



best in technical performance

Imtech

Kühlen ohne Kältemaschine PCM-Techniken für die Raumkühlung

Latentwärmespeicher in Lüftungsgeräten
Entwicklung und Betriebserfahrungen
mit dem Imtech-Haus

LowEx

Heizen und Kühlen mit Niedrig-Exergie



Dr.-Ing. Bruno Lüdemann

Imtech Deutschland GmbH & Co. KG
Forschung und Entwicklung



best in technical performance

Imtech

Imtech Deutschland

Forschung und Entwicklung:

Strömungs- und wärmetechnisches Labor



best in technical performance



forschung und entwicklung

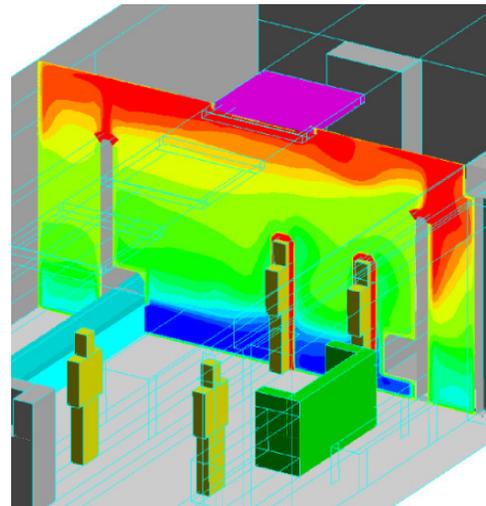
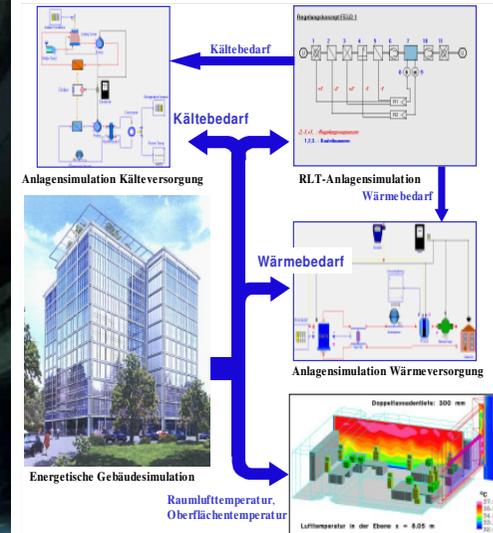
■ Simulation

- energetische Gebäudesimulation
- Anlagensimulation
- Energiestudien
- strömungstechnische Simulation

■ Labor

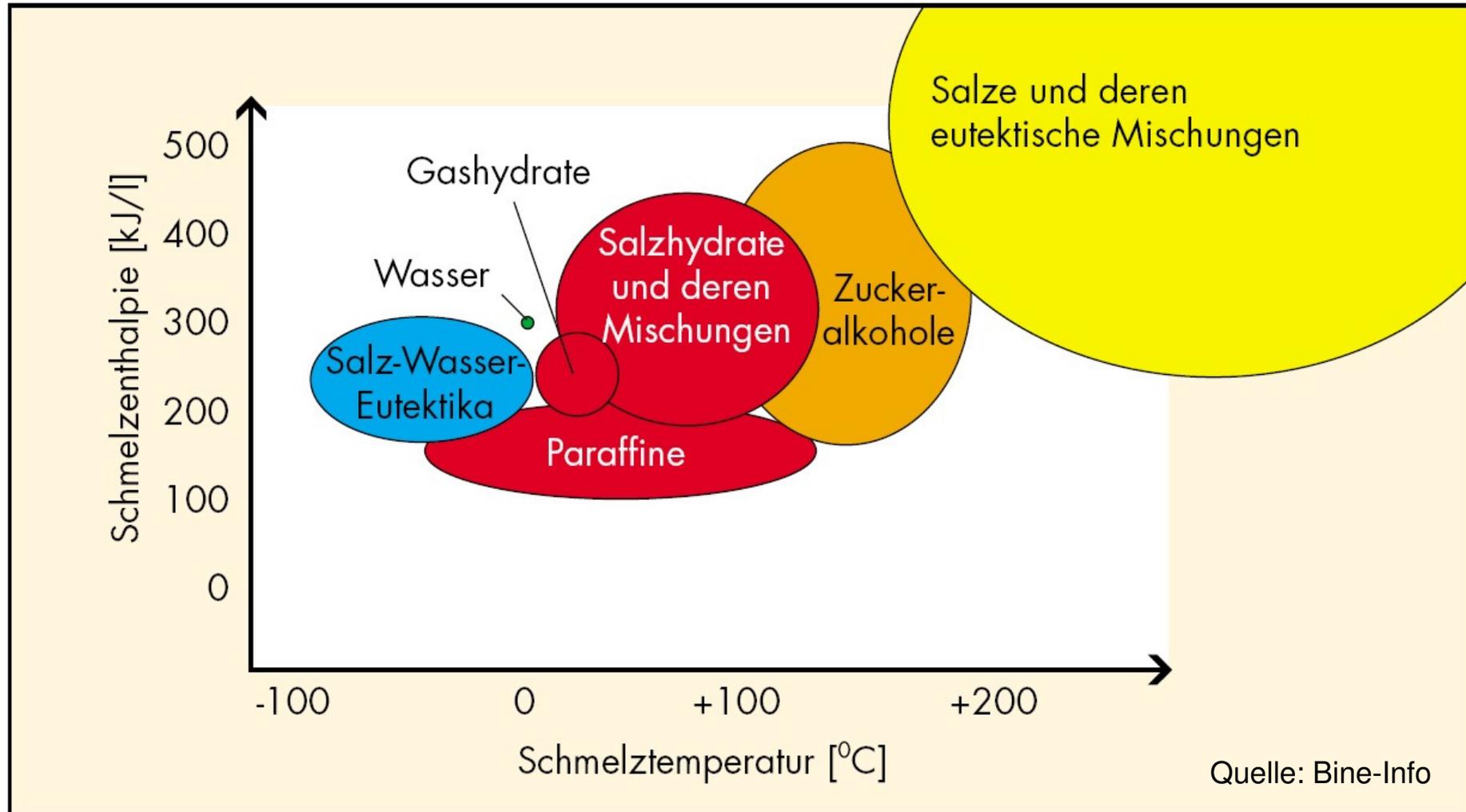
- Raumluftrömungsversuche
- Konzeptstudien und Beratung
- Komponentenentwicklung
- Leistungsmessung
- Entrauchungskonzepte
- Modellversuche
- Vor-Ort-Messungen

offen für besseres



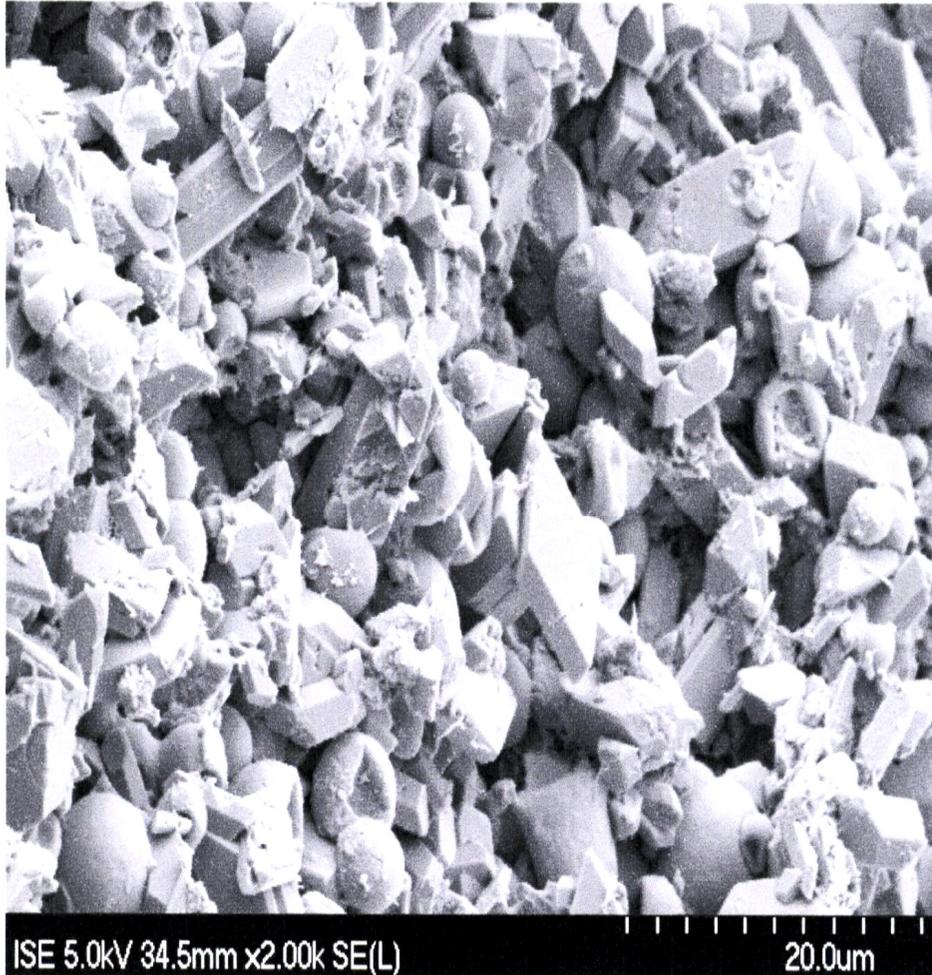


PCM-Gerät: Materialauswahl





Ansatz passive Speicherung



ISE 5.0kV 34.5mm x2.00k SE(L)

20.0um

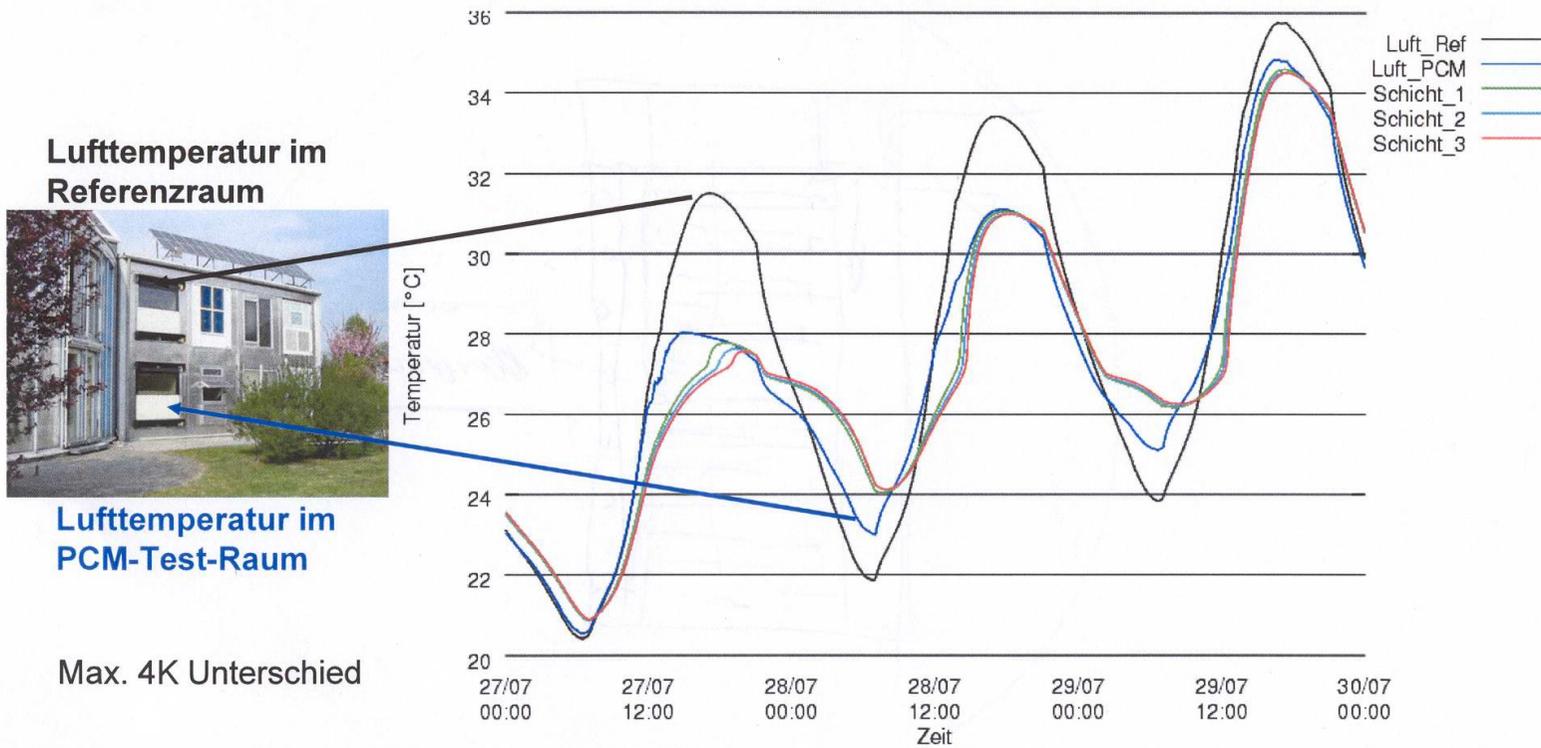
REM Gipsputz mit PCM-Mikrokapseln

- 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: Komforterhöhung im Sommer → Speicherladung am Tag durch Raumlaster; Speicherentladung in der Nacht durch Lüftung
- Langzeitstabilität erreicht (10.000 Zyklen getestet)



Lufttemperaturmessungen im PCM-Testraum (ISE)

Testraum-Messungen (Sommerperiode)





