

Caverion

Einsatz von Latentspeicher- materialien (PCM) in Büro- gebäuden

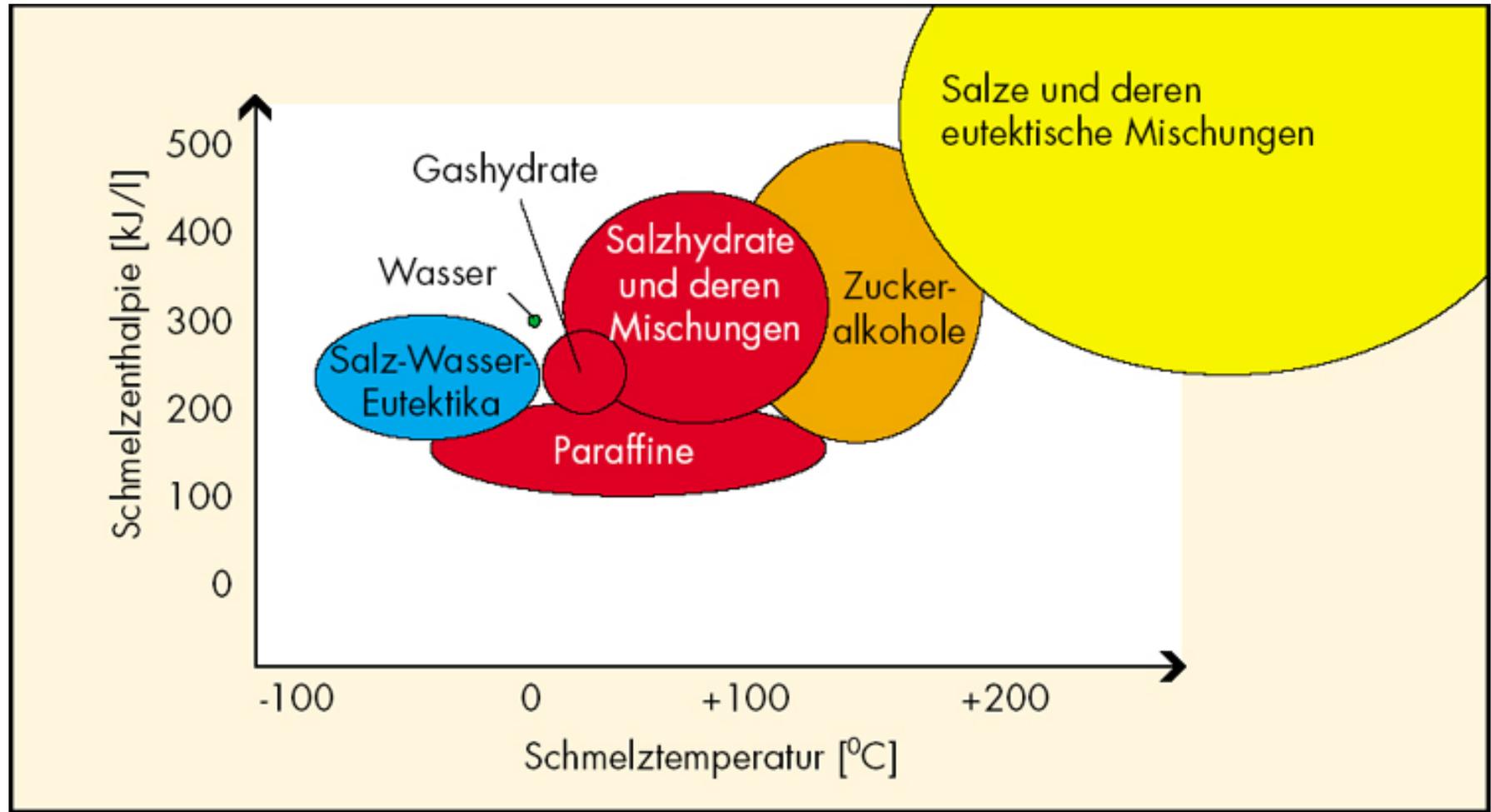
Dipl. Ing. Detlef Makulla

PCM = Phase Change Material

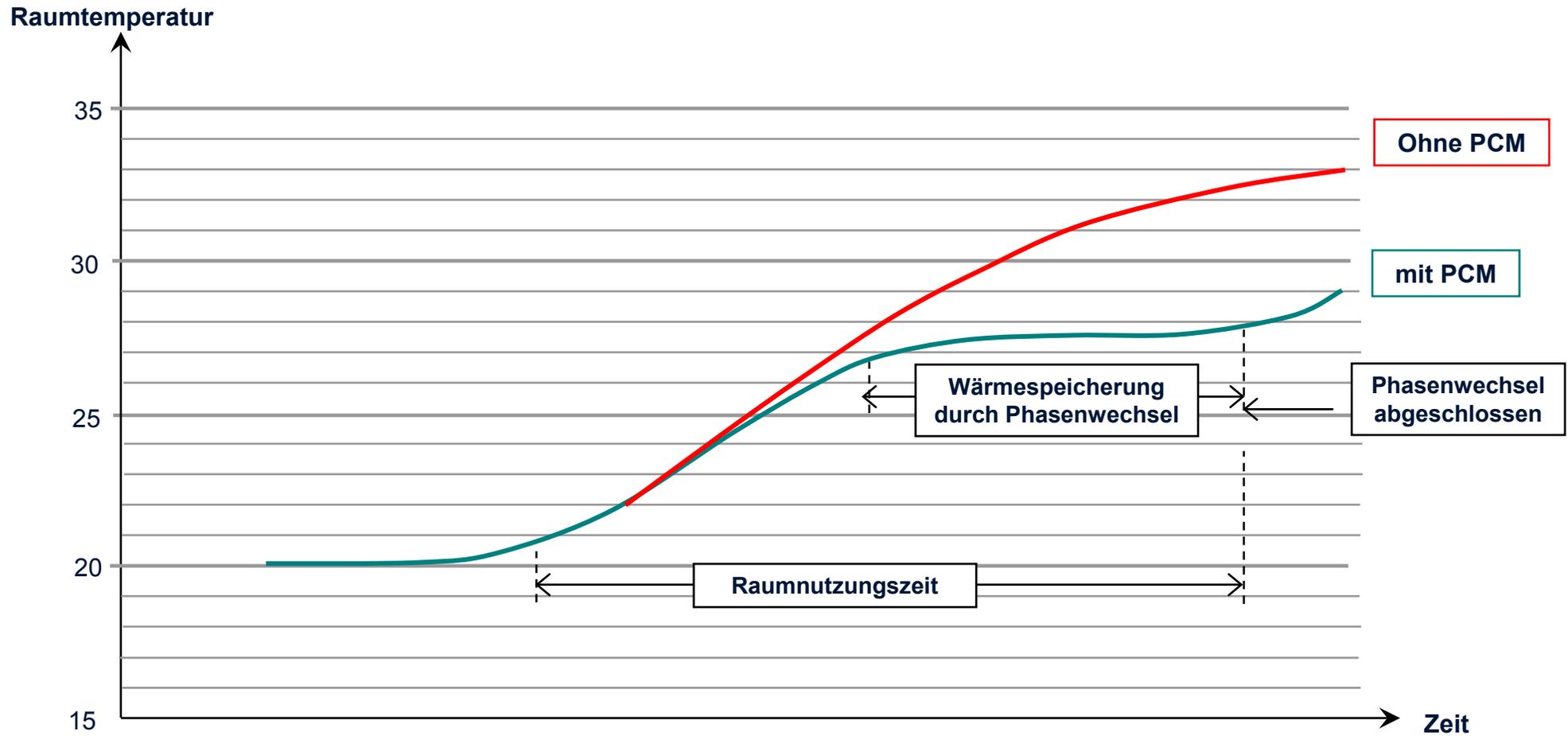
**Latentspeichermaterial auf Salzhydrat- oder Paraffinbasis
mit Schmelzbereich von 21 – 23°C**



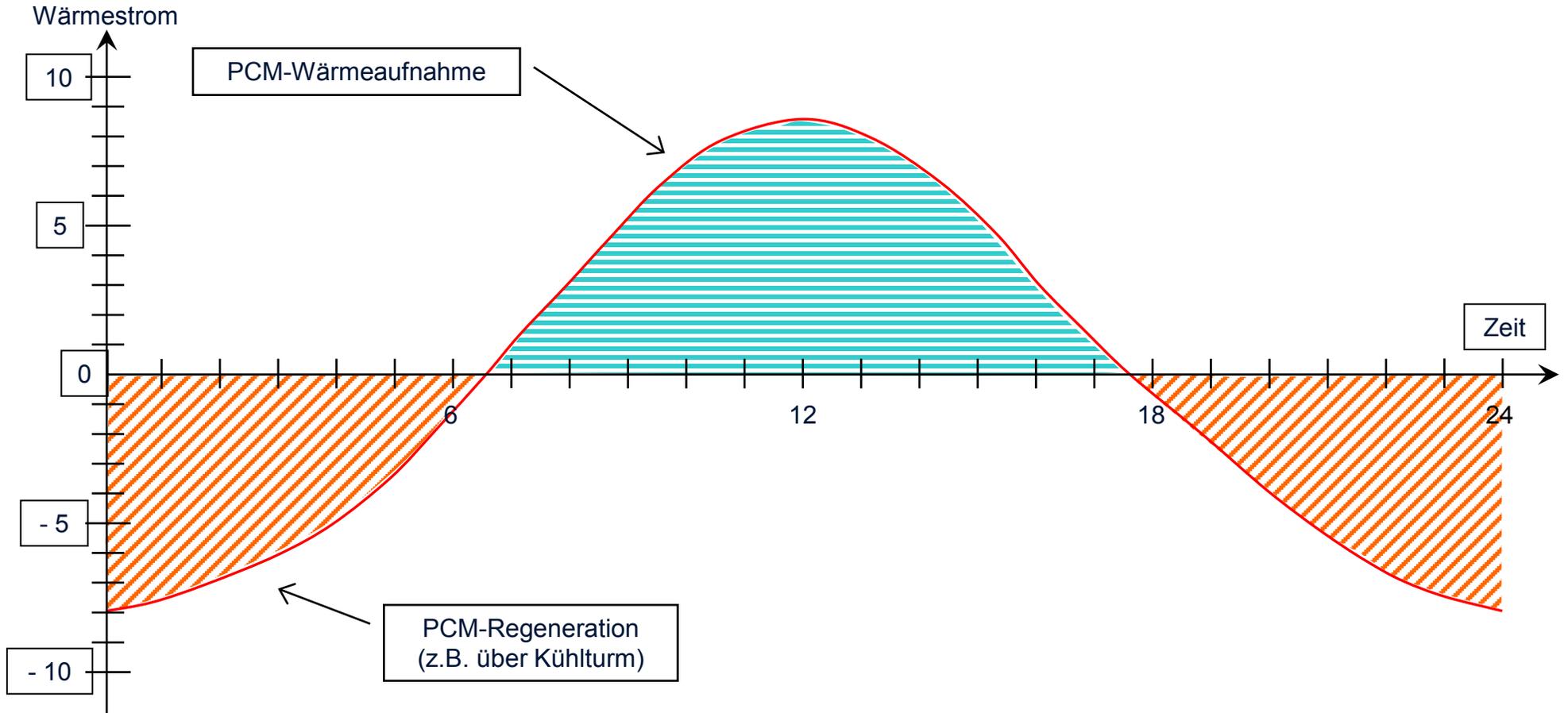
Phasenübergangstemperaturen verschiedener PCM



