

smart energy

energieeffizient

thermische Behaglichkeit

latentwärmespeicher mikrokapselte paraffine: micronal

flexibel, kleinteilig, komplex formbar

als beschichtung

abstandsgewirke als deckensegel

pcm als beschichtung

Flexibel kleinteilig und komplex formbar:
mPCM-Beschichtungen optimieren die thermische Behaglichkeit

Prof. Dr.-Ing. Joachim Müller

Thermische Behaglichkeit optimieren

Ein behagliches Raumklima zu schaffen ist grundlegendes Ziel, wenn Gebäude für den Aufenthalt von Menschen erstellt und betrieben werden. Die thermische Behaglichkeit ist dabei dominant, da sie in direktem Bezug zu den lebenswichtigen Funktionen des menschlichen Wärmehaushalts steht.

Den behaglichen Temperaturen der Raumluft oder der raumumschließenden Flächen sind dabei enge Grenzen gesetzt. Überschreiten beispielsweise die Raumlufttemperaturen 26 °C auch nur um wenige Grad, führt dies zu nicht nur zu Unbehaglichkeit, sondern auch einem deutlichen Abfall der Arbeitsleistung, der geistigen Fähigkeiten, der Geschicklichkeit oder zu einer Erhöhung des Unfall- und Erkrankungsrisikos.

Der Aufwand, diese thermische Behaglichkeit herzustellen, beeinflusst in direkter Weise unseren Energieverbrauch. In Deutschland wird ca. 40 % der Endenergie für Gebäude verwendet, davon bei Wohnungen ca. 75 und bei Büros 46 % für das Heizen und Kühlen. Die Einsicht, dass sowohl eine Energieeinsparung als auch eine effizientere Energienutzung notwendig sind, hat sich angesichts des Klimawandels und der Endlichkeit fossiler Energiereserven weithin durchgesetzt.

Flexibel, kleinteilig und komplex formbar:
mPCM-Beschichtungen optimieren die thermische Behaglichkeit

Eine der Strategien zur Einsparung zielt darauf, im Tageszyklus auftretende unbehagliche Schwankungen der Raumluft- und Oberflächentemperaturen passiv zu dämpfen, statt sie aktiv mit technischem Aufwand zu kompensieren. Sogenannte schwere Bauweisen nutzen hierzu die thermische Trägheit massiver Innenwände, Böden oder Decken: Wärme wird aufgenommen, gespeichert und zeitversetzt wieder abgegeben.

In leichten Bauweisen kann der Mangel an thermischer Gebäudemasse durch den Einsatz sogenannter Latentwärmespeichermaterialien (engl.: Phase Change Materials, kurz: PCM) teilweise kompensiert werden.

die chance der latentwärmespeicher
die chance der latentwärmespeicher
die chance der latentwärmespeicher
die chance der latentwärmespeicher
die chance der latentwärmespeicher
die chance der latentwärmespeicher

Ein typisches Szenario: In einem sommerlichen Büroraum leichter Bauweise steigt die Raumtemperatur mit der Zeit an. Gewöhnliche Materialien der Raumflächen speichern diese zugeführte Wärme durch eine sensible, also fühlbare Erhöhung ihrer eigenen Temperatur.

PCM dagegen speichern einen Teil der zugeführten Wärme in einem Phasenwechsel. Sie beginnen zu schmelzen, und dies bei einer voreingestellten Temperaturgrenze. Der Trick: Trotz Wärmeaufnahme steigt die eigene Temperatur der PCM nicht weiter an. Man spricht daher von latenter Wärme.

Dies mindert den Anstieg der Raumtemperatur solange, bis der Schmelzvorgang abgeschlossen ist. Dadurch werden unbehagliche Spitzenwerte gedämpft. Zudem wirken die kühleren Bauteiloberflächen behaglicher, da sie mehr vom Menschen abgestrahlte Wärme aufnehmen können.

