

PCM im Gebäude: aktiv oder passiv ?

Studie zur Wirksamkeit von PCM-Systemen im Jahresgang als Entscheidungshilfe für technische Planung



Dipl.-Ing. (FH)
Hannes Rosenbaum,
wissenschaftlich-
technischer
Mitarbeiter,
ILK Dresden gGmbH

Der Einsatz thermischer Speicher mit Phasenwechselmaterialien (PCM) in der Gebäudetechnik gilt als wichtige Möglichkeit, Energie sowohl bedarfsgerecht zu speichern als auch rationell zu nutzen. Dabei werden diese in die Baukonstruktion integriert (passives PCM-System) und sollen so das Speicherverhalten der Gebäude verändern, um den Anstieg der Raumtemperatur zu verlangsamen. Parallel dazu entstehen PCM-Anwendungen in Lüftungs- und Klimageräten (aktives PCM-System). Trotz zunehmender Anwendung besteht immer wieder Diskussionsbedarf, denn alle PCM-Systeme setzen voraus, dass in den Nichtnutzungszeiten eine Aktivierung des PCM durch Bereitstellung eines Temperaturniveaus unterhalb des Schmelzpunktes gelingt. Wirtschaftlich

sinnvoll kann der Einsatz von PCM in der Gebäudetechnik nur sein, wenn daraus ein Mindestmaß an energetischem Einsparpotenzial resultiert. Wie hoch dieses energetische Potenzial ausfällt, ob es sich überhaupt nutzen lässt oder ob nicht doch alternative bauliche Maßnahmen denselben energetischen Effekt erzielen, hängt jedoch nicht vom PCM-System allein ab, sondern auch von äußeren Randbedingungen. Planer müssen sich deshalb die folgenden Fragen stellen:

- Welche PCM-Materialien und -Systeme stehen zur Verfügung und sind für die Anwendung geeignet?
- Wie wirken sich PCM-Systeme im Jahresgang auf Lastverläufe und folglich Energieeffizienz und Wirtschaftlichkeit der Raumtemperierung (Heizen/Kühlen) aus und welchen Einfluss haben dabei Witterung, Last-/Nutzerprofil, Raumgröße und -belegung und Gebäudehülle?
- Ist die angestrebte Aktivierung der PCM in Nichtnutzungszeiten immer möglich?
- Sind PCM in RLT-Geräten mehr oder weniger geeignet als PCM in Raumumschließungsflächen oder Gebäudehüllen?
- Welchen energetischen und wirtschaftlichen Vorteil besitzen PCM gegenüber konventionellen oder alternativen Systemen?

- Ist eine Nachrüstung von PCM-Systemen in Bestandsgebäude oder -anlagen immer sinnvoll?
- Wie steht es um Langzeitstabilität und Materialverträglichkeit von PCM?

Das ILK Dresden führte im Auftrag der TROX-Stiftung eine wissenschaftliche Fallstudie zum Einsatz von PCM im Zusammenhang mit der Raumtemperierung durch. Ziel dieser Studie war es, eine Entscheidungshilfe für Planungsprozesse zu schaffen. Die Studie behandelt keine Spezialanwendungen, wie beispielsweise pumpfähiges PCM (PCM-Slurries) oder Anwendungen in Rückkühlwerken, Kaltwasserspeichern und Industrieanlagen.

Dynamische thermische Gebäudesimulation

Fakt ist, dass durch das Eigenschaftsprofil der PCM-Materialien energetisches Potenzial im Sinne geringerer Nutzenergiebedarfswerte entstehen kann – entweder, weil die thermische Trägheit eines Raumes erhöht und der Raumtemperaturverlauf dadurch gedämpft wird (z.B. PCM in statischen Bauteilen) und/oder weil der Tag-Nacht-Verlauf der Außentemperatur gedämpft wird (z.B. PCM in RLT-Geräten). Zweckmäßig ist in je-

Tabelle 1:
Raumgeometrie,
Nutzungsprofil
und innere Lasten
(nach DIN V 18599-10)
sowie Sollwerte