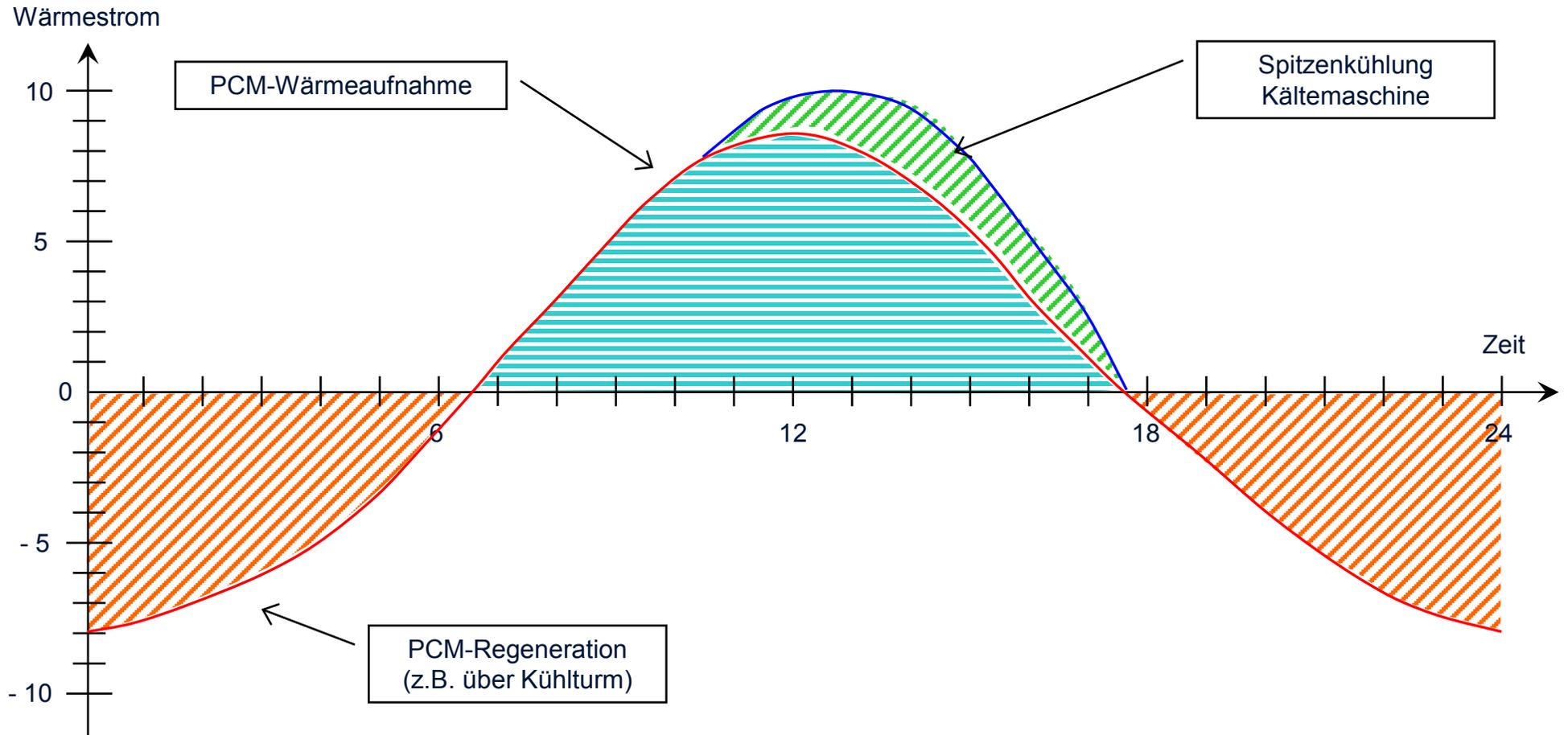
Temperaturverlauf im Raum mit bzw. ohne PCM



Prinzipieller Zyklusverlauf mit PCM

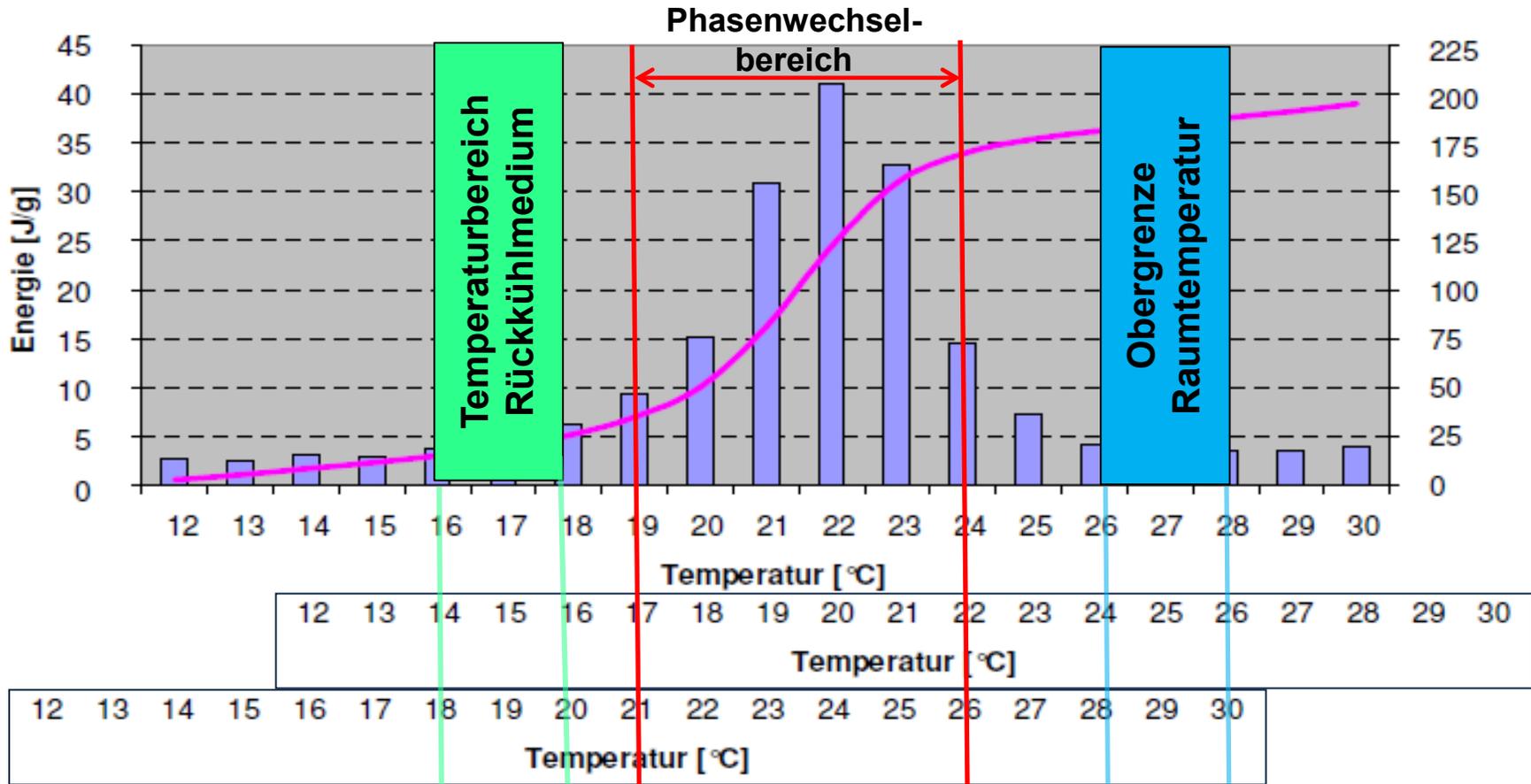


Prinzipieller Zyklusverlauf mit PCM und Spitzenkühlung



Einfluss Schmelzbereich-Erstarrungstemperatur auf das Gesamt-System

Typischer Phasenübergangsbereich eines PCM



Eigenschaften eines idealen PCM

- geeignete Schmelz-/Erstarrungstemperatur
- enger Schmelz- und Erstarrungsbereich
- geringe Unterkühlung (Spreizung zwischen Erstarrung und Verflüssigung)
- hohe Wärmespeicherkapazität (latent & sensibel)
- hohe Wärmeleitfähigkeit
- hohe Phasenstabilität
- hohe Langzeitstabilität
- geringe thermische Volumenausdehnung



Paraffine

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none">○ Enger Schmelzbereich○ Chemisch inert○ Mikroverkapselung möglich	<ul style="list-style-type: none">○ Brennbarkeit○ Höhere Materialkosten gegenüber Salzen○ Geringere volumenspezifische Schmelzwärmen○ Geringe Wärmeleitfähigkeit

Salzhydrate

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none">○ Hohe Energiespeicherkapazität○ Nicht Brennbar○ Relativ kostengünstig	<ul style="list-style-type: none">○ Nur Makroverkapselung möglich○ Handling beim Befüllen○ Korrosionsneigung (Salz)

Welche PCM-Systeme in Gebäuden sind möglich?

Passive Systeme

- PCM in der Gebäudestruktur (Wände, Decke)
- Die Berechnung der nutzbaren Kapazität ist schwierig.