Aktive PCM - Systeme Kapillarrohrmatten in PCM

- Gebäudeintegrierter, verteilter PCM-Speicher zum Heizen und/oder Kühlen
- Aktivierung durch Wasser-gestützte Systeme
- **Kühlung:** Speicherentladung unter Ausnutzung von Umwelt-Wärmesenken (Erdreich, Brunnenwasser, Kühlturm)
- **Heizung:** Speicherladung durch Solarkollektoren, Wärmepumpen, Abwärme (z.B. KWK)
zeitunabhängig vom Bedarf mit niedrigen Temperaturdifferenzen

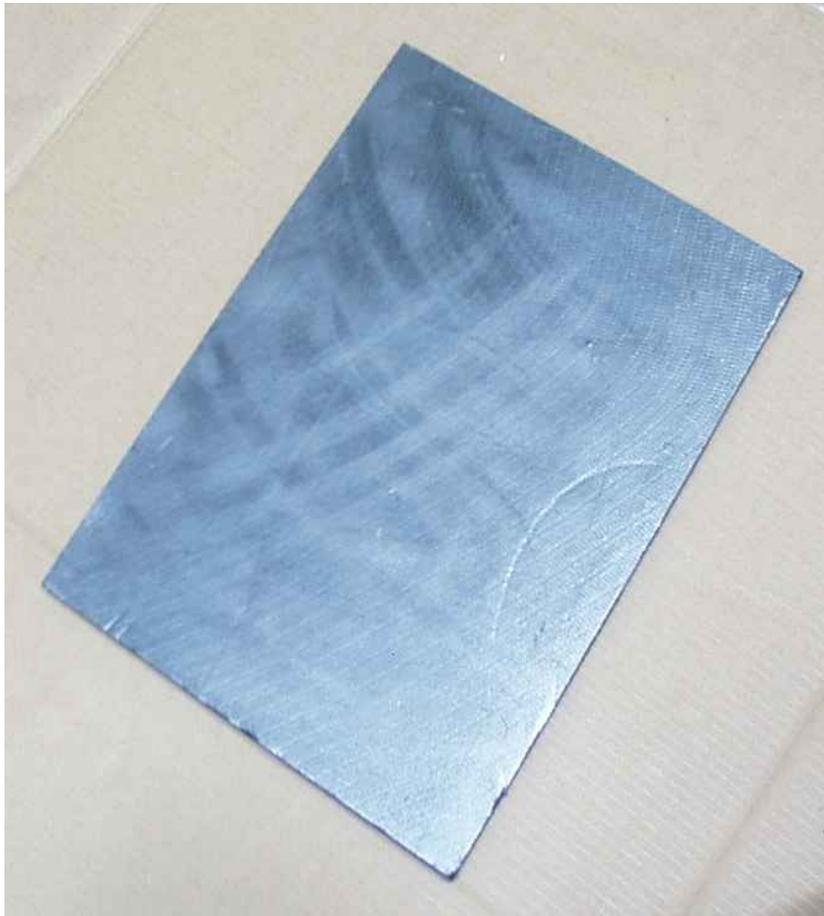




best in technical performance



aktiv durchströmte Speicher mit PCM - Speicherplatten



Graphit-Paraffin-Matrix



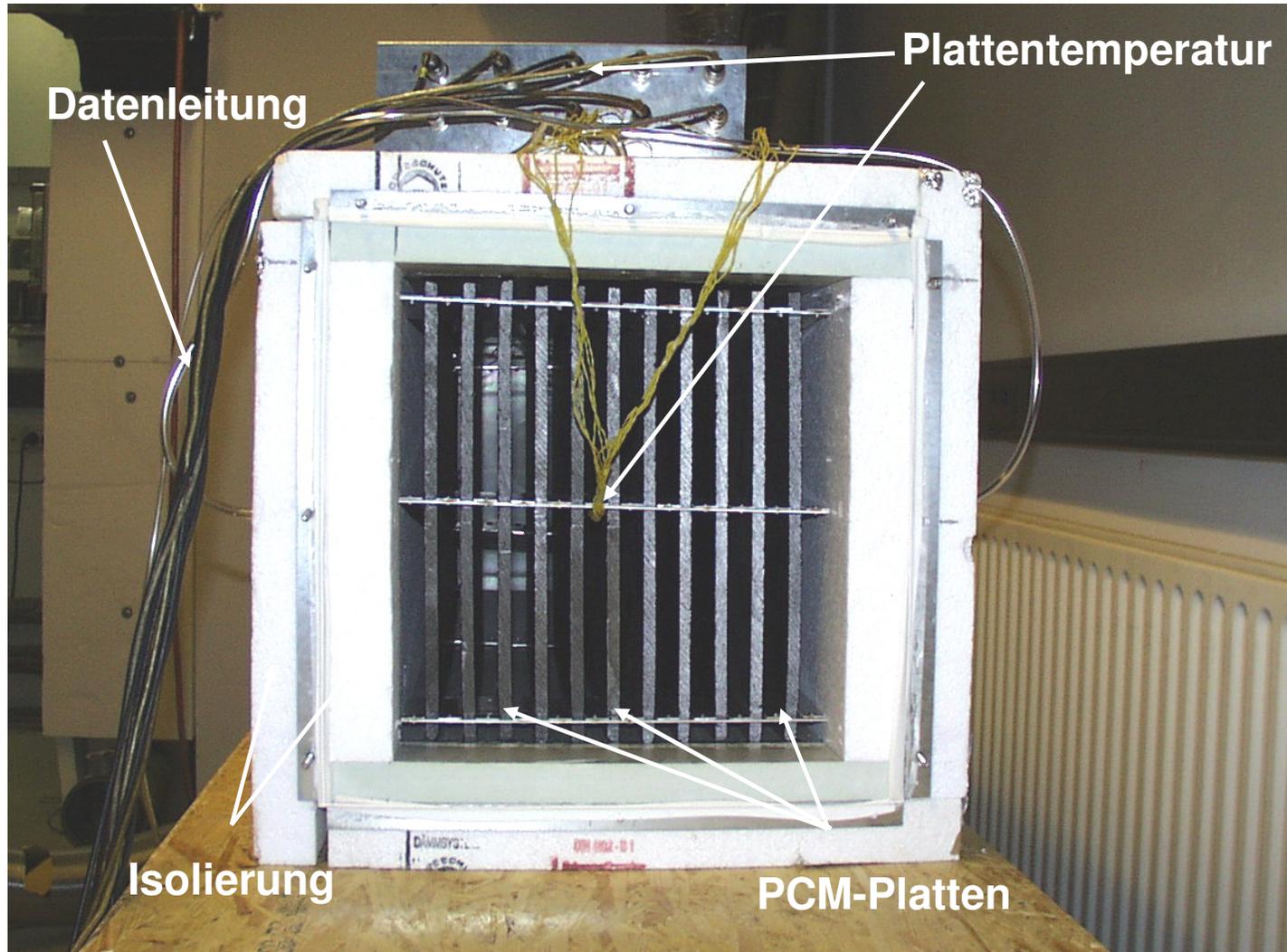
**Aufbau Speichermodul:
luftdurchströmter Stack
aus Einzelplatten**



best in technical performance

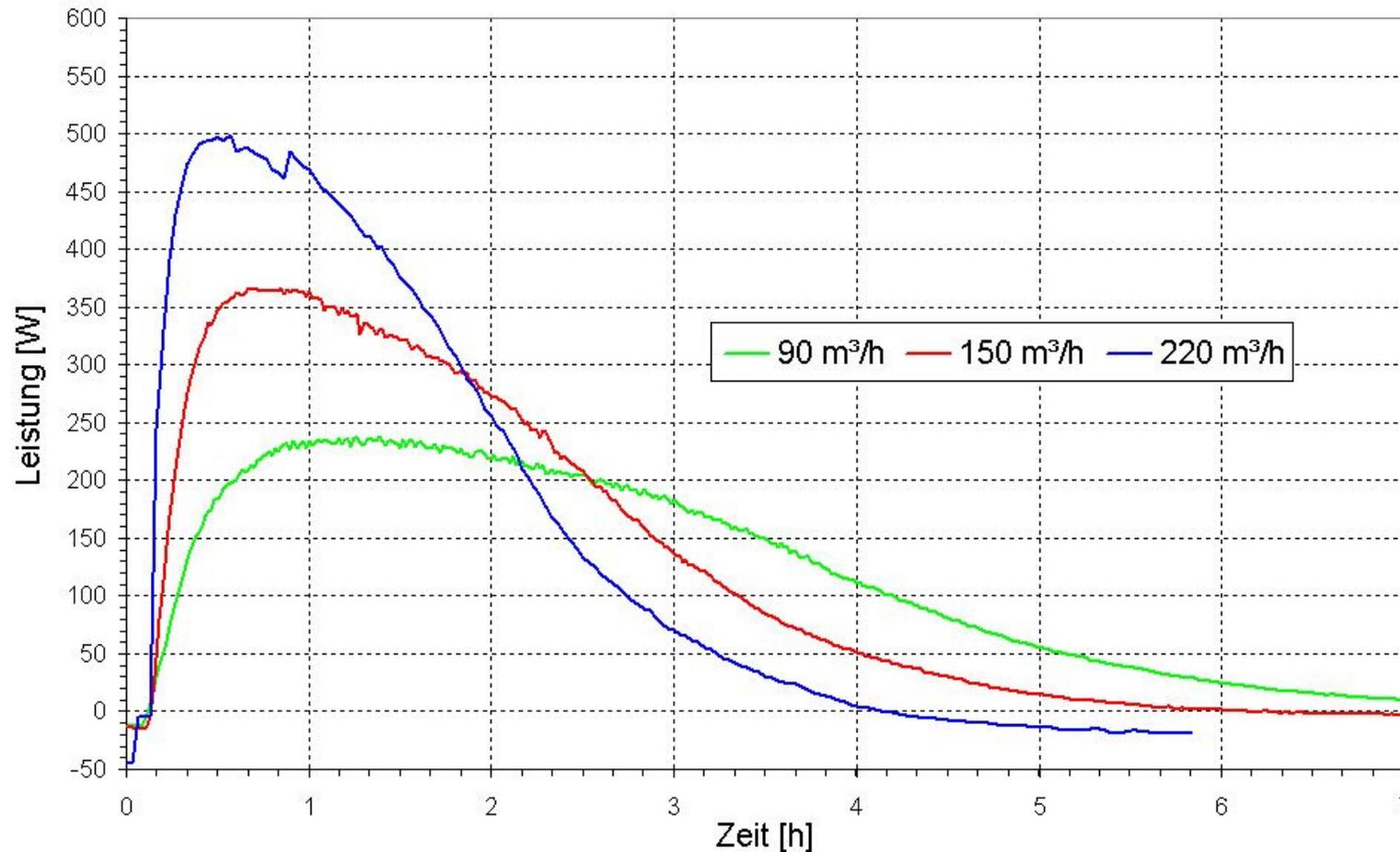


PCM Materialeigenschaften: Versuchsstand Speichermodul





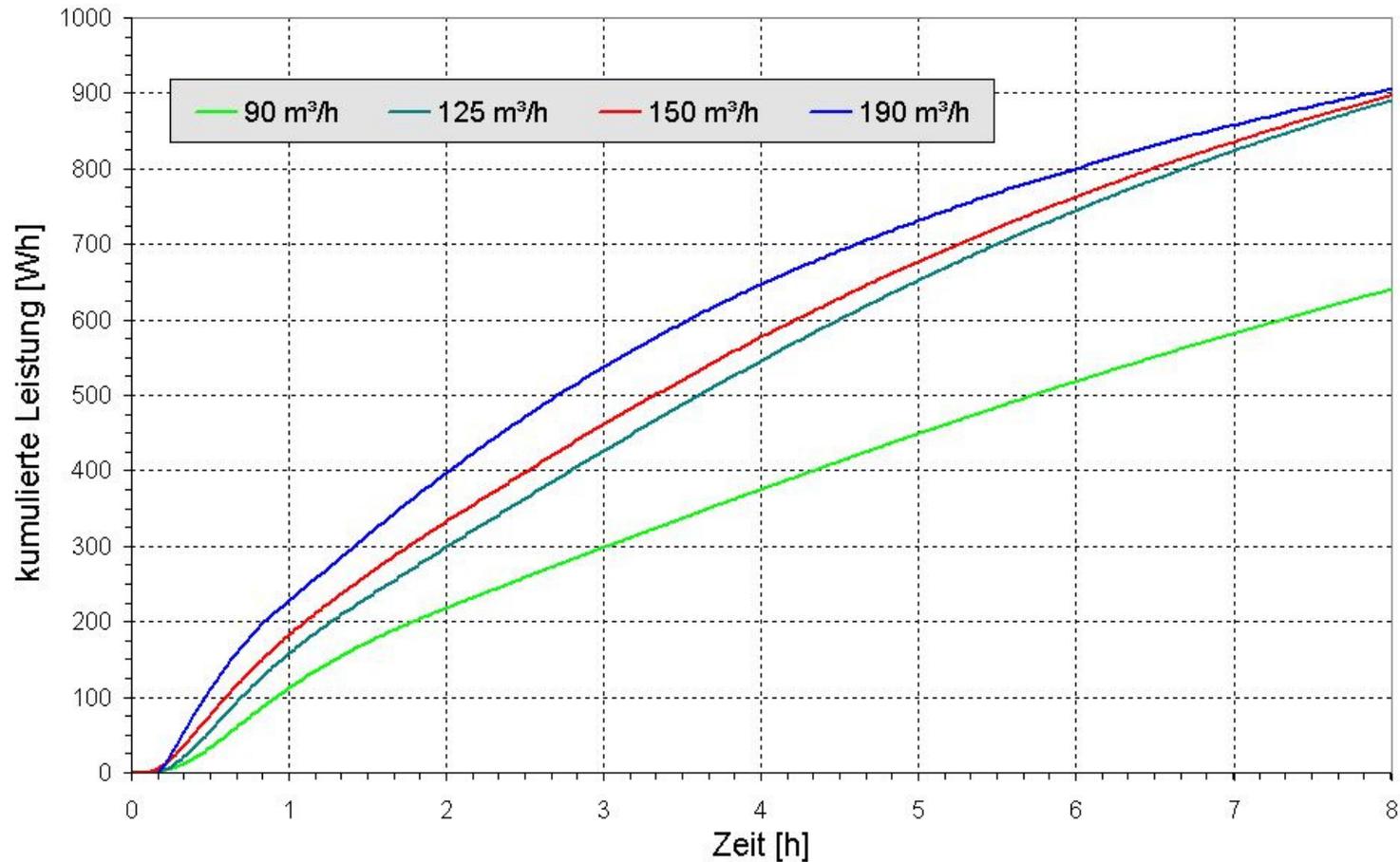
Leistungsaufnahme PCM-Speichermodul für verschiedene Luftvolumenströmen (Tagbetrieb - Beladung)



