

Kühlung von Gebäuden ohne Kältemaschine

PCM-Pilotprojekt dokumentiert neue Wege für die Raumlufttechnik

Prof. Dr.-Ing. Rüdiger Detzer, Leiter Forschung und Entwicklung

Dr.-Ing. Bruno Lüdemann, Forschung und Entwicklung

Wärmespeicherprozesse in Gebäuden sind geeignet, in der warmen Jahreszeit den Energieeinsatz zur Kälteerzeugung zu reduzieren. Als Speichermodule dienen im Allgemeinen die Baumassen des Gebäudes, insbesondere die Betondecken, die mit integrierten Wassersystemen zur Entspeicherung, vornehmlich in den Nachtstunden, eingesetzt werden (Betonkernaktivierung). Nachteilig dabei ist, dass es nahezu keine Regelbarkeit des Systems gibt, dass ein zusätzliches Wassernetz im Betonkörper des Gebäudes und eine ungünstige Raumakustik durch freiliegende Betonmassen entstehen.

ALLGEMEINES

Zur Speicherung von Wärme besonders geeignet sind Stoffe, die in einem Temperaturbereich des menschlichen Umfeldes einen Phasenübergang durchlaufen. Das bekannteste Medium dieser Art ist Wasser, das bei einer Temperatur von 0 °C vom flüssigen in einen festen Aggregatzustand übergeht (Eis). Dieser Phasenübergang erfolgt unter Wärmezug und ist dadurch reversierbar, dass dem Eis die „Schmelzwärme“ wieder zugeführt wird. Da die Schmelzwärme ein Vielfaches dessen beträgt, was zur Erwärmung von Wasser erforderlich ist, stellt der Phasenwechsel einen Wärmespeichervorgang dar. Dieser physikalische Prozess des Speicherns verläuft bei nahezu konstanter Temperatur. Die Temperatur von 0 °C ist jedoch zum Einspeichern von Wärme innerhalb von Räumen nicht geeignet.

PCM (Phase Change Materials) sind Stoffe, die den Umwandlungsprozess (fest/flüssig) bei höherer Temperatur durchlaufen. Es handelt sich dabei vorrangig um Paraffine und Salzhydrate. Durch die chemische Zusammensetzung der verwendeten Stoffe kann der Schmelzpunkt bzw. der Punkt des Phasenüberganges in bestimmten Grenzen gewählt werden (für Raumlufttechnische Anlagen z.B. 21 °C/22 °C). Hierdurch wird es möglich, im Tagesverlauf durch Sonneneinstrahlung entstehende Wärme und/oder im Raum anfallende Kühllasten abzuspeichern und den Raum zu kühlen.

Messungen im Labor zeigen, dass mit den heute vorliegenden Entwicklungen im Temperaturbereich von 20 °C bis 22 °C eine Speicherkapazität von ca. 30 Wh/kg durchaus erreichbar ist. Vergleicht man diesen Wert mit den

Wärmespeicherkapazitäten anderer Stoffe, z.B. mit denjenigen von Wasser $c = 1,63 \text{ Wh/kg K}$, Beton $c = 0,28 \text{ Wh/kg K}$ oder Sandstein $c = 0,20 \text{ Wh/kg K}$, so wird deutlich, dass sich PCM-Materialien sehr gut zur Speicherung von Wärme, insbesondere jedoch zur Speicherung von „Kälte“ eignen, da der Phasen-Umwandlungsprozess bei geringer Temperaturänderung vollzogen wird.

Die Lufttemperaturen in der Umgebung liegen in den Nachtstunden deutlich tiefer als am Tage. Deshalb kann in dieser Zeit die Wärme dem Material entzogen und an die Umgebung abgeführt werden, ohne dass Energie zur Kälteerzeugung aufgewendet werden muss. Diese physikalischen Voraussetzungen bieten völlig neue Wege in der Anlagentechnik zur TGA.

SPEICHERELEMENTE

Die Umwandlungsstoffe besitzen jedoch auch eine Reihe negativer Eigenschaften, die durch konstruktive Maßnahmen bei der Entwicklung und beim Bau von Wärmeübertragern beseitigt werden müssen. So ist z.B. die sehr schlechte Wärme-Leitfähigkeit der Stoffe ein zu lösendes Problem, um den Umwandlungsprozess in vollem Umfang ausnutzen zu können.

