

ZAE BAYERN

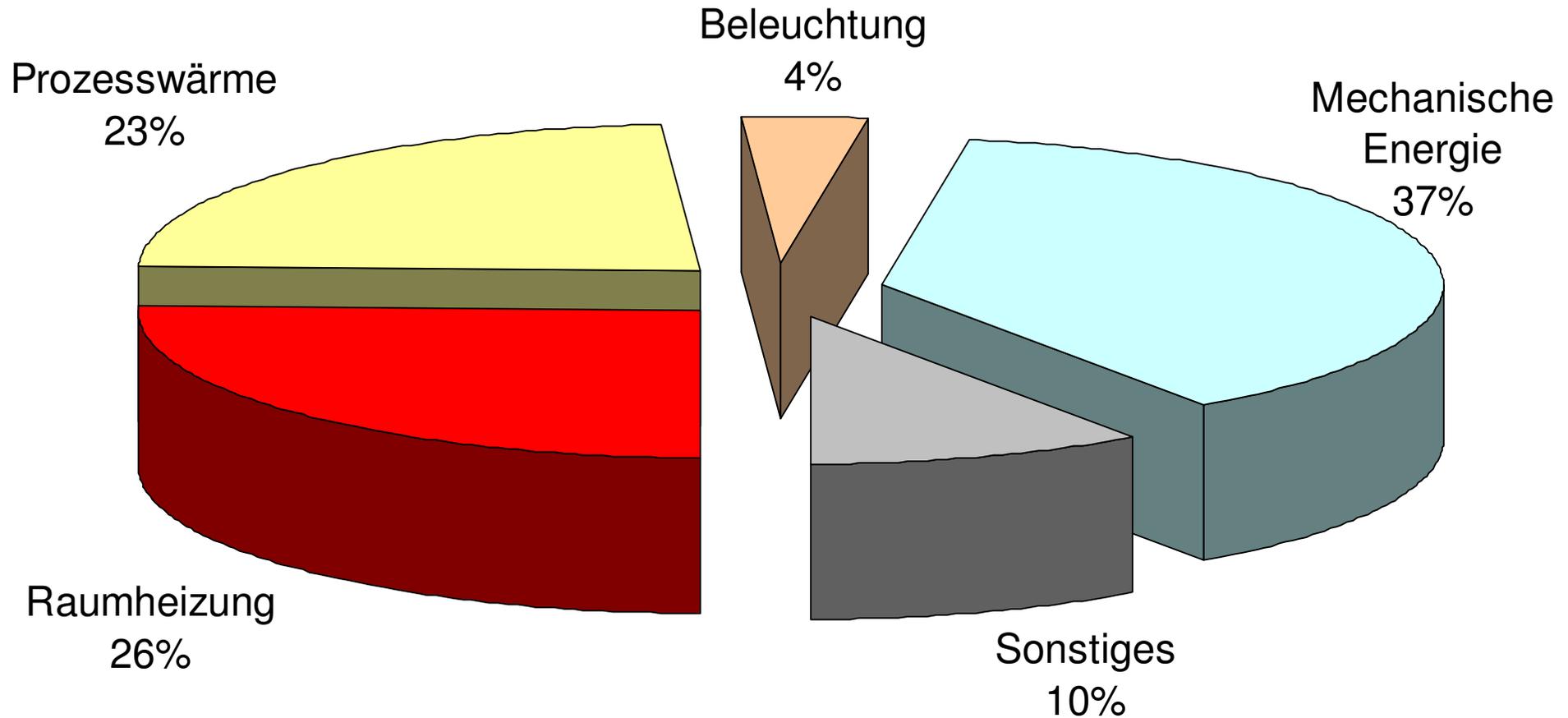
# **Vakuumdämmung, Vakuumverglasung und Phasenwechsellmaterialien für energieeffiziente Gebäude**

Hans-Peter Ebert

**Bayerisches Zentrum für Angewandte Energieforschung e.V. (ZAE Bayern)**

**Würzburg**

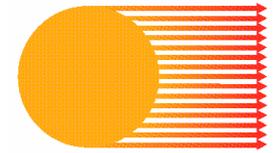
# Primärenergieverbrauch nach Bedarfsarten in Deutschland 2001