Aktive Systeme

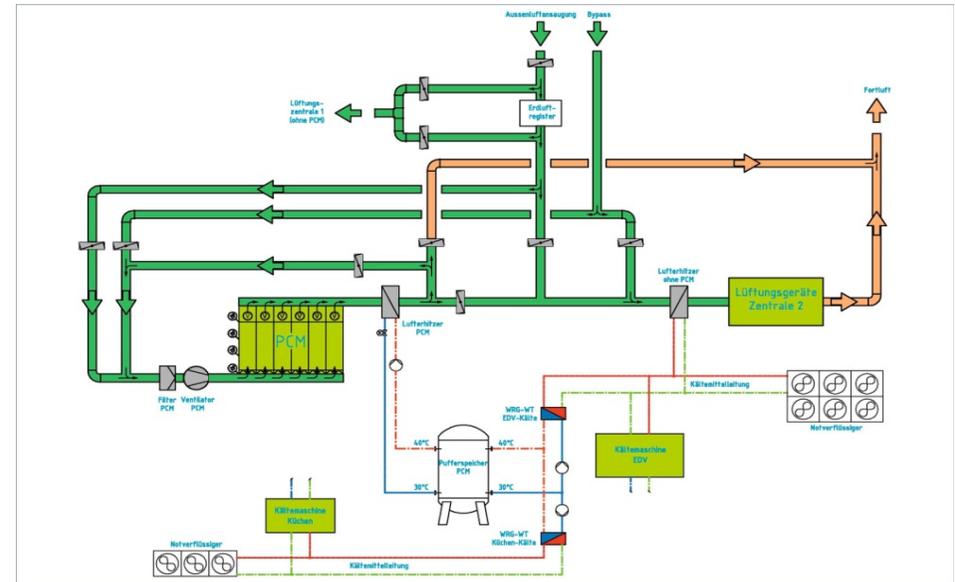
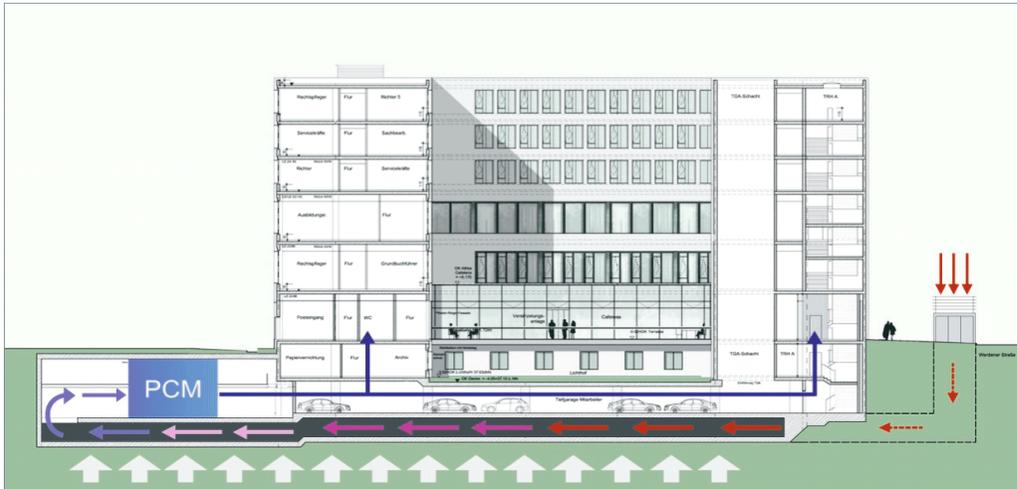
- PCM in Zentralspeichern als Bestandteil der RLT-Anlage
- PCM in dezentralen Fassadengeräten
- PCM in Kühldecken bzw. Kühlsegeln
- Die Berechnung der nutzbaren Kapazität ist auf der Basis von Laboruntersuchungen möglich.



PCM-Storage in the state and district court Düsseldorf

The State and district court in Düsseldorf is one of the greatest judicial centers in Germany. For preheating or cooling of the aspirated outside air, an underground earth heat exchanger is used in combination with a latent heat storage. The underground earth heat exchanger with a length of 620 meters and a weight of 13 tons is one of the largest in Germany and the combination with phase change material (PCM) in this dimension probably unique.

Through the slots in the subterranean earth heat exchanger and storage currents up to 100,000 m³/h fresh air, which is cooled in the summer and heated in the winter. The precooling by the underground heat exchanger covered in winter and in summer about 15 % of heating or cooling demand for air conditioning at 100 % availability. The PCM storage shall submit an energy content of about 520 kWh per loading or unloading cycle available. The register storage solution is not intended to replace existing systems, but complements it for economic operation of the building.

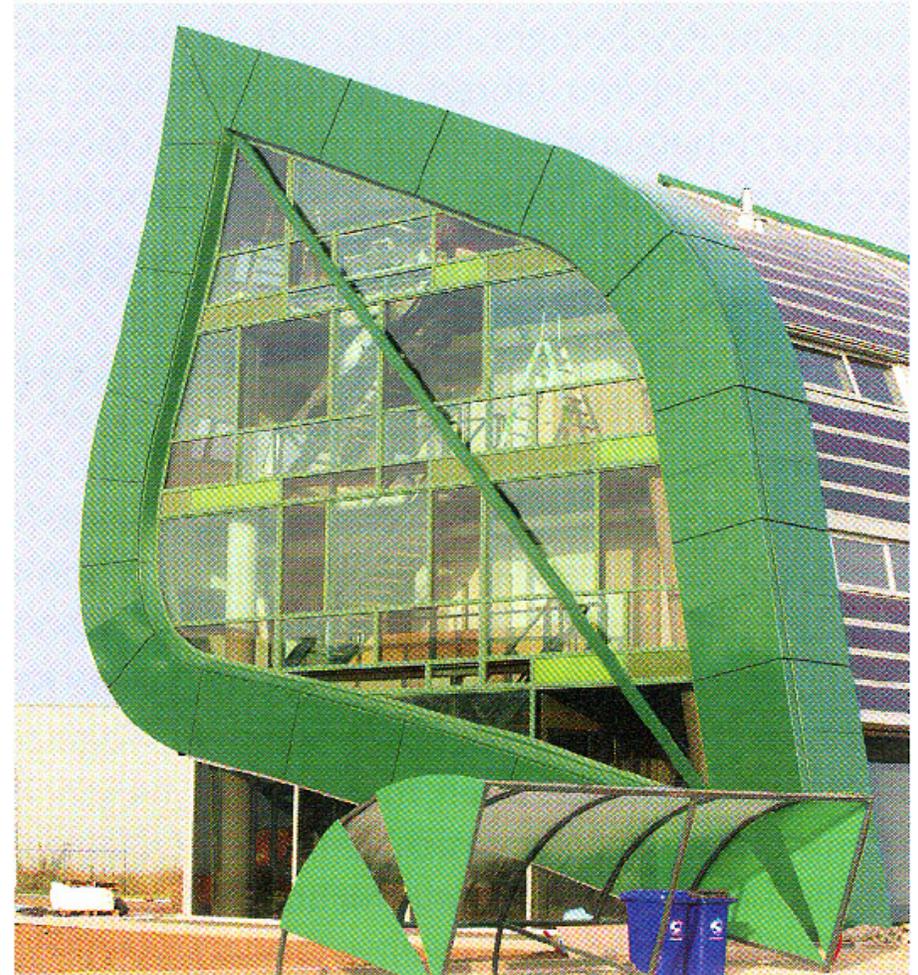


Das erste Salz-Bürogebäude der Welt

Das Informationszentrum Ecofactorij in Apeldoorn/Niederlande hat als erstes Bürogebäude der Welt Wände und Fußböden mit Latentwärmespeicher aus Calciumhexahydrat.

Dadurch soll der Energieverbrauch um die Hälfte reduziert werden. Im Frühjahr und Herbst muss nicht geheizt werden, im Sommer sorgt das System für Kühlung. Die Klimawände mit dem integrierten PCM (Phase Change Material) kommen von der Brakel Interieurgroep Holding B.V., Hilversum/Niederlande, die Fußböden sind von der Unifloor Underlay Systems BV, Deventer/Niederlande.

Die PCM-Module im Fußboden haben eine Größe von 195 x 1.200 x 10 mm und eine Schmelztemperatur von 24 bis 25 °C. Die Wärmeleistung beträgt maximal 50 W/m², die Kälteleistung 25 W/m².



USA-Klimabranche entdeckt die PCM-Kühlung

Mit Unterstützung des amerikanischen Fraunhofer Center for Sustainable Energy Systems entsteht im 8.300 m³ großen Neubau des Institute for Molecular Engineering and Sciences an der University of Washington in Seattle ein bislang in den USA einzigartiges Pilotprojekt.

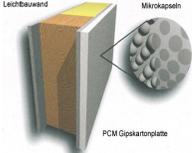
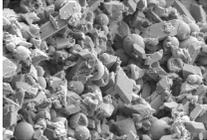
In die Decken und Wände des Institutsgebäudes werden 1,5 cm dicke Matten mit "bioPCM" Materialien (Phase Change Materials), eingesetzt, die im Tagesbetrieb Raumwärme aufnehmen und bei einer konstanten Temperatur von zum Beispiel 23, 25 or 27 ° C schmelzen. Das von der Phase Change Energy Solutions entwickelte bioPCM besteht aus Ölen und hat eine Schmelzenthalpie von etwa 200 kJ / kg (ca. 60 Wh/kg). Die Wärmeabführung aus dem PCM erfolgt in den Nachtstunden mit kühler Außenluft, wozu die Fenster des Instituts automatisch geöffnet werden. Infolge der PCM-Kühlung und weiteren bautechnischen Maßnahmen (Spezialfenster, optimierter Sonnenschutz) soll sich eine Verringerung der zur Gebäudekühlung benötigten Kälteenergie um 98 % ergeben.



Äquivalenzbetrachtung Person

Wärmeabgabe 80 W über 8 h	640 Wh
PCM Salzhydrat	158 kJ/kg = 44 Wh
Erforderliche PCM Masse	14,5 kg
Entsprechendes PCM Volumen	9,7 l

Passive PCM-Systeme

Firma	Produkt	Anwendung	Eigenschaft	Bemerkung
BASF	Micronal® und Maxit® 	PCM-Gipsbauplatten mit 20-30% mikroverkapseltem PCM-Anteil auf Paraffinbasis	$t_{\text{Schmelz}}: 23^{\circ}\text{C} - 26^{\circ}\text{C}$ $c_p: 330 \text{ kJ/m}^2 / 1,2 \text{ kJ/kgK}$	Passives System, Regeneration mittels Lüftung in der Nacht
Caparol	Spachtelmasse 	PCM-Spachtelmasse mit ca. 40 Gewichts-% mikroverkapseltem PCM (Paraffin)	Thermische Wärmespeicherkapazität ca. 40 kJ/kg	Passives System; durch verringerte sensible Masse zusätzliche Wärmeschutzmaßnahme
Dörken	DeltaCool 24 (Salzhydrat) 	PCM in Beutelverpackt als zusätzliche Einlage für abgehängte Decken	makroverkapselt; $t_{\text{Schmelz}}: 22^{\circ}\text{C} - 26^{\circ}\text{C}$ $c_p: 158 \text{ kJ/kg}$	Passives System; Regeneration mittels Nachtlüftung

Passive PCM-Systeme

- Passive Systeme versuchen, das Manko geringer Speichermassen bei modernen Gebäuden auszugleichen.
- Angaben zu Leistungen und Regenerationszeiten im konkreten Anwendungsfall sind nur mit Simulationsrechnungen möglich.