	Einzelbüro	Besprechung	Klassenzimmer	Hörsaal
Fläche, mittlere Belegung	14 m ² ; 1 Person	45 m ² , 15 Personen	90 m ² , 30 Personen	500 m ² , 500 Pers.
Nutzungs-/ Belegungszeit	Mo–Fr 7 bis 18 Uhr		250d/a Mo–Fr 8 bis 15 Uhr	250d/a Mo–Fr 8 bis 18 Uhr
Betriebszeit Anlagen	werktags 5 bis 18 Uhr		werktags (außer Ferien) 6 bis 15 Uhr	werktags (außer Ferien) 6 bis 18 Uhr
Hygienischer Luftwechsel	25,2m ³ /h pro Person zuzüglich 2,25 m ³ /hm ² angesetzt (bei Belegung)			
Beleuchtung + Arbeitshilfen	15 W/m ² + 150 W		15 W/m ² + 360 W	15 W/m ² + 2000 W
Sonstige Vorgaben	Gleichzeitigkeit der Einzellasten berücksichtigt, Strahlungsabhängige Ansteuerung für Kunstlicht und Verschattung			
Nachbarräume	identisch			
Temperatursollwert	<ul style="list-style-type: none"> • Innerhalb der RLT- Betriebszeit: 20 °C < t_{Raum} < 26 °C • Außerhalb der RLT-Betriebszeit: frei schwingend, jedoch 15 °C < t_{Raum} < 30 °C 			
OPTION: Aktives PCM (marktübliche Masse 30 kg je 150 m ³ /h Nennluftmenge)	Schmelzbereich zwischen 25 und 26 °C, Wärmekapazität bei Phasenwechseltemperatur 241,6 kJ/kg, 3,05 kJ/(kg K) unterhalb und 3,31 kJ/(kg K) oberhalb des Schmelzbereiches Anordnung des PCM in 4 mm dicken Stacks (angelehnt an PCM-dotierte Graphitplatten)			
	12 kg	96 kg	192 kg	2740 kg
Strömungsquerschnitt	Dezentrale RLT-Geräte L/B-Verhältnis Stack-Anströmung 0,1...0,5		Zentrales Klimagerät L/B-Verhältnis Stack-Anströmung ca. 1,3	



	Gebäudehülle Neubau	Gebäudehülle sanierter Altbau
Außenwand	U-Wert = 0,200 W/m²K Kalkzementputz, Stahlbeton, Mineralwolle WL 040, Aluminiumblech Windschutz, Ruhende Luftschicht, Glas (Verblendung)	U-Wert = 0,620 W/m²K Kalkzementputz, Vollziegel Mauerwerk, Wärmedämmputz WL 050
Geschossdecke	U-Wert = 0,625 W/m²K Gipskarton (Abhangdecke), ruhende Luftschicht, Stahlbeton, PS- Wärmedämmung (040), Zementestrich	
Innenwand	U-Wert = 0,777 W/m²K Gasbetonziegel, beidseitig Kalkzementputz	U-Wert = 1,385 W/m²K Vollziegel-Mauerwerk, beidseitig Kalkzementputz
Fenster (Südausrichtung)	Sonnenschutzverglasung (g = 0,298) 15% Rahmenanteil, 0,8 Außenverschattung U-Wert = 1,3 W/m²K, 25% der Außenwand	Wärmeschutzverglasung (g = 0,589) 15% Rahmenanteil, 0,5 Innenverschattung U-Wert = 1,4 W/m²K, 25% der Außenwand
Infiltration	0,2-facher Luftwechsel	0,4-facher Luftwechsel
OPTION Passives PCM	<i>Alle raumzugewandten Putzschichten (Außenwand, Decke, Innenwand) werden durch 30 mm PCM-Gipsputz Maxit Clima mit PCM-Gehalt von 20 % ersetzt: (Schmelzbereich 23...26°C, Wärmekapazität bei Phasenwechseltemperatur 18 kJ/kg, sonst 1 kJ/kgK)</i>	

Tabelle 2: Gebäudemodell für dynamische Gebäudesimulation

dem Fall, wenn Temperatur- bzw. Lastspitzen verringert und nach Möglichkeit auf einen Zeitraum außerhalb der Nutzungszeit verschoben werden.

Im Rahmen der wissenschaftlichen Studie wurde mit TRNSYS das thermische Verhalten von Typräumen (Einzelbüro, Besprechungsraum, Klassenraum und Hörsaal) im Jahresgang simuliert. Im Fokus standen die Jahressgänge des Außenluftzustandes, der frei schwingenden Raumtemperatur (ohne Heizen/Kühlen), der Raumluftzustände bei Temperierung (ohne Feuchtebehandlung) sowie Heiz- und Kühlleistung zur Einhaltung der genannten Sollwerte (Lastverlauf). Berechnet wurde zudem der Jahresnutzenergiebedarf Heizen/Kühlen. Während jeweils die Raumgeometrien, das Belegungs- und Nutzungsprofil, der hygienische Mindestluftwechsel und innere Lasten nach DIN V 18599-10 bzw. DIN EN 15251 beibehalten wurden (Tabelle 1), erfolgten mehrere Simulationsrechnungen unter Variation äußerer Randbedingungen, des Standortes (Freiburg, Hamburg)

und der Gebäudehülle (sanierter Altbau, Neubau nach Tabelle 2). Überdies wird jeder Raum je einmal ohne PCM-System, mit passivem PCM-System (Wände und Decken) und mit aktivem PCM-System (PCM im RLT-Gerät) ausgestattet.

