



# **Green Building** **Integration nachhaltiger Gebäudetechnik und Architektur**

## **Einsatz von PCM in Gebäuden** — **Möglichkeiten und Potenziale passiver und aktiver Systeme**

**Dr.-Ing. Bruno Lüdemann**

**Imtech Deutschland GmbH & Co. KG**  
**Forschung und Entwicklung**

# Imtech Deutschland

The Leading Constructor  
and Service Provider for  
Technical Building Services

Imtech N.V.			Imtech Deutschland	
2008	2009		2008	2009
3.859	4.323	Betriebsleistung*	1.037	1.103
197,2	235,9	EBITA*	59,1	80,3
5,5%	5,8%	EBITA-Marge	5,7%	7,3%
4.514	4.748	Auftragsbestand*	1.529	1.620
22.510	22.955	Mitarbeiter (FTE)	4.212	4.497

\* In Mio EURO

The companies of the  
Imtech Deutschland Group  
belong to the Netherlands-  
based Imtech Group.

best in technical **performance**



## Kernkompetenz TGA

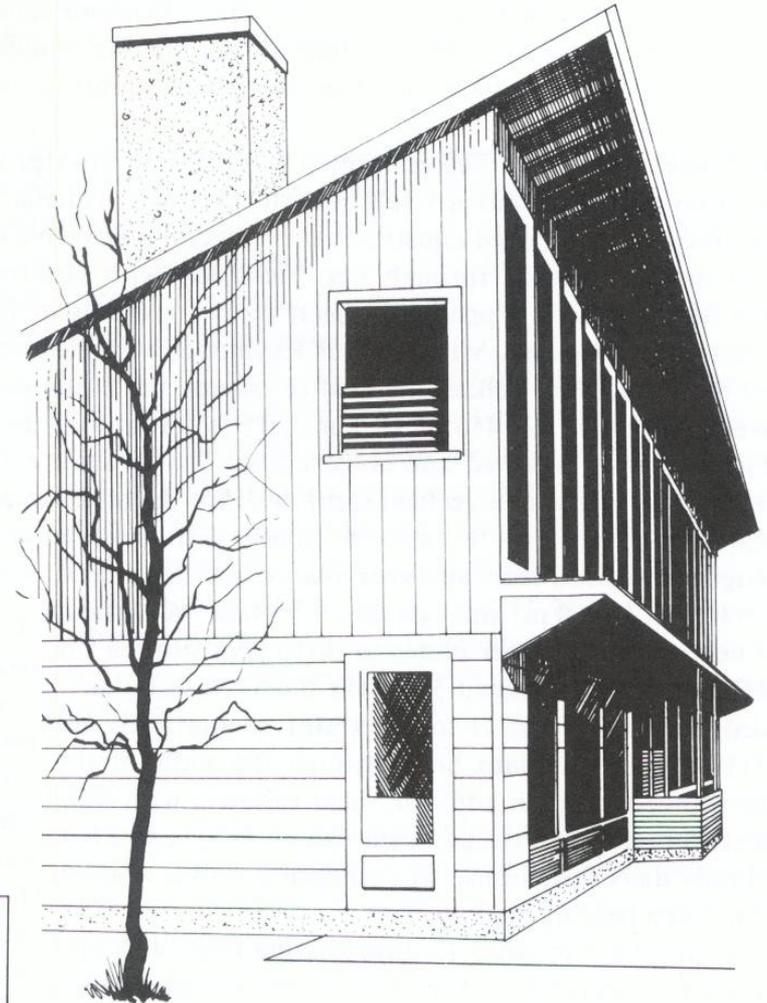
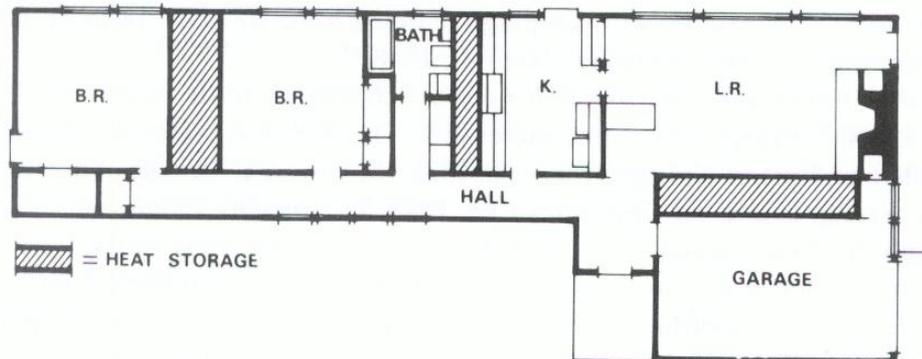
- Imtech vernetzt einzelne, aufeinander abgestimmte technische Systeme und gewährleistet damit die Zukunftssicherheit sowie Wirtschaftlichkeit von Industrieanlagen, Bürogebäuden, Flughäfen, multifunktionalen Arenen etc.
  - Wärme- und Kältetechnik
  - Luft- und Klimatechnik
  - Elektrotechnik
  - Gebäudeautomation/MSR-Systeme
  - Brandschutztechnik
  - Daten- und Kommunikationstechnik
  - Sicherheitstechnik
  - Sanitärtechnik
  - Gebäudemanagement und Service





## Latentwärmespeicher: Erstes PCM-Gebäude

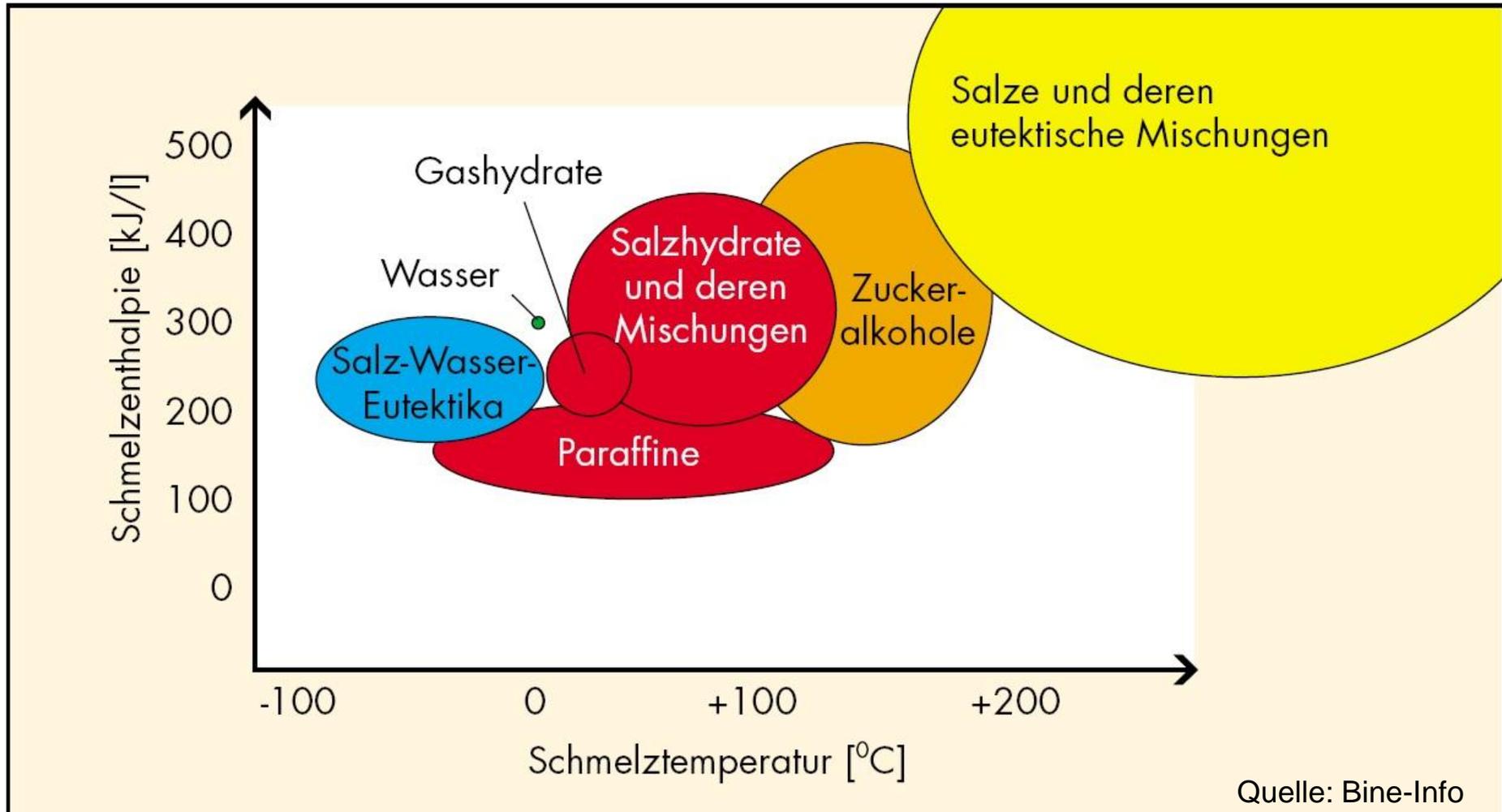
- 1949 in der Nähe von Boston
- 21 Tonnen Glaubersalz mit Solarkollektoren
- 2 Winter erfolgreich das Gebäude beheizt, im dritten Jahr PCM defekt



Quelle: Lane

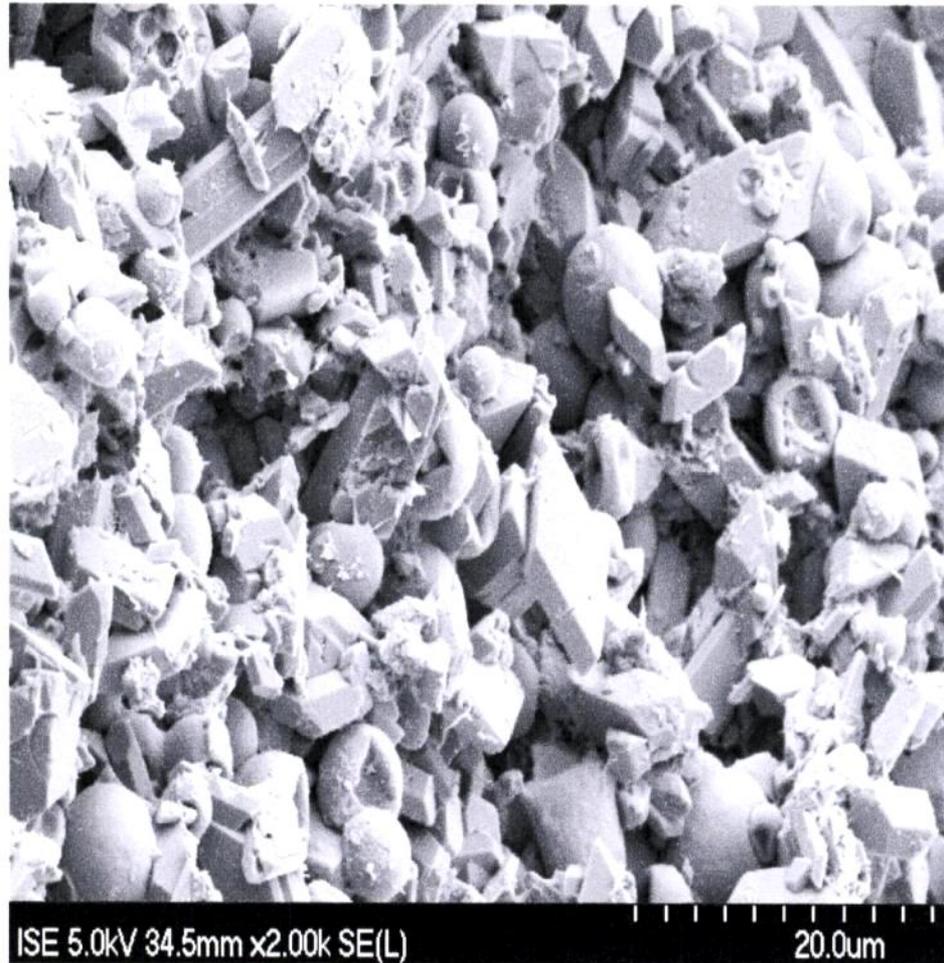


# Gebäudekühlung mit PCM: Materialauswahl



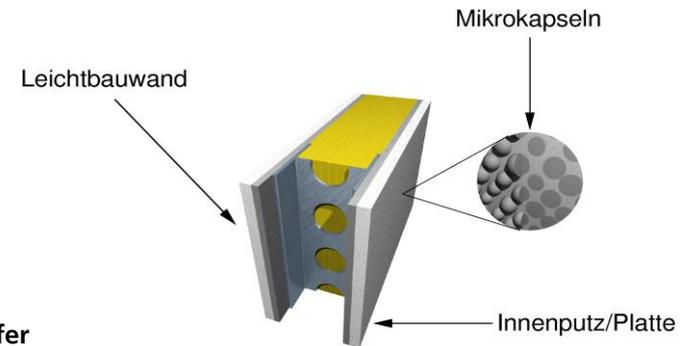


# Ansatz passive Speicherung von Wärme in Bauteilen



REM Gipsputz mit PCM-Mikrokapseln

- Mikroverkapselte Materialien für die Integration in Baustoffe für passive Systeme optimierter Schmelztemperatur im Bereich 24 – 25°C verfügbar
- Entwicklung und Markteinführung von Putzen und pasteusen Produkten mit integrierten Latentmaterialien
- Hauptanwendung: Komforterrhöhung im Sommer → Speicherladung am Tag durch Raumlaster; Speicherentladung in der Nacht durch Lüftung
- Langzeitstabilität erreicht (10.000 Zyklen getestet)

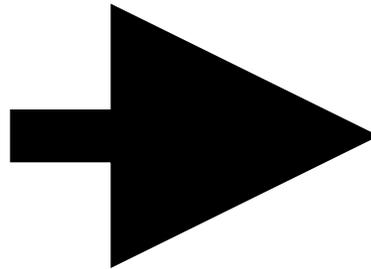


Quelle:

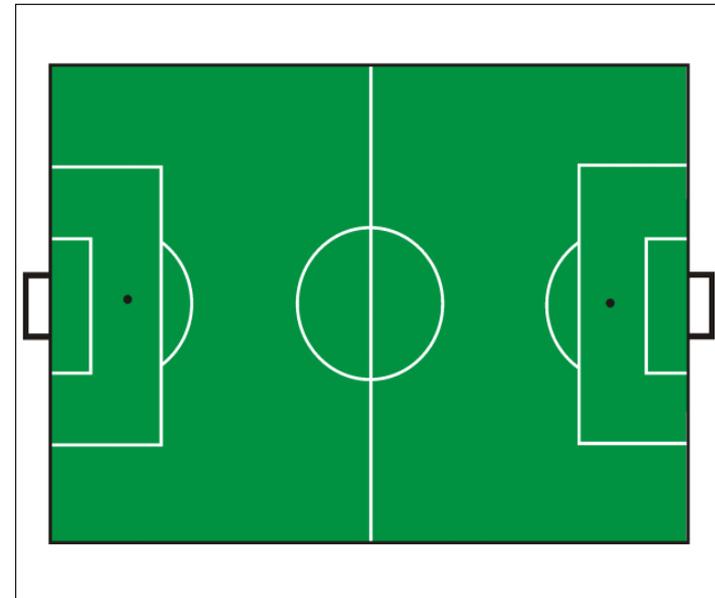


## Mikrokapseln: Vergrößerung der Oberfläche

Paraffinball  $D = 20 \text{ cm}$   
Volumen = 4 L  
Fläche =  $0,126 \text{ m}^2$



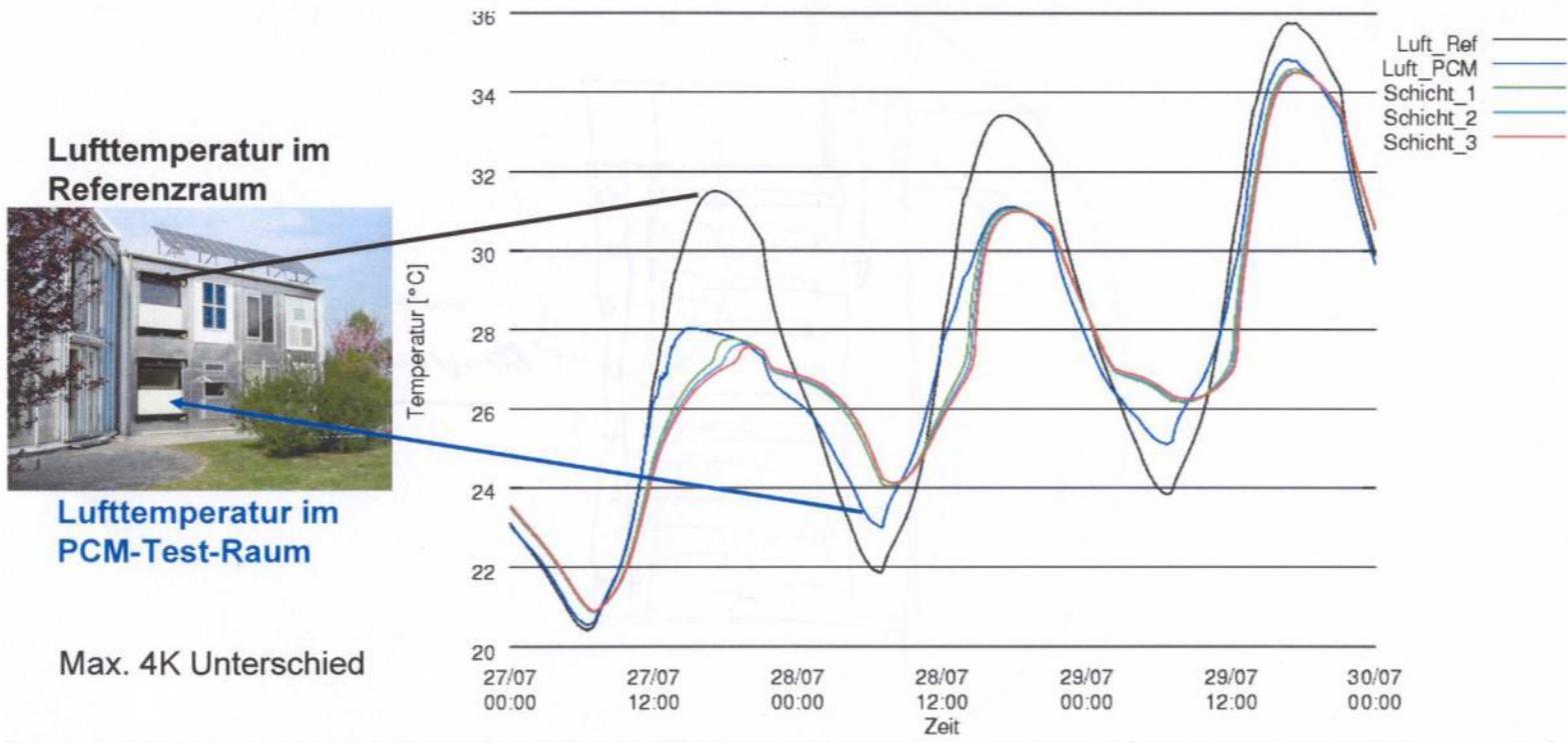
Paraffintropfen  $D = 5 \mu\text{m}$   
Fläche =  $4800 \text{ m}^2$





# Lufttemperaturmessungen im PCM-Testraum (ISE)

## Testraum-Messungen (Sommerperiode)





# PCM-Bauteilkühlung: Seit 2004 Produkte

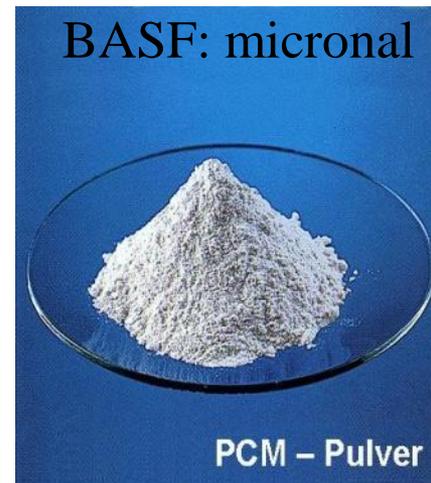
Mindestens zwei Firmen  
mit Makrokapseln

Dörken

Rubitherm



Verschiedene Produkte mit  
Mikrokapseln:  
Gipsputz, Gipsplatten,  
Porenbetonsteine .....



[www.micronal.de](http://www.micronal.de)



The Chemical Company

SmartBoard™





## Standardisierung PCM - RAL Gütesiegel

- **vereinheitlichte Messverfahren für PCM und PCM-Verbundmaterialien und Systeme**
  - 3 Gütekriterien: Schmelzwärmeverlauf, Zyklenstabilität, Wärmeleitfähigkeit
  - aktuell haben sich 6 Firmen zu einer Gütegemeinschaft zusammengeschlossen: BASF, Rubitherm, Doerken, EMCO, SGL, Salca, (offen für weitere!!)
  - Güte- und Prüfbestimmungen wurden verabschiedet und das RAL-Gütesiegel beantragt
  - Am 2.11.06 wurde beschlossen, auch Systeme zu bewerten, nur dann Siegel für Systeme
  - Seit 12/06 laufen erste Zertifizierungen





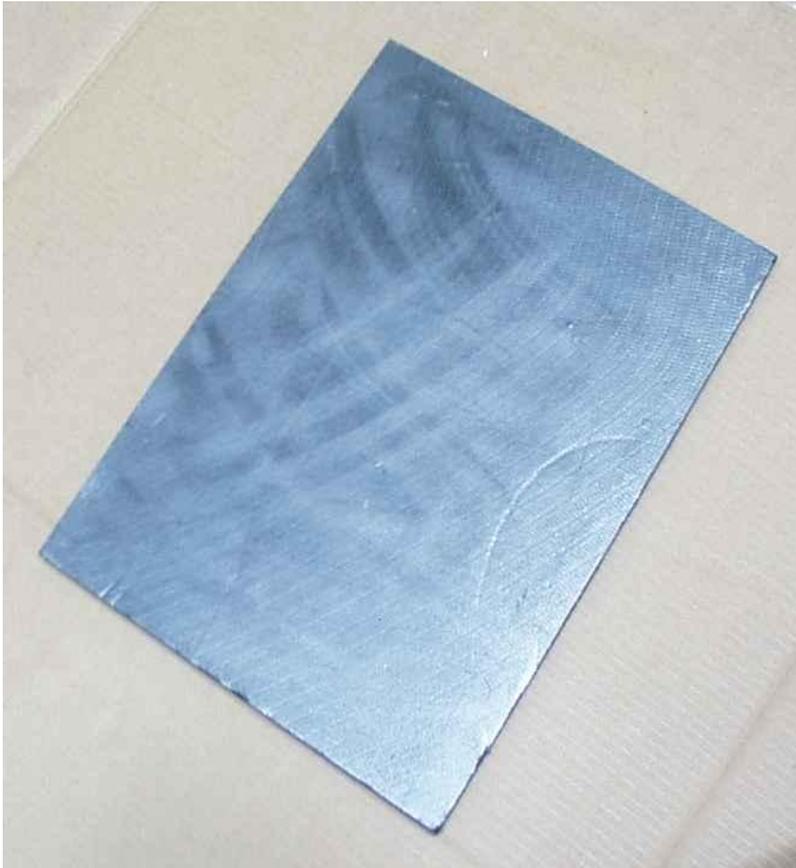
# Kühlen ohne Kältemaschine

## Anwendungen aus dem LowEx – Forschungsverbund

**2003 bis 2007**



## PCM – Speicherplatten: Verbundmaterial als Graphit-Paraffin-Matrix



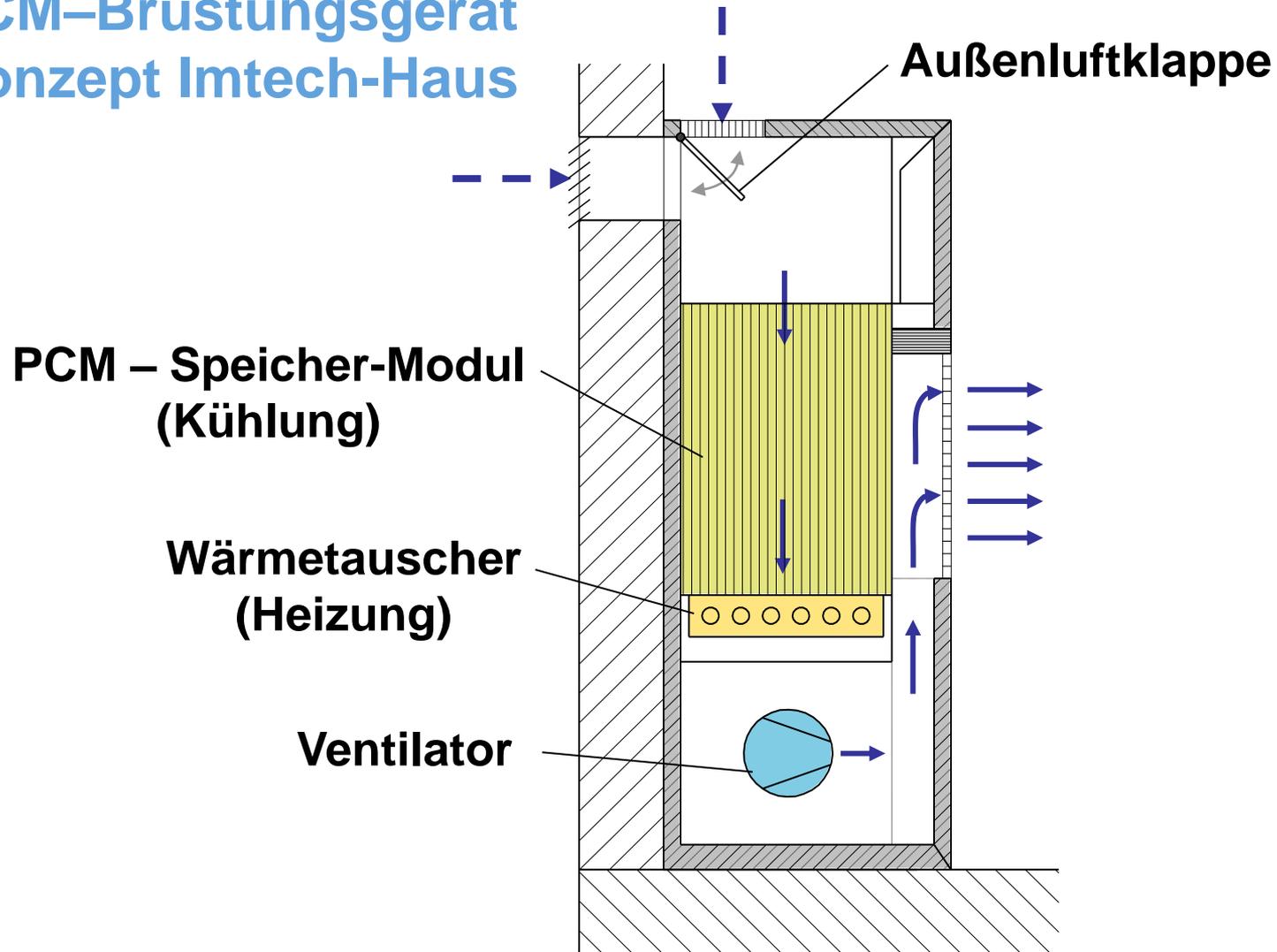
**Entwicklung:  
SGL-Carbon, ZAE Bayern**