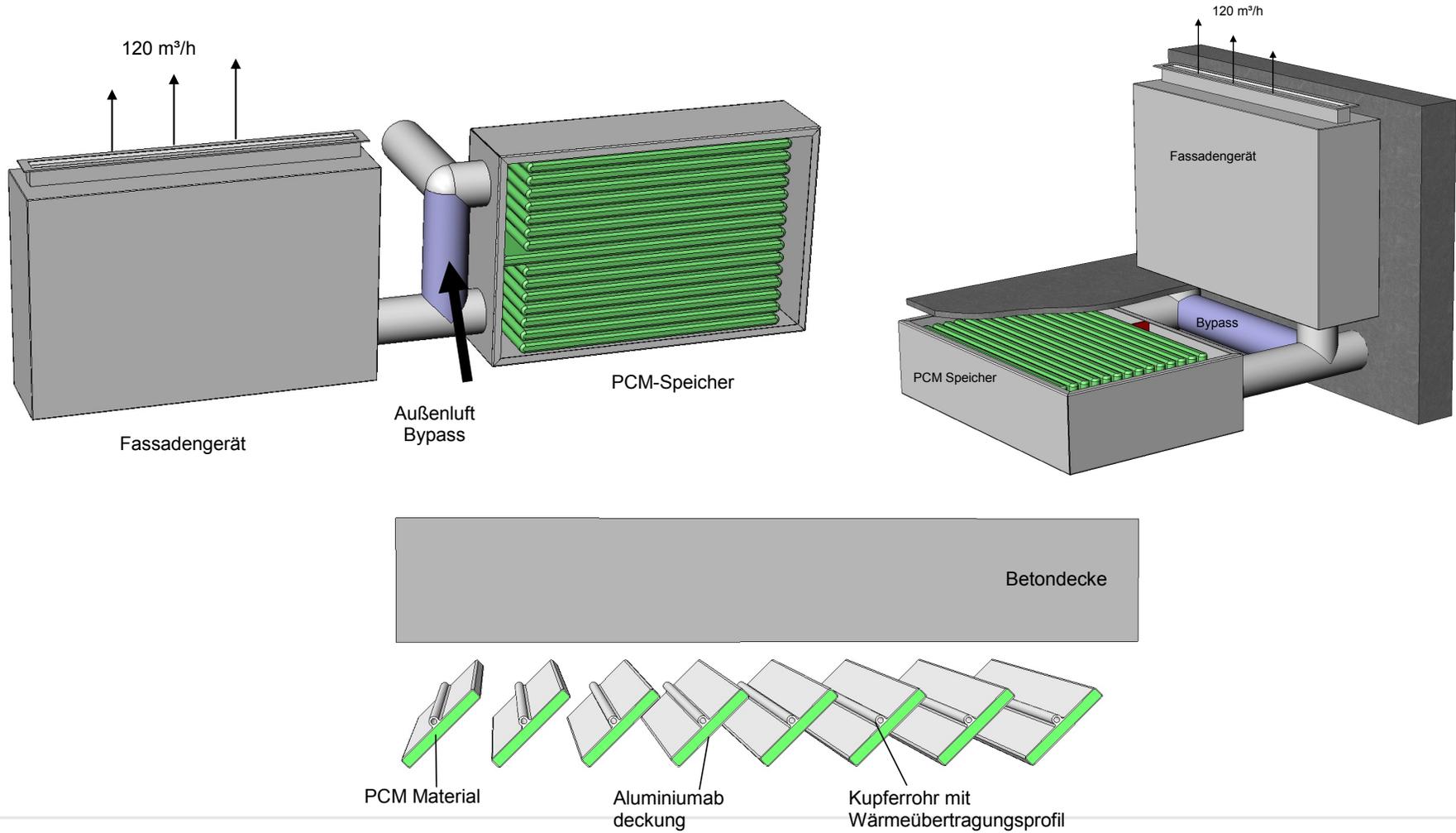


Aktive PCM-Systeme

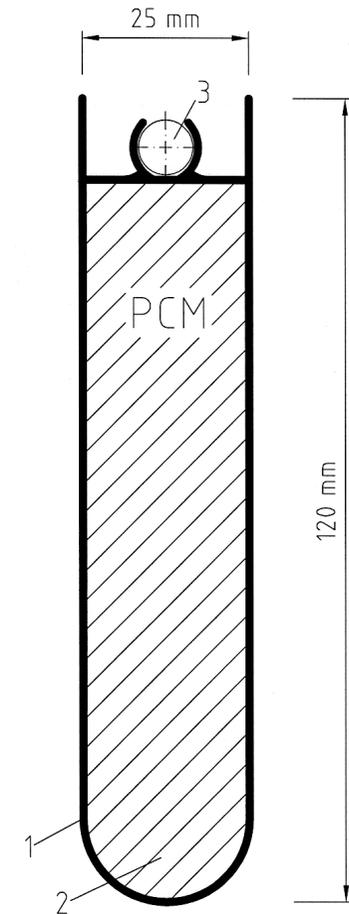
- Aktive Systeme können für den Anwendungsfall konkret dimensioniert werden.
- Seriöse Hersteller haben dazu entsprechende Messungen vorzuweisen.
- Die Leistungen von aktiven Systemen sind deutlich größer als von passiven.



Einsatz von Phasen-Wechsel Materialien (PCM) in der Gebäudetechnik



PCM-Kühldecke

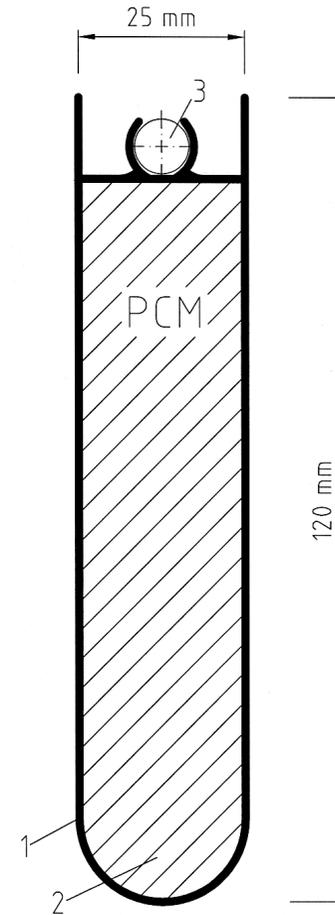
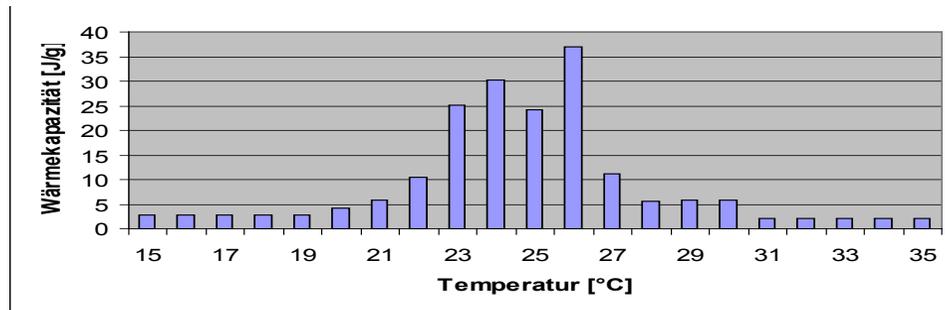
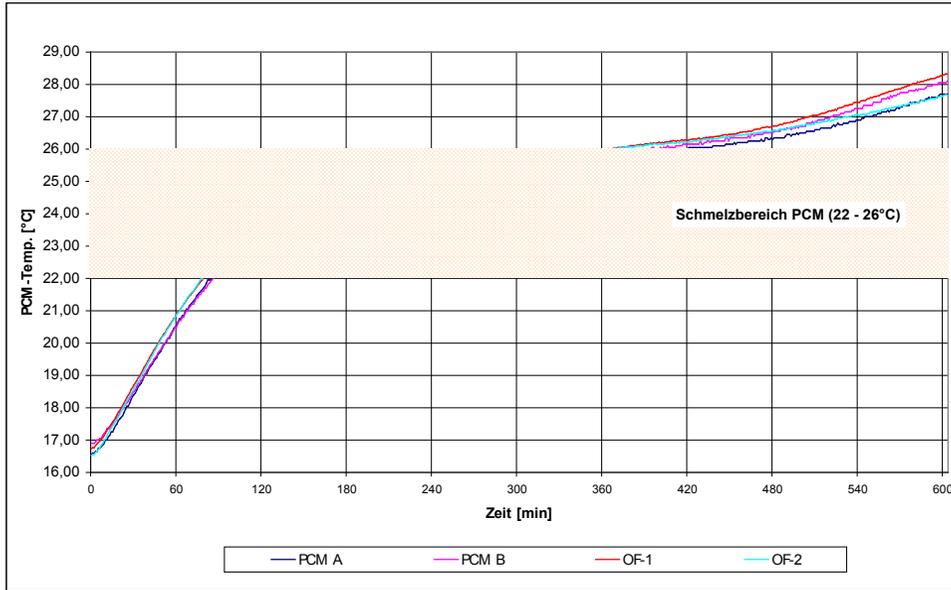


Systembeschreibung PCM-Kühldecke

- Konvektive Kühldecke mit Hohllamellen, bzw. Hohlprofilen, welche mit PCM Material gefüllt sind
- Wärmebelastung des PCM Speichers rein konvektiv aufgrund großer Oberfläche
- kein Ventilator erforderlich
- Regeneration des Speichers mit Wasser aus Kühlturm, Brunnen, Erdsonden, etc.
- Als Wassertemperatur sind zur Regeneration 19°C ausreichend



PCM-Kühldecke



PCM-Kühldecke



PCM-Kühldecke



Vorteile der Hochleistungskühldecke mit PCM

- Zusätzlicher Systemaufwand gering
- Nutzung von Energiequellen mit hohem Temperaturniveau möglich
- Erhöhung der Gebäudespeichermasse
- Verringerung der zu installierenden Kältemaschinenleistung
- Reduktion der Kältemaschinenlaufzeit
- Parallelkühlung über PCM und Kühldecke möglich