Das Modell setzt eine homogene Temperaturverteilung im Raum voraus.

Modellierung der PCM-Systeme

Die Modellierung und Berechnung der passiven PCM-Bauteile (PCM-dotierter Putz nach Tabelle 2) erfolgt mit dem an der TU Graz entwickelten TRNSYS - Type 241. Er berücksichtigt die Veränderungen des Wärmetransports in/durch das PCM-dotierte Material in Abhängigkeit von der Temperatur im Bauteil und an seiner Oberfläche.¹

Die Ermittlung des energetischen Potenzials aktiver PCM-Systeme (PCM in RLT-Geräten) basiert auf der Bestimmung der Nutzenergiebedarfswerte Heizen/Kühlen unter „korrigierten Außenluftzuständen“. Für diese

„Korrektur“ sind die PCM-Eigenschaften und der Betriebszustand des RLT-Gerätes verantwortlich. Obgleich der Luftwechsel in Höhe des hygienischen Mindestluftwechsels unverändert bleibt, werden vier für das PCM relevante Betriebszustände definiert (Tabelle 3), die eine bedarfsgerechte Aktivierung (z. B. nachts) und Deaktivierung (Bypassbetrieb an kalten Tagen) des PCM ermöglichen. Für die Bestimmung der dynamischen PCM-Zustandsgrößen (Temperatur, gespeicherte Energie) wird der an der TU Graz entwickelte Type 840 verwendet. Die Bestimmung der korrigierten Außenluftzustände in Abhängigkeit vom Betriebszustand erfolgt durch die Vernetzung der TRNSYS - Types 840 (PCM-Speicher), 91 (Wärmeübertrager) und 33 (Luftzustandsgrößen) mit dem Gebäudemodell (Type 56) und den Wetterdaten. Die Berechnung der zeitlich veränderlichen PCM-Zustandsgrößen erfordert überdies die geometrische Modellierung in Type 840, die sich an üblichen Gerätebauformen orientiert.

RLT-Betriebszeit nach DIN V 18599-10		Außerhalb der Betriebszeit nach DIN V 18599-10	
<i>PCM als potentieller Energiespeicher</i>	<i>Bypassbetrieb ohne PCM-Beaufschlagung</i>	<i>Aktivierung des PCM</i>	<i>Außer Betrieb</i>
wenn $t_{\text{außen}} \geq 5 \text{ °C}$	wenn $t_{\text{außen}} < 5 \text{ °C}$	wenn $t_{\text{PCM}} > t_{\text{außen}}$ und $t_{\text{PCM}} > t_{\text{Raum}}$	wenn $t_{\text{PCM}} \leq t_{\text{außen}}$ oder $t_{\text{PCM}} \leq t_{\text{Raum}}$
Außenluft passiert auf dem Weg in den Raum das PCM	Außenluft umgeht auf dem Weg in den Raum das PCM	Außenluft passiert nur PCM, Raum nicht beaufschlagt	kein Luftstrom
Luft eintrag in den Raum durch Infiltration und hygienischen Mindestluftwechsel mit:		Luft eintrag in den Raum durch Infiltration mit:	
$t_{\text{korrigiert}} = \{t_{\text{PCM}} \dots t_{\text{außen}}\}$	$t_{\text{korrigiert}} = t_{\text{außen}}$	$t_{\text{Luft, inf.}} = t_{\text{außen}}$	$t_{\text{Luft, inf.}} = t_{\text{außen}}$