Sprungantwort: Außenlufttemperatur ca. 31,0 °C



Leistungsaufnahme PCM-Speichermodul für verschiedene Luftvolumenströme (Nachtbetrieb - Regeneration)

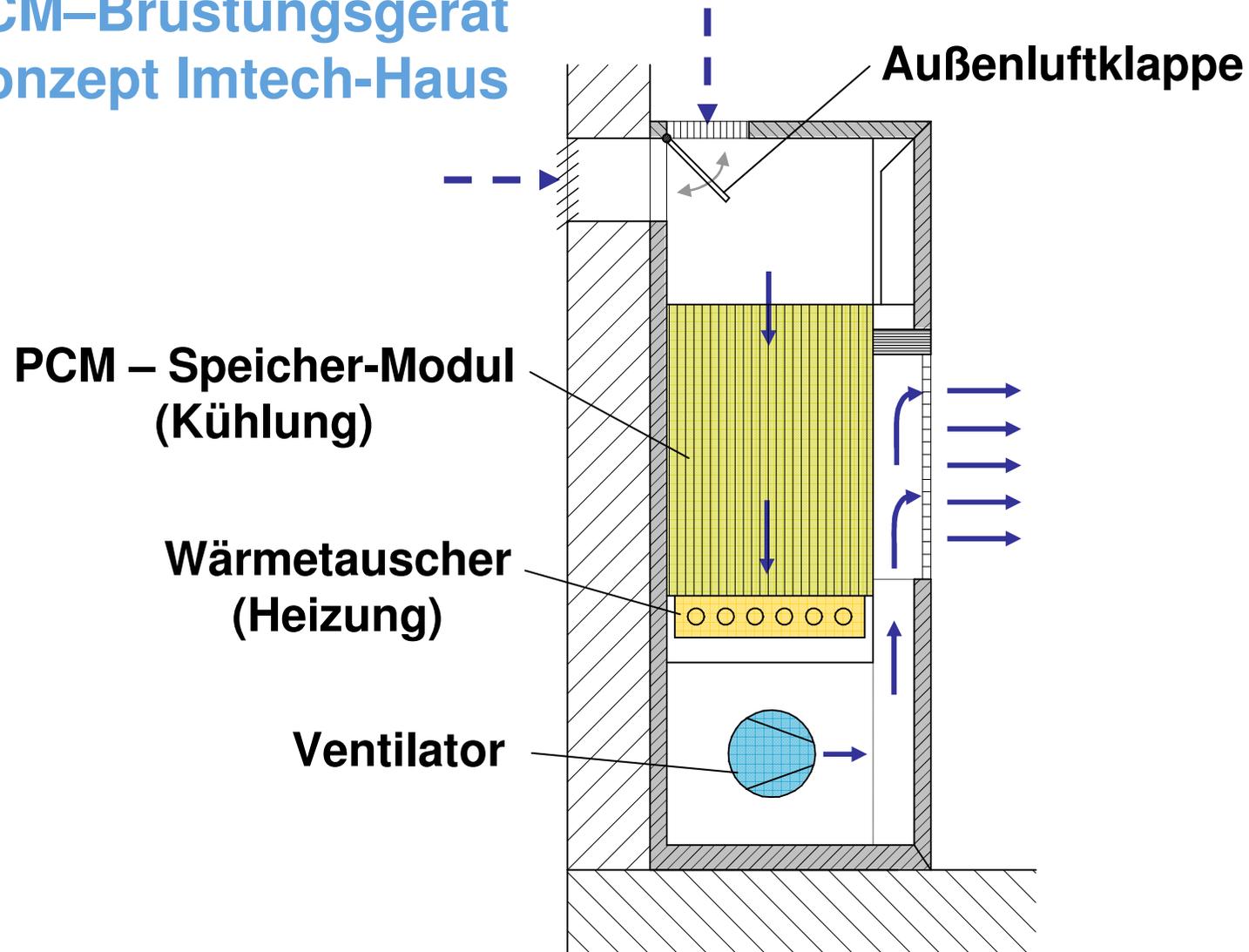


Kapazität:
30 Wh/kg

Sprungantwort: Außenlufttemperatur ca. 17,0 °C



PCM-Brüstungsgerät Konzept Imtech-Haus





best in technical performance



PCM-Gerät (Prototyp Imtech-Haus)



**Innenansicht ohne PCM-Speichermodul
und ohne Wärmetauscher**



PCM-Modul mit 10 PCM-Platten



Aufbau eines Versuchsstandes im Maßstab 1:1

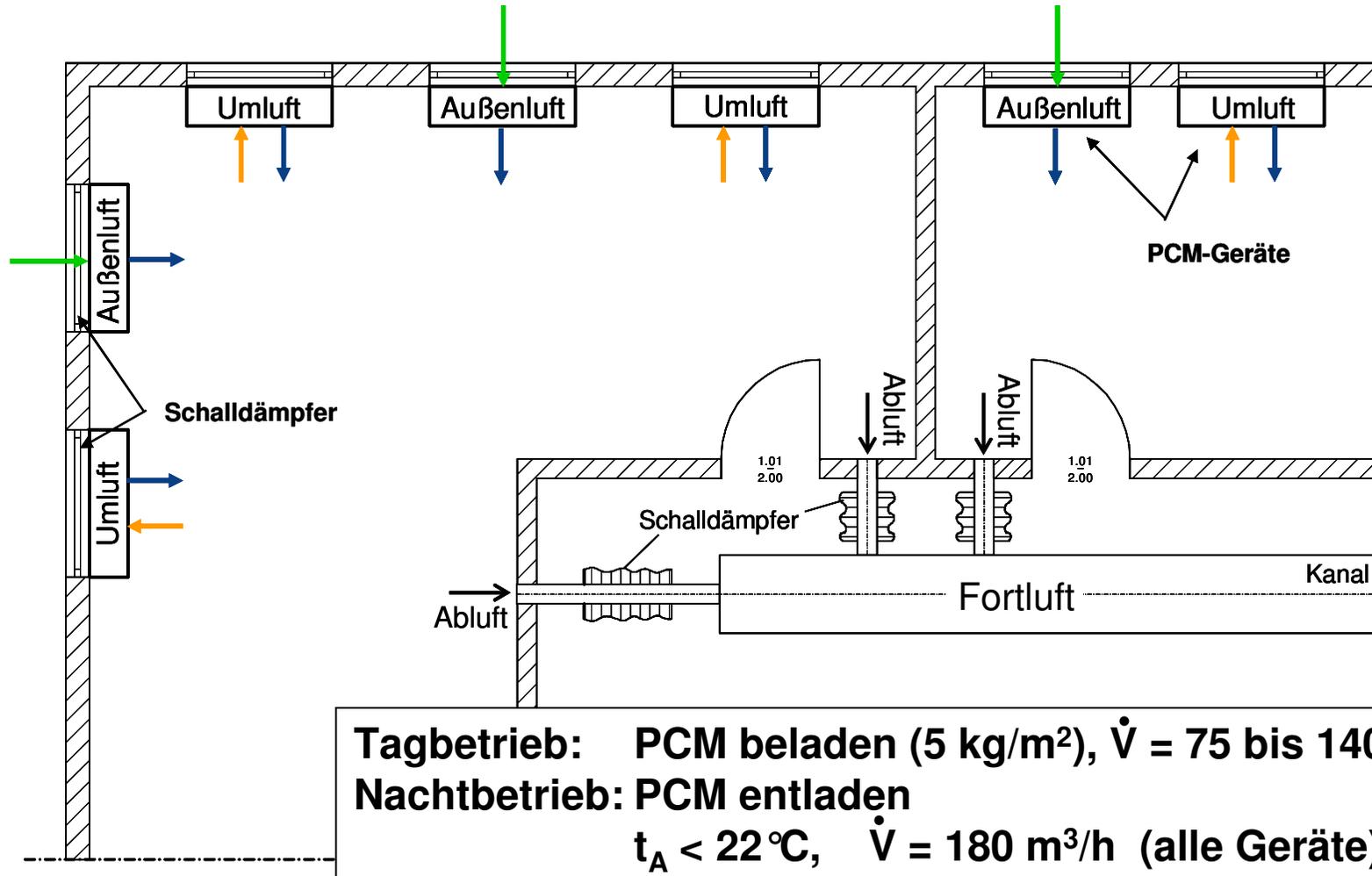


Messung des:

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

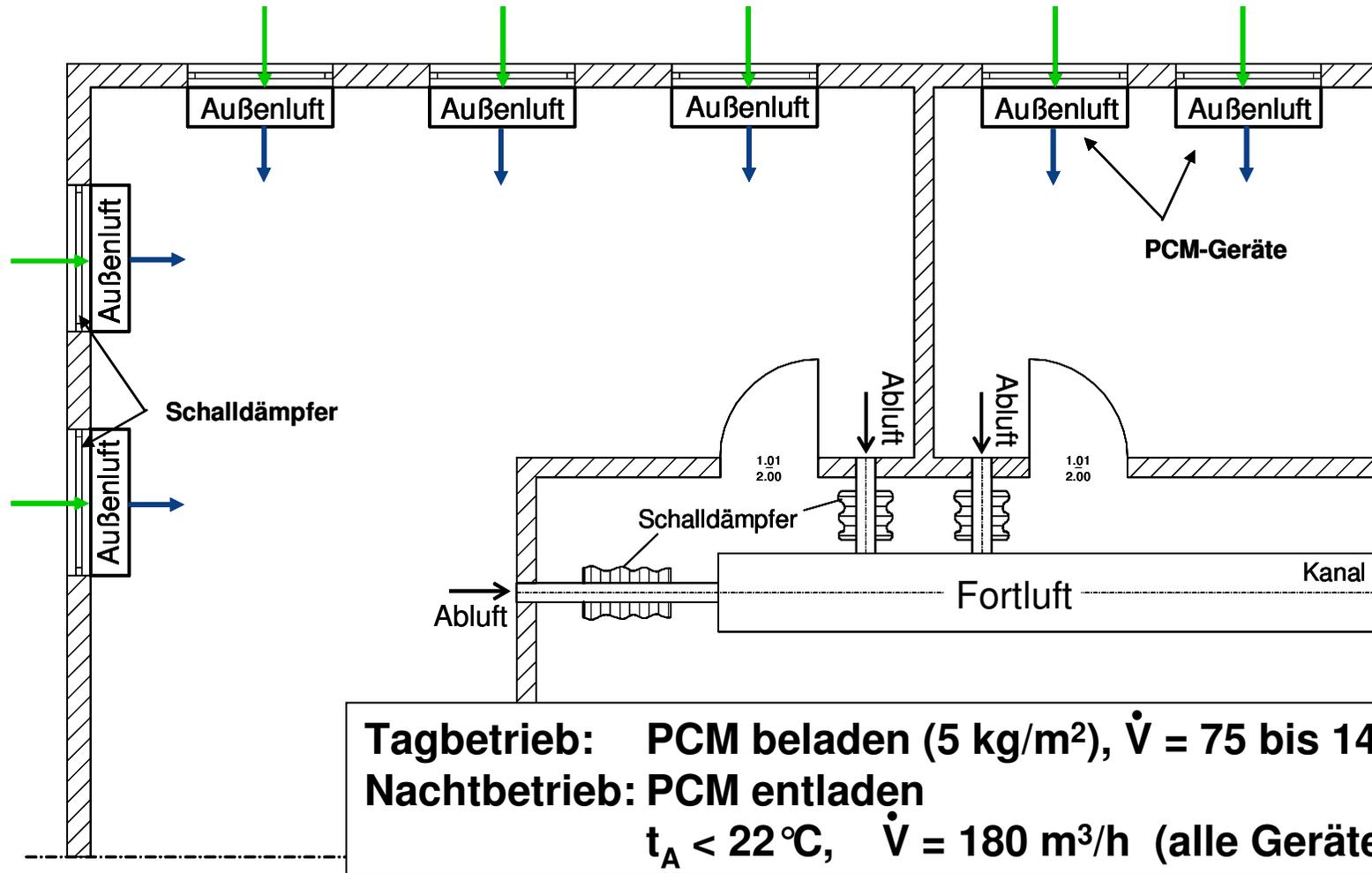


Anlagenkonzept PCM Imtech-Haus, Tagbetrieb



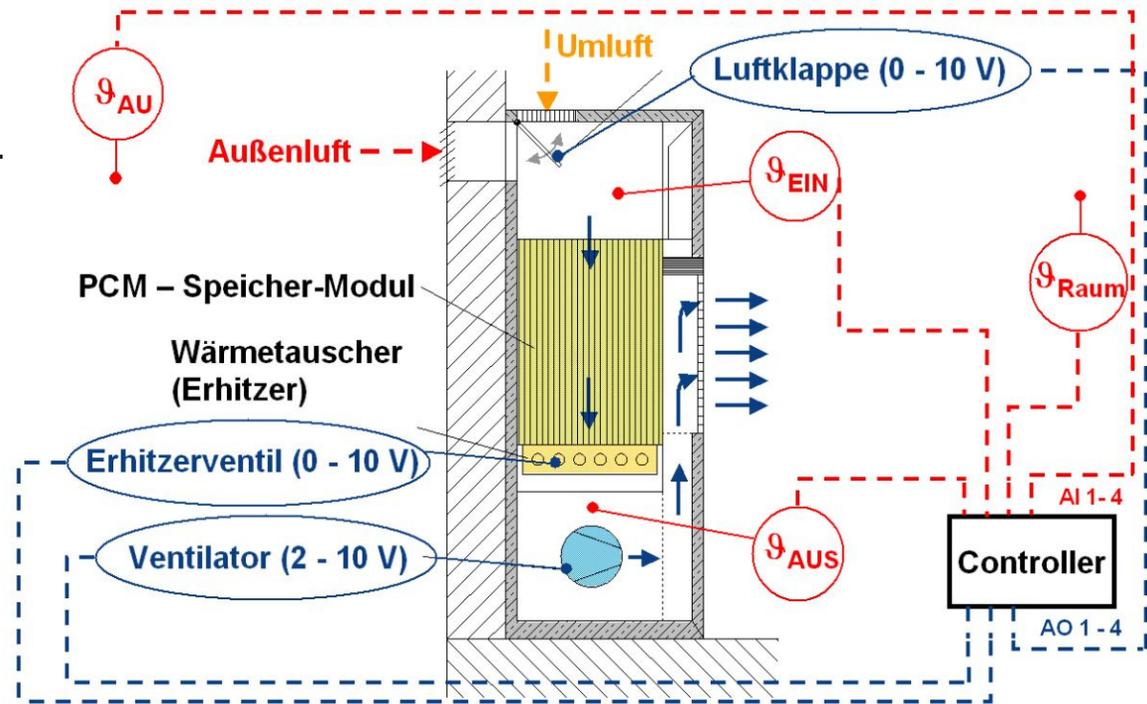
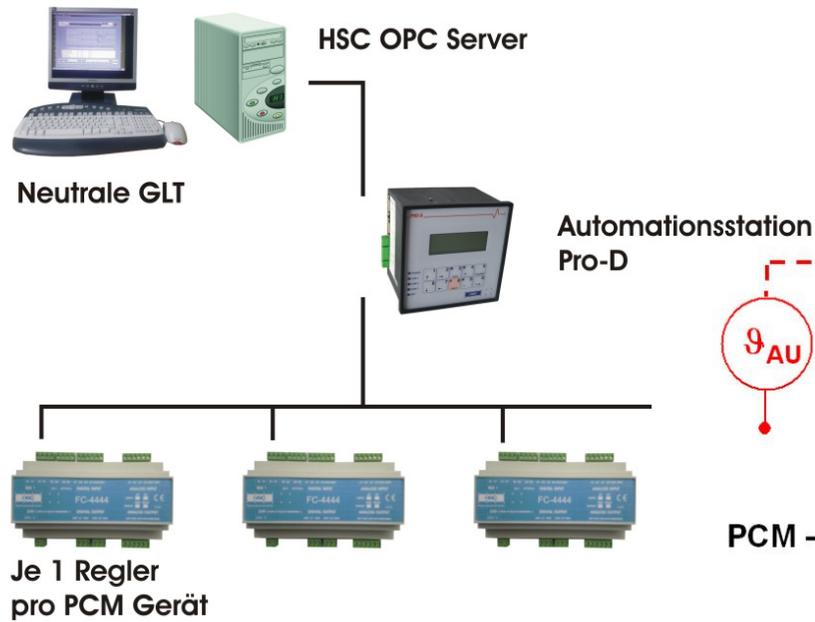


Anlagenkonzept PCM Imtech-Haus, Nachtbetrieb





PCM-Anlage Imtechhaus Referenzanlage Imtechhaus – Regelung





PCM – Referenzanlage mit 50 Geräten im Imtech-Haus, Betrieb 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

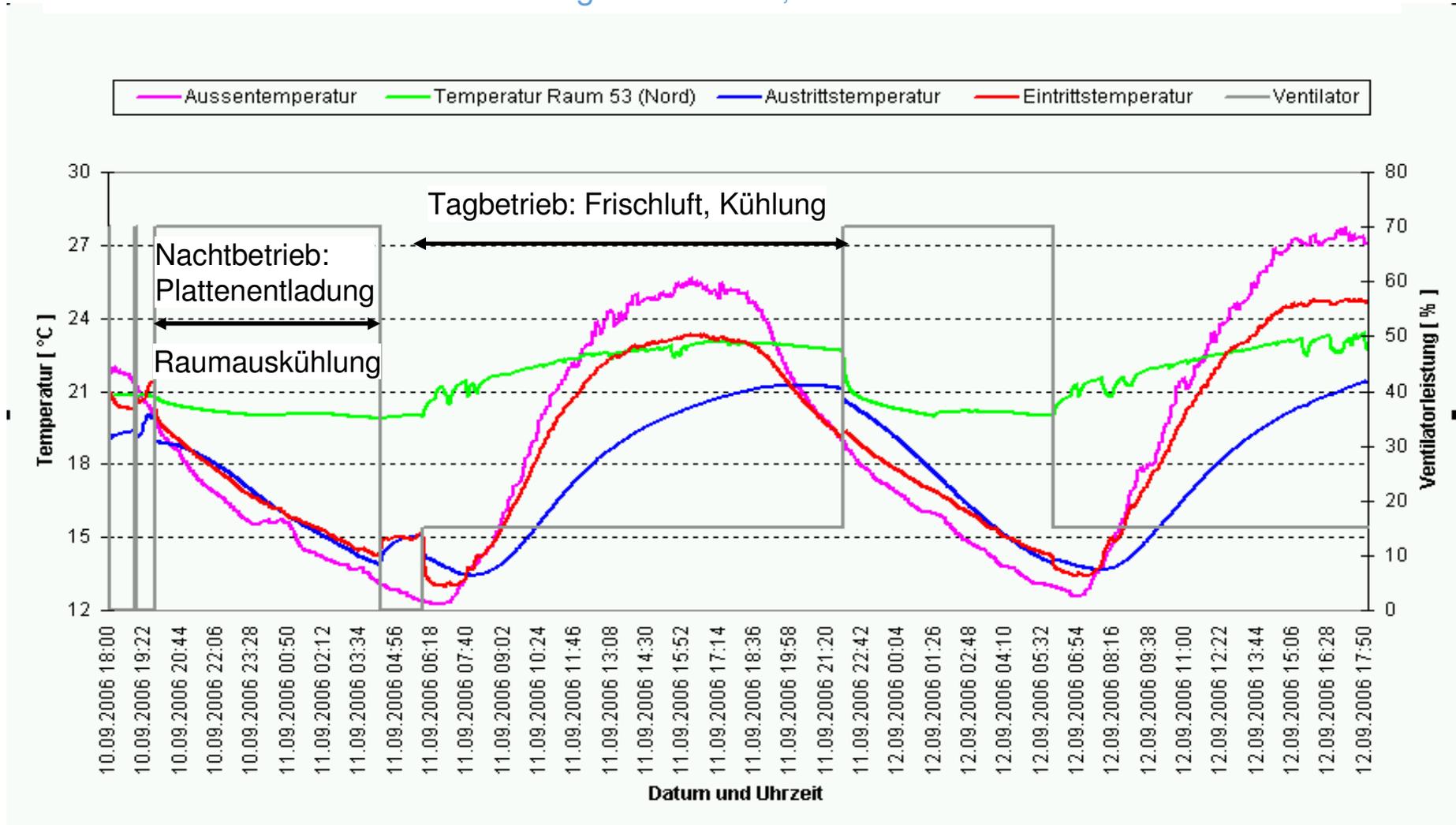


Mesdatenerfassung auf moderner GLT – Grundlage für Systemsimulation

The screenshot displays two windows from the GraphWorX32 software. The left window, titled 'Übersicht 5.OG PCM Module', shows a floor plan of the 5th floor with various rooms and air conditioning units. A red circle highlights a specific area, and a red arrow points from it to the right window. The right window, titled 'Raum 49', provides a detailed view of the room's climate control system. It includes a status bar with current room temperature (23.3 °C) and various control panels for three devices: Gerät B13, Gerät B14, and Gerät B15. Each device panel shows parameters like temperature, humidity, and control modes, along with status indicators and control buttons. A room grid at the bottom of the right window shows the layout of rooms 45 through 65.

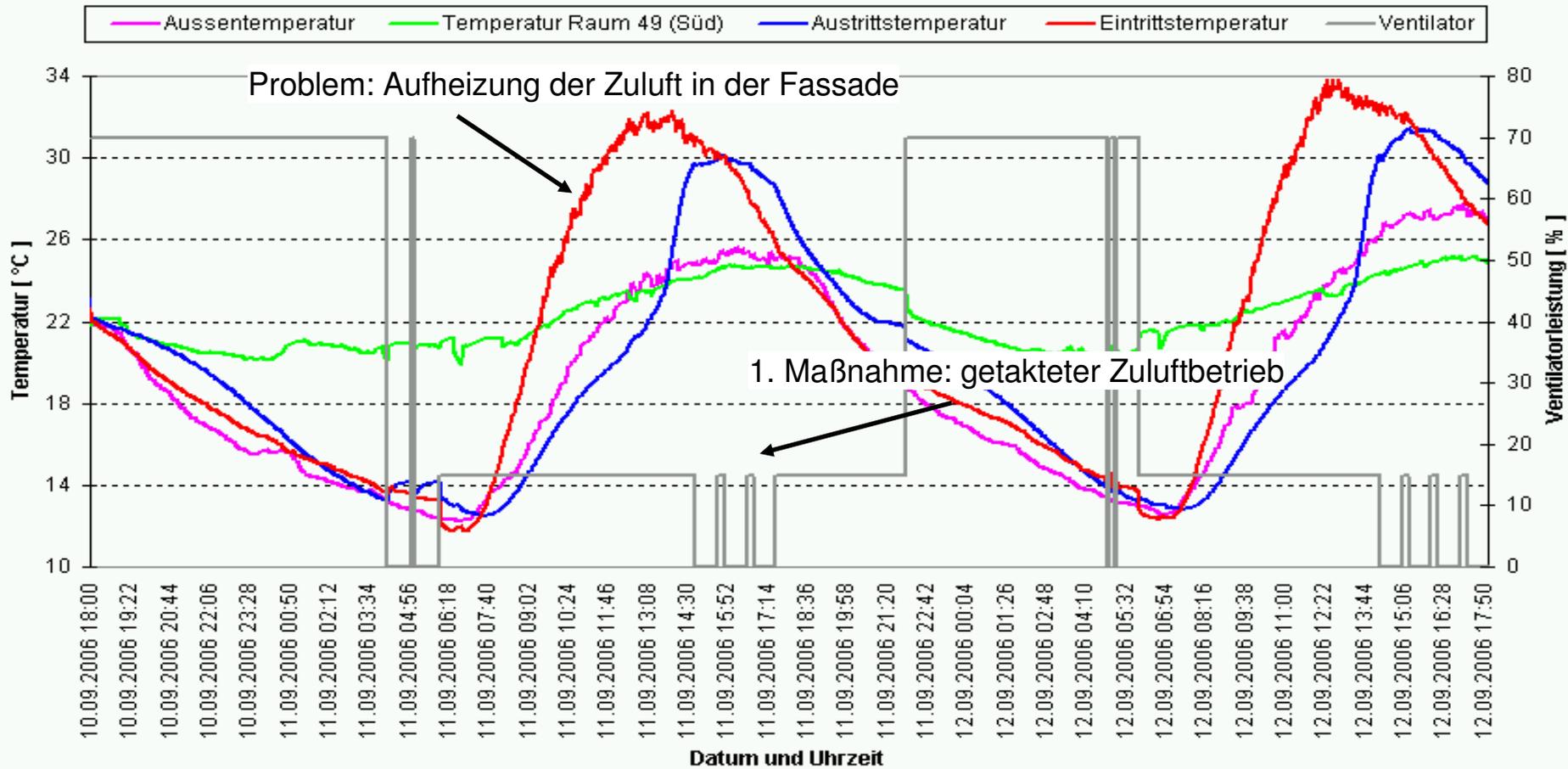


Nordraum – Außenluftgerät: Temperaturen und Ventilatorsteuerung, September 2006 durchgehend klarer, wolkenloser Himmel