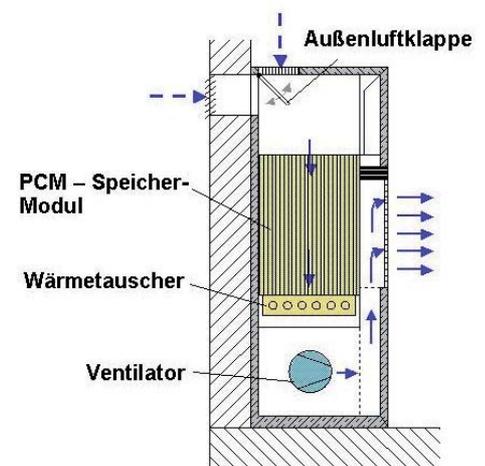


Abb. 1 PCM-Speichergerät



Abb. 2a PCM-Speichergerät, Innenansicht ohne Speicher, Abb. 2b Speichermodul mit 10 PCM-Platten

Die Conergy Wettervorhersage: Günstige Aussichten für Solarwärmeanlagen

Ob Neubau, Modernisierung, Sanierung oder Erweiterung – Solarwärme passt immer: Conergy bietet jetzt maßgeschneiderte Lösungen, um Häuser, Schwimmbäder oder Industrieanlagen zu versorgen. Für jeden Bedarf: Einzelne Produkte, komplette Systeme, Schulungen und Support – Conergy ist für Sie immer die richtige Adresse. Egal, ob es dabei um kostenlos erwärmtes

Wasser oder das Heizen mit der Sonne geht. Und das alles selbstverständlich in der Qualität, die Sie von einem der führenden Hersteller Europas im Bereich regenerativer Energien erwarten dürfen.

Mehr Informationen finden Sie unter www.conergy.de.