**Aufbau Speichermodul:  
luftdurchströmter Stack  
aus Einzelplatten**

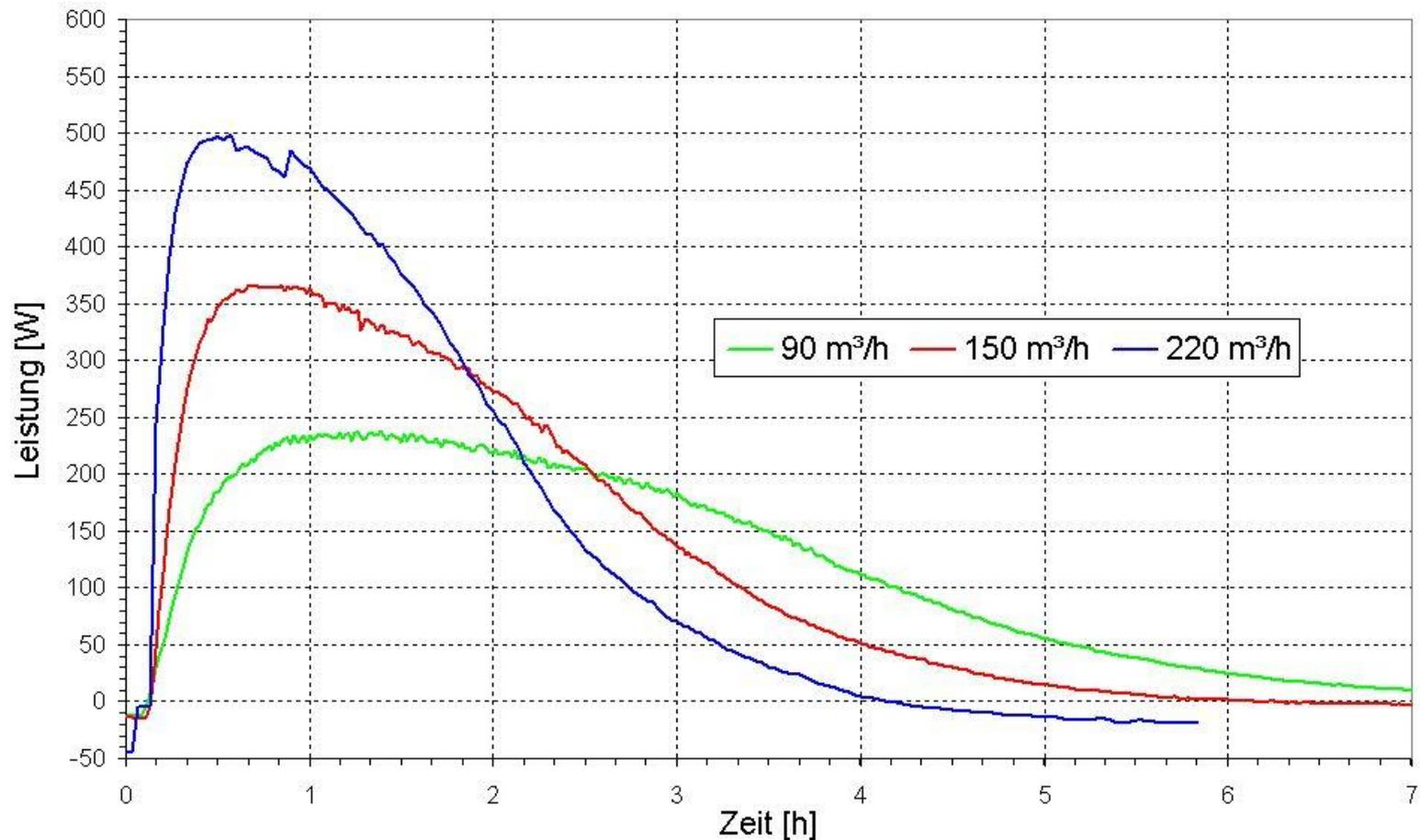


# PCM-Brüstungsgerät Konzept Imtech-Haus





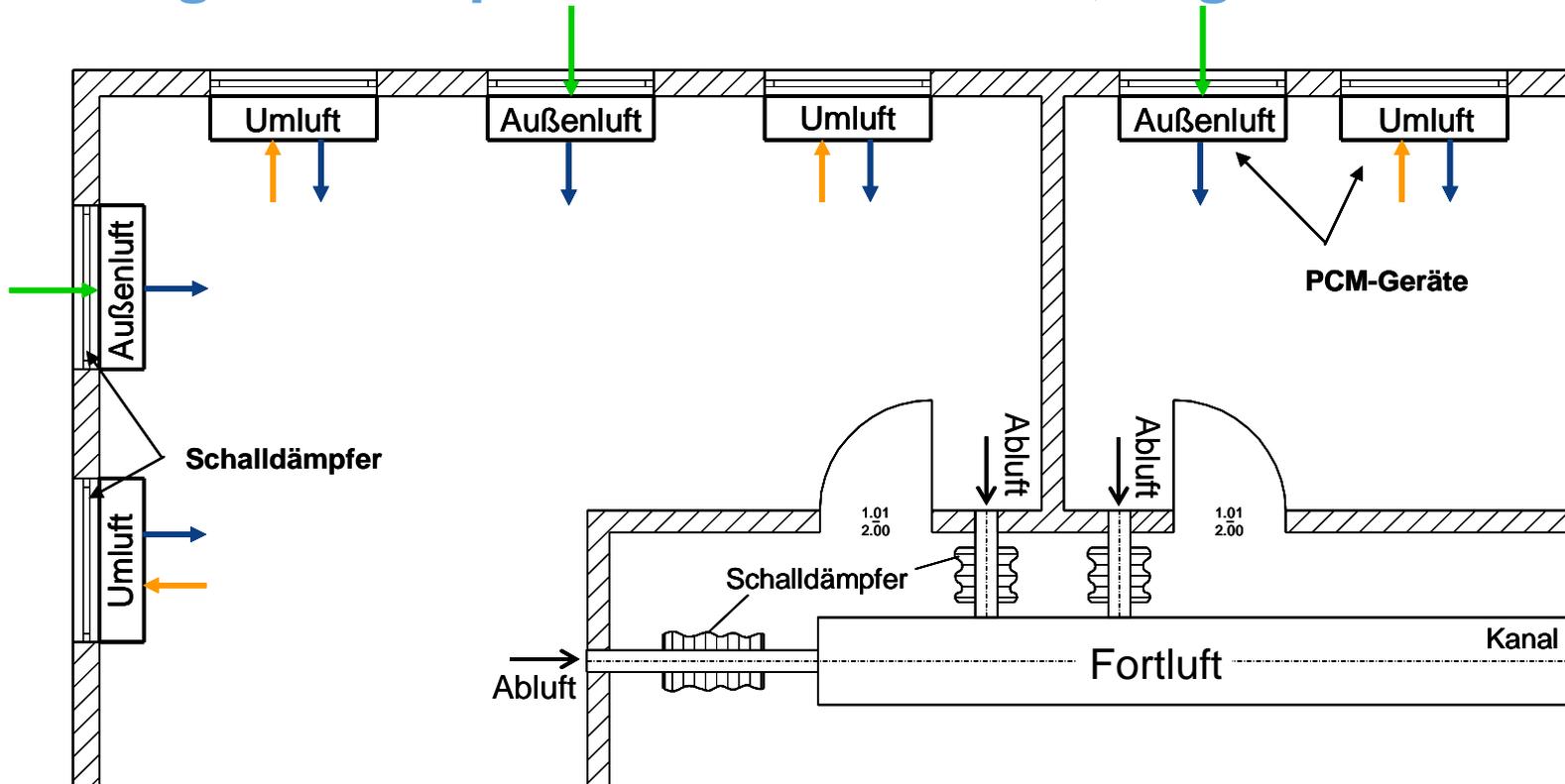
## Leistungsaufnahme PCM-Speichermodul für verschiedene Luftvolumenströmen (Tagbetrieb - Beladung)



Sprungantwort: Außenlufttemperatur ca. 31,0 °C



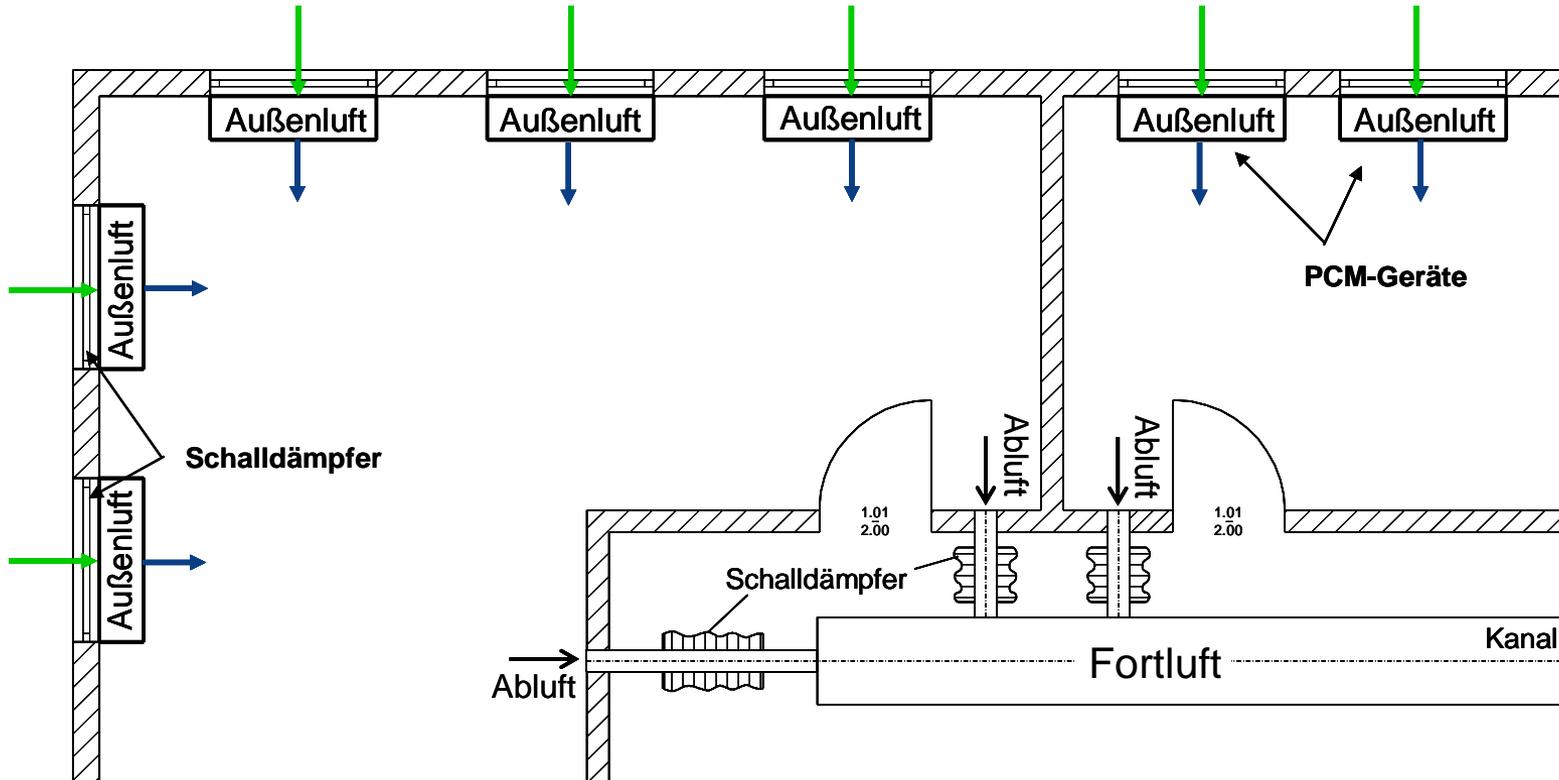
# Anlagenkonzept PCM Imtech-Haus, Tagbetrieb



**Tagbetrieb: PCM beladen (5 kg/m<sup>2</sup>),  $\dot{V} = 75$  bis 140 m<sup>3</sup>/h**  
**Nachtbetrieb: PCM entladen**  
 $t_A < 22^\circ\text{C}$ ,  $\dot{V} = 180$  m<sup>3</sup>/h (alle Geräte)



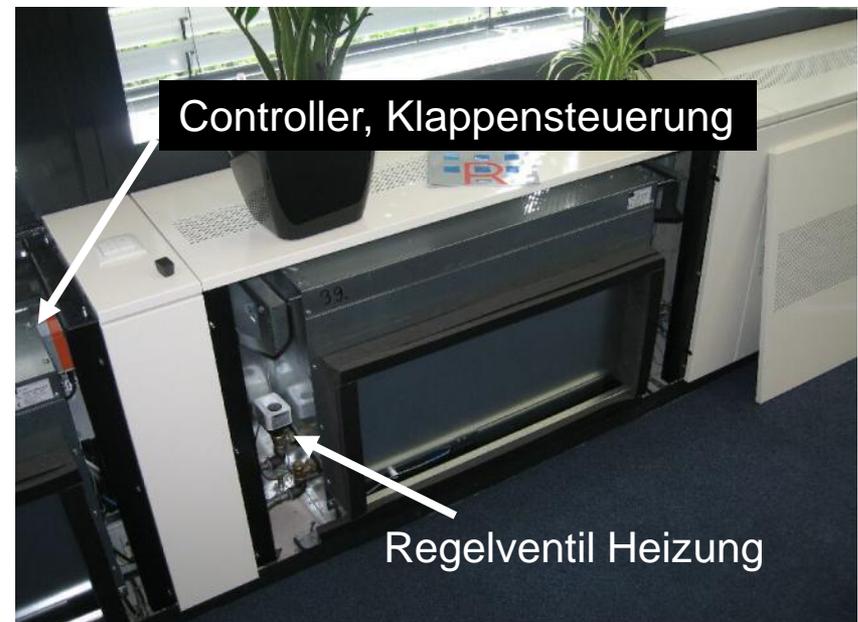
# Anlagenkonzept PCM Imtech-Haus, Nachtbetrieb



**Tagbetrieb: PCM beladen ( $5 \text{ kg/m}^2$ ),  $\dot{V} = 75 \text{ bis } 140 \text{ m}^3/\text{h}$**   
**Nachtbetrieb: PCM entladen**  
 $t_A < 22^\circ\text{C}$ ,  $\dot{V} = 180 \text{ m}^3/\text{h}$  (alle Geräte)



## PCM – Referenzanlage 20 Räume, 50 Geräte im Imtech-Haus, seit März 06



**Einbauzustand in einem Süd-West-Büro**  
Messdaten werden für alle Geräte und jeden Raum  
detailliert aufgenommen

**Datenbasis: Optimierung der Regelung für die  
Übergangszeit und den Sommerbetrieb**



## Fazit Einsatz PCM-Lüftungsgeräte:

- PCM-Lüftungsgerät im Imtech-Haus erfolgreich eingesetzt:  
5 kg PCM pro m<sup>2</sup> Grundfläche ausreichend für Büroräume  
mit Kühllasten bis 60 W/m<sup>2</sup>
- Gerätekonzept einschließlich Regelung ist zur Serienreife entwickelt
- Sommerperioden mit Nachttemperaturen unter 18 °C werden beherrscht  
→ Raumtemperaturen bleiben unter 26°C
- Geräteinsatz muss mit der Fassadengestaltung abgestimmt werden  
→ Problem der Zuluftüberhitzung
- Einsparung gegenüber konventionellen Kälteversorgungssystemen:  
**zwischen 60 % und 85 %**
- Optimierungspotentiale: Regelung (vorausschauende Regelung),  
Speicherdimensionierung (für größere Lasten),  
alternative Materialien (Salzhydrate).