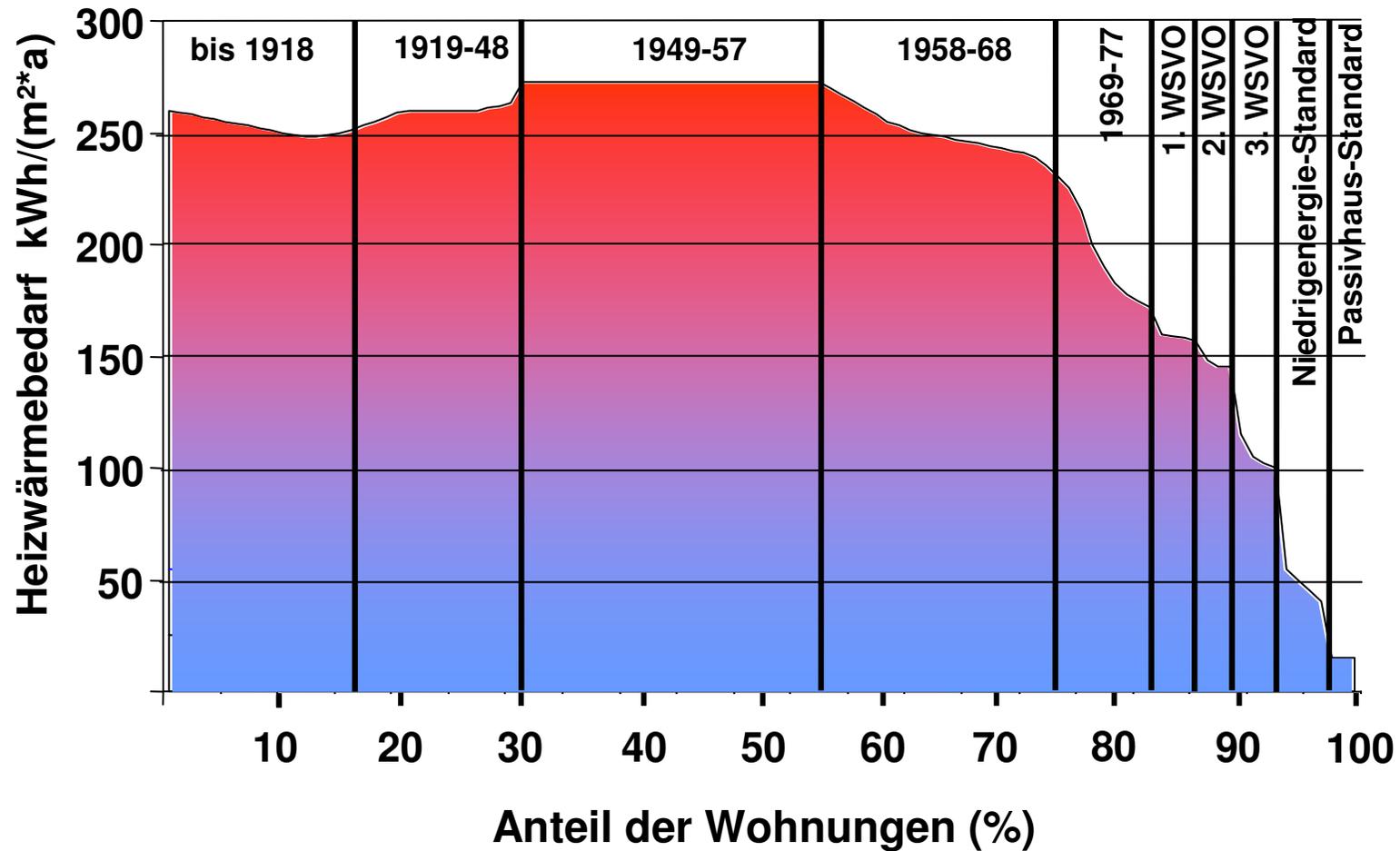
100% = 14565 PJ

© ZAE Bayern