Projekt InHaus 2



Projekt InHaus 2



Projekt InHaus 2

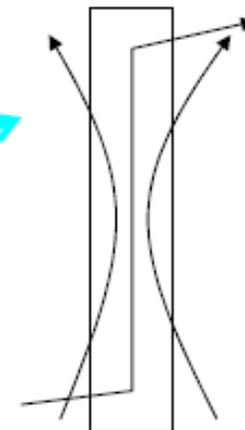
Fortluftklappe

Wasserwärmetauscher
heizen/kühlen
Zuluftdurchlass

PCM-Pakete

Zuluftventilator
(90 – 150 m³/h)
Schalldämpfer

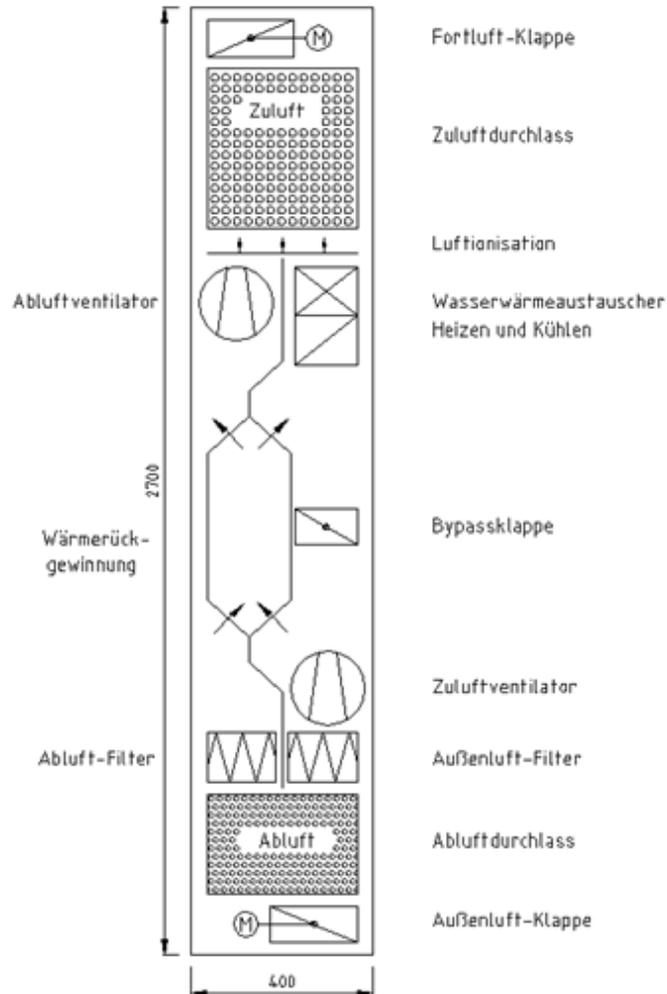
Umluftdurchlass
F7 Filter
Aussenluftklappe



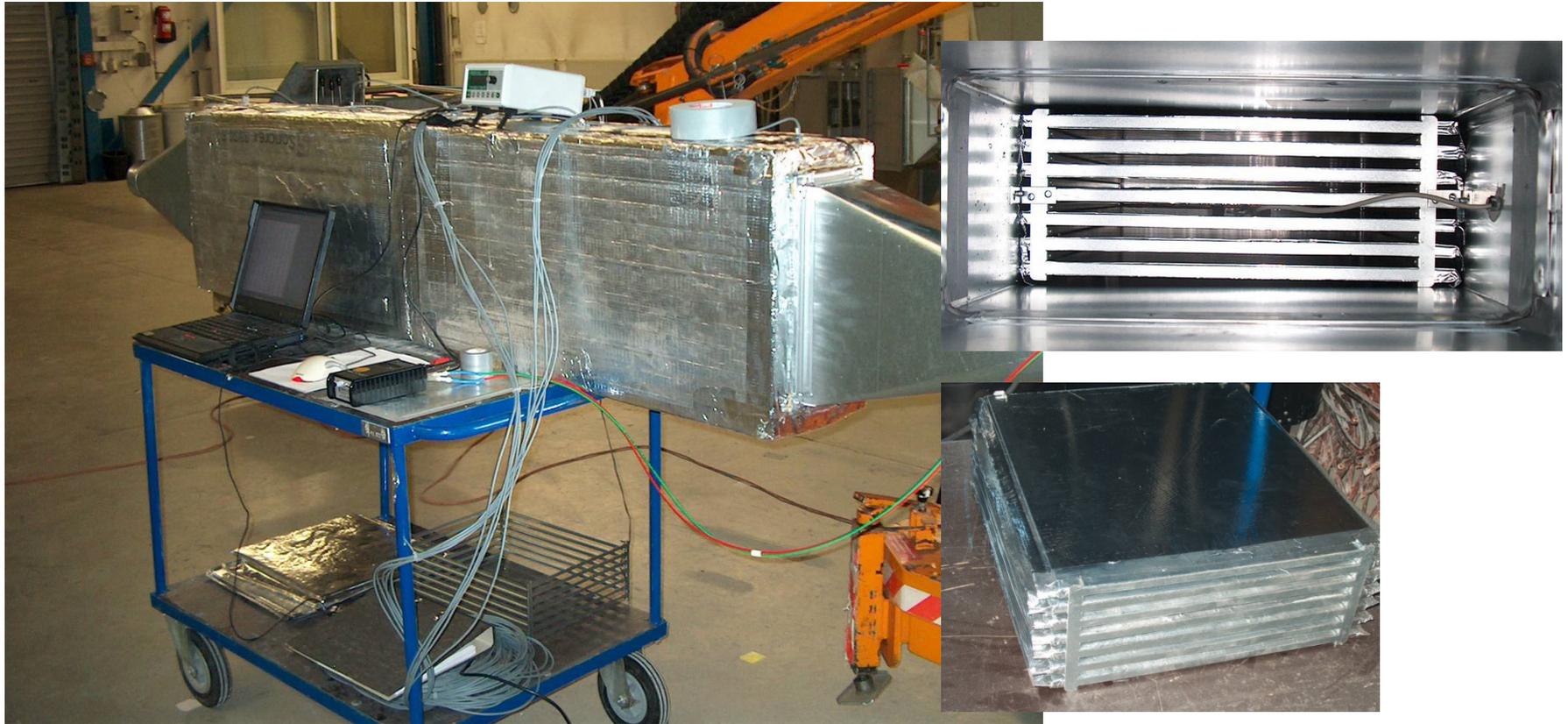
Betrieb mit

- Zuluft
- Umluft
- „Nachtluft“

Lüftungs-Fassadengerät, Standardausführung



Versuchsstand

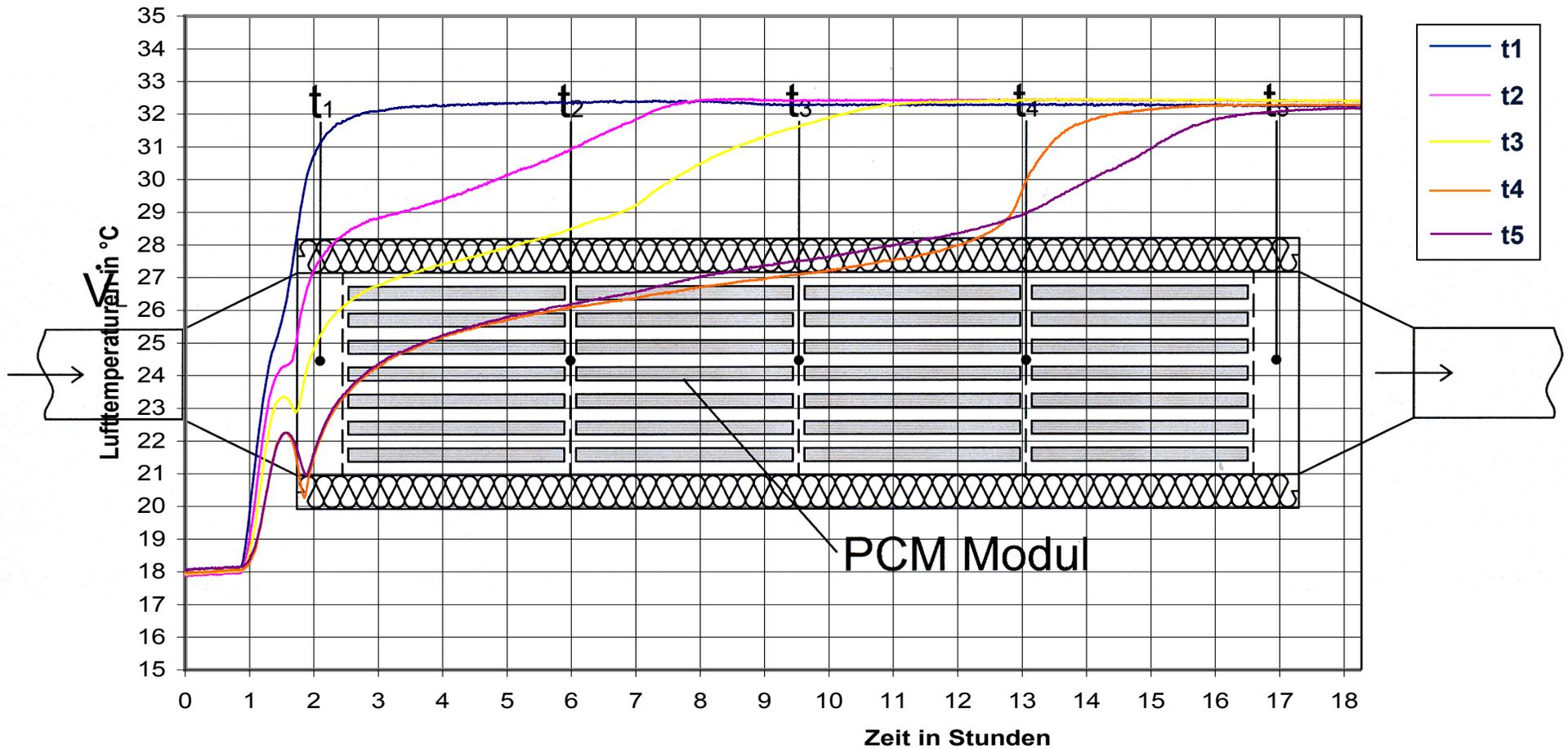


PCM-Fassadengerät

Zuluftvolumenstrom	120 m³/h
PCM Masse	63 kg
Spezifische Schmelzenthalpie	140 kJ/kg
Speicherbare Wärmemenge	8.820 kJ = 2.450 Wh
Mittlere äquivalente Leistung	306 W über 8 Stunden