# Different LowEx Cooling Systems using PCM

Active latent heat storage systems



E.ON Energy Research Center

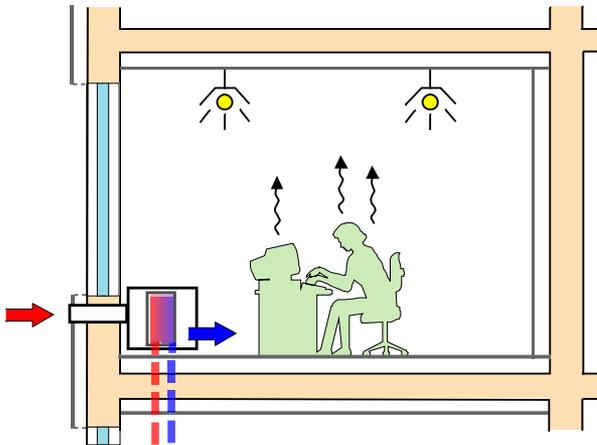
Air

Water

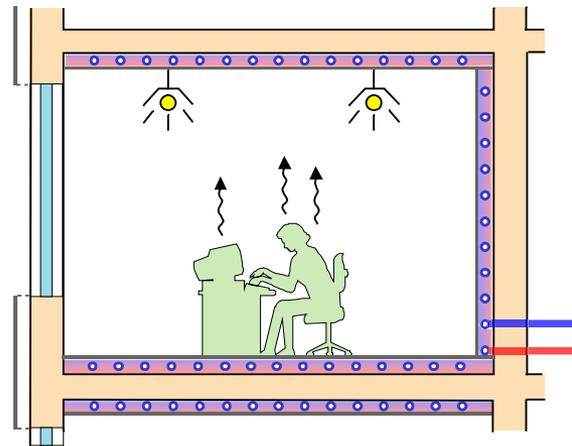
Facade ventilation unit

Capillary tube mats & PCM wall materials

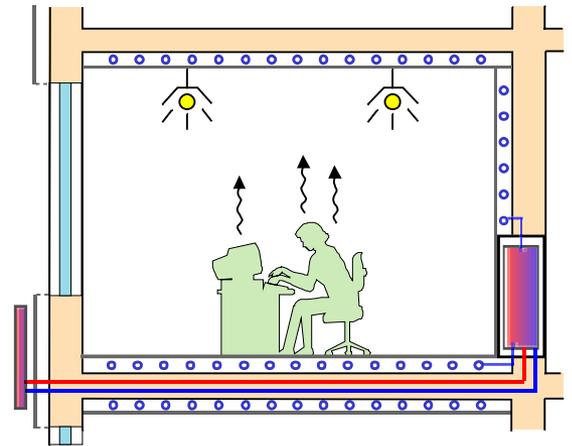
Capillary tube mats & PCM storage tank



Imtech



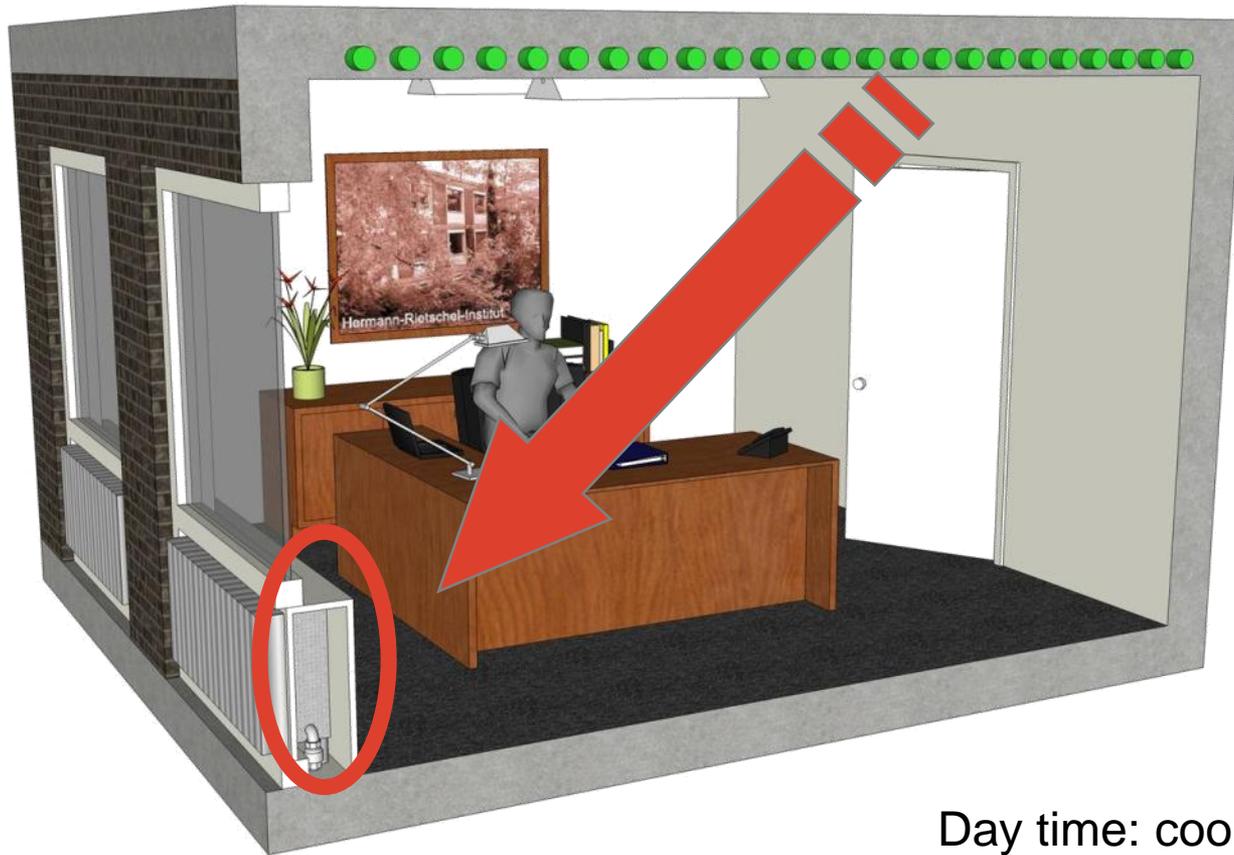
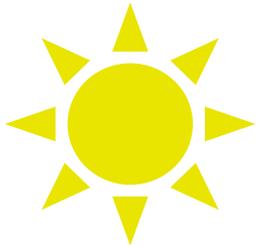
Fraunhofer ISE



TROX GmbH/HRI



# PCM System Test Set-up

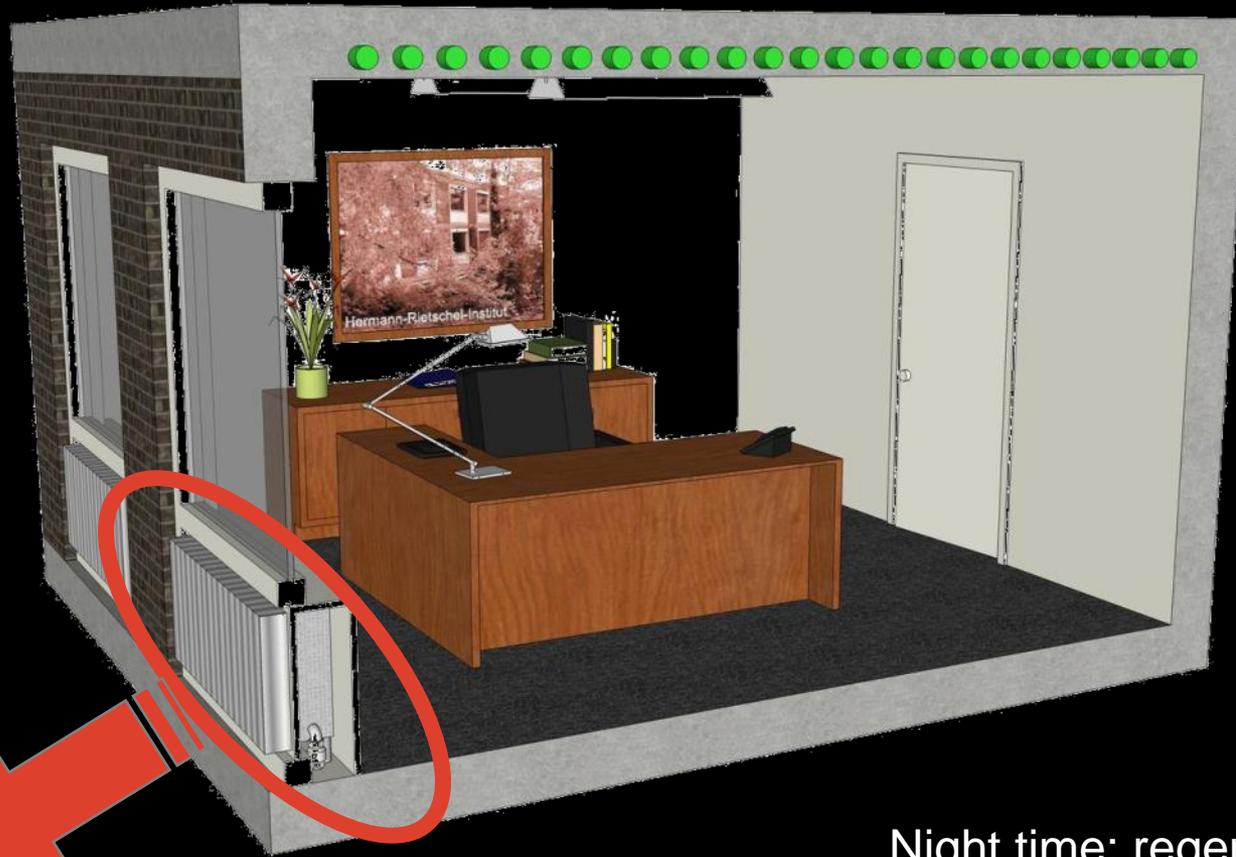
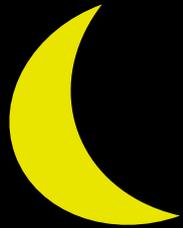


E.ON Energy Research Center

Day time: cooling



# PCM System Test Set-up



Night time: regeneration



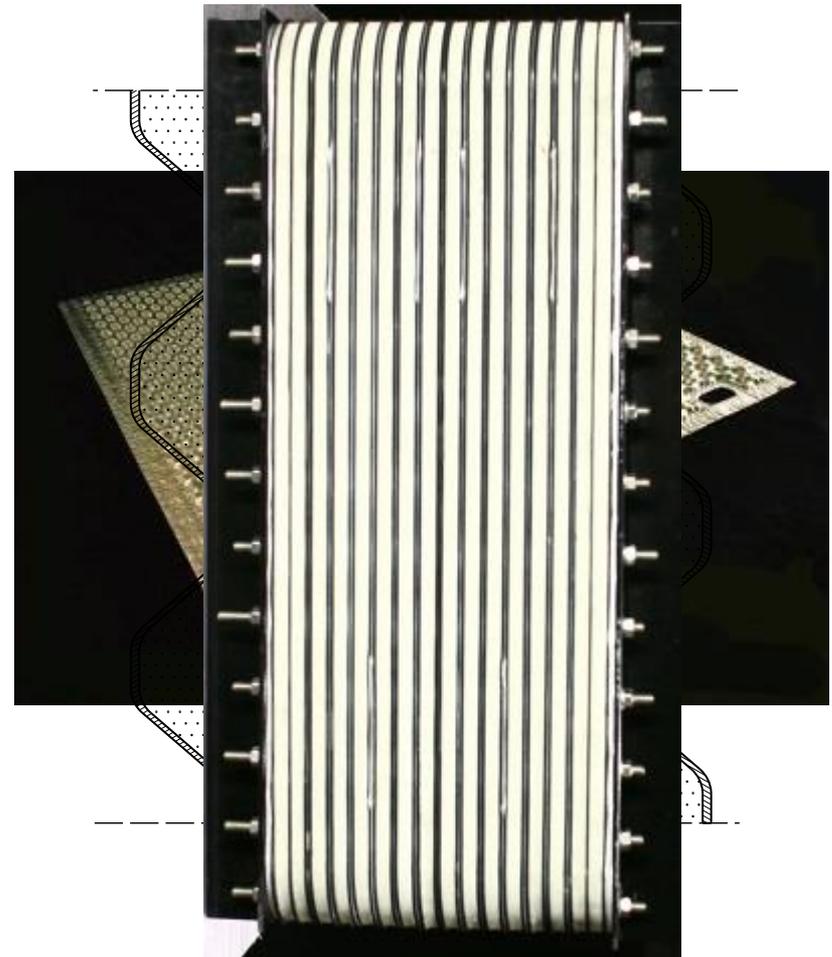
E.ON Energy Research Center





## TROX PCM Storage Plate

- Aluminum or plastic storage plate
- Large surface for better heat exchange process
- High packing density for compact storage devices
- Useable for paraffin and salt hydrates

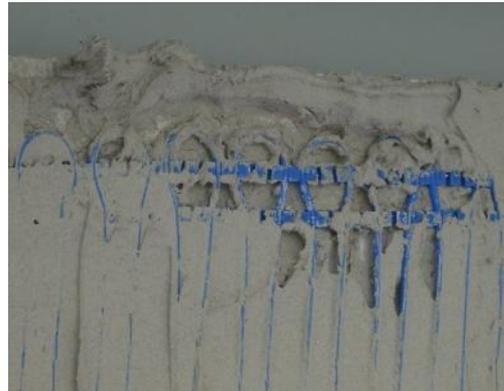




# Aktive PCM-Systeme für die Bauteilkühlung



# Aktive PCM-Systeme für die Bauteilkühlung



- Bei passiven Systemen Beschränkungen des Speichers:
  - durch Luft-Wand-Wärme-Übergang
  - Einzige Kältequelle Nachtluft bei Außentemperatur
- Lösung:
  - > Aktiv durchströmte Systeme
  - Verbesserter Wärmeübergang
  - Beliebige Kältequelle anschließbar
- Entwicklungs-Projekt 9/2004 - 8/2008  
BASF, caparol, maxit, valentin Energiesoftware, BTU Cottbus, Fraunhofer ISE
- Förderung durch BMWi, FKZ: 0327370F-I,S