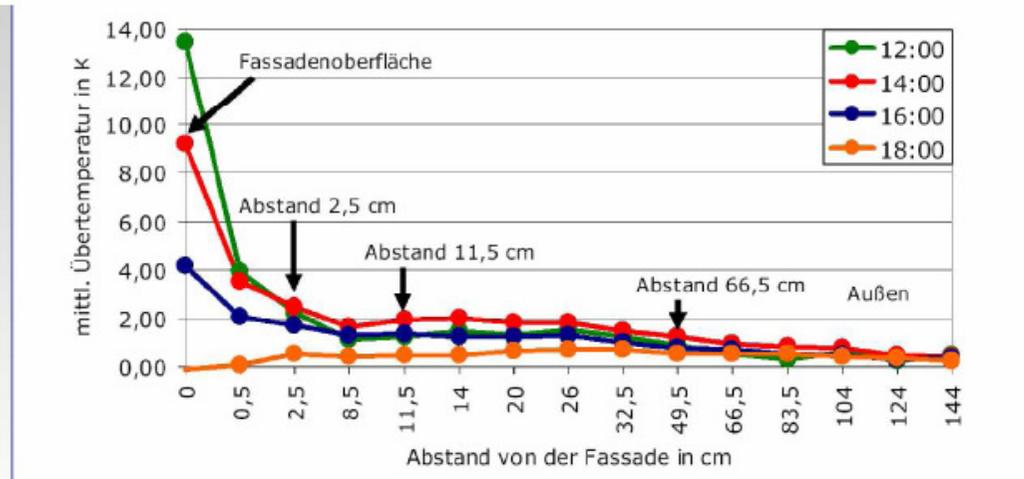
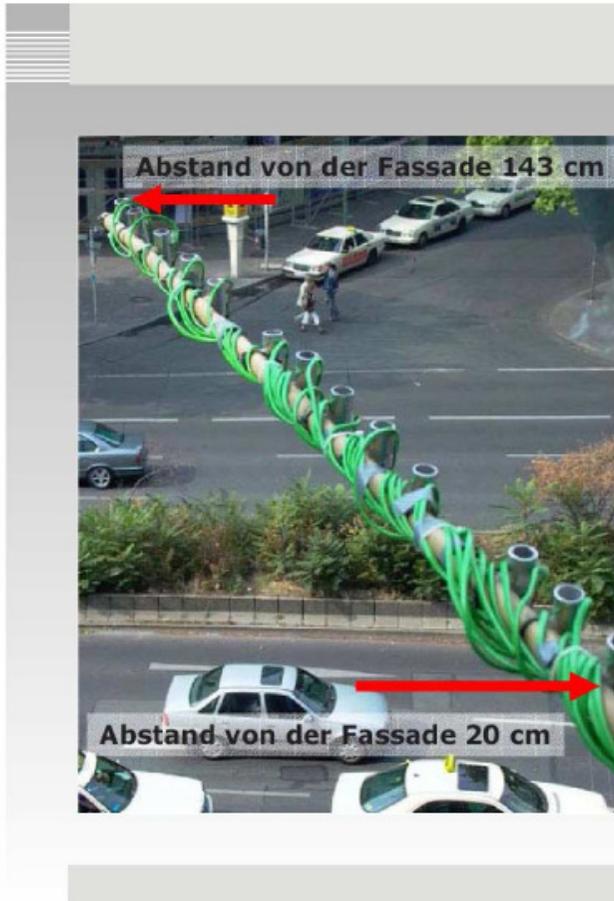


Südraum – Außenluftgerät: Temperaturen und Ventilatorsteuerung, September 2006 durchgehend klarer, wolkenloser Himmel





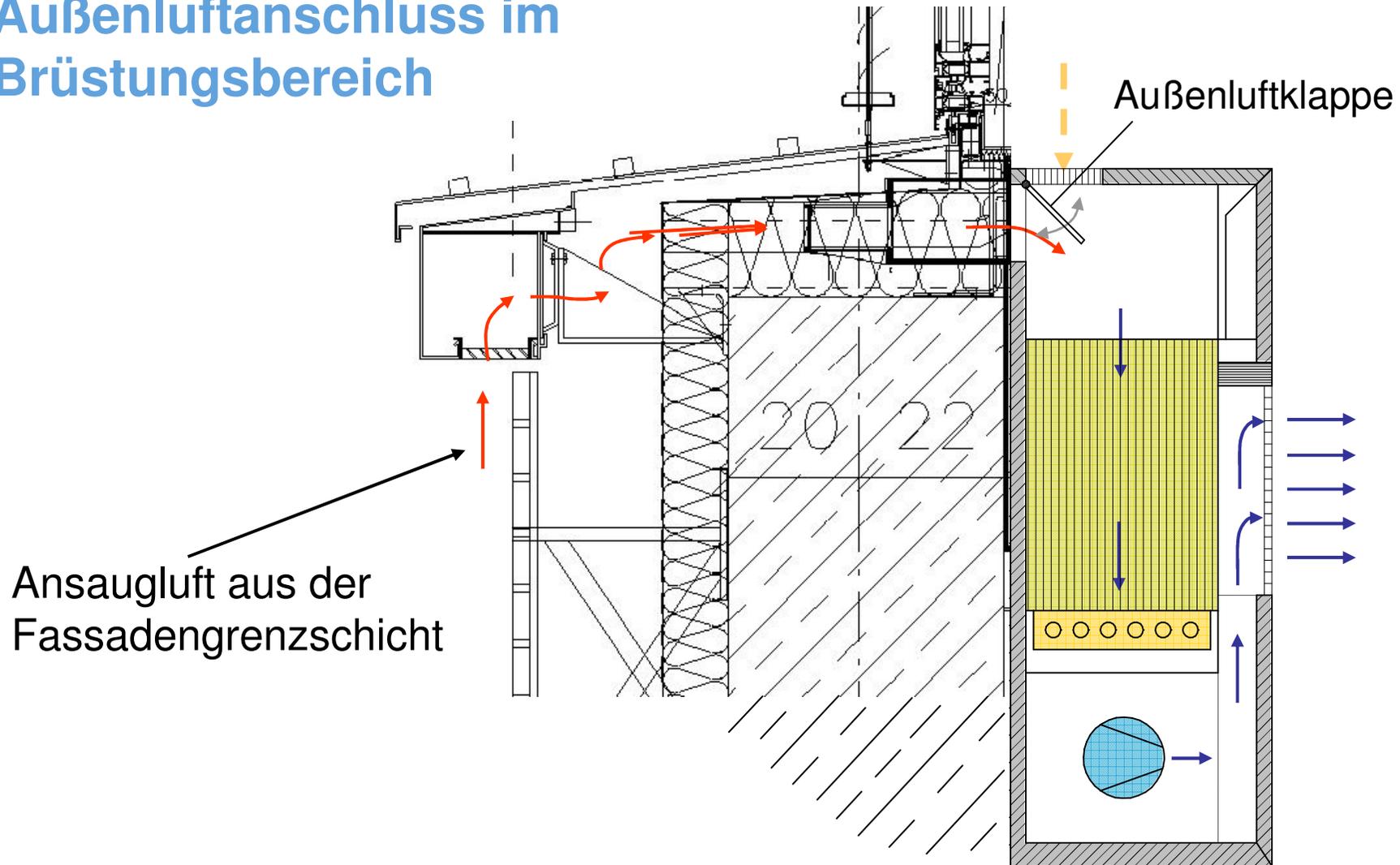
Untersuchung der Lufttemperaturen im Nahbereich von Fassaden



Quelle: Forschungsvorhaben L 199/V, Fassadengrenzschichten, FLT 2003
 Autoren: Prof. Dirk Müller, Dipl.-Ing. Matina Reske

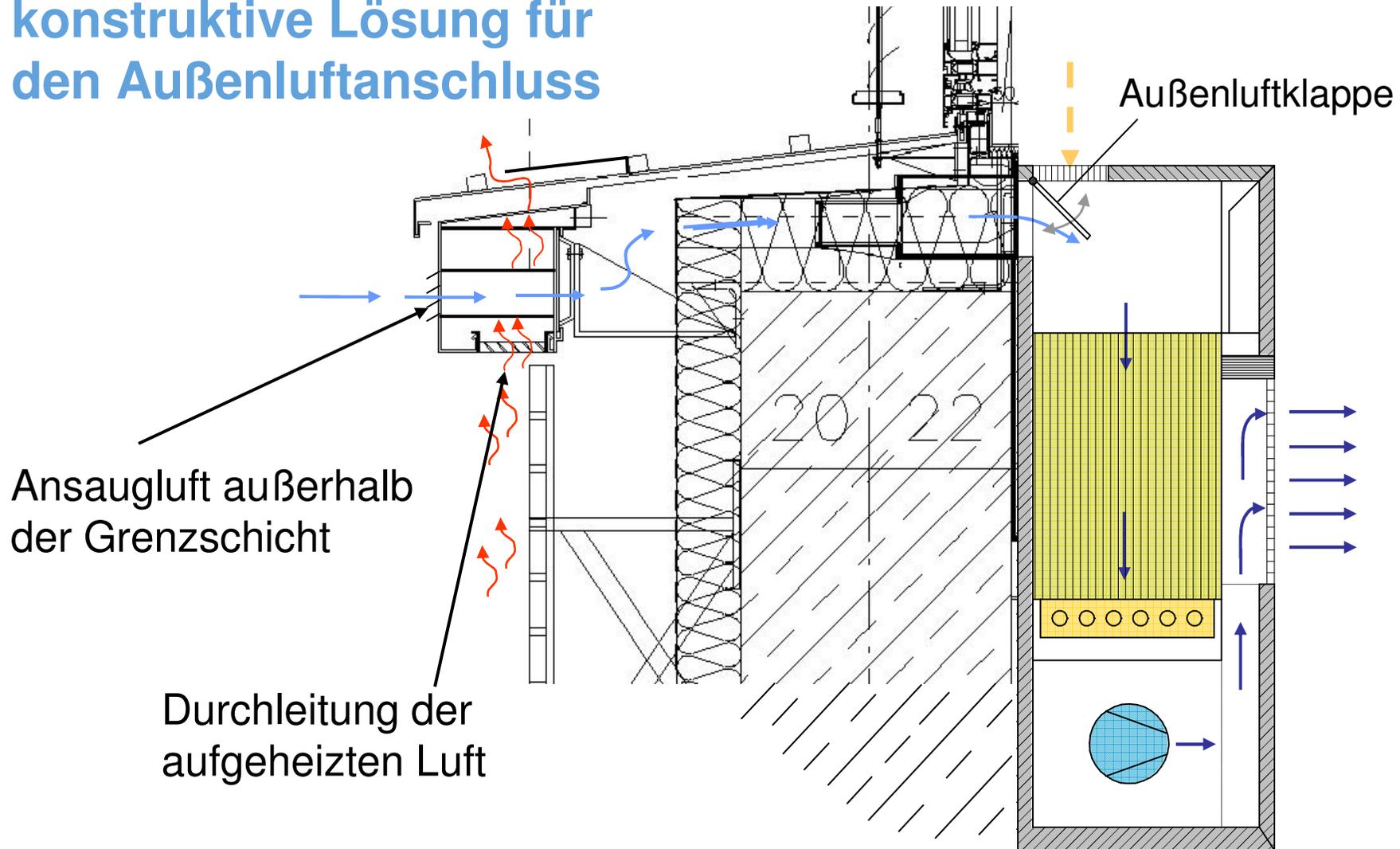


PCM Geräte Imtechhaus: Außenluftanschluss im Brüstungsbereich



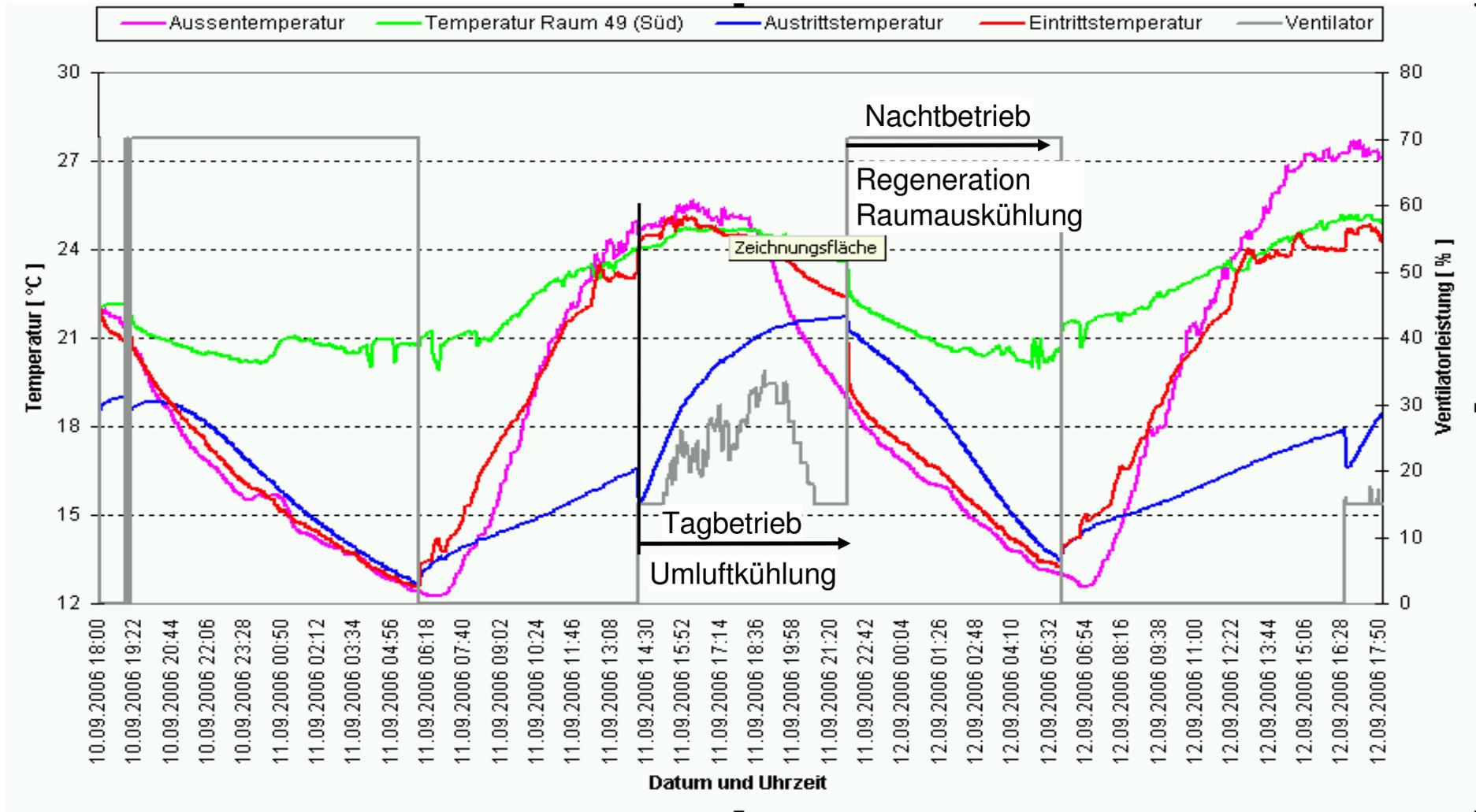


PCM Geräte Imtechhaus: konstruktive Lösung für den Außenluftanschluss





Südraum – Umluftgerät: Temperaturen und Ventilatorsteuerung, September 2006 durchgehend klarer, wolkenloser Himmel