CONERGY

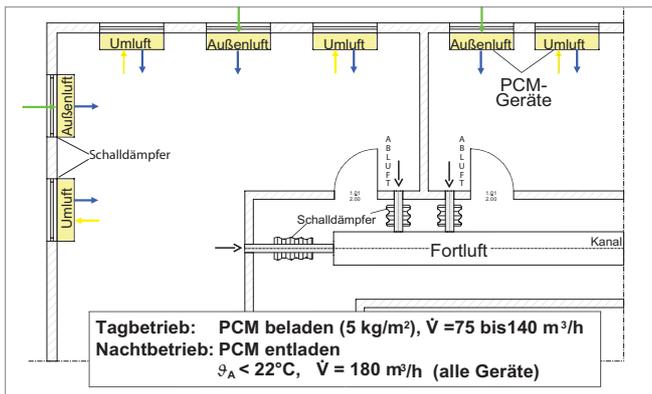


Abb.3 Dezentrales Lüftungssystem mit PCM-Speichergeräten

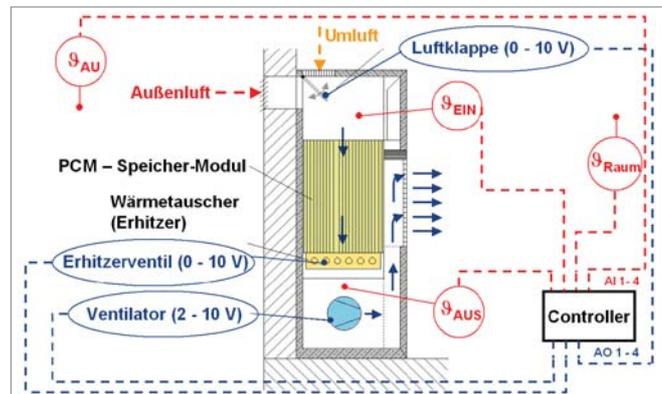


Abb.4 Regelungsschema PCM-Gerät

Im Rahmen des Forschungsvorhabens „LowEx – Heizen und Kühlen mit Niedrig-Exergie“, das vom Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit (BMWA) gefördert wird, untersuchte Imtech in seinem Labor in Zusammenarbeit mit der Firma Emco Salzhydrate und Paraffine als PCM-Materialien in Verbindung mit unterschiedlichen Trägerelementen. Ziel war es, Speicherelemente zu entwickeln, mit denen eine Raumkühlung vorgenommen werden und der Speicherprozess geregelt ablaufen kann. Als gegenwärtig am besten geeignet zeigte sich ein Verbundmaterial aus Paraffin und Graphit, das in Form von Plattenmaterial hergestellt werden kann und an der ZAE-Bayern ebenfalls im Rahmen eines Forschungsvorhabens entwickelt wurde. Paraffin ist der Stoff, der durch Phasenwechsel in dem gewünschten Temperaturbereich die Basis für den Wärmespeicher bildet, und die Graphitanteile sorgen für die erforderliche Wärmeleitfähigkeit. Diese Plattenelemente können dann als Pakete mit zwischen den Platten angeordneten luftdurchströmten Spalten zu Wärmeaustauscher-Elementen (Speichermodulen) zusammengefügt werden. Der Wärmeübergang von der Luft an das Plattenmaterial erfolgt durch eine erzwungene Konvektion, wobei der Wärmeübergangskoeffizient abhängig ist von der Luftgeschwindigkeit im Spalt sowie von der Strömungsform. Darüber hinaus ist die übertragene Wärme abhängig vom Temperaturabstand zwischen dem Plattenmaterial an der Oberfläche und der Lufttemperatur. Bei geringem Temperaturabstand sinkt die

Wärmeübertragungsleistung und steigt direkt proportional mit Vergrößerung des Temperaturunterschiedes. Dies stellt eine Art „Selbstregelungseffekt“ dar, da die Wärmespeicherung insbesondere bei großen Temperaturunterschieden benötigt wird.

LÜFTUNGSGERÄTE

Für den Einsatz in der Praxis wurden zunächst dezentrale im Raum angeordnete Lüftungsgeräte entwickelt, mit denen sowohl die Lüftererneuerung mit Außenluft als auch die Einspeicherung von im Raum freiwerdender Wärme realisiert werden kann. Die Geräte besitzen einen Ansaugkopf, der mit einer Umschaltklappe für Außenluft und Umluft ausgestattet ist. Zur Aufnahme von Wärme wird die von einem Ventilator angesaugte Luft über ein PCM-Speichermodul geleitet, das als Platten-Wärmetauscher aus PCM-/Graphitplatten gebildet ist. Der in seiner Drehzahl regelbare Ventilator drückt die Luft anschließend über einen Schichtluftauslass in den Raum. Um die umgewälzte Luft in der kalten Jahreszeit beheizen zu kön-

nen, ist unterhalb des Speichermoduls ein Rippenrohr-Wärmetauscher angeordnet, der an ein Warmwassernetz angeschlossen werden kann. Abb.1 zeigt ein PCM-Brüstungsgerät schematisch und Abb.2a bzw. Abb.2b eine Innenansicht sowie das Speichermodul, das in einem blechummantelten Einschubkasten als PCM-Stack ausgebildet ist, so dass das Speichermodul unabhängig vom Gerät ein- und ausgebaut werden kann – ein Vorteil, der insbesondere bei der Geräteinstallation zu nutzen ist. Die Geräte wurden in einer ersten Referenzanlage im neuen Imtech-Haus in Hamburg installiert. Das Anlagenkonzept sieht vor, dass jede Raumachse des Gebäudes mit einem Raumgerät ausgerüstet ist und einen Außenluftanschluss besitzt. Dabei wird jedes zweite Gerät zur Einbringung der erforderlichen Außenluft und die übrigen Geräte als Umluftgeräte zur Abführung der Kühllasten im Raum genutzt. Die Wahl der Nutzung erfolgt durch Einstellung der Außenluft-/Umluftklappe, die in eine entsprechend der Geräternutzung vorgesehene Endlage gebracht wird. In den Nachtstunden laufen alle Geräte als Außenluftgeräte, um die im PCM-Modul gespeicherte Wärme an die kühlere Nachtluft abzuführen. Dabei vollzieht der PCM-Anteil einen Phasenwechsel von flüssig nach fest. Die Entnahme von Abluft aus dem Raum erfolgt zentral über ein Abluft-Kanalnetz, das im Flur des Gebäudes installiert und mit einem in seiner Drehzahl regelbaren Abluftventilator verbunden ist, der die Abluft über Dach fördert. Die einzelnen Räume sind über Stichkanä-



Abb.5 Versuchsraum im Imtech-Labor mit temperierbarer Fassade (Maßstab 1:1)

le und Abluftgitter mit dem Abluftkanal verbunden. Das Anlagenkonzept der installierten Referenzanlage zeigt Abb.3. Zur Regelung ist jede Geräteeinheit mit einem Controller der Imtech-Tochter HSC ausgestattet. Somit kann jedes Gerät einzeln mit einem Regelalgorithmus versehen oder mehrere Geräte, zu einer Regelgruppe zusammengefasst, durch eine übergeordnete Regelstation angesteuert werden, Abb.4.