Quelle:





## Forschungsprojekt ISE / Industriepartner

- Realisierung und Monitoring von drei unterschiedliche Systemkonfigurationen, die von einem Kältespeicher profitieren



Foto: DAW



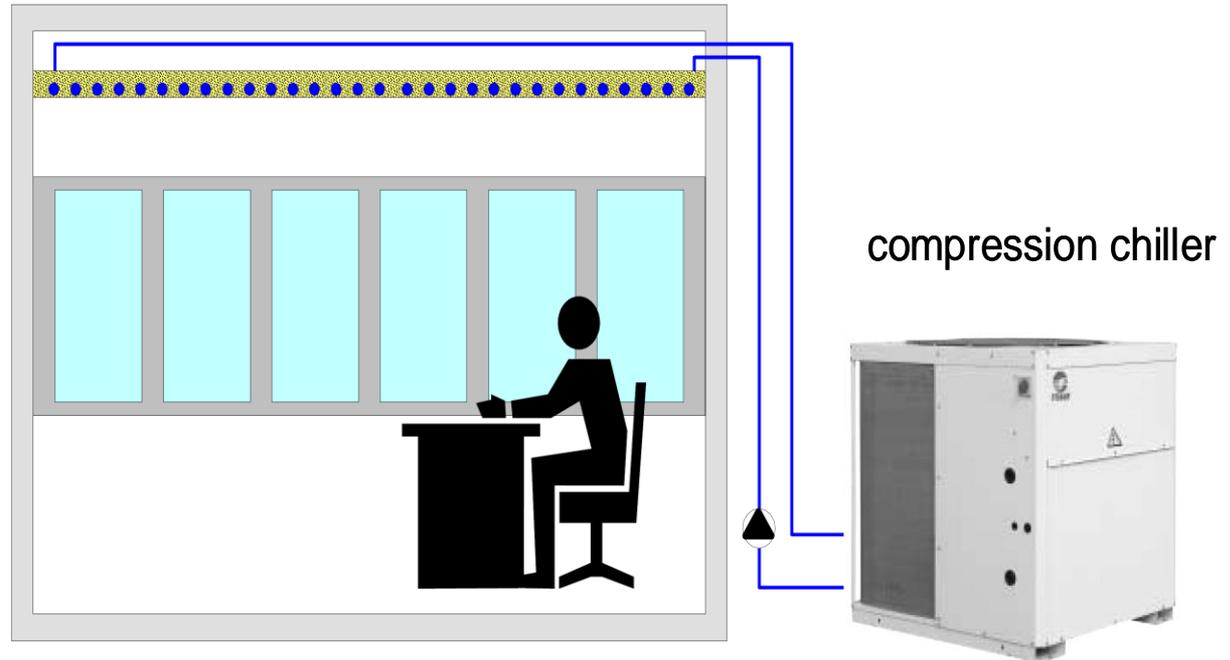
Foto: Patrick Beuchert

Quelle:



# System I: PCM-Kühldecke mit Kompressionskälte

- 100m<sup>2</sup> Deckenfläche
- 1cm PCM-Spachtel
- Raumnutzung von 07:00 – 17:00
- Schmelzbereich 19°C - 22,5°C
- Wärmespeicherfähigkeit in 6 K  
PCM: 155Wh/m<sup>2</sup>  
REF: 40Wh/m<sup>2</sup>



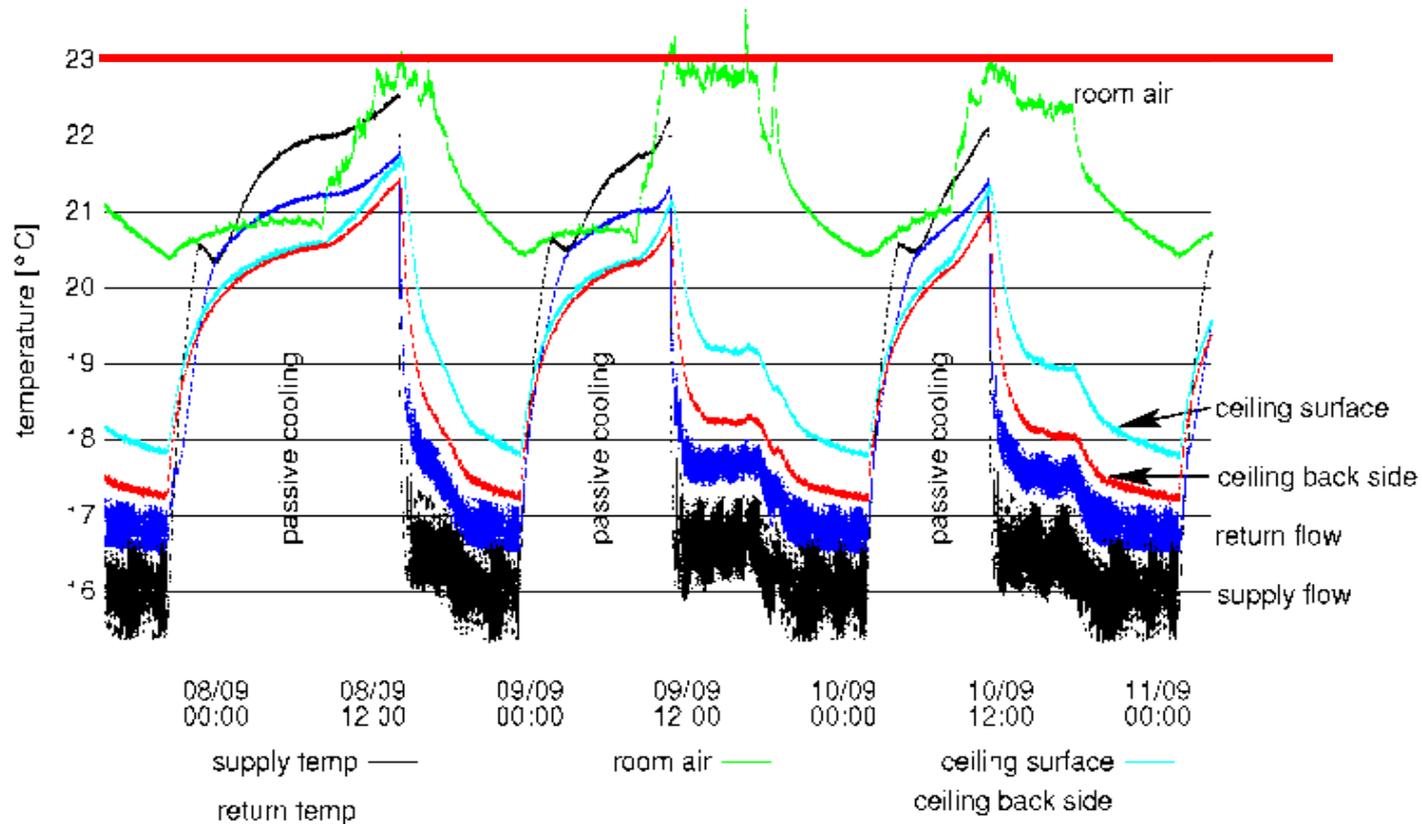
## Ziele:

- aktive Kühlung vermeiden
- und/oder verschieben der Kälteproduktion in die Nacht

Quelle:



# PCM-Kühldecke mit Kompressionskälte



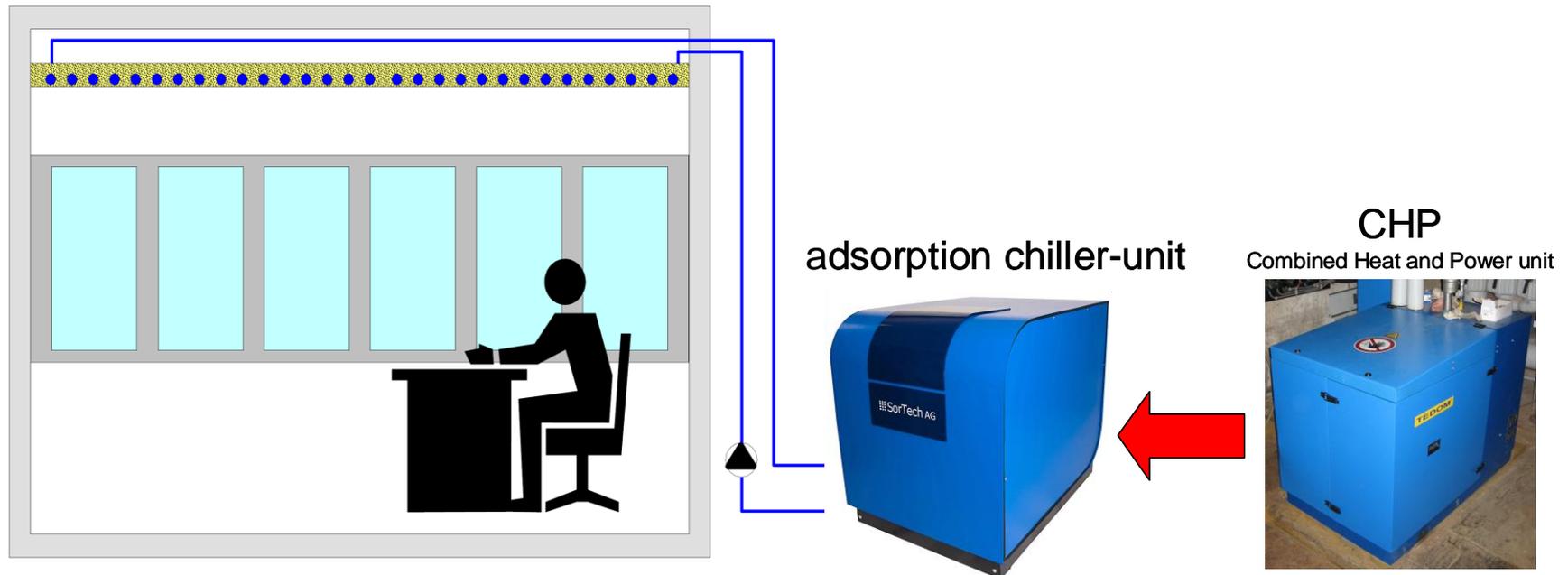
■ Raumtemperatur steigt nicht über 23°C

Quelle:





## System II: PCM-Kühldecke mit KWKK-Anlage

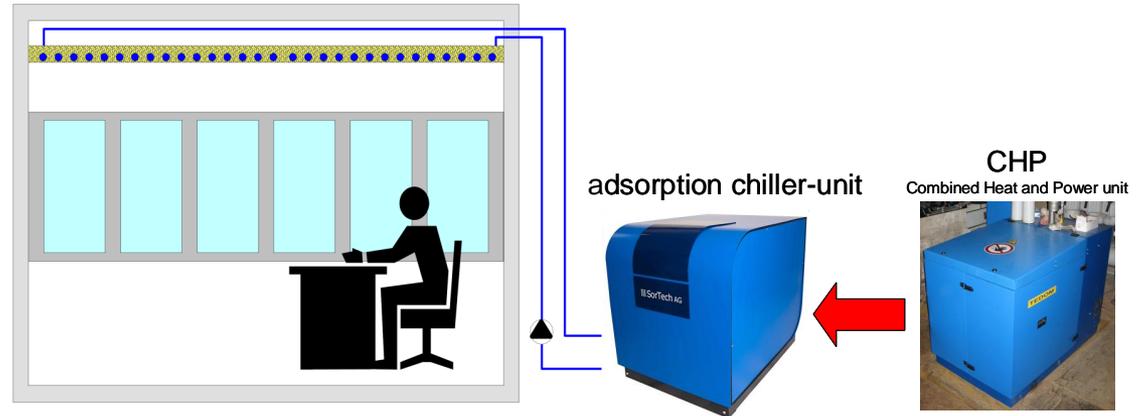


Quelle:



# PCM-Kühldecke mit KWKK-Anlage

- 100m<sup>2</sup> Deckenfläche
- 3cm PCM-Gipsputz
- Schmelzbereich 19-22,5°C
- Wärmespeicherfähigkeit in 6K  
PCM: 162Wh/m<sup>2</sup>  
REF: 62Wh/m<sup>2</sup>



## Ziele:

- aktive Kühlung vermeiden
- und/oder verschieben der Kälteproduktion in die Nacht
- verbesserte Auslastung des BHKW durch zeitlich alternierende Verbraucher

Quelle:





## PCM-Kühldecke mit KWKK-Anlage



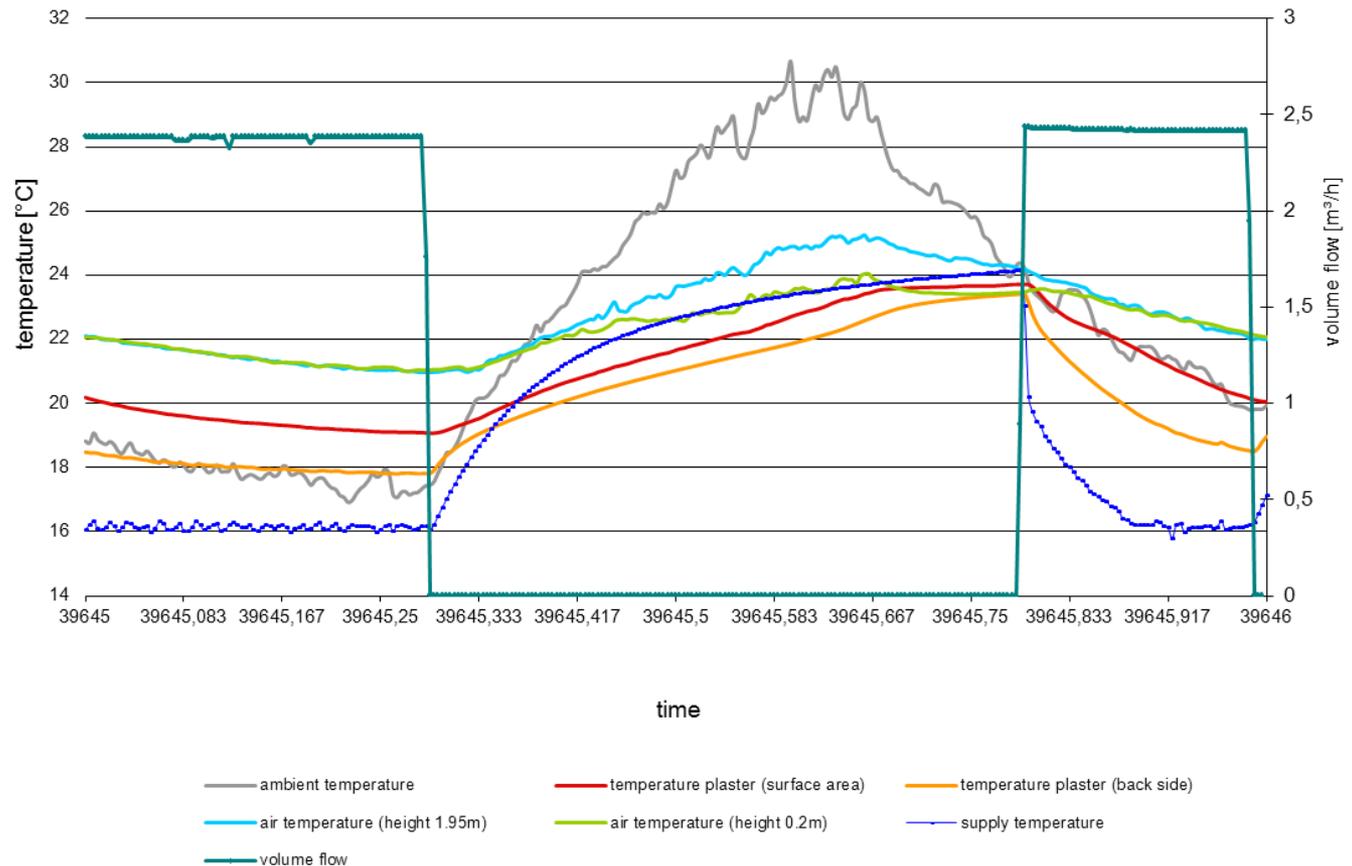
Quelle:





# PCM-Kühldecke mit KWKK-Anlage

- Raumtemperatur steigt nicht über 25°C
- PCM-Speicher wird vollständig genutzt

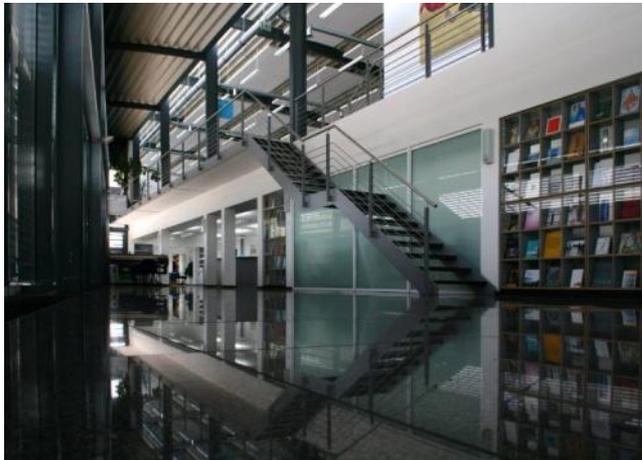


Quelle:



## System III

- Anwender: ENGELHARDT & BAUER Druck- und Verlagsgesellschaft mbH in Karlsruhe
- Verwaltungsgebäude: Sanierung Flachbau und Erweiterung um ein Stockwerk in Leichtbauweise (Nutzfläche ~900 m<sup>2</sup>)

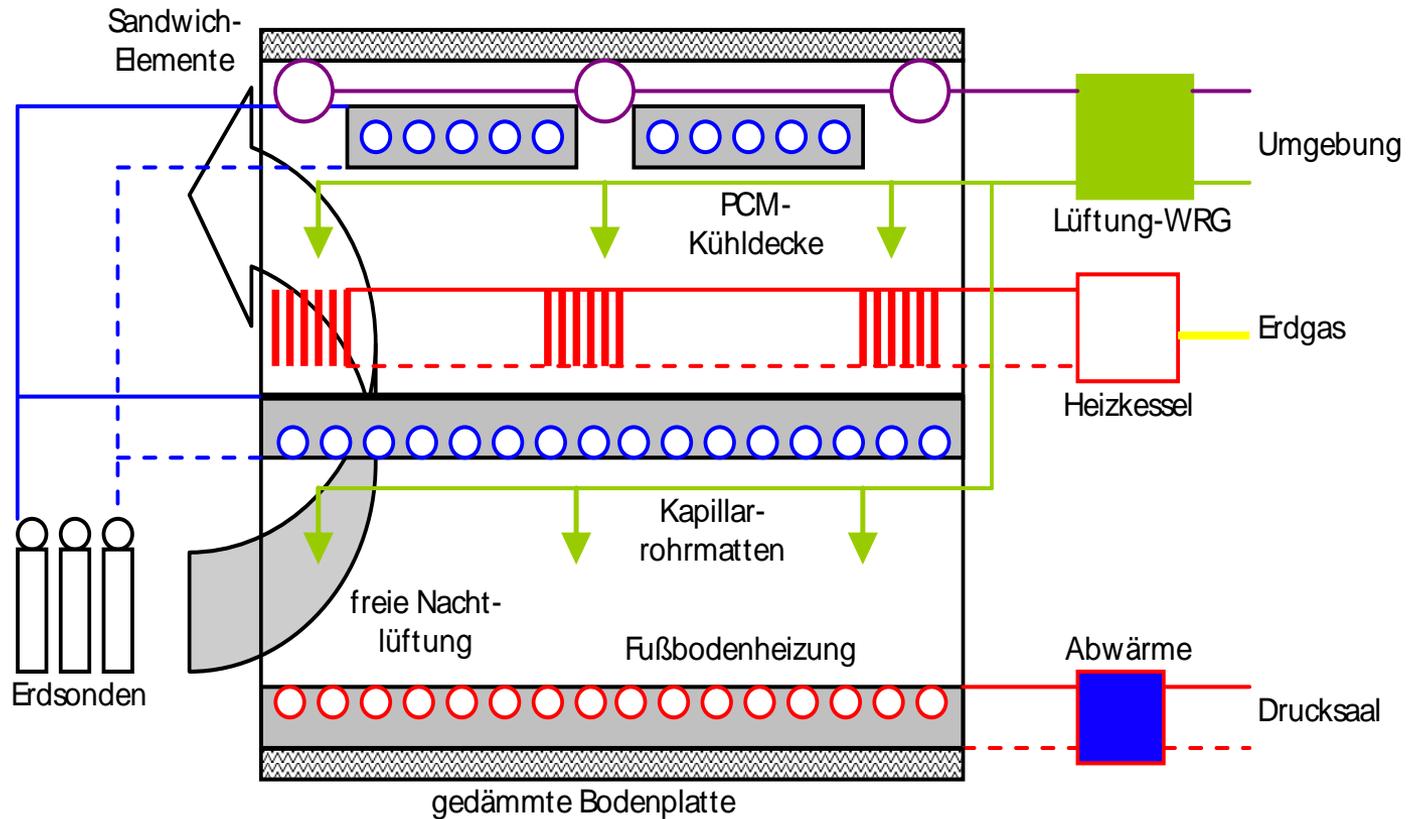


Fotos: Patrick  
Beuchert

Quelle:



# Haustechnik-Schema

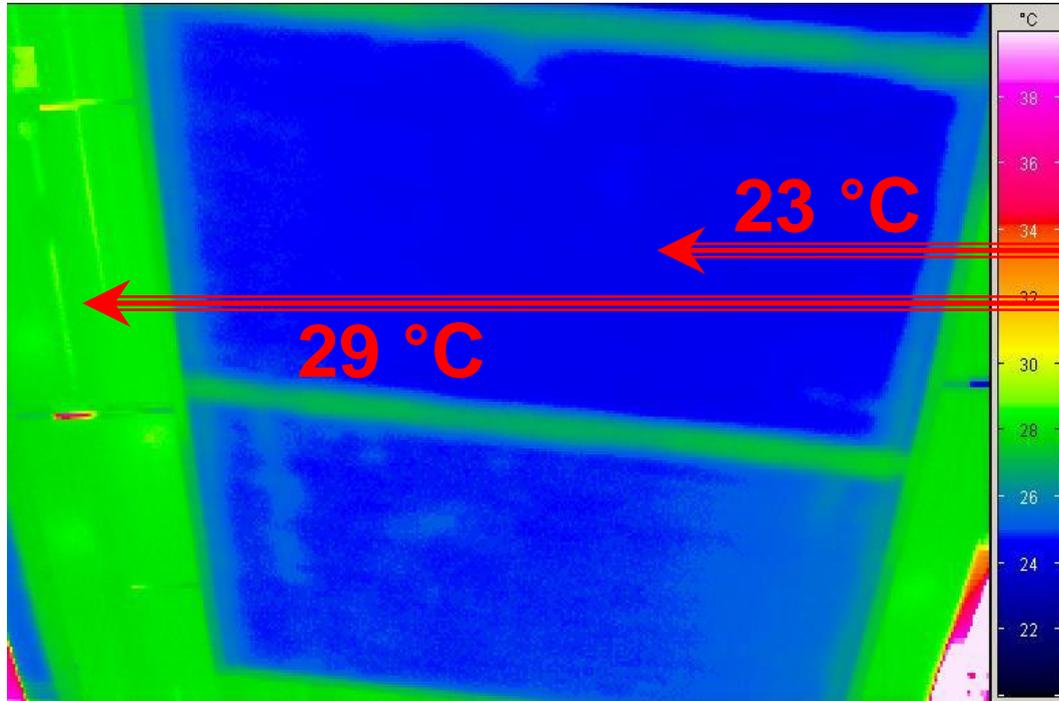


Quelle:





# Thermografie der Kühldecke



Kühldecke mit PCM 23°C



Quelle:





# Einsatz eines PCM-Speichers in einem zentralen Lüftungssystem



# PCM-Zentral Vorwärmung und Vorkühlung

- Bisher: PCM zum Erreichen der Endtemperatur eingesetzt => entw. Heizen oder Kühlen
- Hier: PCM nur annähern an Endtemperatur => sowohl Heizen und Kühlen
- Zentraler PCM-Speicher in Lüftungsanlage
- Gebäude seit Anf. 2010 in Betrieb



Amts- und Landgericht Düsseldorf

Quelle:



Fachhochschule  
Münster University of  
Applied Sciences



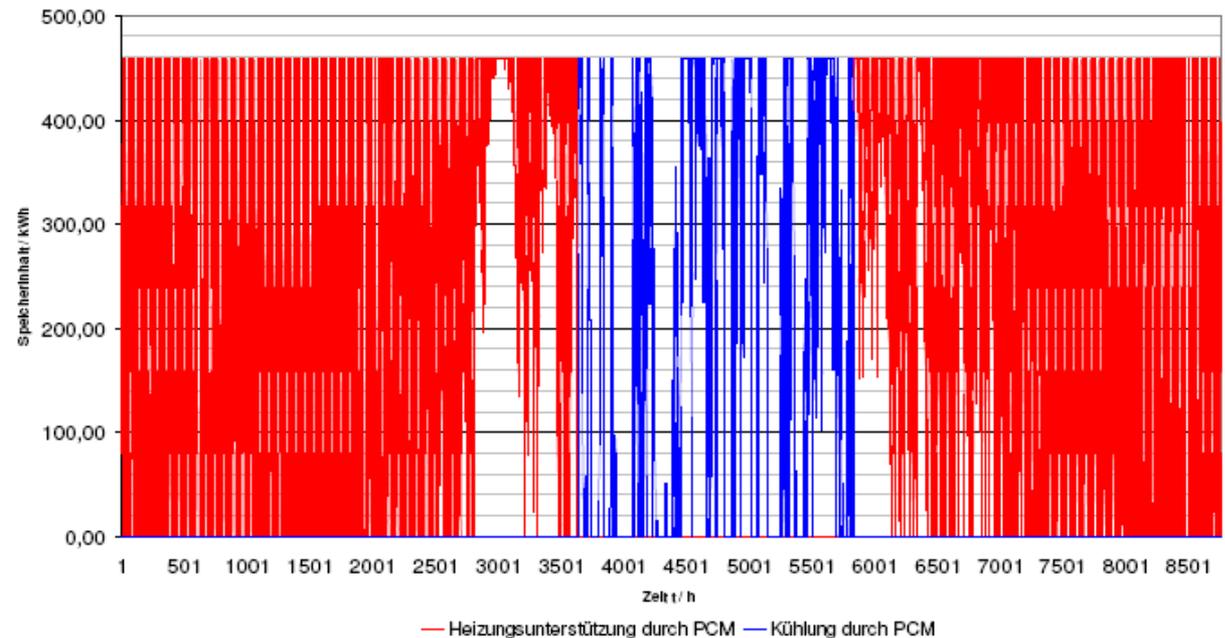
Bau- und Liegenschaftsbetrieb NRW





# PCM-Zentral - Simulationsstudie

- Viele Zyklen pro Jahr
- Benötigt: PCM mit kleinem Schmelzbereich und wenig Unterkühlung
- Abwärme ca. 40°C
- Nachtluft <20°C



Quelle:



Fachhochschule  
Münster University of  
Applied Sciences

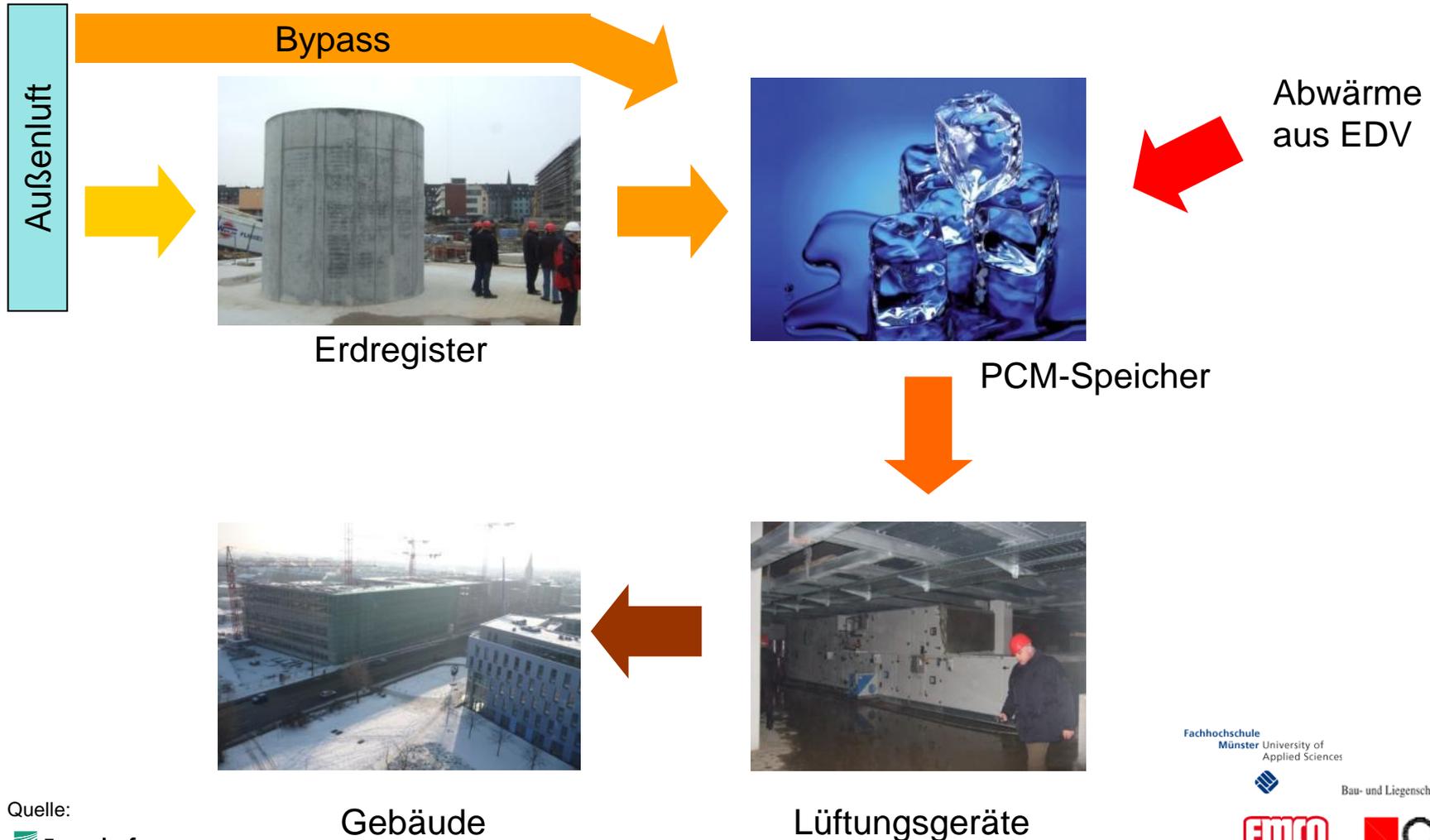


Bau- und Liegenschaftsbetrieb NRW





# PCM-Zentral Vorwärmung



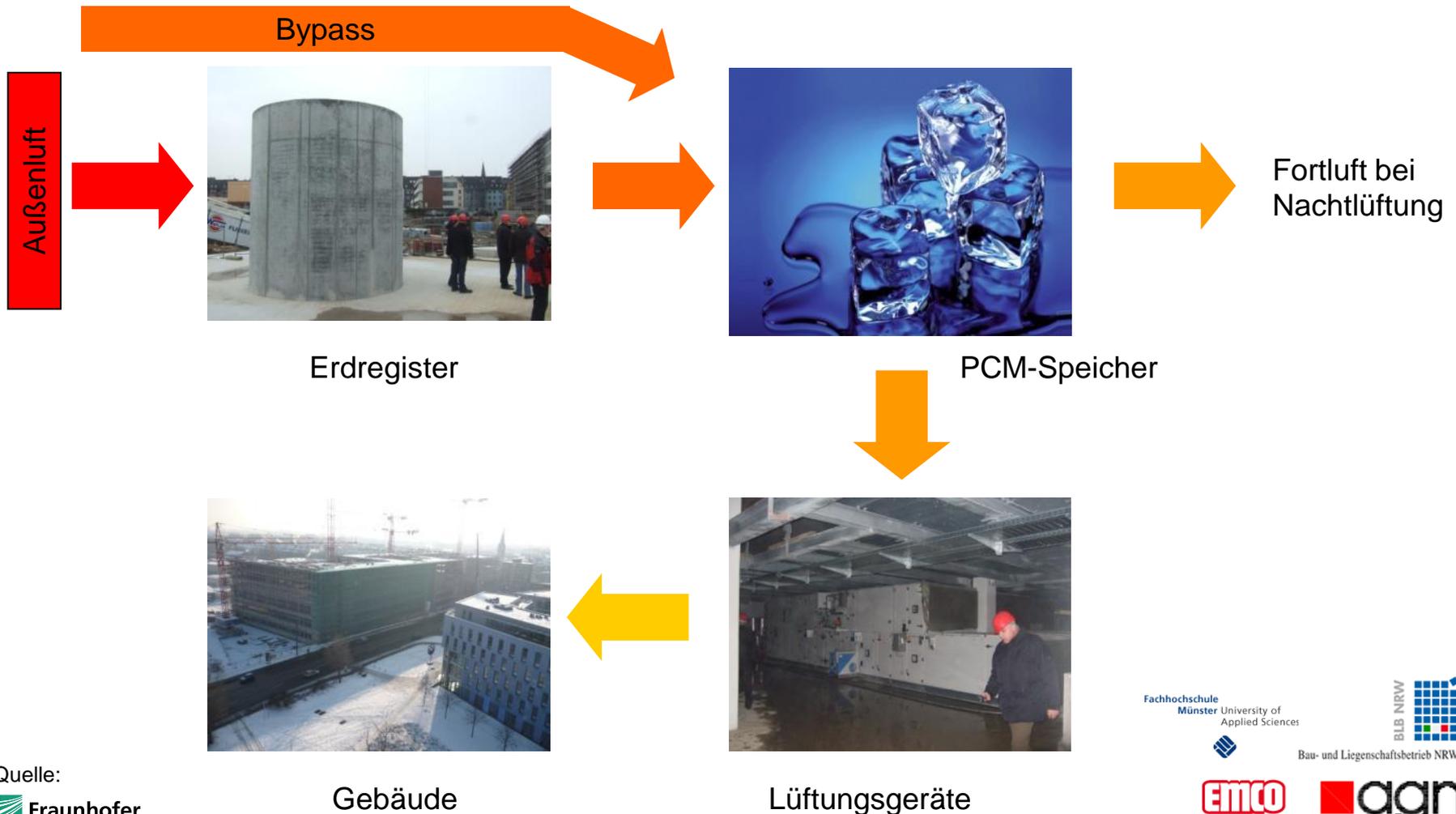
Quelle:  
 Fraunhofer ISE

Fachhochschule Münster University of Applied Sciences

BLB NRW  
Bau- und Liegenschaftsbetrieb NRW



# PCM-Zentral Vorwärmung und Vorkühlung



Quelle:  
 Fraunhofer ISE

Fachhochschule  
Münster University of  
Applied Sciences

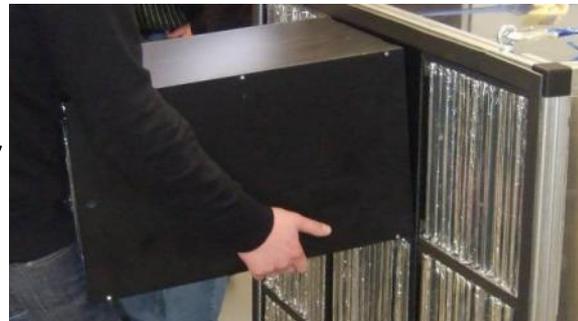
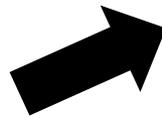
BLB NRW  
Bau- und Liegenschaftsbetrieb NRW



# Aufbau des PCM-Speichers (1)



PCM-Platte (50x30cm, ~2kg)  
extrudiertes Graphit + Salzhydrath 24°C



14 PCM-Platten bilden 1 Modul



18 Module (2 Reihen á 9 Stk)  
bilden einen Würfel  
(1m Kantenlänge, ca. 900kg)



Quelle:

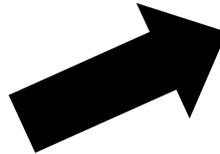




# Aufbau des PCM-Speichers (2)



4 Würfel werden zu einem Strang  
je ~5000m<sup>3</sup>/h, kleinste Regeleinheit



6 Stränge parallel bilden den Speicher

11t PCM ~500kWh thermische Speicherkapazität  
in 15K Temperaturintervall

Quelle:



Fachhochschule  
Münster University of  
Applied Sciences



Bau- und Liegenschaftsbetrieb NRW





# PCS

## Flüssiges und pumpbares PCM Zur Anwendung in hydraulischen Systemen



# Nutzung von PCM in Fluidsystemen – Phase Change Slurries (PCS)

Forschungsprojekt: Entwicklung  
wasserbasierter PCM-Speicher

Trägerflüssigkeit +  
Phasenwechselmaterial (PCM)

Trägerflüssigkeiten:

- Wasser
- Wasser- Glykollmischungen

PCMs:

- mikroverkapselte Paraffine
- emulgiertes Paraffin (Option)