Kühlt die Umgebung unter die PCM-Schmelztemperatur ab, etwa in den Nachtstunden, kehrt sich der Prozess um. Die PCM erstarren, geben die quasi "gepufferte" Wärme wieder ab und bleiben solange auf einem annähernd gleichen Temperaturniveau. In kleinen Temperaturintervallen des Phasenwechsels können somit große Wärmemengen gespeichert werden.

Flexibel, kleinteilig und komplex formbar:
 mPCM-Beschichtungen optimieren die thermische Behaglichkeit

PCM können in Baumaterialien integriert werden und bieten auch bei leichten Bauweisen im Schalttemperaturbereich eine Wärmekapazität, die derjenigen von Materialien mit größerer thermischer Speichermasse entspricht. Als Kurzzeit-Wärmespeicher können sie Schwankungen der Raumtemperaturen im Komfortbereich um 23 °C stabilisieren oder Temperatur-Spitzenwerte glätten, etwa unbehagliche Innenraumtemperaturen oberhalb 26 °C. Hierzu kann die Wärmeübertragung zwischen PCM und Raum passiv erfolgen (konstruktive Methode, ohne Technikeinsatz), oder in Form eines aktiven Systems z.B. durch die Einbindung wasserdurchflossener Kapillarmatten oder mechanisch betriebener Lüftungen gesteuert bzw. unterstützt werden (energiegesteuerte Methode, Technikeinsatz).

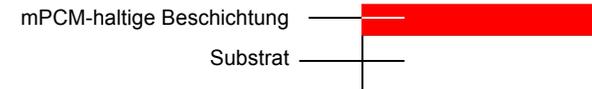
Gegenüber herkömmlichen Baumaterialien, die Wärme durch die Erhöhung der eigenen Temperatur speichern, weisen PCM-haltige Materialien zudem beim Ansteigen der Raumtemperatur geringere Oberflächentemperaturen auf. Da der Mensch bei üblichem Innenraumklima den Großteil seiner überschüssigen Wärme über den Strahlungsausgleich mit den raumschließenden Flächen abgibt, werden diese geringeren Oberflächentemperaturen PCM-haltiger Materialien auch bei höheren Raumlufttemperaturen (Sommerfall) als behaglicher empfunden.

flexibel, kleinteilig, komplex formbar: pcm als beschichtung
 flexibel, kleinteilig, komplex formbar: pcm als beschichtung
flexibel, kleinteilig, komplex formbar: pcm als beschichtung
 flexibel, kleinteilig, komplex formbar: pcm als beschichtung

Die derzeit verfügbaren PCM-Verbundmaterialien für den Baubereich beschränken sich auf biegesteife Bauplatten und Mauersteine, PCM-gefüllte starre Behälter und Folienbeutel sowie Putzbeschichtungen für mineralische Untergründe. Hierdurch bleibt ein großer Teil möglicher weiterer Anwendungsbereiche unberücksichtigt, welcher flexible, kleinteilige, komplex geformte und/oder nicht-mineralische Materialien für Bau- oder Ausstattungselemente umfasst. Gleichzeitig haben die architektonischen Tendenzen der vergangenen Jahre mit einer Erweiterung des Material- und Formenrepertoires den Einsatz eben solcher Materialien befördert. Zu ihnen gehören z.B. biegeeweiche Folien und Gewebe des Membranbaus, fein strukturierte Metallschäume als Deckenverkleidung oder 3d-gefräste Wandoberflächen, die bislang nicht mit PCM kombiniert werden können.

Aus diesem Mangel heraus begründet sich die Innovation: die Ausstattung derartiger Elemente mit PCM zu ermöglichen, um so ähnlich effizient wie mit bestehenden PCM-Verbundmaterialien die thermische Behaglichkeit in Gebäuden positiv zu beeinflussen.