Tabelle 3: Betriebszustände des aktiven PCM-Systems im TRNSYS-Modell

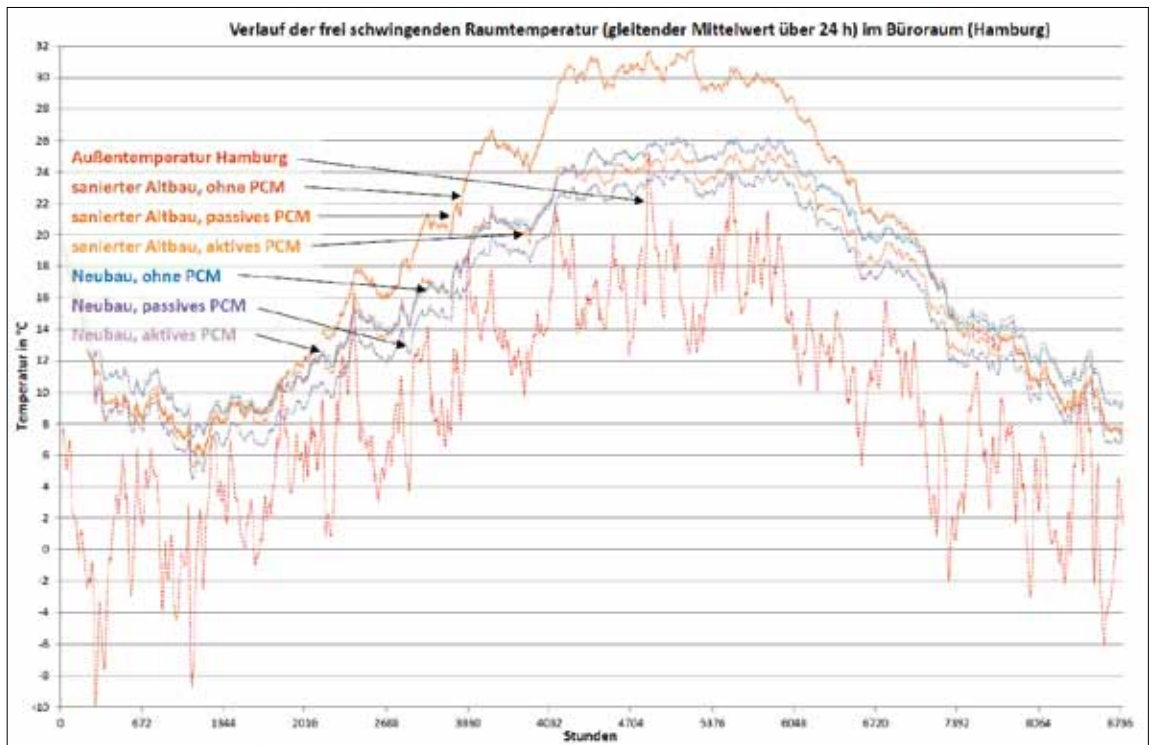


Abbildung 1:
Einfluss des PCM
auf thermische Trägheit
des Gebäudes
(Beispiel Büroraum)
Grafik: ILK Dresden