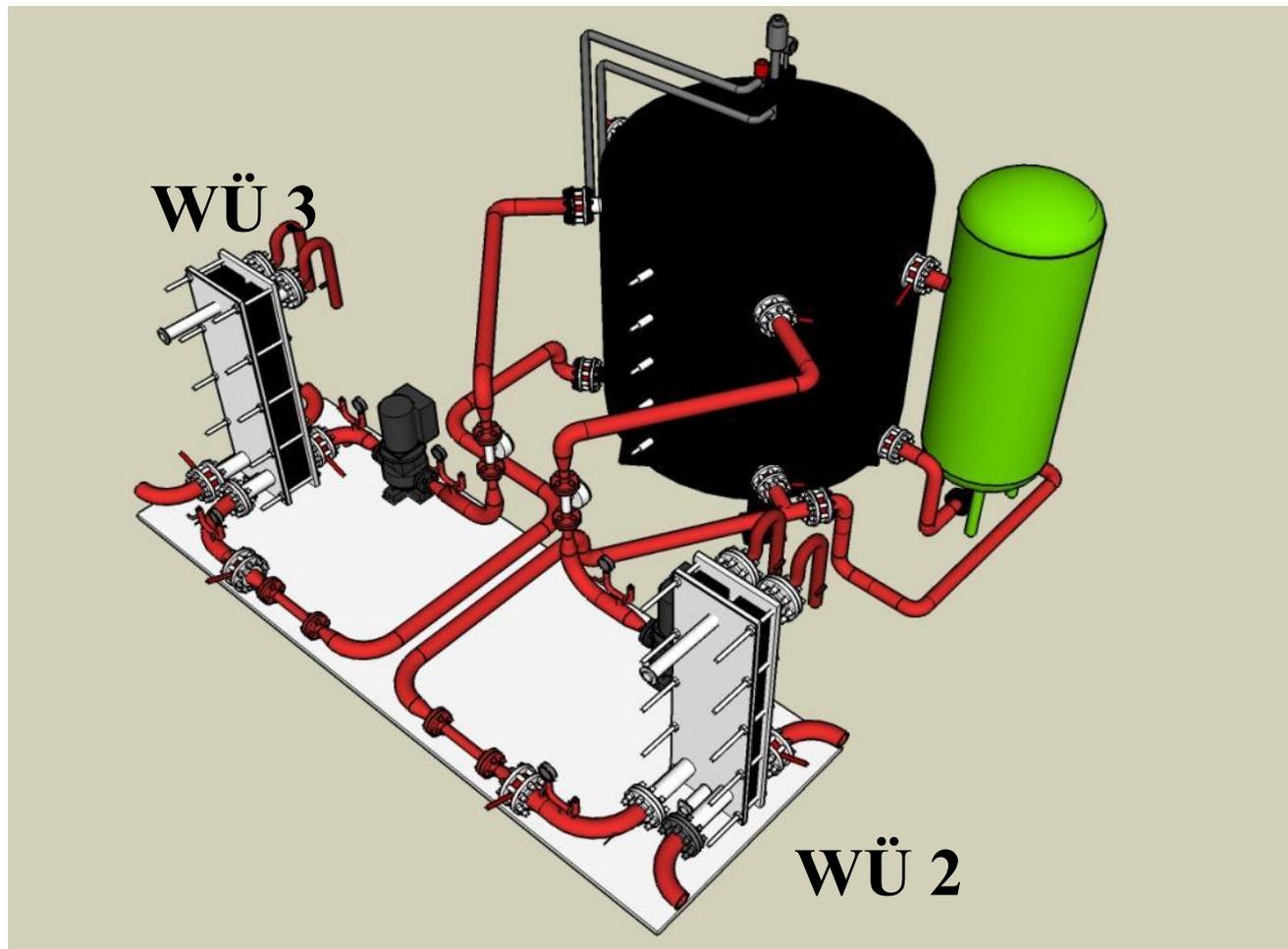


## Imtech-Labor: PCS – Demo- und Testanlage



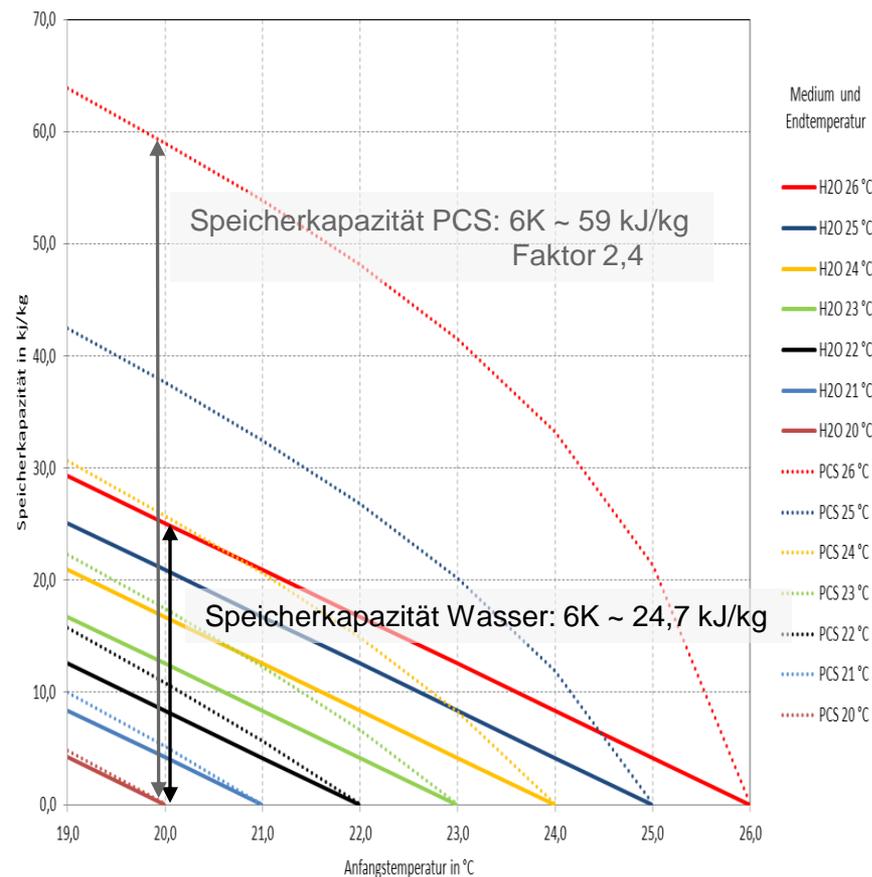


## Schemabild: PCS-Speicher, Ausgleichsgefäß, Wärmetauscher





# Ergebnisse für mikroverkapseltes PCS (Paraffin)



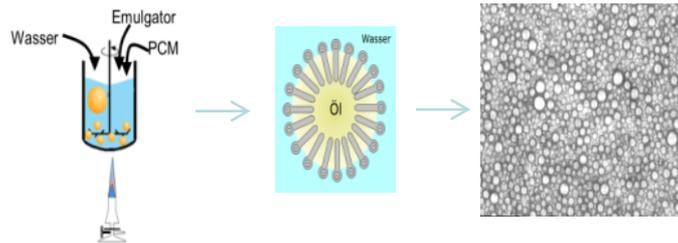


# Aktueller Forschungsantrag: Entwicklung und Bewertung von Emulsionen

## Partner Forschungsprojekt



## Vorteile gegenüber mikroverkapselten Slurries:



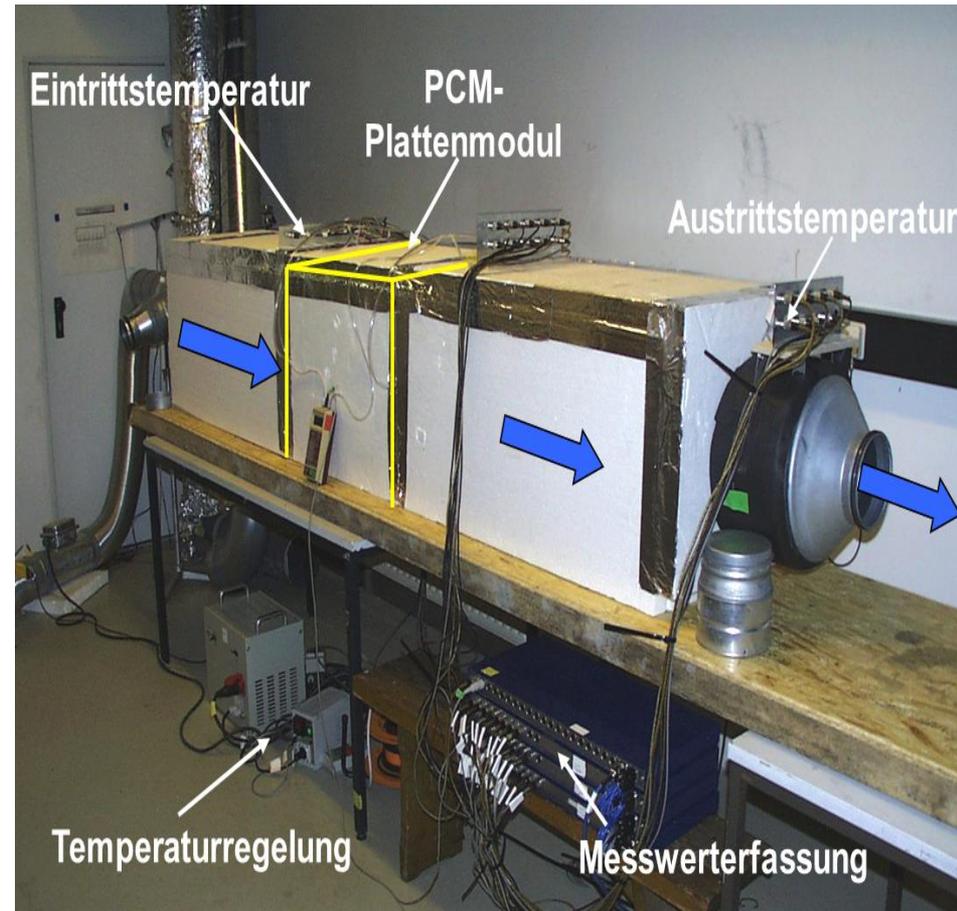
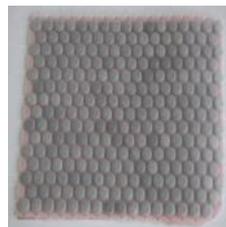
- einfachere Herstellung, → geringerer Preis
- geringere Viskosität, höhere Wärmekapazität  
→ hydr. Aufwand u. Wärmeübergang günstiger  
→ ZIEL: 4- bis 5- fache Wärmekapazität gegenüber H<sub>2</sub>O





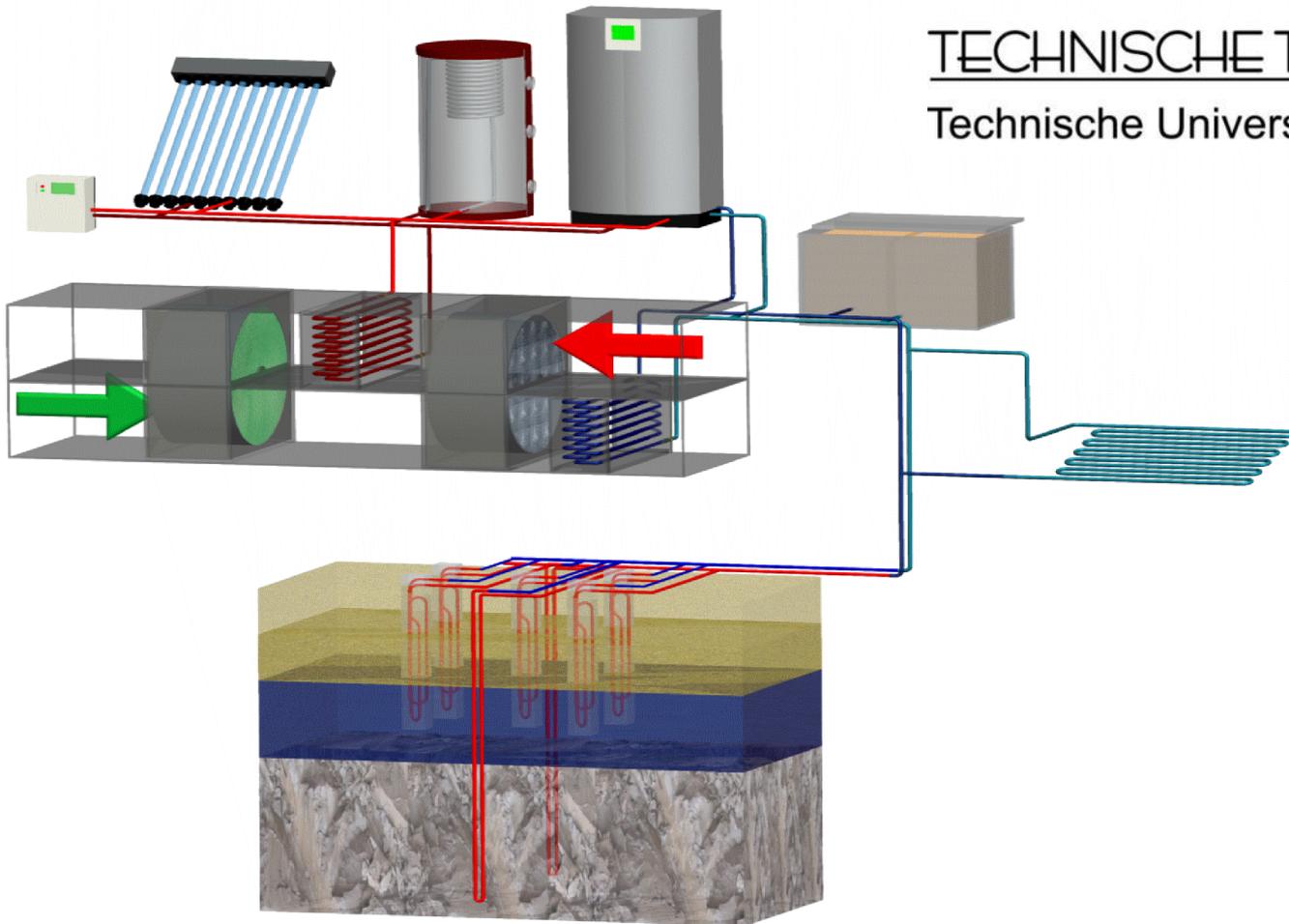
# Neue Möglichkeiten? Prüfung neuer Materialien im Laborteststand

- Kontakt, Kooperation mit verschiedenen Herstellern
- Prüfung von Material-Alternativen





# Einsatz PCS-Speicher in einer zentralen Klimaanlage in der HafenCity Hamburg



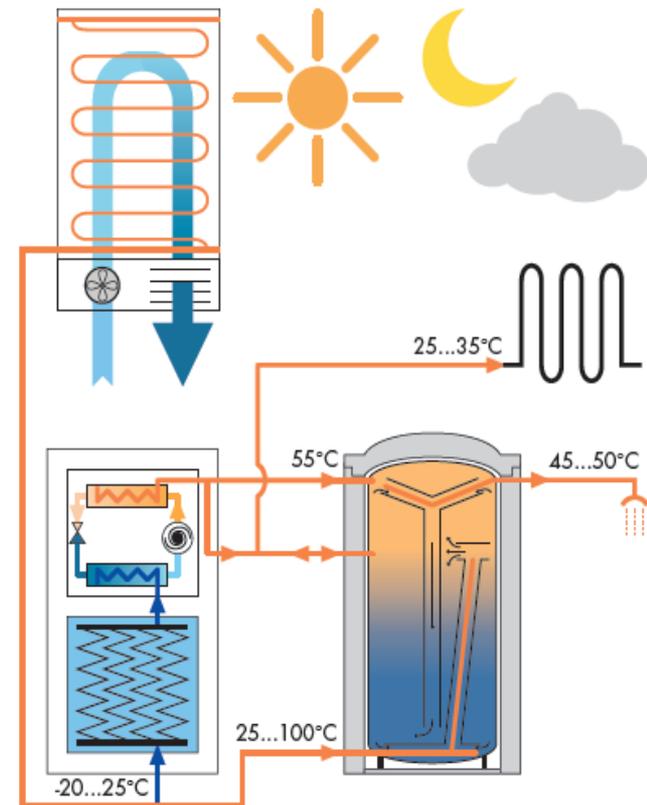
TECHNISCHE THERMODYNAMIK  
Technische Universität Hamburg - Harburg





# Kühlen und Heizen mit Eis als PCM: System SOLAERA

- Solarsystem kombiniert mit Wärmepumpe
- Eisspeicher als Quelle für die Wärmepumpe (320 l Eis ~ 2500 l Wasser)
- Erwartete Jahresarbeitszahl (JAZ):  
JAZ ~ 5-7; nur 15 % Strom, 85 % Solar  
-> Primärenergieeinsparung ~ 60 %
- Feldtest



Quelle: Consolar





## PCM-Speicher für die Nutzung industrieller Abwärme

- Salzhydrate für 0 – 100°C:  
z.B. Glaubersalz, Natriumacetat (Pökelsalz)
- Marktwert für Abwärme: 25 Mrd./a  
(Heizkosten Deutschland 50 Mrd./a)
- Speichervolumen 17 m<sup>3</sup>, ca. 20 Tonnen  
Natriumacetat pro Container
- Wärmekapazität: 100°C / 40°C:  
2,5 MWh  
Entladeleistung: bis 250 kW  
Wärmeverlust: < 0,5% /d

Quelle: Latherm





## Potentiale der PCM-Techniken in der HLK-Technik:

- kombinierter Einsatz von PCM-/ PCS-Systemen für die Vorwärmung und Kühlung in Klimageräten (dezentral und zentral)
- Einsatz von Fassadensystemen in der Sanierung → Verzicht auf Kälteverrohrung oder kleine lokale Verrohrungen möglich
- Trotz hohem Materialpreis dort interessant, wo andere Systeme (Kältemaschine, Rohrsystem etc.) eingespart werden können
- PCS: Einsatz in Kältenetzen, Kapazitätserhöhung von Altanlagen
- Wärmespeicher in Verbindung mit Wärmepumpen und Solartechnik für Wohn- und Nichtwohngebäude



## Anforderungen, weiterer Entwicklungsbedarf für den Einsatz in der TGA:

- Steigerung der volumenspezifischen Kapazität → Bauraum
- Zyklenstabilität und geringere Unterkühlung u. Volumendehnung
- geringerer spezifischer Preis ( Material, Herstellungsverfahren )
- Bewertung der PCM-Systeme in den entsprechenden Normen und Richtlinien (EnEV, DIN V 18599)
- Beurteilung kombinierter Systeme aktiv / passiv z.B. im Bürobau
- mehr Betriebserfahrungen nötig → größere Demoprojekte, Monitoring - aktuell Erstellung von Testräumen (Büro, Patientenzimmer) durch Imtech für das PCM-Lüftungsgerät



**Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit**