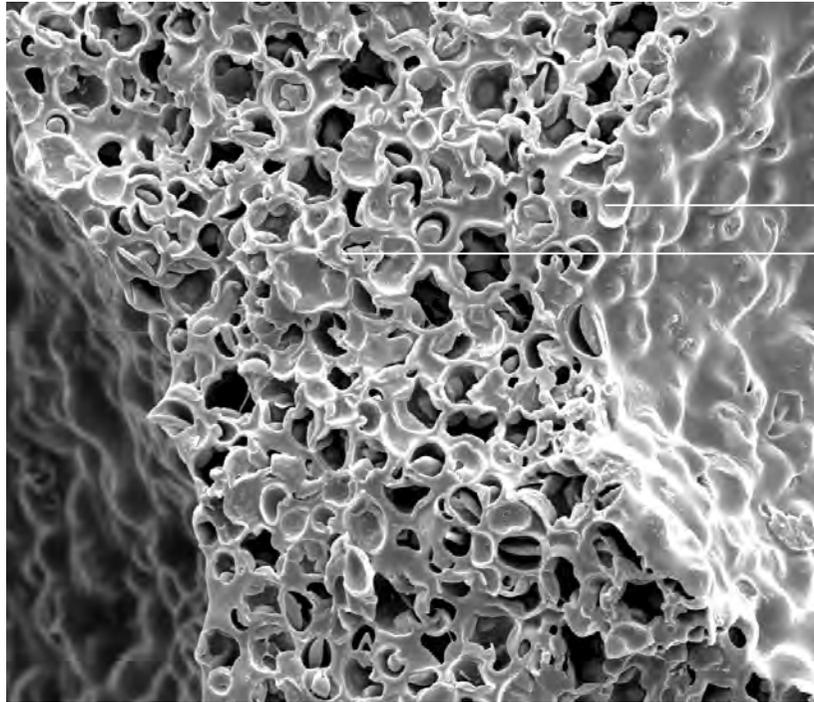
Flexibel, kleinteilig und komplex formbar:
 mPCM-Beschichtungen optimieren die thermische Behaglichkeit



Der innovative Lösungsansatz liegt darin, PCM in Polyacrylat-Beschichtungen zu integrieren. Hierzu werden die PCM mikroverkapselt (mPCM), also in Größen von bis zu 20 µm dauerhaft von einer Hülle umschlossen. Vorteil dieser Konfektionierung ist u.a., dass das Auslaufen und Ausgasen der PCM vollständig verhindert wird. Gegenüber der Verkapselung in größeren Behältern weist die Mikroverkapselung durch das große Verhältnis von Oberfläche zu Volumen eine schnelle Wärmeübertragung auf. Außerdem ist eine einfache Verarbeitung und Widerstandsfähigkeit gegen Beschädigung gegeben. Als mPCM mit einer nominellen Schalttemperatur von 23 °C kam das Produkt Micronal von BASF zum Einsatz, welches formaldehydfrei hergestellt wird.

#7

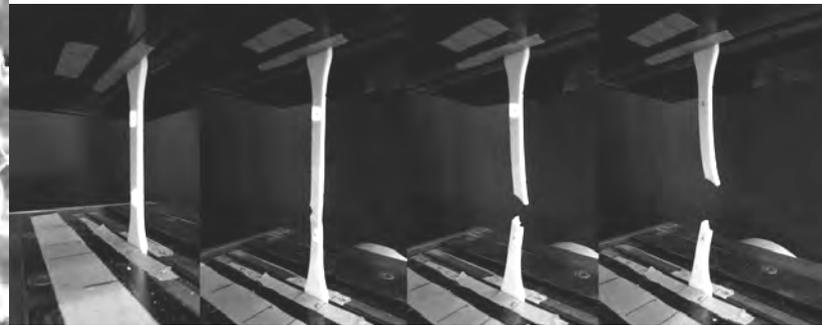
#8



Rasterelektronen-
mikroskopische
Untersuchung

Beschichtungsfläche

Bruchfläche mit mPCM-Kapseln
(teils durch die Proben-Präparation geöffnet),
Bindemittel und Hohlräume