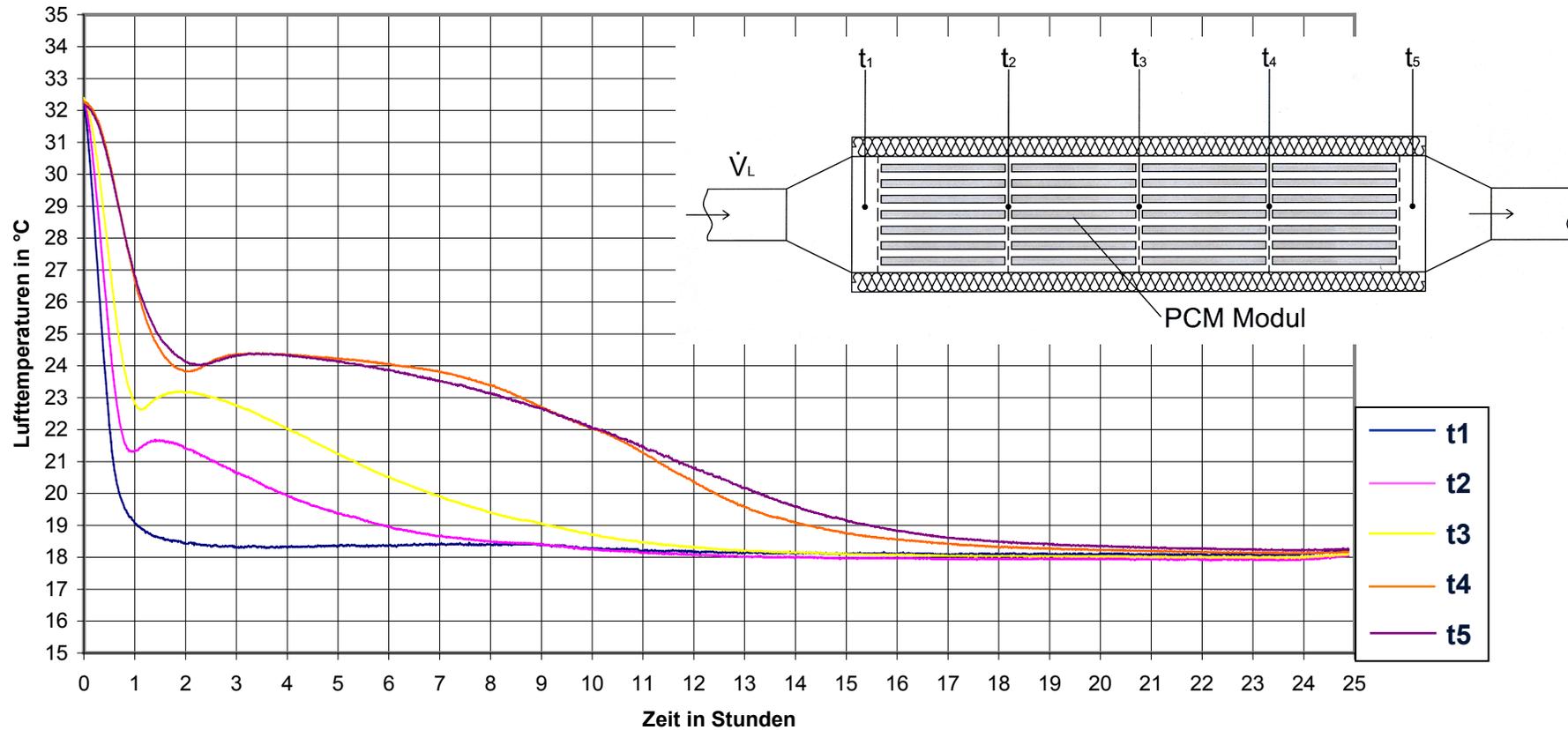


Tagbetrieb (PCM-Beladung)



Nachtbetrieb (PCM-Regeneration)

Nachtbetrieb (PCM-Regeneration, LC 24)



Energiestrombilanz

Errechnete Werte auf Basis der Materialeigenschaften von Salzhydrat 2

PCM Masse	63 kg
Spezifische Schmelzenthalpie	140 kJ/kg
Speicherbare Wärmemenge	8.820 kJ = 2.450 Wh
Mittlere äquivalente Leistung	306 W über 8 Stunden

Gemessene Werte

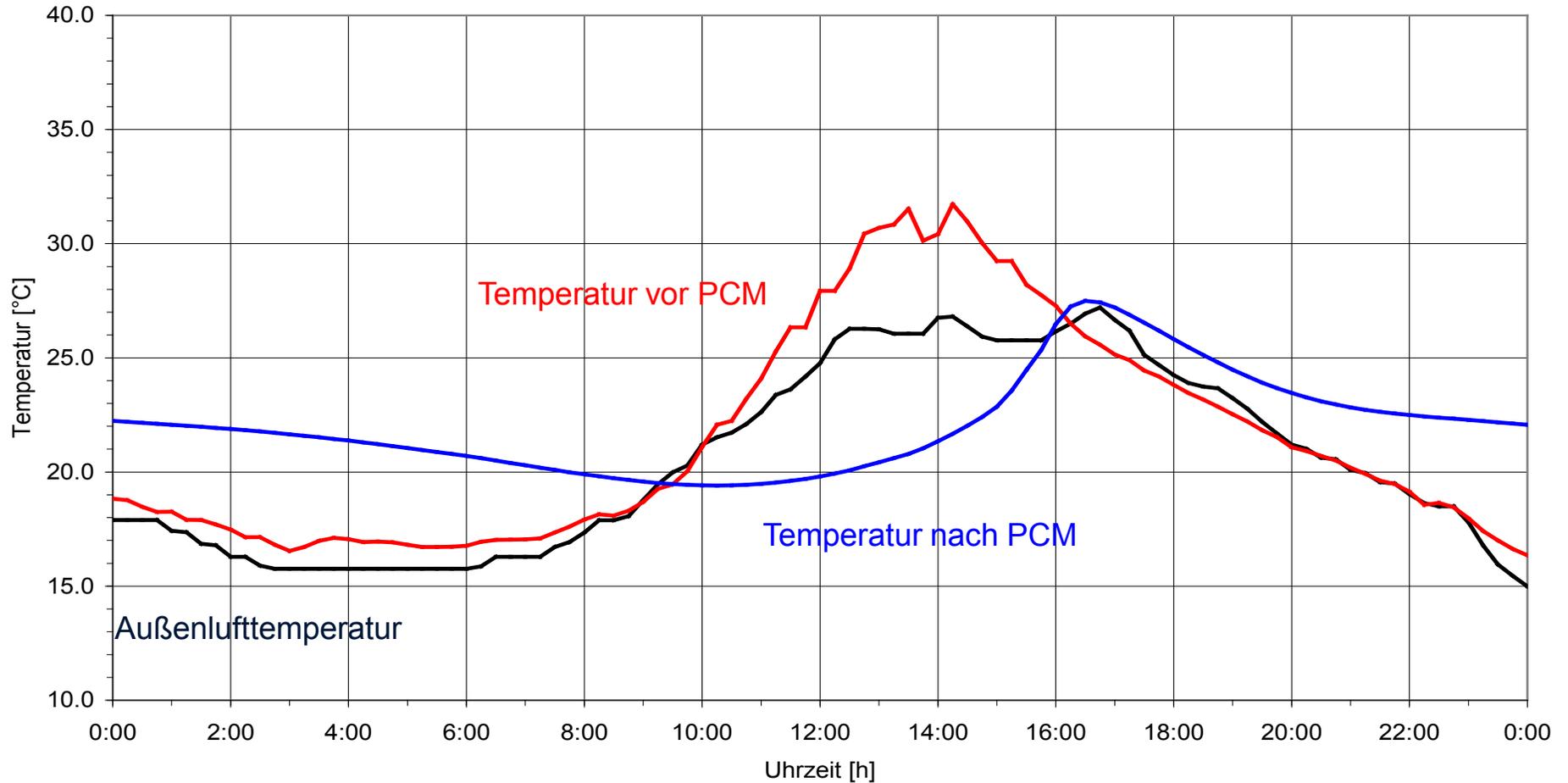
$$Q = \dot{V} \cdot \rho \cdot c \cdot \Delta z \sum_1^n (t_1 - t_5) \quad \text{mit } \dot{V} = 120 \text{ m}^3/\text{h}$$

Wärmeaufnahme (Tagbetrieb) $Q_T = 10.690 \text{ kJ}$

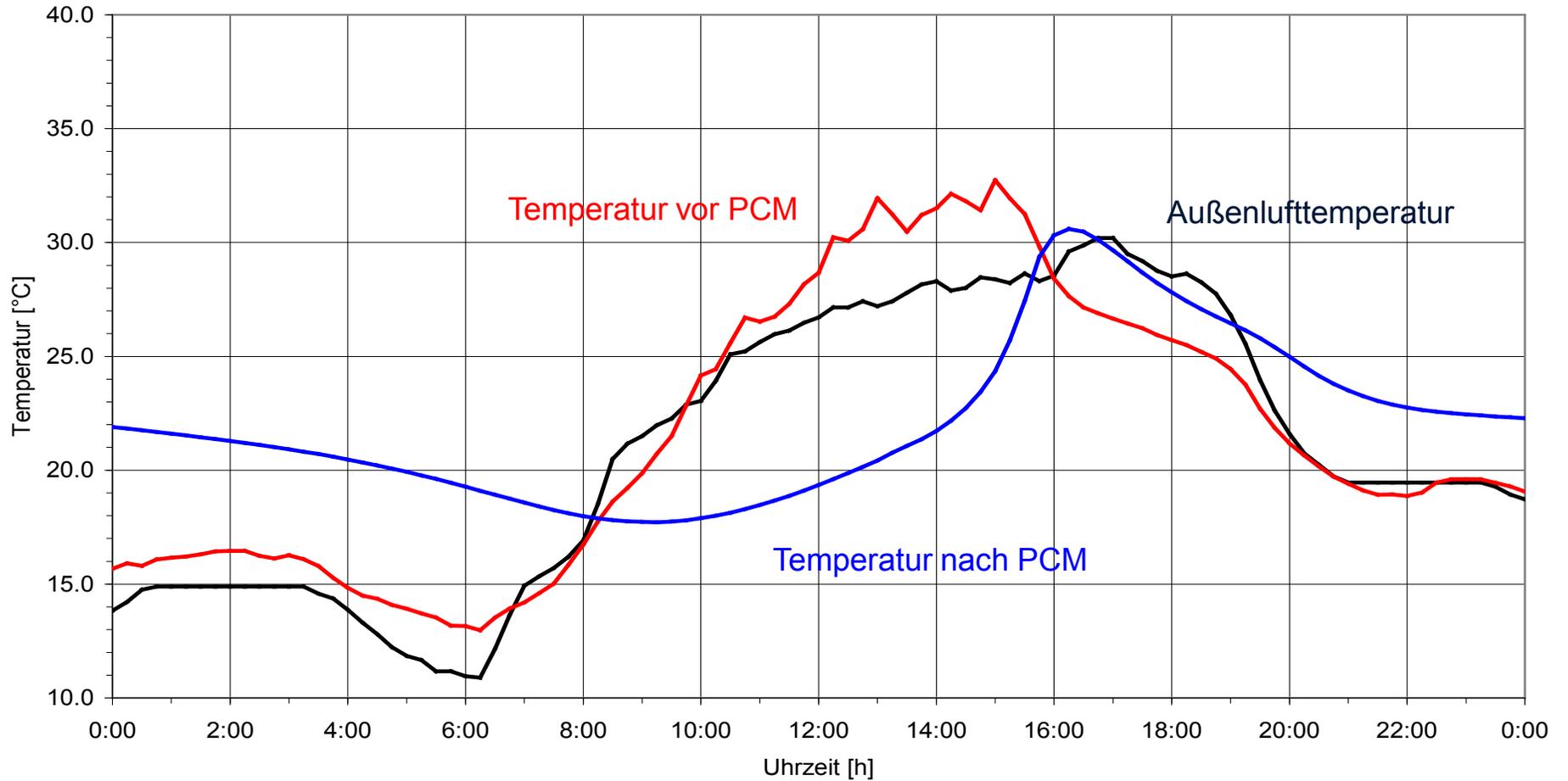
Regeneration (Nachtbetrieb) $Q_N = -10.125 \text{ kJ}$