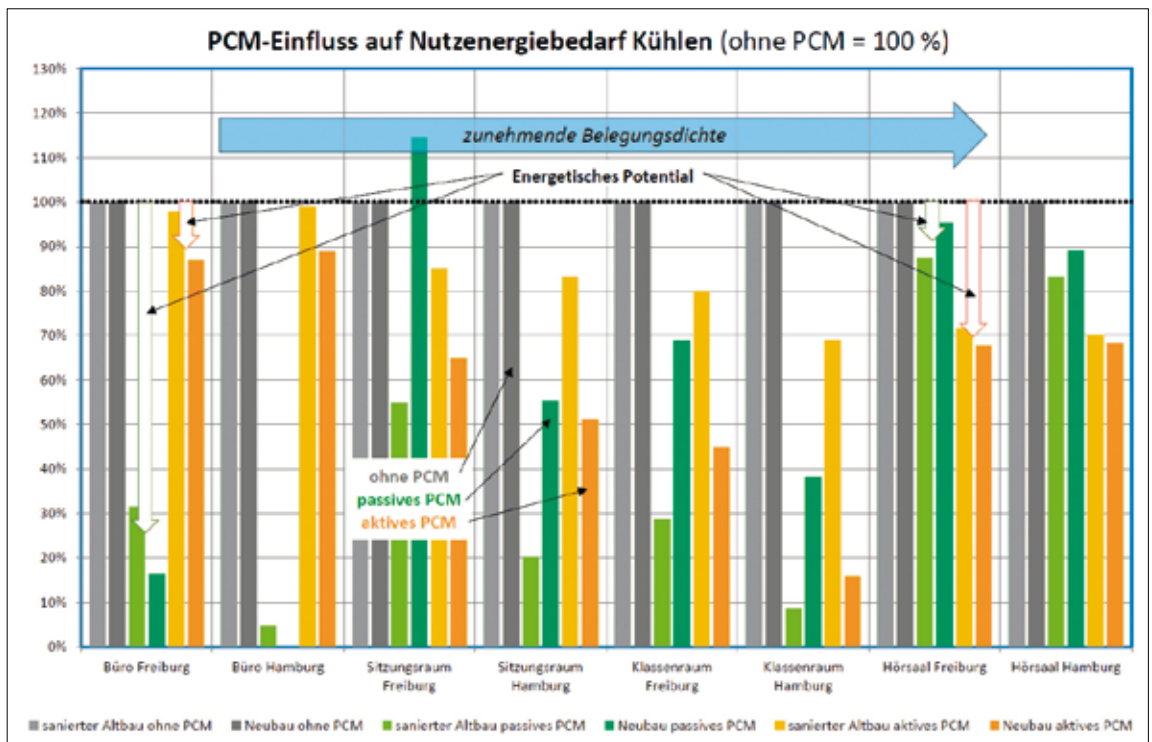


Abbildung 2:
Raumnutzungs-
abhängigkeit
der Nutzenergiebedarfs-
werte durch aktive und
passive PCM-Systeme
Grafik: ILK Dresden

Simulationsergebnisse

Der Einsatz von PCM in statischen Bauteilen erhöht die thermische Trägheit eines Gebäudes. Die dämpfende Wirkung auf kurzfristige Schwankungen des Temperaturverlaufs im Raum wirkt sich auch auf den Jahresgang aus. Besonders prägnant ist dieser

Effekt im Fall des Büroraums im sanierten Altbau (Abbildung 1). Das passive PCM erhöht die thermische Trägheit des Raumes so sehr, dass der Raumtemperaturspitzenwert hier etwa 5 K niedriger ist als ohne PCM. Auch am Büro-Neubau ist diese Dämpfung des Temperaturverlaufes deutlich erkennbar.

Mit steigendem Belegungsgrad eines Raumes und folglich steigendem Mindestluftwechsel sinkt dieser Einfluss passiver-PCM-Systeme auf die frei schwingende Raumtemperatur. Aktive PCM-Systeme dämpfen die witterungsbedingten Schwankungen der Außenluft im RLT-Gerät. Die dämpfende Wirkung



auf die jeweiligen Temperaturkurven bewirkt eine Veränderung der maximalen Heiz- bzw. Kühllasten sowie der Nutzenergiebedarfswerte (Heizen/Kühlen). Mit diesen Kennwerten lassen sich die energetischen Potenziale der PCM-Systeme vergleichen. Mit dem Wissen um die Energieeffizienz der Anlagentechnik zur Wärme- und Kälteversorgung der Räume sind darüber hinaus Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen möglich.

Aktives oder passives PCM nach Raumnutzung

Die Raumnutzung (mit dem wesentlichen Unterscheidungsmerkmal der Belegungs-

dichte) ist im Ergebnis der Studie ein wesentlicher Faktor dafür, ob sich PCM in RLT-Geräten besser eignen oder PCM in statischen Bauteilen wirksamer sind. So verfügt das Einzelbüro gegenüber dem Hörsaal über eine wesentlich größere Raumumschließungsfläche pro Person im Raum. Der Hörsaal wiederum ist gegenüber dem Büroraum durch eine personenbedingt wesentlich höhere Luftwechselrate gekennzeichnet. Im Büroraum überwiegen, bedingt durch Transmissionswärmeverluste und solare Lasten, die äußeren Lasten - im Hörsaal dagegen die inneren Lasten durch Personen. Im Fall des Hörsaals überwiegt daher tendenziell

die Wirksamkeit des PCM im RLT-Gerät - während sich im Einzelbüro eher das PCM in den Raumumschließungsflächen als vorteilhaft herausstellt. Besonders deutlich ist der Zusammenhang im Kühlfall. So kann im Typraum des Einzelbüros (Neubau, Hamburg) durch PCM-dotierte Bauteile sogar auf eine Kühlung verzichtet werden - nicht jedoch durch PCM in RLT-Geräten.