Jeder Controller ist mit vier analogen und vier digitalen Ein- und Ausgängen ausgestattet, wobei mehrere Geräte durch eine übergeordnete ProD-Station miteinander verbunden sind, die als Bedien- und Programmieroberfläche fungiert. Der Quellcode der Regelungssoftware kann über einen Server geändert werden. Für eine Darstellung der Ergebnisse können die aktuellen Daten abgefragt und visualisiert werden.

VERSUCHSTECHNISCHE ÜBERPRÜFUNG

Um die Geräteeigenschaften des Prototyps zu bestimmen und das oben beschriebene Gesamtkonzept zu prüfen und regelungstechnisch zu optimieren, wurde ein Versuchsraum im Maßstab 1:1 ausgerüstet. Der Versuchsraum bildet zwei Achsen eines Büros des Imtech-Hauses mit rund 16m² Grundfläche und 4,9m² Fensterfläche nach. Mit dem Versuchsaufbau können sowohl die dynamischen äußeren Lasten über eine temperierbare Fassade und die Nachbildung des zeitabhängigen Außenluftzustandes als auch die inneren Lasten (Personen, Licht, EDV etc.) als zeitabhängige Lastprofile nachgebildet werden. Entsprechend dem oben dargestellten Konzept wird der Raum mit einem Außenluftgerät und einem Umluftgerät ausgestattet. Der Aufbau des Versuchsraumes und die Anordnung der Geräte sind in Abb.5 zu sehen. Der Aufbau und die Geräteanordnung entsprechen den Bedingungen im neuen Imtech-Haus. Aufgrund der Gegebenheiten im Labor sind im Versuchsraum keine Speichermassen (Betondecke etc.) wirksam.

Es erfolgen:

- ▶ Messung des Geräteverhaltens (Leistung, Beladungs, Entladungszyklus) bei dynamischen Randbedingungen
- ▶ Überprüfung der Dimensionierung
- ▶ Erprobung von Regelstrategien für die Referenzanlage

Zur Überprüfung der Regelbarkeit der momentanen Wärmeaufnahme wurden die Sprungantworten der Geräteleistung bei Lufttrittstemperaturen von 31 °C und unterschiedlichen Luftströmen aufgenommen, Abb.6.

Durch Erhöhen des Luftstroms lässt sich die momentane Wärmeleistung nahezu direkt proportional erhöhen; jedoch ist der Speicher auch entsprechend schneller beladen.

Aus Abb.7 ist erkennbar, dass ein Luftstrom von 90m³/h Gerät nicht ausreicht, um den Entladeprozess in der zur Verfügung stehenden Nachtzeit abzuschließen. Nach einer Betriebszeit von 8 Stunden bei einer Außenlufttemperatur

Wer heizen und lüften kann, soll auch kühlen können.



airconomy®

Heizen – Lüften – Kühlen
in einem System



- jederzeit behagliches Raumklima
- kontrollierte Lüftung
- modulare Systemtechnik
- wirtschaftlich und zukunftssicher
- völlige Gestaltungsfreiheit

SCHÜTZ
ENERGY SYSTEMS

SCHÜTZ Energietechnik GmbH & Co. KG

Schützstraße 12 · D-56242 Selters

Telefon +49 (0) 26 26 / 77 - 12 10

Telefax +49 (0) 26 26 / 77 - 4 40

E-Mail airconomy@schuetz.net

www.schuetz.net

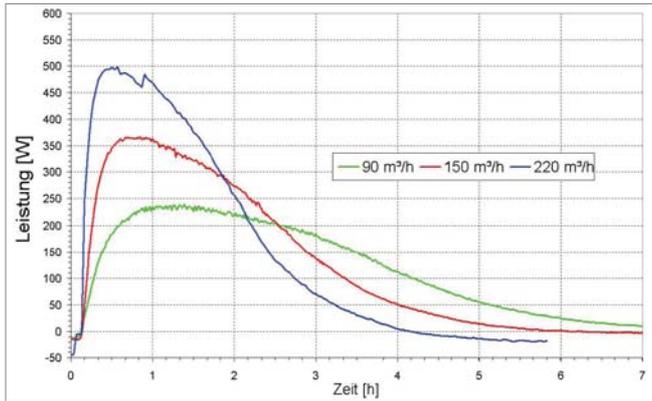


Abb.6 Wärmeaufnahme als Funktion der Beladungszeit bei verschiedenen Luftströmen (Lufttemperatur am Geräteeintritt 31 °C)