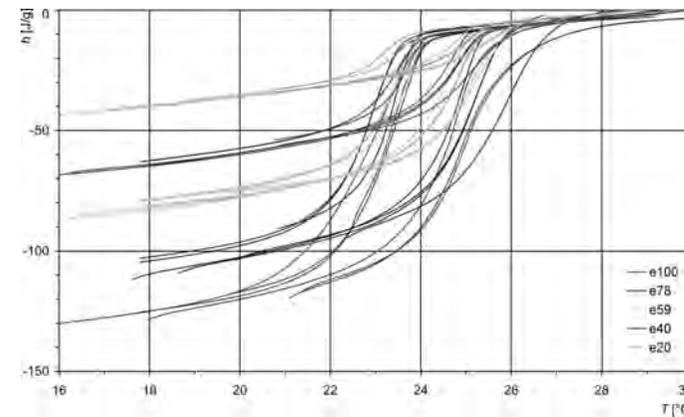
Mechanische
Untersuchung zur
Flexibilität

überausgewogene Eigenschaften
überausgewogene Eigenschaften
überausgewogene Eigenschaften
überausgewogene Eigenschaften

Anhand umfangreicher Prototyp-Serien wurde der Ansatz der mPCM-haltigen Beschichtungen optimiert und hinsichtlich einer Vielzahl wesentlicher mechanischer und thermischer Eigenschaften untersucht.

Das Ergebnis: Thermoaktive Beschichtungen mit bis zu 80 Gew.-% mikroverkapselten PCM. Mechanische Eigenschaften, die hinsichtlich ihrer Festigkeit und Dehnbarkeit an eine enorme Vielzahl an Trägermaterialien angepasst werden können. Wärmespeicherkapazitäten, die aufgrund des hohen Anteils an PCM-Mikrokapseln diejenigen herkömmlicher mPCM-Verbundwerkstoffe sogar übertreffen können.

Flexibel, kleinteilig und komplex formbar:
mPCM-Beschichtungen optimieren die thermische Behaglichkeit



Thermische
Untersuchungen
zur Enthalpie und
Wärmeleitfähigkeit

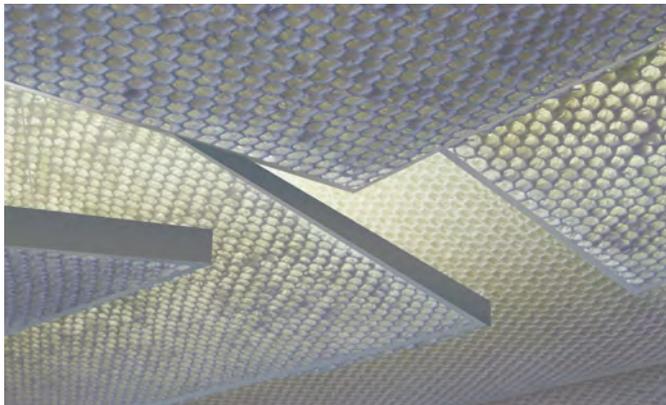
Sind die neuen Beschichtungen über den Labormaßstab hinaus auch unter praxisnahen Bedingungen anwendbar? Um die Anwendbarkeit und Wirksamkeit der neu entwickelten mPCM-Polyacrylat- beurteilen zu können, wurde ein Monitoring durchgeführt.