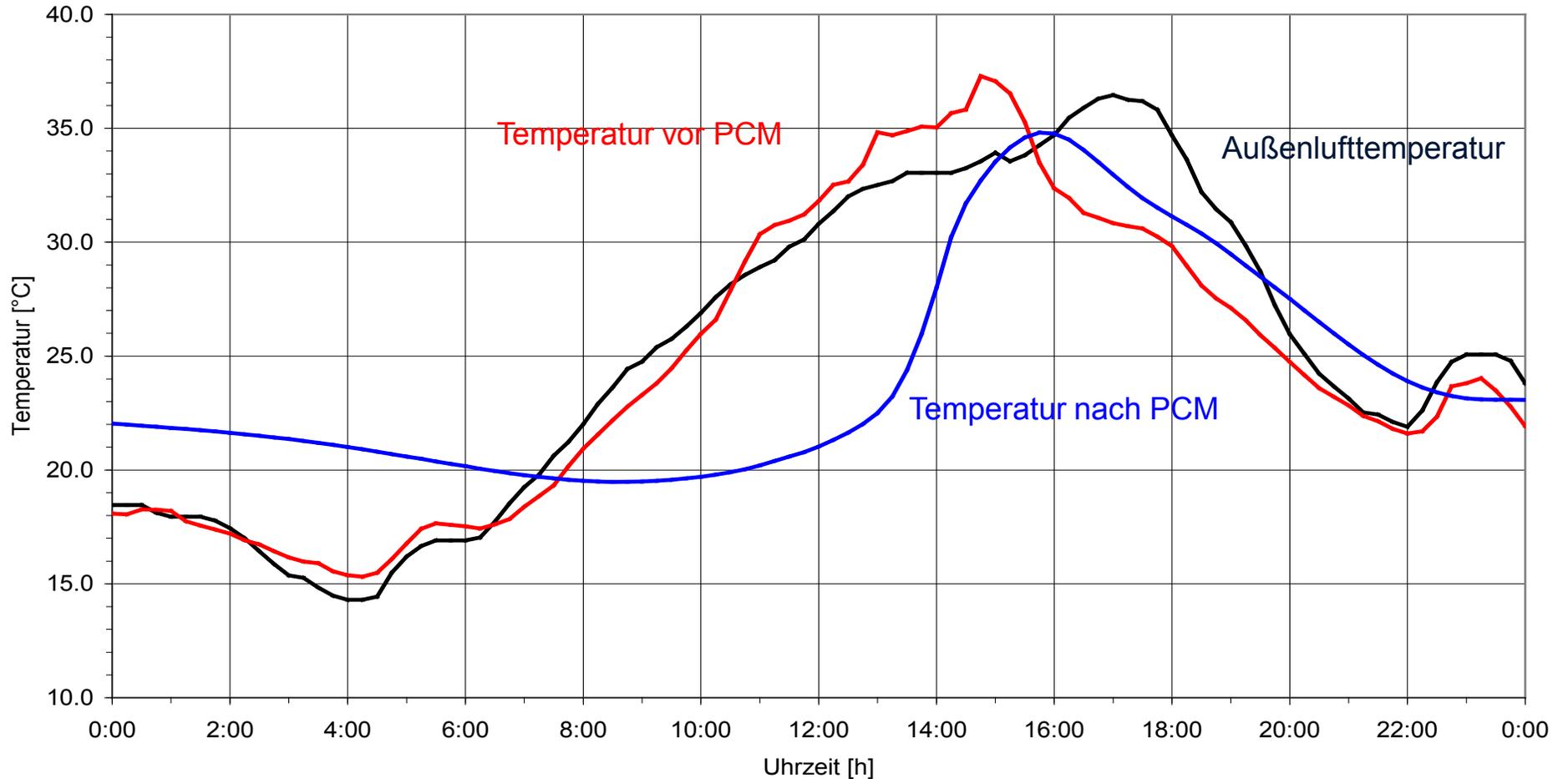
PCM – Paraffin – Südraum | 17.08.2009 | Gemäßigter Sommertag



PCM – Paraffin – Südraum | 23.08.2009 | Heißer Sommertag



PCM – Paraffin – Südraum | 19.08.2009 | Extrem heißer Sommertag



Projekt InHaus 2

Lüftung + Brandschutz

Forschung + Entwicklung

Dezentrale Fassadengeräte mit Phasenwechsellmaterial

Bild 1

InHaus2 mit dezentralen Fassadengeräten

D. Makulla, Aachen, I. Heusler, H. Sinnesbichler, Valley, Ch. Scholz, Gundelfingen, S. Gschwander, Freiburg

Im Rahmen eines Verbundvorhabens werden im inHaus2-Gebäude in Duisburg dezentrale Fassadengeräte mit einem Phasenwechsellmaterial ausgestattet. Ziel des Vorhabens ist es, unter realen Einbaubedingungen messtechnische Ergebnisse über das Leistungsverhalten der Geräte zu erlangen. Ferner sollen in Simulationsberechnungen mit den gewonnenen Erkenntnissen Aussagen über Leistungszahlen und Energieverbrauch im Vergleich zu einer herkömmlichen Kühlung mittels Kältemaschine ermittelt werden.

Autoren

Dr.-Ing. Ingo Heusler, Gruppe Fassadenkonzepte/Abteilung Energiesysteme, Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP, Valley.

Dipl.-Ing. Detlef Makulla ist seit 2002 Leiter der Forschungs- und Entwicklung bei der YIT Germany GmbH, Aachen.

Dipl.-Phys. Christian Scholz ist seit 1991 als Bauphysiker und Entwickler bei der Josef Gartner GmbH, Gundelfingen, tätig.

Dipl.-Ing. (FH) Herbert Sinnesbichler, Gruppenleiter Fassadenkonzepte, Abteilung Energiesysteme am Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP, Valley.

Dipl.-Ing. Stefan Gschwander, wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fraunhofer-Institut für solare Energiesysteme ISE, Freiburg.



Ein Schwerpunkt der Entwicklungstätigkeit im Bereich neuer Fassadentechnologien im Unternehmen Gartner bildet die inHaus2-Forschungsanlage in Duisburg (www.inhaus2.de). In Zusammenarbeit mit der Fraunhofer Gesellschaft und weiteren Kooperationspartnern aus der Wirtschaft werden dort neue Technologien zum kosten- und energieeffizienten Betrieb von Gebäuden erprobt.

Gebäude und Fassade des inHaus2

Neben vielen kleinen Innovationen ragen die im inHaus2 erstmalig eingesetzte Closed Cavity Fassade (CCF) und dezentrale Fassadentechnologien (Bild 1) heraus. Die Closed Cavity Fassade hat sich nach der Erprobung im inHaus2 am Markt als innovative neue Technik mit mittlerweile rd. 120 000 m² verkaufter Fassadenfläche etabliert. Neben dieser Innovation entwickelten die Firmen YIT Germany GmbH und Josef Gartner

GmbH besonders kompakte fassadenintegrierte Geräte zur Lüftung und Klimatisierung.

Fassadenintegrierte Geräte zur Lüftung und Klimatisierung sind modular aufgebaut und werden in die Fassade eingehängt. Der Einbau erfolgt entweder im Werk oder auf der Baustelle. Bild 2 zeigt exemplarisch den Einbau. Der Moduldanke ermöglicht jederzeit den Austausch.

Die Fassade weist Zu- und Fortluftkanäle auf, die Zu- und Fortluftöffnungen sind in die Fassadenaußenhülle integriert. Dichtungen im Bereich der Kopplungsstellen Fassade – Modul sorgen für die Luftdichtigkeit der Kanäle. Der schlanke Aufbau der Fassade wurde durch die Verwendung von Vakuumisoliationspaneelen im Bereich des Moduls ermöglicht. Thermische Schwachstellen im Bereich des Lüftungsgeräts werden so vermieden (Bild 3).

In einer begleitenden Versuchsserie wurden die Schalldämmmaße des dezentralen Geräts mit unterschiedli-

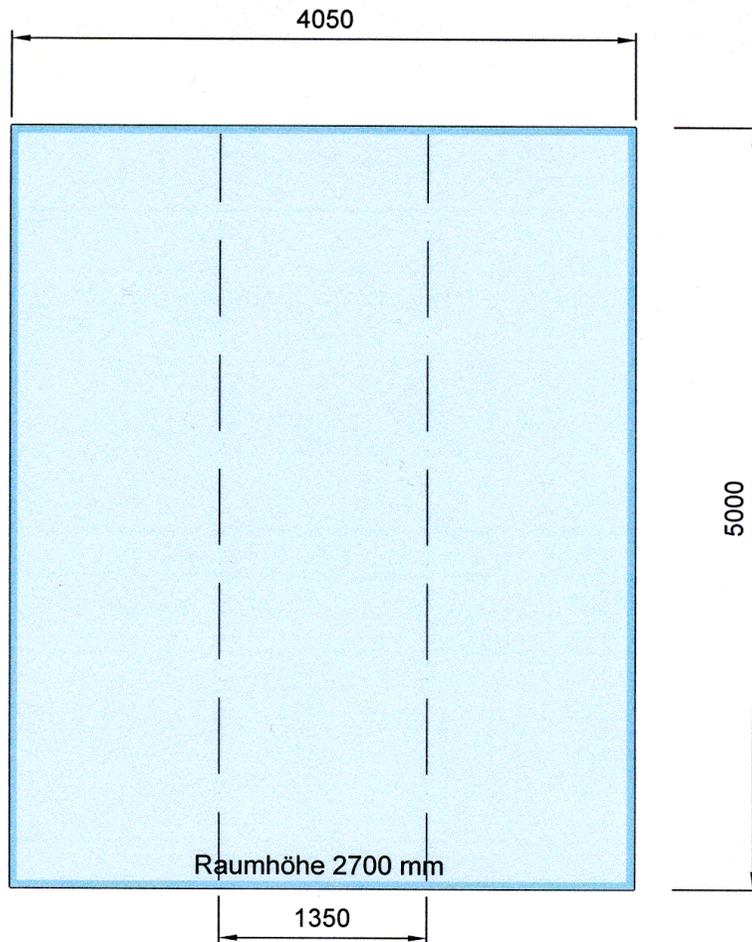


Vergleich der PCM-Systeme

	PCM-Kühldecke	PCM-Fassadengerät
Außenluftversorgung integriert	nein	ja
Ventilator erforderlich	nein	ja, dezentral
Kühlturm erforderlich	ja	nein
Direkte Außenluftnutzung zur Regeneration	nein	ja
Nutzbares Kühlpotential der Außenluft	hoch	mittel
Leistungsfähigkeit	hoch	mittel
Kühlung bei verbrauchtem Speicher mit Kaltwasser möglich	ja	ja
Wärmeübertragung durch Strahlungsanteile	ja	nein
Behaglichkeit im Raum	hoch	mittel
Nachrüstbarkeit	ja	ja