Heizlast und Nutz-Heizenergiebedarf werden durch aktive PCM nicht beeinflusst, aufgrund der in der Simulation zugrundeliegenden Bypassregelung bei Außentemperaturen unter 5 °C. Ganz anders verhalten sich die Typräume mit PCM-dotierten Bau-

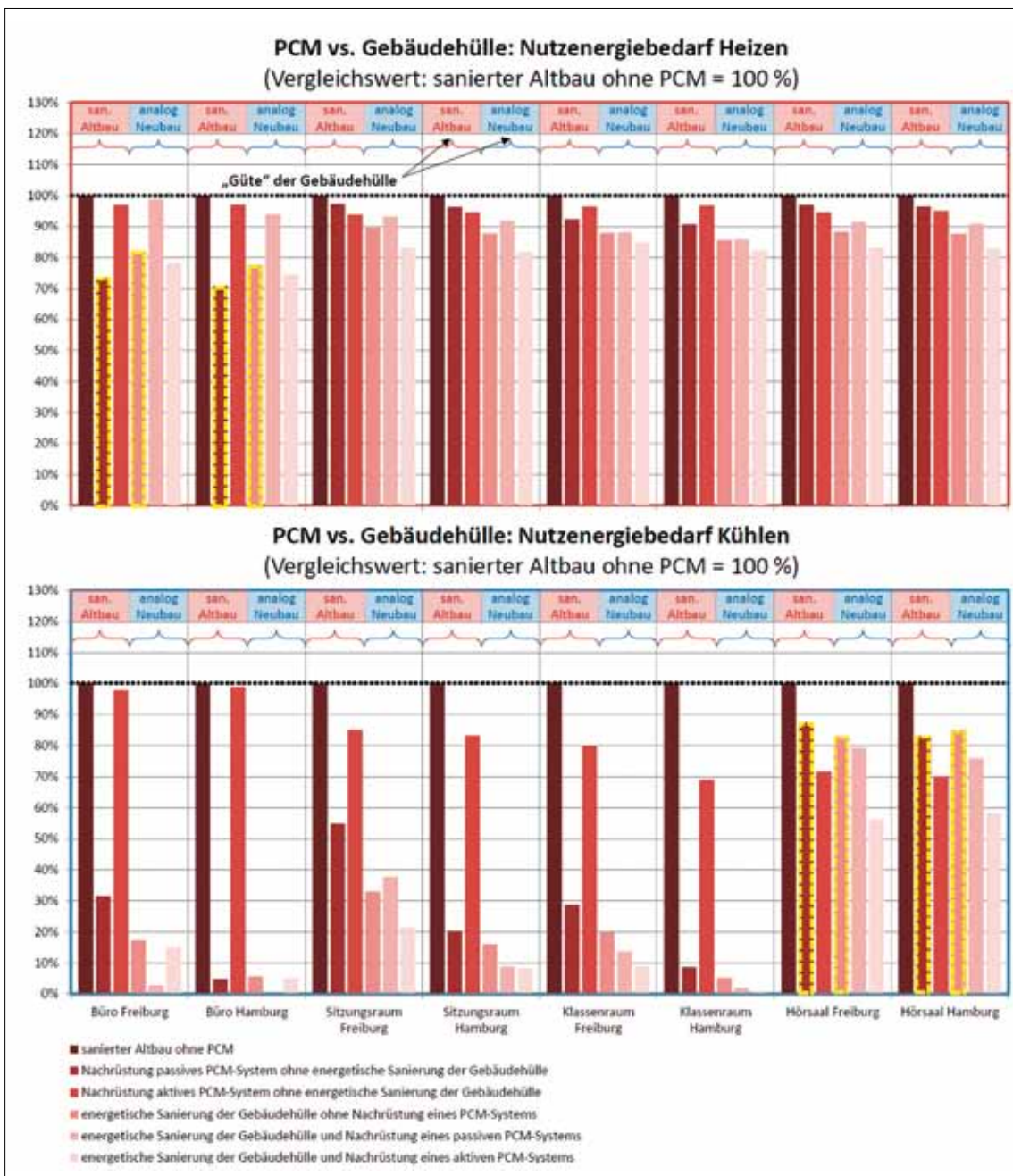


Abbildung 3: Nachrüstung von PCM-Systemen vs. energetischer Optimierung der Gebäudehülle: Gegenüberstellung Nutzenergiebedarf (Heizen und Kühlen) Grafik: ILK Dresden



teilen und geringer Personenbelegung (Einzelbüros): Da es keine Bypassregelung um das PCM gibt, wird die Wärmekapazität der Gebäudehülle erhöht. Räume im Altbau kühlen in der Nichtnutzungszeit langsamer aus und der Aufheizvorgang erfordert vergleichsweise geringere Leistungen – die Wirkung der PCM-dotierten Bauteile ist eher positiv. Da der Nutzenergiebedarf „Heizen“ im Neubau jedoch überwiegend zur Luftaufbereitung anfällt, ist beim Aufheizvorgang nach der Nichtnutzungszeit die erhöhte Trägheit der Gebäudehülle eher hinderlich. Bedingt durch den ohnehin sehr niedrigen Transmissionswärmeverlust im Neubau fällt der Nutzenergie-Mehrbedarf zum Beheizen des Büroraumes wesentlich niedriger aus als die Einspareffekte auf Seiten der Raumkühlung.