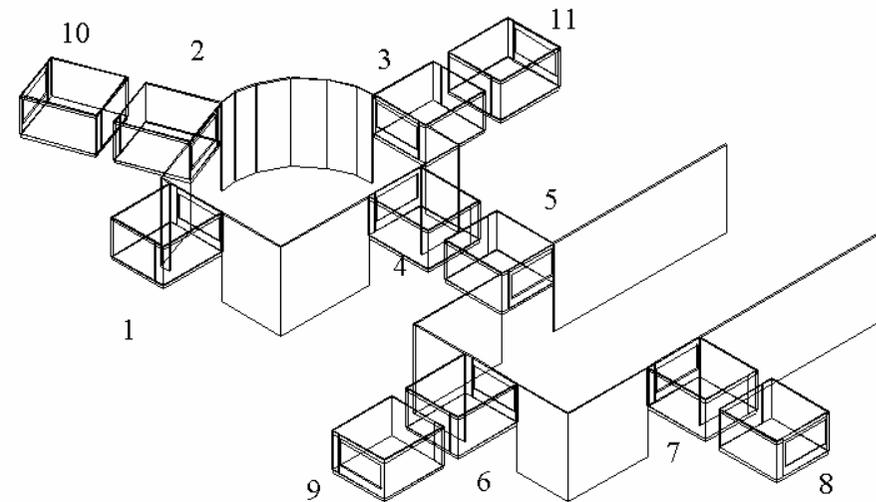




best in technical performance



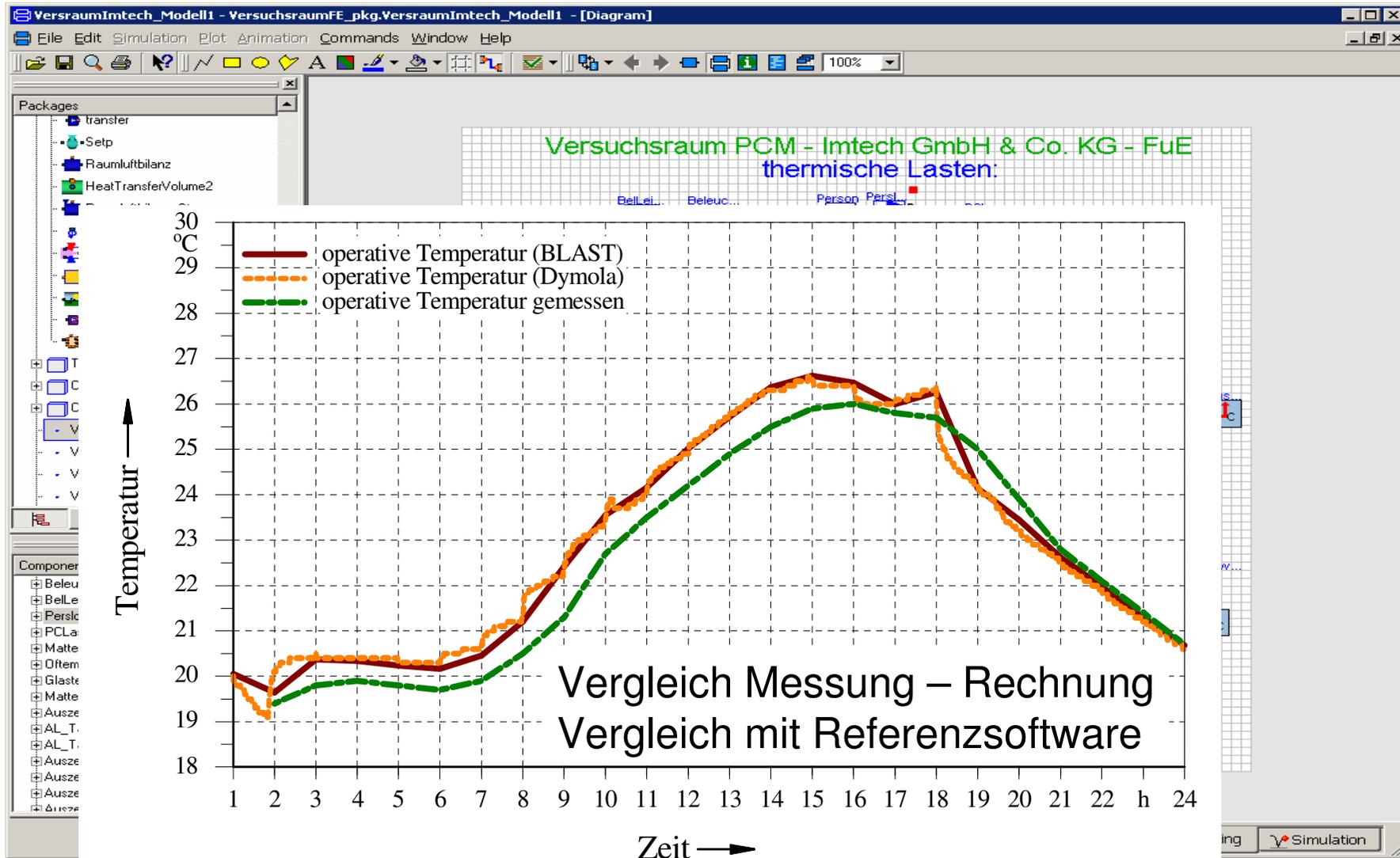
Dynamische Gebäudesimulation: Ermittlung des Kühl-Potentials für die PCM-Referenzanlage im Imtech-Haus



BLAST Zonen-Modell mit Verschattungsflächen



Gebäudemodellierung mit Dymola – Ermittlung Energiebilanz

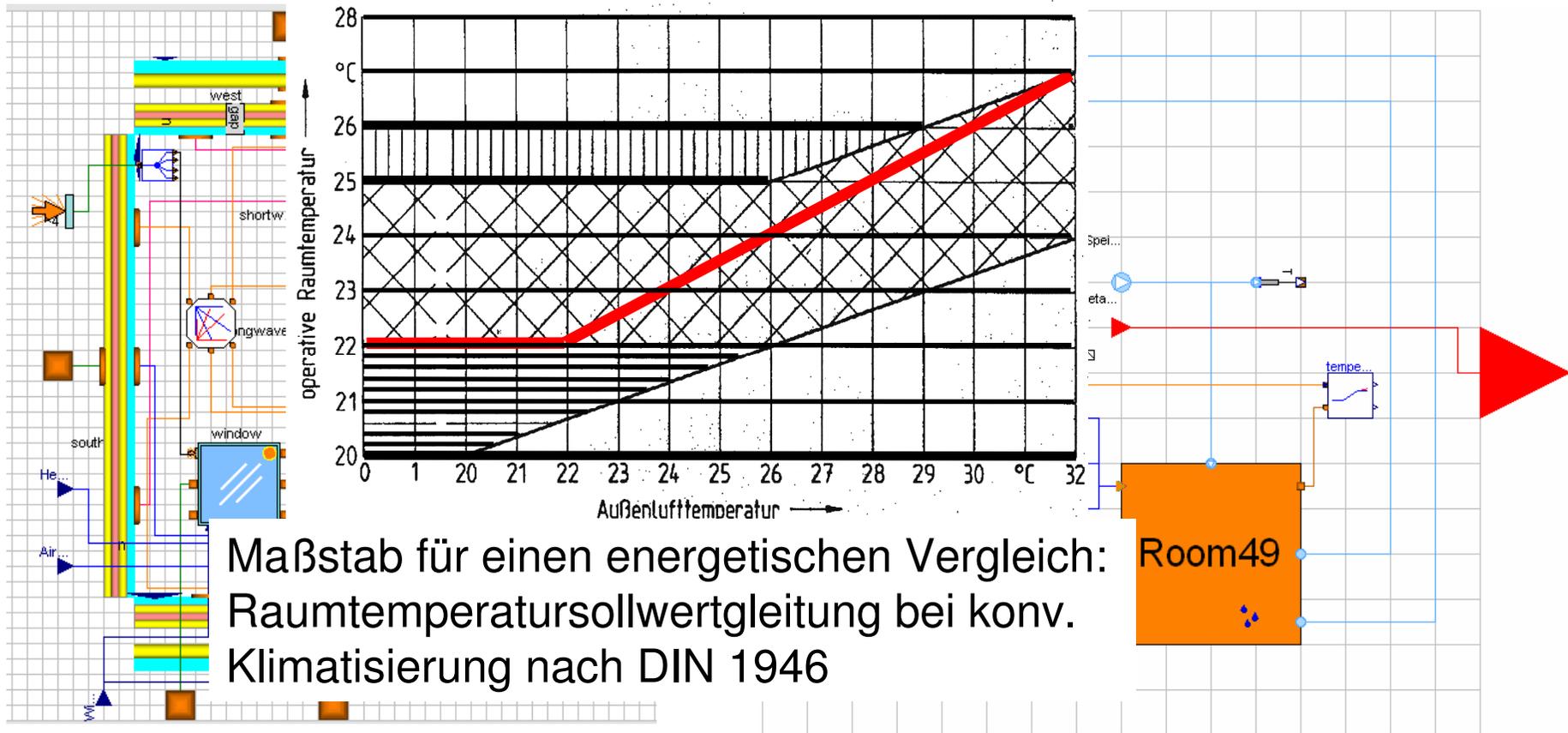




Simulation Gebäude – Anlage mit PCM-Gerät

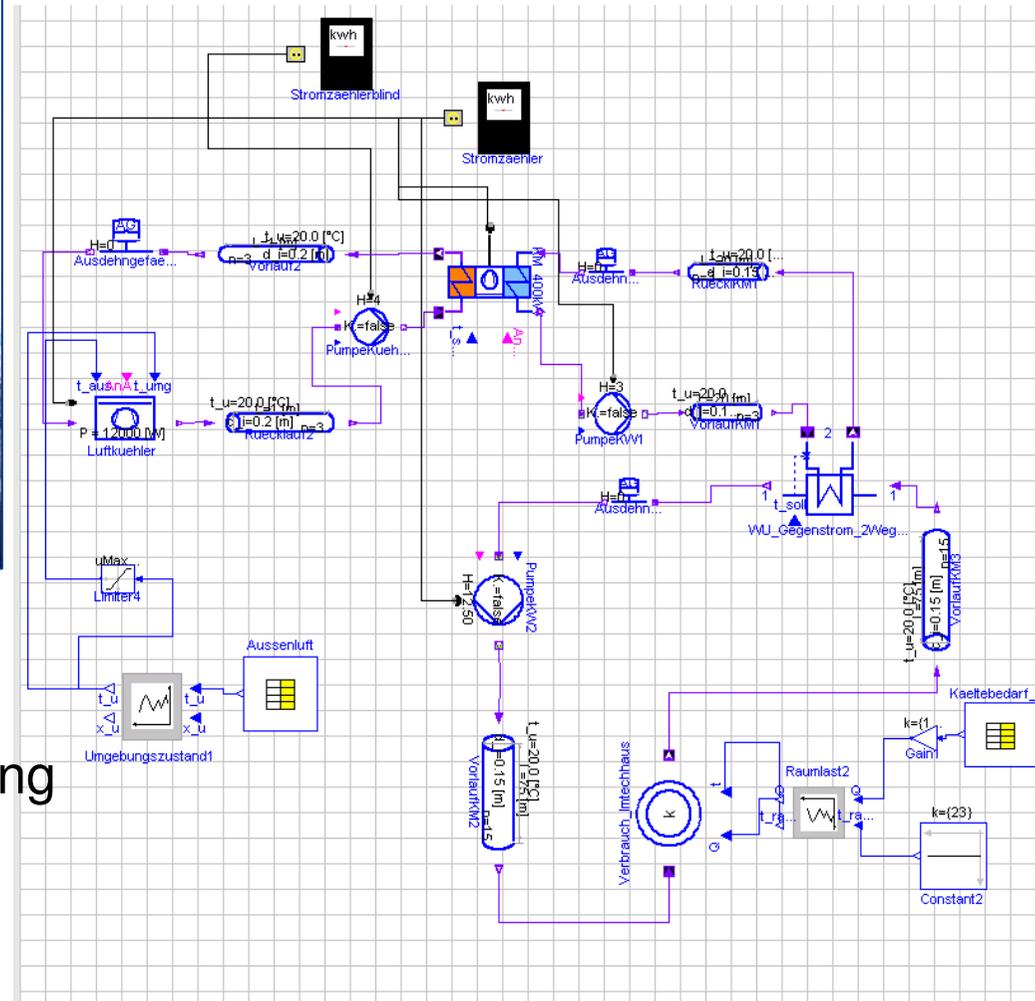
thermisches Raummodell

gekoppeltes Geräte - Raummodell





Ermittlung des Energiebedarfes von Kälteerzeugung und -verteilung durch dynamische Simulation