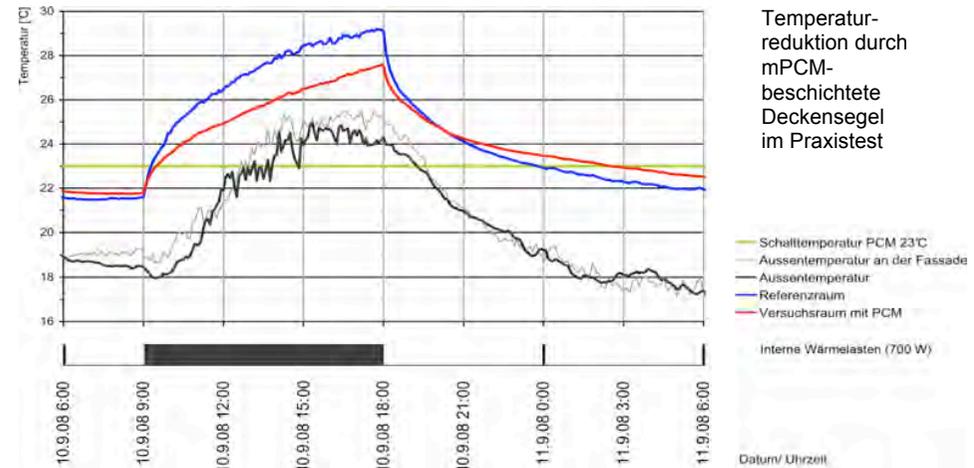
Als Trägermaterialien dienen Polyester-Abstandsgewirke, da sie durch ihre Flexibilität sowie kleinteilige, komplex geformte und nicht-mineralische Oberfläche die besonderen Potenziale der Beschichtung nutzen können. Kennzeichnend für Abstandsgewirke sind zwei textile Decklagen und ein den Abstand definierendes Polfadensystem. Unterschiedliche geometrische Ausführungen sind möglich. Die mPCM-Beschichtung kann über die offenen Decklagen eingebracht und durch Zusammendrücken der Gewirke gleichmäßig verteilt werden.

Die mPCM-beschichteten Abstandsgewirke wurden in Form von Deckensegeln in einem Büroraum leichter Bauweise installiert.

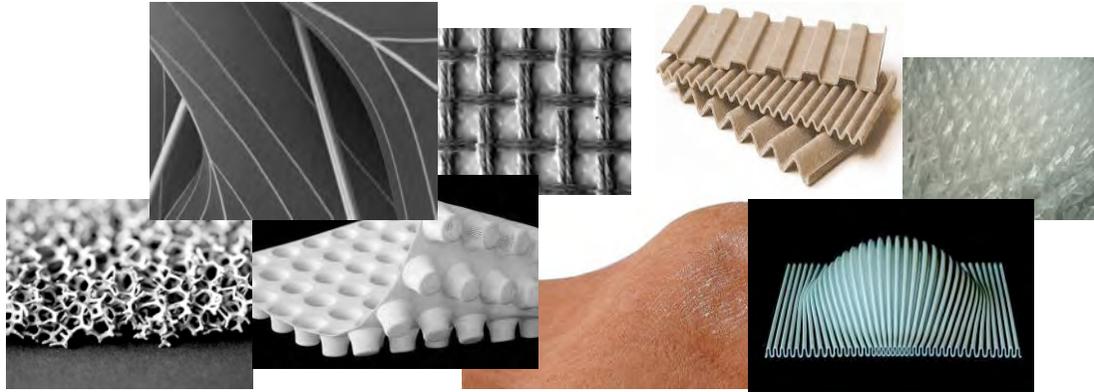
mPCM-beschichtete Abstandsgewirke als Deckensegel in einem Büroraum



Flexibel, kleinteilig und komplex formbar: mPCM-Beschichtungen optimieren die thermische Behaglichkeit