Tendenziell eignen sich demnach passive PCM-Systeme besser für Räume mit geringer Belegungsdichte, beispielsweise für Büroräume. Aktive PCM-Systeme sind bei hoher Belegungsdichte den passiven Systemen tendenziell vorzuziehen (Abbildung 2), beispielsweise für Versammlungsräume. Gleiches gilt, wenn in Räumen pro Person nur eine geringe Raumschließungsfläche zur Verfügung steht: Großraumbüros, Schulungsräume, Klassenzimmer usw.

Aktives oder passives PCM nach Gebäudehülle

Über den Einfluss der Belegungsdichte hinaus weisen die durch PCM-Systeme erreichbaren Einsparpotenziale Unterschiede in Abhängigkeit von der Gebäudehülle auf. Sortiert nach der Gebäudehülle wird deutlich, dass im sanierten Altbau tendenziell PCM-dotierte Bauteile prozentual höhere energetische Einsparpotenziale erzielen als RLT-Geräte mit PCM – in den Grenzen des Einflusses der Belegungsdichte. Im Neubau erzielen wiederum aktive PCM (RLT-Geräte mit PCM) tendenziell höhere Einsparpotenziale.

PCM-System und/oder energieoptimierte Gebäudehülle

Die Auswahl der Simulationsrandbedingungen mit zwei verschiedenen Gebäudehüllen ermöglicht beispielhaft die vergleichende Gegenüberstellung einer energetischen Optimierung der Gebäudehülle gegenüber dem Einsatz eines PCM-Systems. Bezugsgrößen sind je Standort und je Nutzungsart die Lastspitzen und Nutzenergiebedarfswerte der Typräume im sanierten Altbau ohne PCM.

Unter den Randbedingungen der Simulation können die Einspareffekte durch Nachrüstung PCM-dotierter Bauteile im Altbau in Einzelfällen durchaus den signifikanten

Einsparpotenzialen einer energetischen Optimierung der Gebäudehülle entsprechen – auch unabhängig vom Standort (Abbildung 3). Beispiele dafür sind das Einzelbüro (Heizlast und Nutz-Heizenergiebedarf) und der Hörsaal (Nutzenergiebedarf Kühlen).

Die Wirtschaftlichkeit einer Nachrüstung von PCM-Systemen in Ergänzung einer energetischen Optimierung der Gebäudehülle ist unter Berücksichtigung der raumklimatischen Anforderungen für jeden Einzelfall zu prüfen, da die vom PCM-System zusätzlich eingebrachten absoluten Einsparungen (insbesondere Spitzenlast und Nutzenergiebedarf Heizen) bei auf „Neubaustandard“ optimierter Gebäudehülle im Vergleich gering ausfallen.

Aktives oder passives PCM nach Standorteinfluss

Die Simulationsergebnisse zum Vergleich der Einsparpotenziale durch verschiedene PCM-Systeme auf den Energiebedarf eines Gebäudes in Abhängigkeit von Raumnutzung und Gebäudehülle unterscheiden sich zwischen den simulierten Standorten (Hamburg und Freiburg) nur in den Zahlenwerten – nicht jedoch in der Tendenz. Die aus energetischer Sicht getroffenen Aussagen zum bevorzugten Einsatz von PCM in RLT-Geräten oder in statischen Bauteilen stimmen für beide zugrunde gelegten klimatischen Standorte überein.

Standortunterschiede werden sich dennoch deutlich bemerkbar machen, wenn es um Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen geht. Die entstehenden absoluten Einspareffekte hängen sehr stark von den klimatischen Randbedingungen eines Standortes, dem Jahresgang der Außenluftparameter, ab. Allein durch die klimatischen Unterschiede resultieren bei der Temperierung ein und desselben Raumes (gleiche Nutzung, gleiche Gebäudehülle, gleiches PCM-System) für jeden der Standorte unterschiedliche Amortisationszeiten. Wie das simulierte Beispiel des Einzelbüros im Neubau mit Standort in Hamburg zeigt, kann hier im besten Fall sogar auf aktive Kühlsysteme verzichtet werden – bedingt durch die Einsparpotenziale PCM-dotierter Bauteile. Trotz Wirkung der PCM-Materialien kann derselbe Raum mit Standort in Freiburg zur Begrenzung der Raumtemperatur auf maximal 26 °C nicht auf eine Anlage zur Raumkühlung verzichten.