Jahresbedarf der Raumkühlung (DIN 1946) Deckung durch die PCM-Technik resultierender elektrischer Bedarf der PCM-Technik

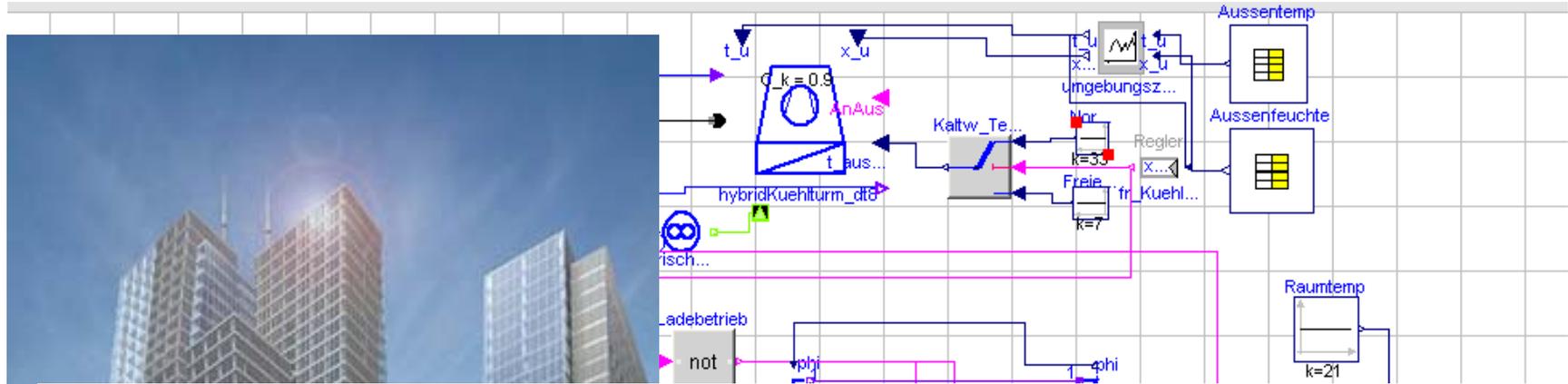
	Kälte- / Strombedarf TRY03			Kälte- / Strombedarf Extremklima		
	DIN 1946	PCM-Geräte	Abluftanlage	DIN 1946	PCM-Geräte	Abluftanlage
	kWh _{th} /a	kWh _{el} /a	kWh _{el} /a	kWh _{th} /a	kWh _{el} /a	kWh _{el} /a
Nordraum	767	50,6	38,5	1030	55,0	41,8
Südraum	803	51,3	37,4	1019	56,9	43,0
Ostraum	802	52,0	39,3	1072	57,7	43,9
Westraum	802	53,0	39,7	1046	56,9	44,3
	MWh _{th} /a	MWh _{el} /a	MWh _{el} /a	MWh _{th} /a	MWh _{el} /a	MWh _{el} /a
Gebäude 10000 m ² , DIN 1946	378	24,6	18,4	496	27	20,6
Kälteerzeugung PCM-Technik	307,4	el. Bedarf Σ 43,0		347,4	el. Bedarf Σ 47,6	

Testreferenzjahr 03

Extremklima



Projekt 2006: Bürohochhaus - zwei WP / KM (a 1,5 MW) u. Eisspeicher

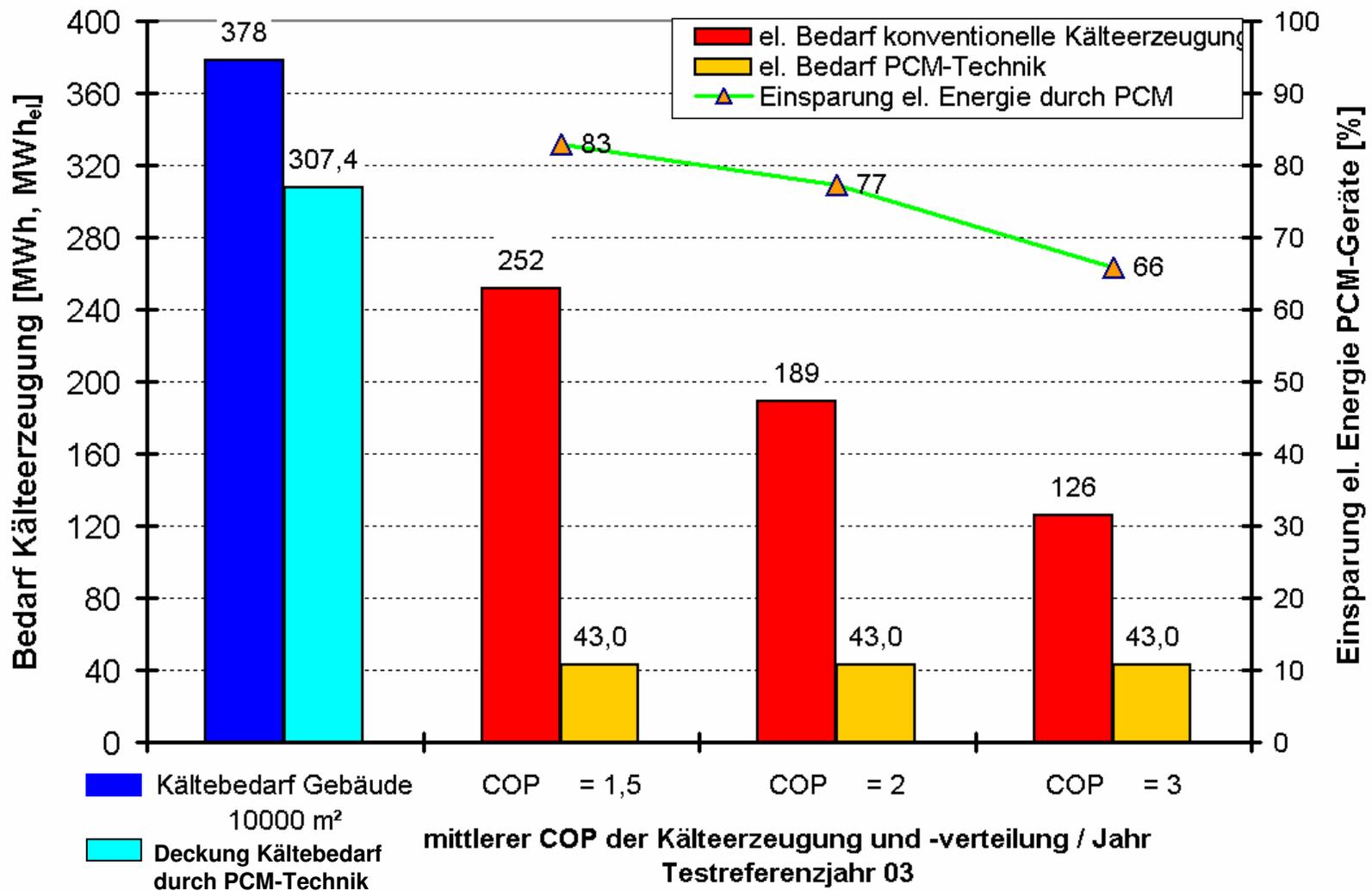


Aufwand Kälteverteilung und -erzeugung:

Übergabe → Verteilung → Erzeugung Kältemaschine → Rückkühlung

Praxiserfahrungen und Jahressimulationen von kompletten Kälteversorgungsanlagen zeigen: mittlere \overline{COP}_{ANL} (Gesamtanlage) je nach Anlagengröße und -qualität:

$$\overline{COP}_{ANL} : 1,5 \sim 3$$

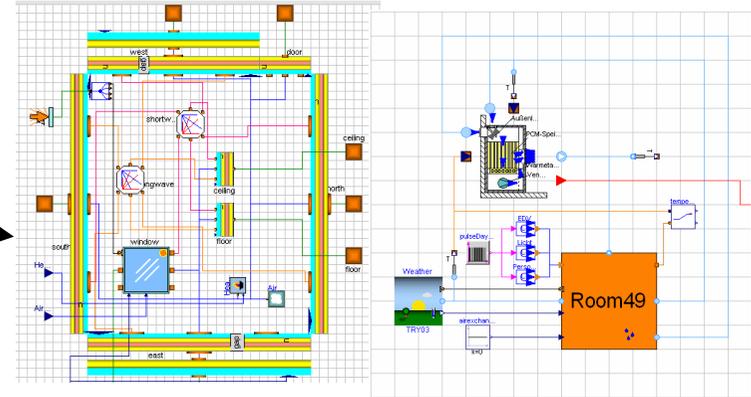




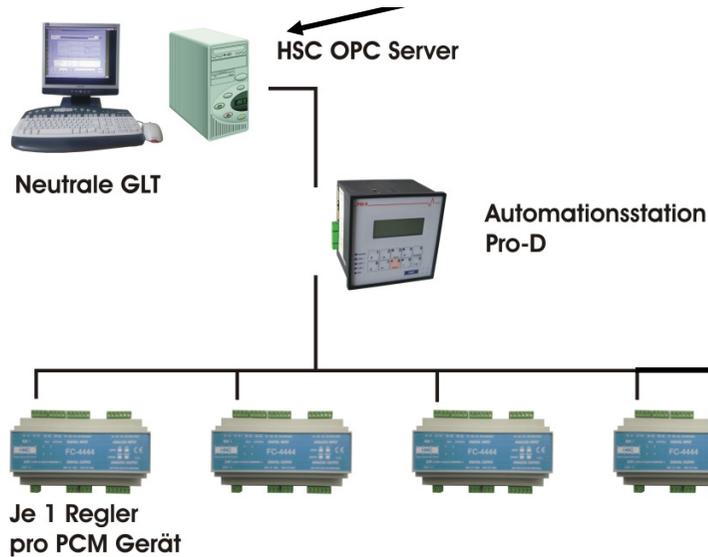
best in technical performance



vorausschauende Regelung
Simulation, Wetterdaten, Internet



Optimierung Betriebsverhalten (online – Austausch Regelungscode)





Fazit:

- PCM-Lüftungsgerät im Imtech-Haus erfolgreich eingesetzt:
5 kg PCM pro m² Grundfläche ausreichend für Büroräume
mit Kühllasten bis 60 W/m²
- 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).



best in technical **performance**



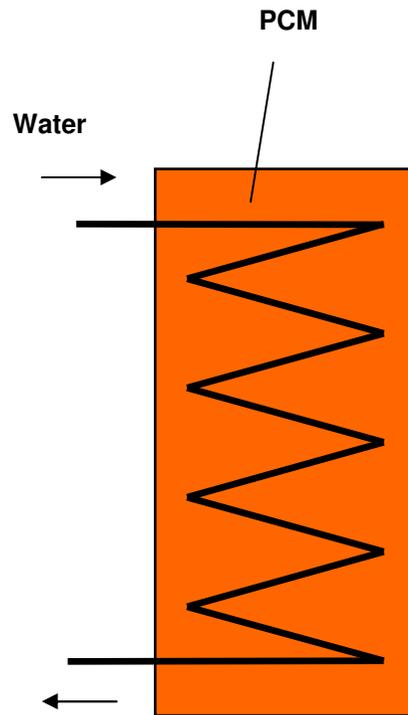
weitere Entwicklungen:

Verbundforschungsprojekt „PCM- PCS-Speicher“ mit dem FhG-ISE

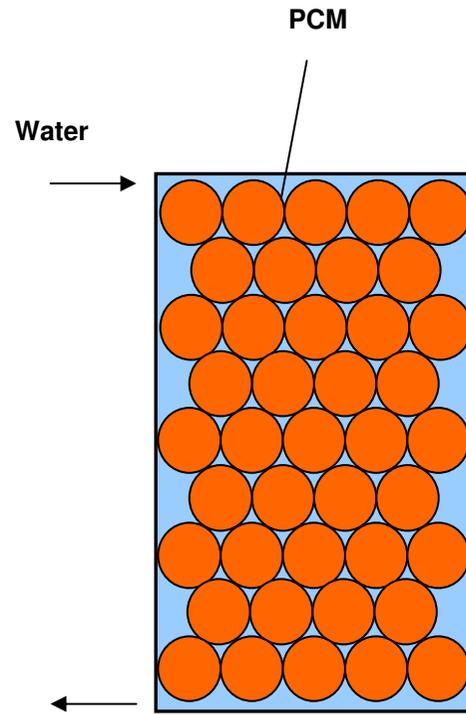
- Entwicklung kompakt bauender Kältespeicher auf der Basis von PCS und PCM
- Bau eines Prototypen mit makroverkapseltem PCM bei Imtech-FuE
- Aufbau und Dauervermessung einer Demoanlage mit wasserbasierten PCS- und PCM-Speichern im Imtech-Labor. Prüfung des Lastverhaltens und der Materialeigenschaften unter Einsatzbedingungen.
- Parallele Prüfung, Charakterisierung und Weiterentwicklung der Materialien am ISE



