichtigung von PCM-Baustoffen, zu berechnen. Architekten und Planern wird damit ein geeignetes Instrument an die Hand gegeben, um die Gebäudeeffizienz und den Innenraumkomfort zu steigern. In aktuellen Versionen vieler gängiger Gebäude-Simulationsprogramme wie z. B. TRNSYS, TAS, WUFI oder ESP-r ist die PCM-Funktionalität allen Planern zugänglich.

### Beispiel 1: Konventioneller Leichtbau gegenüber Leichtbau mit PCM

#### – passive Klimaverbesserung

Als Beispiel ist hier ein 7 x 9 m großer Klassenraum mit Pultdach in einem Schulerweiterungsbau in Leichtbauweise mit Berliner Klimadaten betrachtet. Es wird eine Fensterfront mit 35% Glasflächenanteil, Dreifach-Wärmeschutzverglasung und außen liegender Verschattung an der Südfassade angenommen.

Die inneren Wände und die Decke haben als Alternativszenario zum konventionellen Leichtbau eine PCM-haltige Gipsbauplattenbeplankung. Es besteht die Möglichkeit, die Fenster zu öffnen. Ansonsten steht beiden Gebäudevarianten eine mechanische Lüftung mit maximal dreifachem Luftwechsel für die sommerliche Nachtauskühlung zur Verfügung. Werden beide Varianten ohne aktive Kühlung gegenüber gestellt, wird der PCM-Einfluss auf das Innenraumklima ersichtlich (s. Abb. 1). Entsprechend der Komfortnorm EN 15251 für nicht klimatisierte Gebäude hält der Latentwärmespeicher den Raum im Sommer sicher in Kategorie I, bei der 95 % der Nutzer mit dem Innenraumklima zufrieden sind.

Der ansteigende Innentemperaturbereich gegenüber der gleitenden Außentemperatur im Sommer trägt der unterschiedlichen Wärmeempfindung des Menschen in Sommer und Winter Rechnung. Unterschreitungen werden in der Realität bei einer temperaturgeführten, mechanischen Lüftung nicht auftreten. Abb. 2 zeigt einen typischen Tagesverlauf im Sommer, bei dem das PCM die Temperaturentwicklung im Komfortbereich hält. In einem Szenario mit/ohne PCM, jedoch ohne aktive Klimatisierung, ist grundsätzlich kein Energiesparpotential zu he-



DAS BESTE HOCHHAUS DER WELT\* ...

... gehört mit einem Primärenergieverbrauch von 98 kWh/m<sup>2</sup> pro Jahr auch zu den Bürogebäuden mit den höchsten Ökostandards weltweit. Die Gebäudehülle von WICONA trägt maßgeblich zu diesem Erfolg bei.

#### Das nennen wir: Technik für Ideen.

Nutzen Sie Ihre Gestaltungsfreiheit:

ideen@wicona.de  
www.wicona.de/ideen

#### Maßgeschneidert für die KfW-Westarkade, Frankfurt:

Doppelfassade mit Elementmontage für ein neuartiges Lüftungskonzept.

Architekt:  
Sauerbruch Hutton, Berlin

Fassadenbau:  
FKN Fassaden GmbH, Neuenstein



\*Auszeichnung durch den Council on Tall Buildings and Urban Habitat (CTBUH)

ben. In beiden Fällen ist mehr oder weniger Komfort gegeben und es wird investiert, um das verbesserte Temperaturverhalten mit Latentwärmespeicher zu nutzen.

sige Tageswärme in die Nacht transferiert als auch Kühlenergie zu 100%, da er ohne externe Energiezufuhr die Raumtemperaturen drückt.

Gebäudes, als die eingesparten Energiekosten selbst.

PCMexpress ist frei verfügbar zum Download unter [www.valentin.de](http://www.valentin.de).

Die in diesem Beispiel berechneten Szenarien können unter [www.micronal.de](http://www.micronal.de) heruntergeladen werden. Dort stehen auch weitere Informationen zum Thema bereit. Die Projektdateien lassen sich dann vom Planer in allen Parametern frei verändern und der jeweilige Einfluss auf Klima und Wirtschaftlichkeit ermitteln.

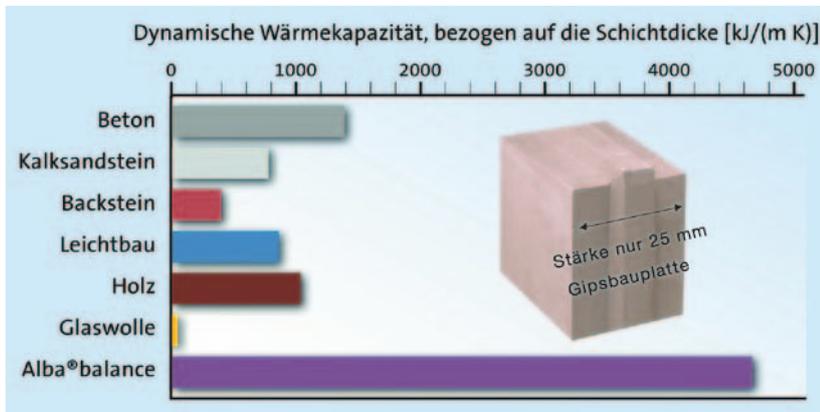


Abb.5: Platzgewinn durch Wärmespeicherung der Alba®balance Gipsbauplatten von Rigips im Vergleich mit Wänden aus konventionellen Baumaterialien