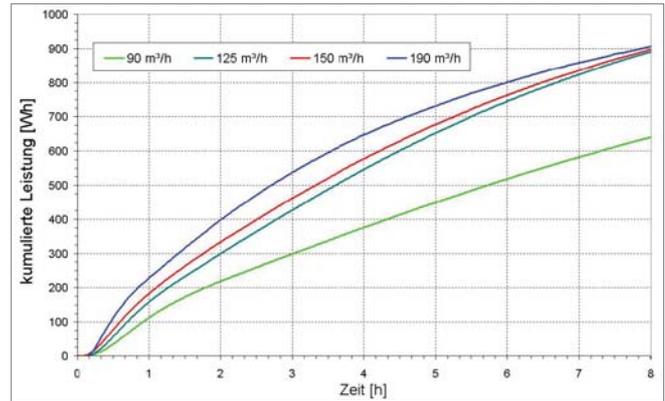


Abb.7 Speicherentladung als Funktion der Entladezeit bei verschiedenen Luftströmen (Lufttemperatur in das Gerät $t_A = 17\text{ °C}$)

von 17 °C ist der Entladeprozess nur zu ca. 60 % abgeschlossen. Ausreichende Entladezeiten werden bei Luftströmen erreicht, die größer sind als 125 m³/h Gerät. Für das vorliegende Projekt wurde ein Luftvolumenstrom zur Entladung in den Nachtstunden von 180 m³/h Gerät gewählt.

MESSERGEBNISSE IM DYNAMISCHEN BETRIEB FÜR UNTERSCHIEDLICHE AUSSEN-TEMPERATUR-PROFILE

Zur Bestimmung des dynamischen Raum- und PCM-Geräteverhaltens im Tagesverlauf wurde der Modellraum mit den üblicherweise in derartigen Räumen anzutreffenden zeitabhängigen Wärmelasten ausgestattet und die Eintrittstemperatur über eine Klimaanlage bereitgestellt, die entsprechend den Tagesgängen nach VDI 2078 für einen Tageszyklus von 24 Stunden gefahren werden kann. Die klimatischen Außen-

verhältnisse wurden in den Labormessungen entsprechend den Bedingungen der Referenzanlage im Imtech-Haus für einen Südraum der Kühllastzone eins (VDI 2078) am Standort Hamburg gewählt. Die Profile der Außentemperatur, der sich einstellenden Fassadentemperatur und der vom Raum direkt aufgenommenen Sonnenstrahlung wurden aus einer dynamischen Gebäudesimulation des Imtech-Hauses in Form von Profilen stündlicher Werte errechnet. Der Verlauf der solaren Strahlung entspricht dem am Standort Hamburg. Der Versuchsaufbau berücksichtigt eine automatisch gesteuerte Außenjalousie, die oberhalb von Einstrahlungswerten von 150 W/m² auf die Fassade geschlossen wird. Die folgenden Grafiken zeigen beispielhaft die Messergebnisse für einen Sommertag. Die Außenlufttemperatur entspricht bei den Versuchen der Eintrittstemperatur in das Gerät. Während des Tagbetriebes läuft der Ventilator

durchgehend in kleiner Stufe, um die Grundlüftung des Raumes sicherzustellen. Die operative Raumtemperatur erreicht im Tagbetrieb ein Maximum von 26,5 °C und liegt damit im akzeptablen Bereich für sommerliche Außenbedingungen, Abb.8. Nach vollständiger Entladung im Nachtbetrieb kann das Außenluftgerät auch am Sommertag die vollständige Nutzungszeit von rund 10 Stunden bis zum Angleichen von Ansaug- und Ausblastemperatur abdecken. Zwischen Be- und Entladebetrieb ist das Gerät für zwei Stunden abgeschaltet. Die Außenluftöffnung ist während dieser Zeit geschlossen. Erst ab einer Außentemperatur kleiner 22 °C um ca. 20.00 Uhr wird der Entladebetrieb vorgenommen. Ziel des Nachtbetriebs ist einerseits die Entladung und Regeneration des PCM-Speichers sowie die Auskühlung des Raumes unter eine vorgegebene Temperaturgrenze. In diesem Fall nimmt die Regelung keinen