Der Vergleich der Temperaturverläufe dieses Raums mit einem bis auf die Deckensegel bau-, ausstattungs- und nutzungsgleichen Referenzraum zeigte, dass die mPCM-beschichteten Deckensegel die thermische Behaglichkeit signifikant positiv beeinflussen konnten. So wurden die unbehaglichen Spitzenwerte der Raumluft-Temperaturen um bis zu 2 K gesenkt und die Temperaturspitzen oberhalb von 26 °C in einen Bereich von ca. 23 bis 26 °C verschoben. Gleichzeitig wurde die Abhängigkeit des Effekts von der im Tageszyklus erfolgten Temperaturschwankung deutlich, insbesondere die Notwendigkeit der Nachtauskühlung mit Raumlufttemperaturen deutlich unter der Erstarrungstemperatur des PCM. Eine exemplarische quantitative Bewertung ergab, dass die PCM-Deckensegel über einen Zeitraum von 4 Stunden einer Kühlleistung von ca. 23 W/m² entsprachen. Diese Leistung bleibt gegenüber z.B. konventionellen wasserdurchflossenen aktiven Kühldeckensystemen zurück, wird jedoch im Fall der PCM-Deckensegel als passives System ohne weiteren Installationsaufwand oder den zum Betrieb erforderlichen Einsatz von Energie erreicht.



ausblick: vielfältige anwendungen
ausblick: vielfältige anwendungen
ausblick: vielfältige anwendungen
ausblick: vielfältige anwendungen

Ausblick:
Mögliche weitere
Trägermaterialien
und
Anwendungen
der mPCM-
Beschichtung

Mit den gewonnenen Erkenntnissen stehen wesentliche Materialcharakteristika für weitere Entwicklungsschritte in Richtung einer breiteren Anwendung mPCM-haltiger Beschichtungen zur Verfügung.

Viele dieser Eigenschaften werden bestimmt durch das Zusammenwirken von Beschichtung und Substrat. Wesentliche anzuschließende Entwicklungsschritte sind daher die Untersuchungen verschiedener Substrate hinsichtlich ihrer Eignung sowie die Optimierung der Kombination mit der Beschichtung sein. Die skizzierte exemplarische mPCM-Beschichtung von Polyester-Abstandsgewirken kann als ein vielversprechender Ausgangspunkt gesehen werden. Ein besonders großes Potenzial versprechen diejenigen Trägermaterialien, die sich durch eine für die thermische Flinkheit der Beschichtung positiv auswirkende große Oberfläche auszeichnen. mPCM-Polyacrylat-Beschichtungen bieten dabei auch die Option des nachträglichen Auftrags auf Oberflächen bereits in Nutzung befindlicher Bau- und Ausstattungselemente. So könnten etwa Membrankonstruktionen eine Vervielfachung ihrer zumeist sehr geringen thermischen Speicherfähigkeit erhalten.

Flexibel, kleinteilig und komplex formbar:
mPCM-Beschichtungen optimieren die thermische Behaglichkeit

Verbunden mit der Auswahl möglicher Substrate ist die Frage nach der Art des Einsatzes innerhalb eines Gebäudes. Auch hier ist mit den vorgeschlagenen mPCM-beschichteten Deckensegeln eine mögliche Entwicklungsrichtung skizziert, die die freie und allseitig luftumspülte Anordnung der Beschichtung im Raum zur größtmöglichen wärmeübertragenden Fläche nutzt und weiter optimiert werden kann. Andere Anwendungen sind ebenso denkbar, etwa die PCM-Beschichtung von Boden-, Wand- oder Ausstattungselementen, der Einsatz innerhalb mehrschichtiger Bauteilquerschnitte sowie die Weiterentwicklung zum aktiven System durch die Einbindung wasserdurchströmter Kapillarmatten.

Über die funktionale Einbindung hinaus stellt die konstruktive und schließlich die gestalterische Integration PCM-beschichteter Materialien im Gesamtzusammenhang eines Gebäudes eine der Hauptaufgaben der weiteren Entwicklung dar. Architektonische Tendenzen der vergangenen Jahre haben mit einer Erweiterung des Material- und Formenrepertoires den Einsatz flexibler, kleinteiliger, komplex geformter und/oder nicht-mineralischer Materialien befördert. Deren Wahrnehmung im Raum kann sich nun durch die Beschichtung als Zusatzausstattung ihrer Oberfläche erheblich wandeln. Aus zwei Ausgangsmaterialien wird ein Verbundwerkstoff mit multifunktionalen Eigenschaften, dessen architektonische Wirkung neu bestimmt werden muss.