Fazit: PCM – ja oder nein

In Analogie zu den simulierten Typräumen ist der Einsatz von PCM aus energetischer Sicht generell sinnvoll. Bezogen auf die Va-

riante ohne PCM resultiert aus der PCM-Anwendung in der Regel eine Reduzierung des Nutzenergiebedarfs Heizen/Kühlen. In welcher Höhe der Endenergiebedarf eines Raumes reduziert werden kann, hängt erheblich von der Güte der Gebäudehülle, aber auch von der Energieeffizienz der Anlage zum Kühlen/Heizen des Raumes ab. Gleiches gilt für die Wirtschaftlichkeit des PCMEinsatzes.

Im Rahmen konkreter Planungsaufgaben sind grundsätzlich vertiefende Einzelfalluntersuchungen unter Berücksichtigung von Gebäudehülle, Raumnutzungs- und Lastprofilen sowie Energieeffizienz der Anlagentechnik zu empfehlen. Nur so können die Endenergieeinsparung durch das PCM-System sowie Energiekosten und Investitionskosten für das PCM-System einschließlich der übrigen Anlagentechnik zur Raumklimatisierung und die Wirtschaftlichkeit insgesamt bewertet werden. Nicht zu vernachlässigen ist dabei der Einfluss der PCM-Systeme auf die Betriebszeiten der gebäudetechnischen Anlagen und deren Eigenenergiebedarf. So resultiert durch den PCM-Einsatz durchaus eine Verringerung der Betriebszeit von Anlagen zur Raumkühlung oder -heizung. Gleichzeitig bedarf es zur Aktivierung des PCM-Materials im RLT-Gerät oder im PCM-dotierten Bauteil möglicherweise einer nachtaktiven (mechanischen) Lüftung.

Wenngleich feststeht, dass der absolute Wert der Endenergieeinsparung allein durch den Einsatz eines PCM-Systems stark von der Gebäudehülle und dem Standort abhängt und für den Neubau mit energetisch hochwertiger Gebäudehülle wesentlich niedriger ausfällt als für den sanierten Altbau, lassen sich die aus der Studie abgeleiteten Tendenzen dennoch nicht ohne Einzelfallprüfung verallgemeinern.

Neben den in der Studie berücksichtigten Einflussgrößen sind im Rahmen jeder Einzelfallprüfung weitere Parameter einzubeziehen. Dazu gehören der Flächenanteil und die Dicke der PCM-dotierten statischen Bauteile im Raum, die Dicke und die Anzahl der PCM-Stacks im RLT-Gerät sowie die Regelungsstrategien zum Ein- und Auskoppeln von Energiemengen in bzw. aus dem PCM – insbesondere der Systemlösung zur nächtlichen Aktivierung der PCM. ◀

¹ MICRONAL: Technische Daten von National Gypsum®. In: Katalog für Architekten und Planer 2010, 2009 und SCHRANZHOFER, H.; PUSCHNIG, P.; HEINZ, A.; STREICHER, W.: Validation of a Trnsys simulation model for PCM energy storages and PCM wall construction elements: Institute of Thermal Engineering, Graz University of Technology, 2006.

IKZ[®] HAUSTECHNIK

Das neue
Sonderheft!



**Status Quo und Ausblick • Richtlinien • Kühllastberechnung
• Planung • Erzeugung • Anwendung • Kosten und Effizienz**

Das Sonderheft zum Thema Gebäudekühlung und Raumklimatisierung 2016 sollte in keinem Haustechnik- und Fachplanungsbetrieb fehlen. 108 Seiten stark! Sichern Sie sich jetzt Ihr persönliches Exemplar!

Einzelpreis: € 10,- inkl. MwSt. inkl. Versand

Heftbestellungen bitte schriftlich an: leserservice@strobel-verlag.de

Kontakt für Rückfragen: Reinhard Heite, Tel. 02931 8900-50



STROBEL VERLAG GmbH & Co KG
Zur Feldmühle 9-11
59821 Arnsberg
Tel. 02931 8900 0
Fax 02931 8900 38
www.strobel-verlag.de

Besser informiert.