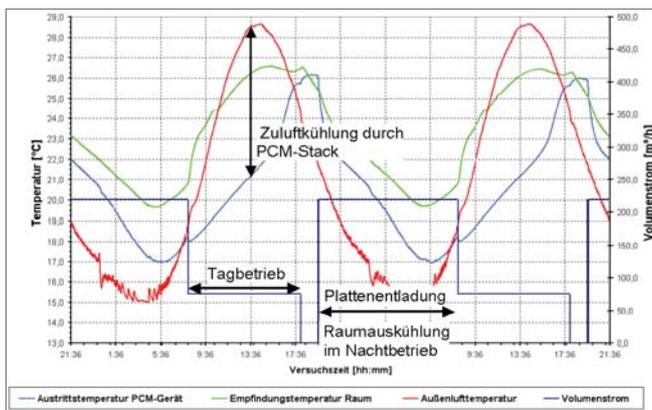


Abb.8 Sommertag, Betrieb des Außenluftgerätes

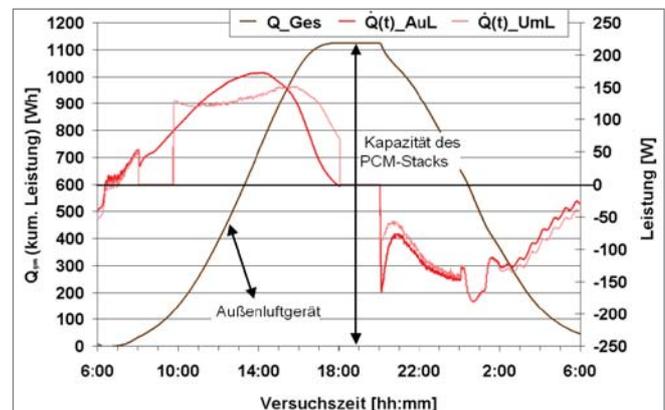


Abb.9 Sommertag, Leistung und Wärmeaufnahme u. -abgabe des PCM-Stacks für ein Außen- und ein Umluftgerät

Abbruch des Entladebetriebs vor, da keine Unterschreitung der Solltemperatur von 19 °C für den Raum erfolgt. Abb.9 zeigt das Leistungsverhalten des Außenluft-Gerätes im Laborversuch unter dynamischen Bedingungen. Bei konstantem Volumenstrom stellt sich die Kühlleistung in Abhängigkeit der Eintrittstemperatur in das Gerät und vom Beladungszustand des PCM ein. Am späten Nachmittag ist das Gerät mit Wärme beladen. Das Speichermodul mit 35kg PCM-Material hat seine volle Wärmeaufnahmekapazität von rund 1.100 Wh (sensibel und latent) für die Zuluftkühlung erbracht. In der Spitze liegt die Kühlleistung bei 175 W. In der Nacht wird die Latentwärme im PCM-Stack und gespeicherte Wärme der Raummassen zwischen 21 Uhr und 6 Uhr morgens abgeführt. Der Raum startet am Morgen mit einem geringen Temperaturniveau von rund 20 °C und kann am Tage durch die dämpfende PCM-Kühlung im Behaglichkeitsbereich gehalten werden.

REFERENZANLAGE IM IMTECH-HAUS

Das oben beschriebene Anlagenkonzept wurde mit dem beschriebenen Seriengerät in einer Referenzanlage im Imtech-Haus mit 50 Geräten umgesetzt. Der im 5.OG des Imtech-Hauses bestückte Gebäudeflügel bietet die Möglichkeit, die Geräte in Räumen mit Außenfassaden in allen vier Himmels-



Abb.10 u. 11 Einbausituation der PCM-Geräte in einem Süd-West-Büro im Imtech-Haus

richtungen zu betreiben. Abb.10 und Abb.11 geben einen Eindruck von der Umsetzung des Einbaus als Brüstungsgerät und der Fassadengestaltung mit Fenstern und Außenjalousie. Ende März wurde die Anlage in Betrieb genommen. Die mitinstallierte Messdatenerfassung erfasst alle Räume (Lufttemperatur) und alle relevanten Gerätedaten (Eingangs- und Ausblastemperatur des Gerätes, Beladezustand, Ventilatorzustand, Klappensteuerung). In den ersten Monaten nach Inbetriebnahme hat sich das neuartige Kühlkonzept im Imtech-Gebäude gut bewährt. In den PCM-gekühlten Büros wurden im August/September durchgehend angenehme Temperaturen gemessen, die bis auf sehr wenige Ausnahmen stets unter der gewünschten Grenze von 25 bis 26 °C lagen. Im extrem heißen Juli 2006 mit einigen tropischen Nächten in Folge in Hamburg wurden mit dem auf Nachtlüftung basierenden Konzept bei Außentemperaturen am Tage zwischen