Schritte in diese skizzierten Richtungen erfordern weiteres fachübergreifendes Zusammenwirken verschiedener Disziplinen wie der Materialwissenschaften, Baukonstruktion, Bauphysik und Gestaltung im Sinne eines integrativen Prozesses. Im Kontext der wachsenden Bedeutung der Energieeinsparung und effizienteren Energienutzung eröffnen latentwärmespeichernde Beschichtungen zukünftig breite Optimierungs- und Anwendungspotenziale.

Autor:

Joachim Müller studierte Architektur an der RWTH Aachen sowie der University of Sheffield (GB). Nach der Mitarbeit in verschiedenen Büros in Köln und Berlin war er ab 1999 im Kölner Büro Prof. Coersmeier Architektur und Stadtplanung projektleitend tätig.

2004 wechselte er an die Universität Duisburg-Essen, zunächst als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fachgebiet "Konstruktive Gestaltung und Leichtbau", ab 2008 am Fachgebiet "Baustatik und Baukonstruktion". Ab 2009 war er als akademischer Rat in Lehre und Forschung tätig. Schwerpunkte der Arbeit waren neben der Gebäudelehre das konstruktive Gestalten als ganzheitliches, nachhaltiges, material- und energieeffizientes Bauen sowie die Entwicklung und Betreuung von Leichtbaustrukturen und leichten Flächentragwerken aus Membranen, Glas, Stahl oder natürlichen Baustoffen wie Holz und Bambus. 2010 erfolgte seine Promotion, 2011 der Ruf auf die Professur für Integrales Entwerfen, Materialinnovation und Bauproduktdesign im integralen Studiengang "Energieeffizientes Planen und Bauen / Energie Effizienz Design - E2D" der Fakultät für Architektur und Bauwesen an der Hochschule Augsburg.

Seit 2007 erscheint die von ihm mitbegründete "Archimaera - Zeitschrift für Architektur, Kultur, Kontext, Online" (www.archimaera.de), die interdisziplinär Architekturtheorie, architektonisches Entwerfen, Architekturgeschichte und andere Sichtweisen auf das kulturelle Phänomen "Architektur" zusammenführt. Die von ihm 2008 begründete Materialagentur "Leicht-BauMaterial.de" (www.leichtbaumaterial.de) berät und inspiriert Architekten, Ingenieure und andere Materialinteressierte hinsichtlich des Einsatzes innovativer Materialien für das Bauen.

Flexibel, kleinteilig und komplex formbar:
mPCM-Beschichtungen optimieren die thermische Behaglichkeit

Kontakt:

Prof. Dr.-Ing. Joachim Müller
Lehrgebiet "Integrales Entwerfen, Bauproduktdesign
und Materialinnovation"
Studiengangsleiter
"Energieeffizientes Planen und Bauen - E2D"

Fakultät für Architektur und Bauwesen
Hochschule Augsburg

www.hs-augsburg.de/Architektur-und-Bauwesen.html
<https://www.hs-augsburg.de/Architektur-und-Bauwesen/Mueller-Joachim.html>

Publikation:

Müller, Joachim: Entwicklung und Untersuchung von Polyacrylat-Beschichtung mit mikroverkapselten Latentwärmespeichermaterialien (mPCM). Dissertation. Aachen 2010. ISBN 978-3-8322-9687-2 www.shaker.de

Patent:

Das im Rahmen der Promotion entwickelte "Mehrlagige Abstandstextil zur Thermoregulation von Gebäude-Innenräumen" ist zum Patent angemeldet.

Version 0318

Prof. Dr.-Ing. Joachim Müller | www.leichtbaumaterial.de