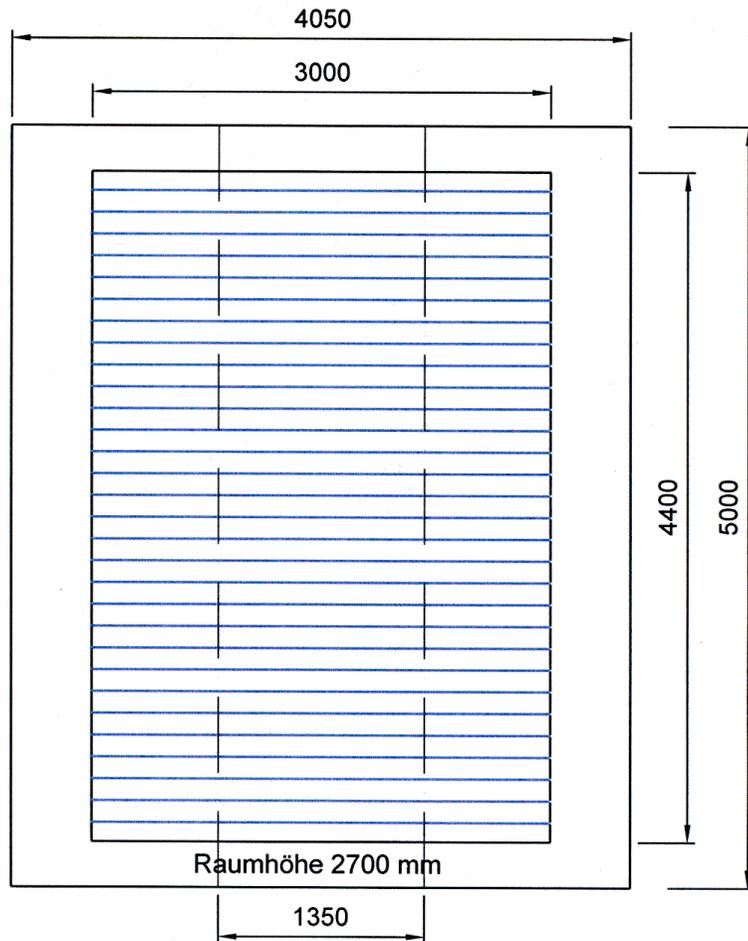


PCM in Gipskartondecke Paraffin-Mikroverkapselung



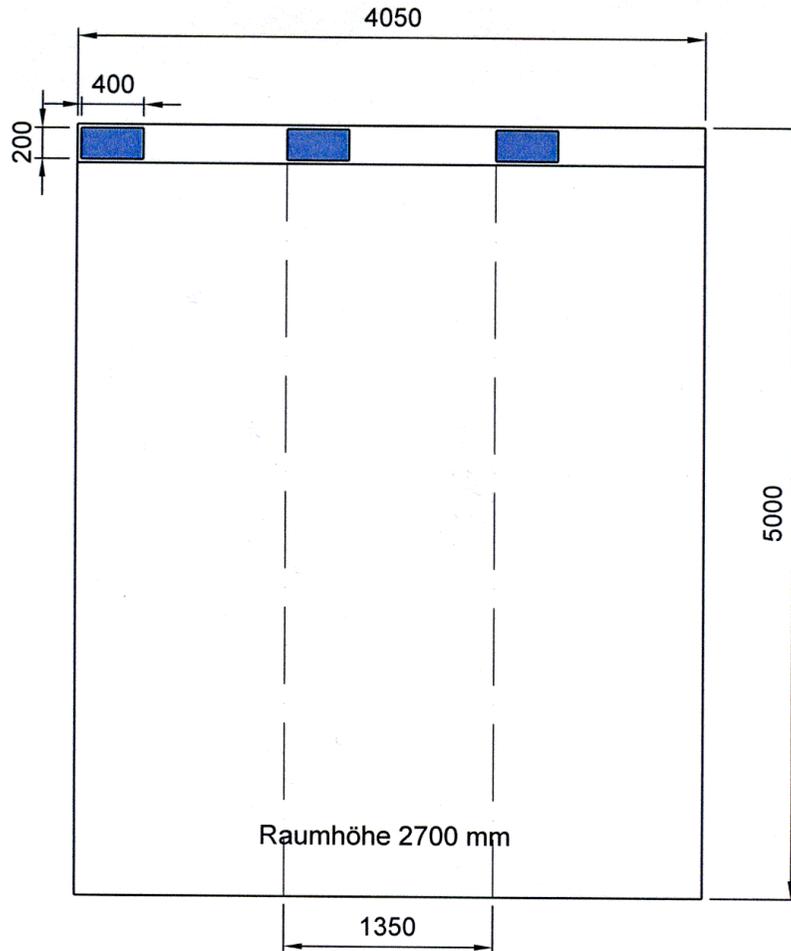
- Flächen
 - Belegungsgrad durch Gipskarton mit PCM
 - PCM Typ
 - Schmelzenthalpie
 - Speicherkapazität pro m² Gipskartonfläche
 - Aktive Fläche im Raum
 - Speicherkapazität für Raum
 - Spezifische Speicherkapazität für Raum
 - **Speicherkapazität über 8 Stunden**
- | | Decke |
|--|--------------------------------------|
| | 100 % |
| | Paraffin mikroverkapselt |
| | 130 kJ/kg |
| | 330 kJ/m ² |
| | 20 m ² |
| | 6.600 kJ = 1.833 Wh |
| | 92 Wh/m ² Fußboden |
| | 11,5 W/m² Fußboden |

PCM in Hochleistungs-Lamellenkühldecke mit Salzhydrat



- Anzahl Lamellen 6 pro Meter
- Belegungsgrad durch PCM-Kühldecke 65%
- PCM Typ Salzhydrat
- Schmelzenthalpie 158 kJ/kg
- PCM Masse pro m² Kühldecke 16 kg/m²
- PCM Masse pro m² Bodenfläche 10,4 kg/m²
- Speicherkapazität pro m² Kühldecke 2.520 kJ/m²
- Speicherkapazität für Raum 33.264 kJ = 9.240 Wh
- Spezifische Speicherkapazität für Raum 456 Wh/m² Fußboden
- **Speicherkapazität über 8 Stunden 57 W/m² Fußboden**

PCM in Fassadengeräten mit Paraffin/Graphit-Verbund



- Geräteanzahl 3
- PCM Typ Salzhydrat im Graphitverbund
- Schmelzenthalpie 140 kJ/kg
- PCM Masse pro Gerät 63 kg
- PCM Masse pro m² Bodenfläche 9,3 kg/m²
- Speicherkapazität pro Gerät 8.820 kJ
- Speicherkapazität für Raum 26.460 kJ = 7.350 Wh
- Spezifische Speicherkapazität Raum 363 Wh/m² Fußboden
- **Speicherkapazität über 8 Stunden 45 W/m² Fußboden**

Systemvergleich PCM Typräume

System	Micronal-Kapseln in GK-Platten an Wand und Decke	PCM Lamellen- Kühldecke	PCM Fassadengerät
PCM Materialbasis	Paraffin	Paraffin oder Salzhydrat	Paraffin oder Salzhydrat
Systemtyp	passiv	aktiv	aktiv
Wärmeaufnahme- fähigkeit über 8 Std.	11-21 W/m ² Fußboden	57 W/m ² Fußboden	45 W/m ² Fußboden
Regenerationszeit	> 8 h	< 3 h	6-8 h
Integration der Außenluftversorgung	nein	möglich	ja
Nutzung freier Kühlung zur Regeneration	nur über RLT Anlagen oder offenbare Fenster	ja, mittels Kühlturm bis Kühlgrenztemperatur	ja, mit Aussentemperatur
Nachkühlung, falls PCM erschöpft	nein	ja	ja
Heizungsmöglichkeit im Winter	nein	ja, wenn Heizlamellen zusätzlich integriert werden	ja

KRANTZ KOMponenten PCM-Produkte

■ Kühl- und Heizsysteme

Dezentrales PCM-Lüftungsgerät



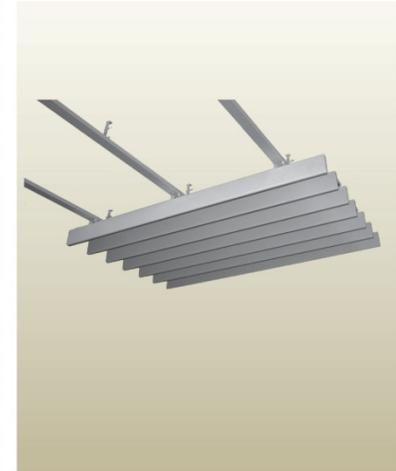
Produktinformation

DS 4166 09.2009

Krantz
KOMponenten®
Lösungen mit System

■ Kühl- und Heizsysteme

PCM-Kühldecke



Produktinformation

DS 4165 09.2009/1

Krantz
KOMponenten®
Lösungen mit System



PCM-Kühlsegel



Resümee

- Systeme mit PCM haben im Labor und in Feldmessungen ihre Leistungsfähigkeit bewiesen.
- Aktive Systeme haben gegenüber passiven Systemen deutliche Vorteile.
- Der Einsatz ist im Bereich von Kühldecken und Fassadengeräten möglich.
- Wenn wenig Platz zur Verfügung steht, sind PCMs auf Salzhydratbasis besser geeignet.
- Bei einem wirtschaftlichen Vergleich sind Mehrkosten zu einem Standardsystem und Einsparungen im Bereich der Kälteerzeugung (Invest -und Verbrauchskosten) zu berücksichtigen.





**Vielen Dank
für Ihre Aufmerksamkeit**