**FAZIT**

Es bleibt festzuhalten, dass der Einsatz von Latentwärmespeichern eine wirtschaftliche und energieeffiziente Alternative bzw. Ergänzung zu aktiven Kühlungskonzepten darstellen kann. Das hier vorgestellte Prinzip der mikroverkapselten Latentwärmespeicher ermöglicht es zudem, konventionelle Baustoffe zu wichtigen Bestandteilen im energetischen Gesamtkonzept des sommerlichen Wärmeschutzes von Gebäuden zu machen, s.Abb.5. Am Markt sind mehrere anwendungsfertige Bauprodukte wie Gipsbauplatten- und Lehmbauplatten, Putze oder Estriche mit Micronal® PCM regulär verfügbar. Die Software und die Produkte, die Micronal® PCM nutzen, stellen eine neue Möglichkeit zur energieeffizienten Realisierung von sommerlichem Wärmeschutz in modernen Gebäuden bei Neubau und Modernisierung dar.

**Beispiel 2: Aktive Klimatisierung gegenüber passiver PCM-Nutzung im Leichtbau**

Wird hingegen eine PCM-Lösung eingesetzt, um eine aktive Klimatisierung zu vermeiden, sind erhebliche Einsparungen auf Seiten der Technik und im Gebäudebetrieb gegeben. Dann lässt sich auch die Wirtschaftlichkeit bestimmen. Hierzu sind die Anfangsinvestitionen, die Wartungskosten einer technischen Anlage, die herrschenden Zinsniveaus und die vermutete Energiepreisentwicklung mit einzubeziehen. Im gewählten Beispiel der Schule wird nun die passive PCM-Lösung gegen eine aktiv betriebene Kühlösung mit Splitgeräten gestellt. Dabei wurde darauf geachtet, dass sich in etwa derselbe thermische Komfort einstellt. Das thermische Verhalten von Leichtbau und PCM-Variante ist in der Winterperiode nach wie vor gleich, Abb.3. In den Sommermonaten, wenn die Kühlung läuft, werden die hohen Temperaturen des passiven Beispiels effektiv unterbunden. Nur an 2-3 Tagen ist die Leistungsfähigkeit von PCM und aktiver Kühlung kurzzeitig überschritten. Die aktive Kühlung benötigt natürlich elektrische Energie für ihre Arbeit. Das Energiediagramm in kWh/Monat für diesen Raum ist in Abb.4 aufgetragen. Der Latentwärmespeicher reduziert sowohl den Energiebedarf für Heizung, da er überschüssige

Der thermische Komfort beider Lösungen ist vergleichbar. Der Zeitraum, in dem der Gebäudeteil innerhalb des Komfortbereichs von 21°C bis 26°C liegt, ist mit ca. 7000h vergleichbar und mit ca. 80% des Jahres insgesamt sehr lang. Überhitzung > 26°C Innenraumtemperatur findet nur an 23 bzw. 56 Stunden im Jahr statt. Geht man davon aus, dass diese Tage zudem noch in den Ferien liegen, kann ein gutes Raumklima durchaus auch auf passive Art und Weise in Schulen bereitgestellt werden. Durch das Software-Tool PCMexpress erhalten Investoren, Architekten und Planer die Möglichkeit konkrete Aussagen zur Wirtschaftlichkeit einer PCM-Lösung zu ermitteln. PCMexpress errechnet aus den anzugebenden Investitionen dynamisch die zu erwartende Amortisationszeit, die Rendite und den Kapitalwert der beiden Varianten im Vergleich.

Entsprechend den Angaben des Planers in Bezug auf Erstinvestition, herrschende Zinsniveaus, Wartungskosten und erwartete Energiepreissteigerung ergibt sich dann die projektspezifische Wirtschaftlichkeit. Insbesondere die Nutzungsdauer der verwendeten kostenintensiven Kühltechnik mit danach fälliger Ersatzinvestition und die laufenden Wartungskosten haben oft einen höheren Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit während der Nutzungsdauer des

*Autor*  
 Dipl.- Ing. (FH) Marco Schmidt,  
 Energieberater  
 Business Management Micronal PCM  
 BASF SE, Ludwigshafen  
 Titelfoto: Scheicher.Wand, Adnet/Österreich  
 Grafiken 1-4: BASF, Grafik 5: Rigips/Schweiz  
[www.micronal.de](http://www.micronal.de)  
[www.rigips.ch](http://www.rigips.ch)

*Quellen:*  
 Harald Mehling, Luisa F. Cabeza "Heat and cold storage with PCM", ISBN: 3540685561  
 BINE Informationsdienst, Themeninfo IV/02, Latentwärmespeicher, ISSN: 1610-8302  
 Statusseminar „Thermische Energiespeicherung“, 2.-3.11.06, Freiburg, Tagungsband S.171-179  
 HOAI.de, HOAI 2009 Volltext, [http://www.hoai.de/online/HOAI\\_2009/HOAI\\_2009.php](http://www.hoai.de/online/HOAI_2009/HOAI_2009.php)