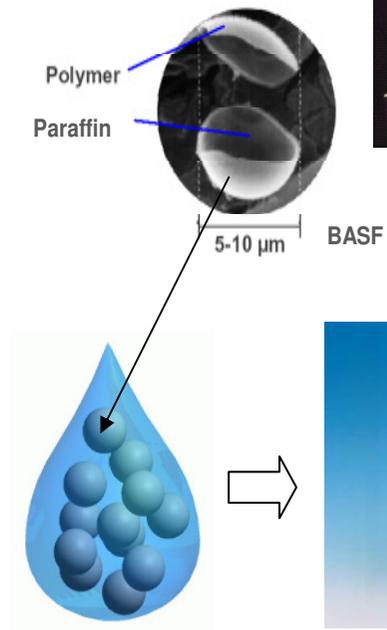
Speicherkonzepte mit PCM / PCS



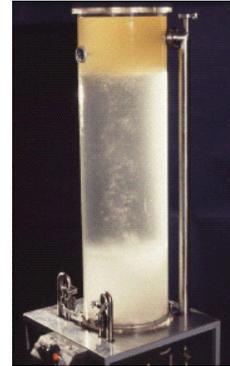
PCM-Speicherblock



makroverkapselte PCM



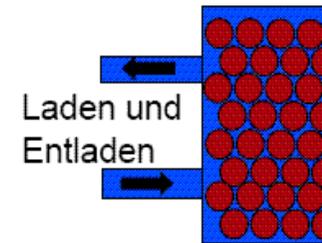
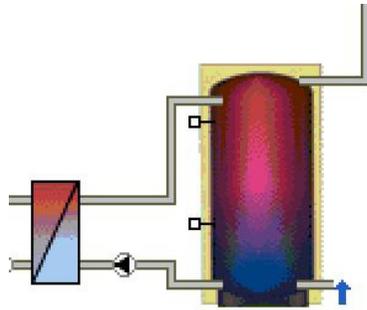
PCS (Phase Change Slurries)



Quelle: TU-Graz/BASF/ISE



Speicherkonzepte mit PCM / PCS



- PCM und Trägerflüssigkeit sind als Slurry (PCS) vermischt
 - Wärmeaustausch in außen liegendem Wärmetauscher oder direkt am Verbraucher (z.B. Raum)
 - Erhöhung der Wärmekapazität des Speichers und der gepumpten Flüssigkeit bei gleichem Volumen durch PCM
- PCS aus Wasser / Paraffin (BASF)
- Erhöhung der gespeicherten Wärmemenge durch makrogekapselte PCM-Module (Platten) im Vergleich zum Kaltwasserspeicher
 - Graphit-Paraffin-Platten (SGL-Carbon)



Phase Change Slurries (PCS) als neue Wärmeträgerflüssigkeiten

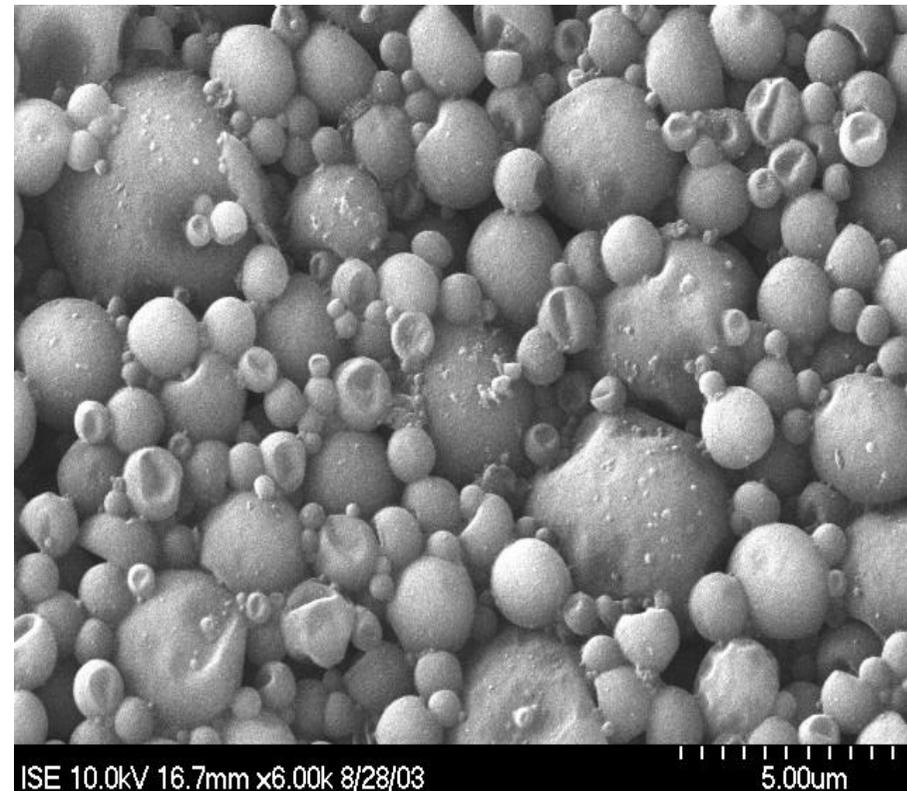
- Trägerflüssigkeit + Phasenwechselmaterial (PCM)
- Trägerflüssigkeiten:
 - Wasser
 - Wasser- Glykollmischungen
- PCMs:
 - mikroverkapselte Paraffine
 - emulgiertes Paraffin





PCS mit mikroverkapselten Paraffinen

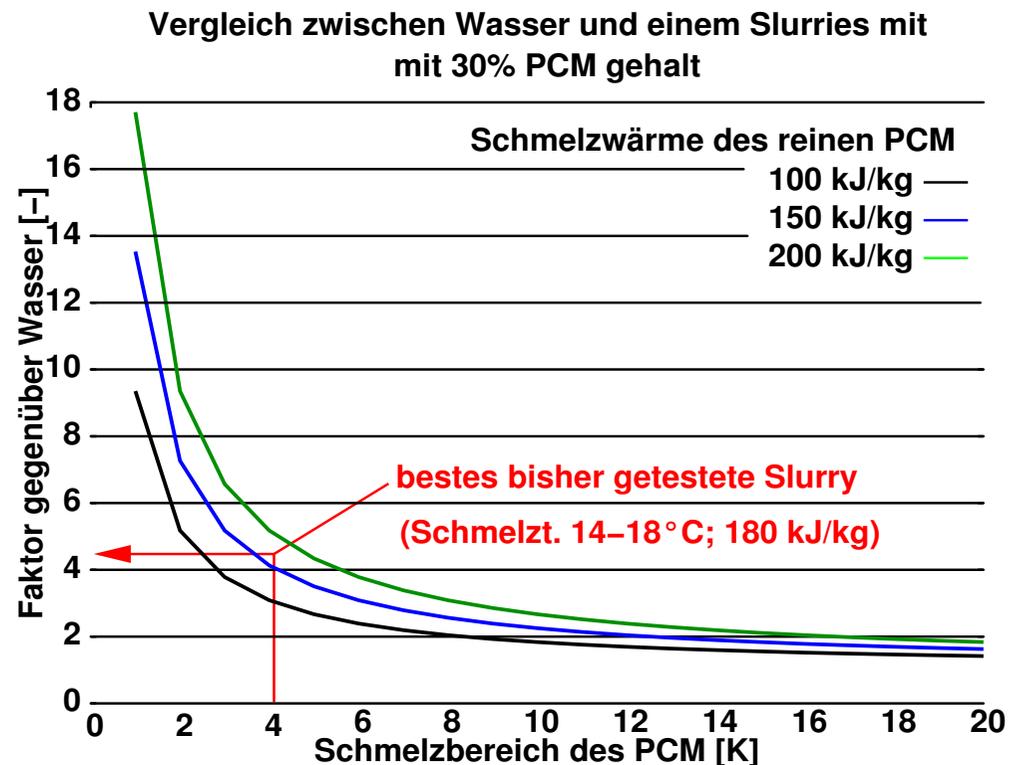
- PMMA als Kapselmaterial
- Verkapselte Paraffine:
 - Tetradekane Schmelztemp. 4-8 °C;
 ΔH 160 kJ/kg
 - Hexadekan
Schmelztemp. 14-18 °C
 ΔH 180 kJ/kg
 - Hexadekan/Oktadekan
Schmelztemp. 24-28 °C
 ΔH 100 kJ/kg





PCS: Wärmehalt im Vergleich zu Wasser

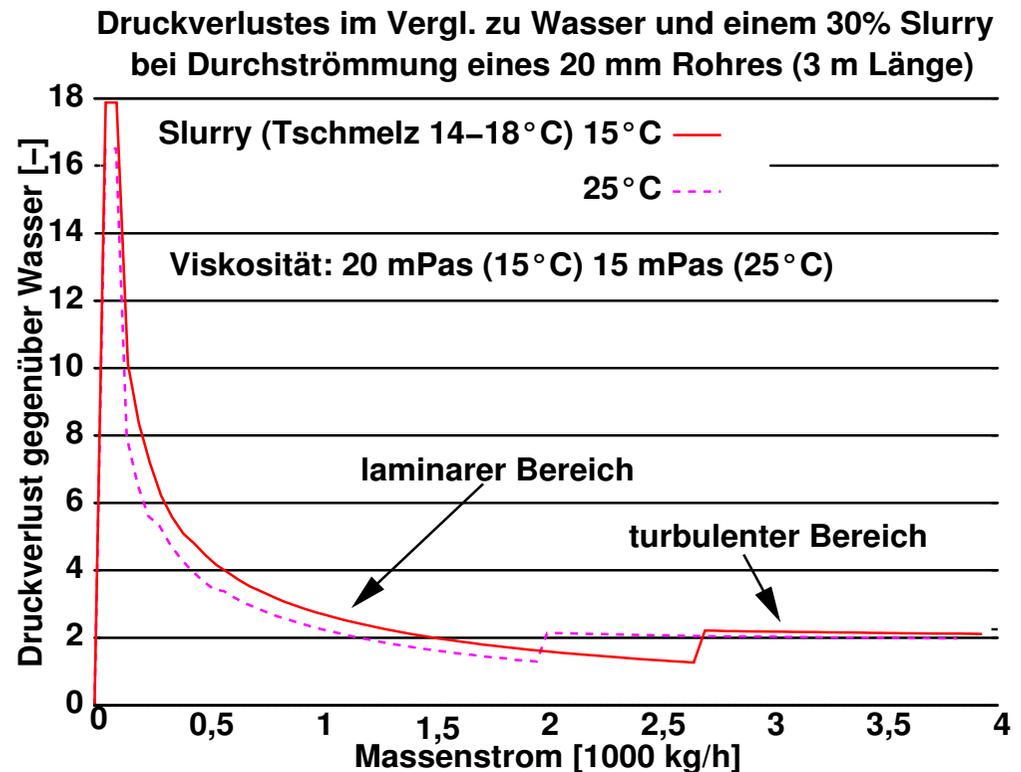
- Energetischer Gewinn ist abhängig vom Schmelzbereich und der Schmelzwärme des reinen PCM
 - Kleiner Schmelzbereich
 - Hohe Energiedichte bei geringer Temperaturerhöhung
 - Vorteil gegenüber Wasser wird groß
- zur Zeit beste Schmelzwärmen
 - etwa 75 kJ/kg (14-18°C; 30% PCM in Wasser)





Druckverlust im Vergleich zu Wasser (theoretisch)

- **Viskosität PCS 14-18°C bei 30% Mikrokapseln in Wasser: 10-20 mPas**
 - bleibt länger laminar (Viskosität)
 - Strömung des reinen Wassers ist wesentlich früher turbulent und steigt dadurch stärker an
 - Minimaler Druckverlust des PCS ist etwa doppelt so hoch als bei Wasser





PCS: bisher mehrjährige Entwicklung im Rahmen eines EU Projektes

- Getestet unter realitätsnahen Bedingungen
 - Standardwärmetauscher
 - Standardventile
 - Druckausgleichsgefäße
 - Zentrifugalpumpen
- Entwicklungsstand
 - 1 Jahr ohne Probleme gepumpt (24h/Tag)
 - Keine Zerstörung von Komponenten



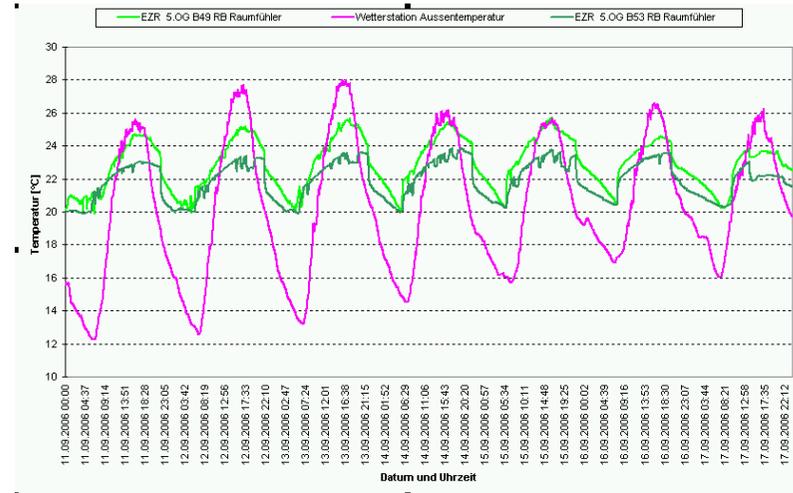


Stand der Forschung Material:

- Hohe Stabilität der Kapseln gegen Zerstörung in Pumpen und anderen Anlagenkomponenten ist gegeben
- Es stehen mehrere potential interessante PCS für den Kältebereich zur Verfügung (4-8 °C, 14-18 °C, 18 °C-24 °C)
- Problematik:
 - Unterkühlung des PCM: Kristallisation findet unterhalb des Schmelzbereiches statt. Dies führt zur Vergrößerung des notwendigen Temperaturbereiches
 - Separation, d.h. Aufrahmen der Kapseln bei langen Standzeiten
- Große Fortschritte im Bereich Emulsionen (höhere PCM-Anteil, keine Verkapselung nötig, geringere Viskosität)



best in technical performance



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