32 °C und 38 °C erwartungsgemäß Raumtemperaturen von maximal 28 °C bis 30 °C in den Süd- und Westräumen registriert. Abb.12 zeigt die Außentemperatur einer sommerlichen Woche im September bei durchgehend hohen solaren Einstrahlungswerten und die jeweils gemessenen Raumtemperaturen in einem Nord- und einem Südbüro. Die Räume werden bis in die Morgenstunden jeweils auf 20 °C durch Nachtlüftung heruntergekühlt. Gleichzeitig werden die PCM-Module regeneriert. Über den Tag kühlen die PCM-Geräte die Räume und sorgen trotz hoher solarer Lasten und hochsommerlicher Außentemperaturen für Raumtemperaturen, die auch im Südbüro durchgehend im Behaglichkeitsbereich liegen.

ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Das von Imtech und Emco gemeinschaftlich entwickelte dezentrale Lüftungsgerät mit PCM-Kältespeicher wurde in einer ersten Referenzanlage im Imtech-Haus in Hamburg erfolgreich eingesetzt. Die angeschlossenen Räume konnten unter normalen sommerlichen Bedingungen durchgehend im Behaglichkeitsbereich unter 26 °C gehalten werden. Die Geräte sind zur Serienreife entwickelt und werden nun in den Markt eingeführt.

Autor
 Prof. Dr.-Ing. Rüdiger Detzer,
 Leiter Forschung und Entwicklung
 Dr.-Ing. Bruno Lüdemann,
 Forschung und Entwicklung
 Imtech Deutschland, Hamburg
 Fotos und Grafiken: Imtech
www.imtech.de

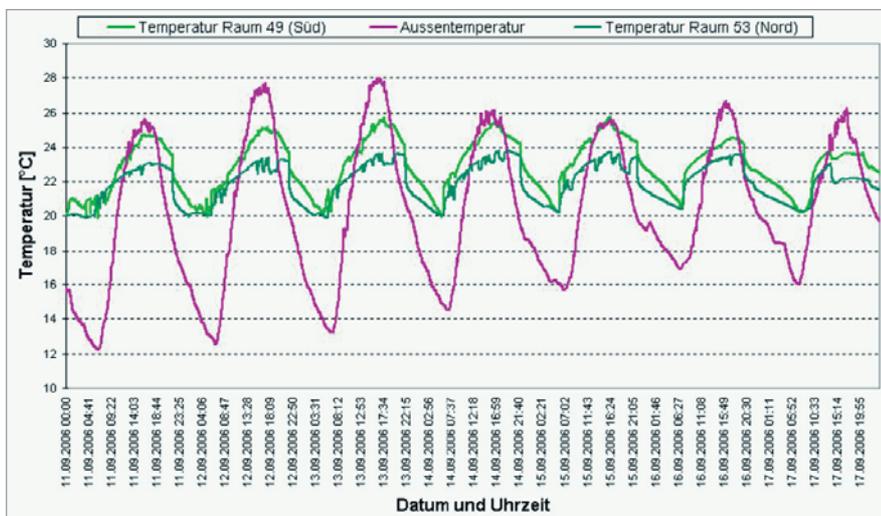


Abb.12 Außen- und Raumtemperaturen, Nord- und Südbüro, September 2006, durchgehend wolkenarmes Wetter

Die Welt ist keine Scheibe - Ihre Anzeigen auch nicht [...]



innovatools

Werkzeuge für den Erfolg

Fach.Journal

Fachzeitschrift für Erneuerbare Energien & Technische Gebäudeausrüstung

[Hier mehr erfahren](#)



innovapress

*Innovationen publik machen
schnell, gezielt und weltweit*

Filmproduktion | Film & Platzierung | Interaktive Anzeige | Flankierende PR | Microsites/Landingpages | SEO/SEM | Flashbühne