# Heizwärmebedarf im Wohngebäudebestand

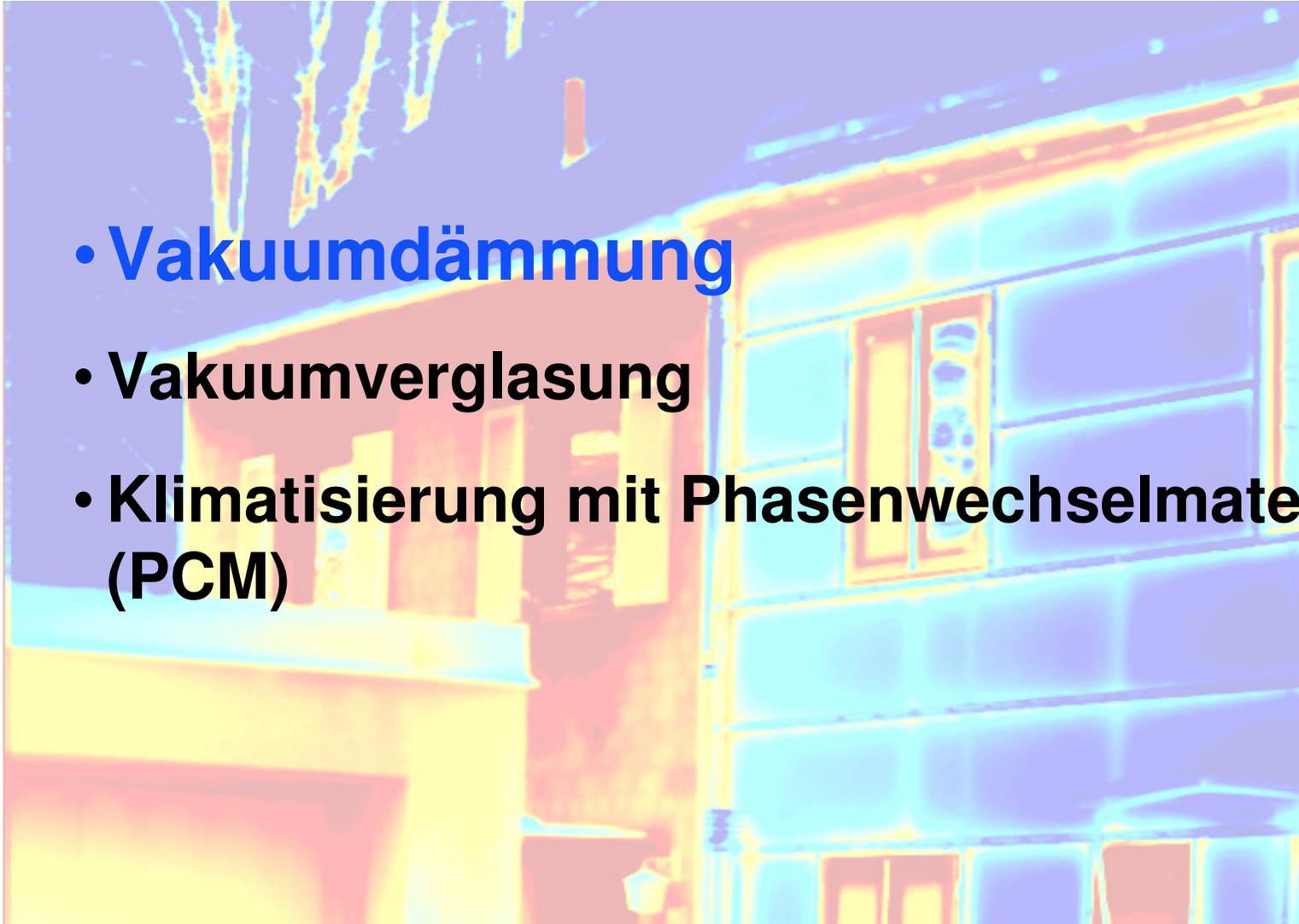


ZAE BAYERN

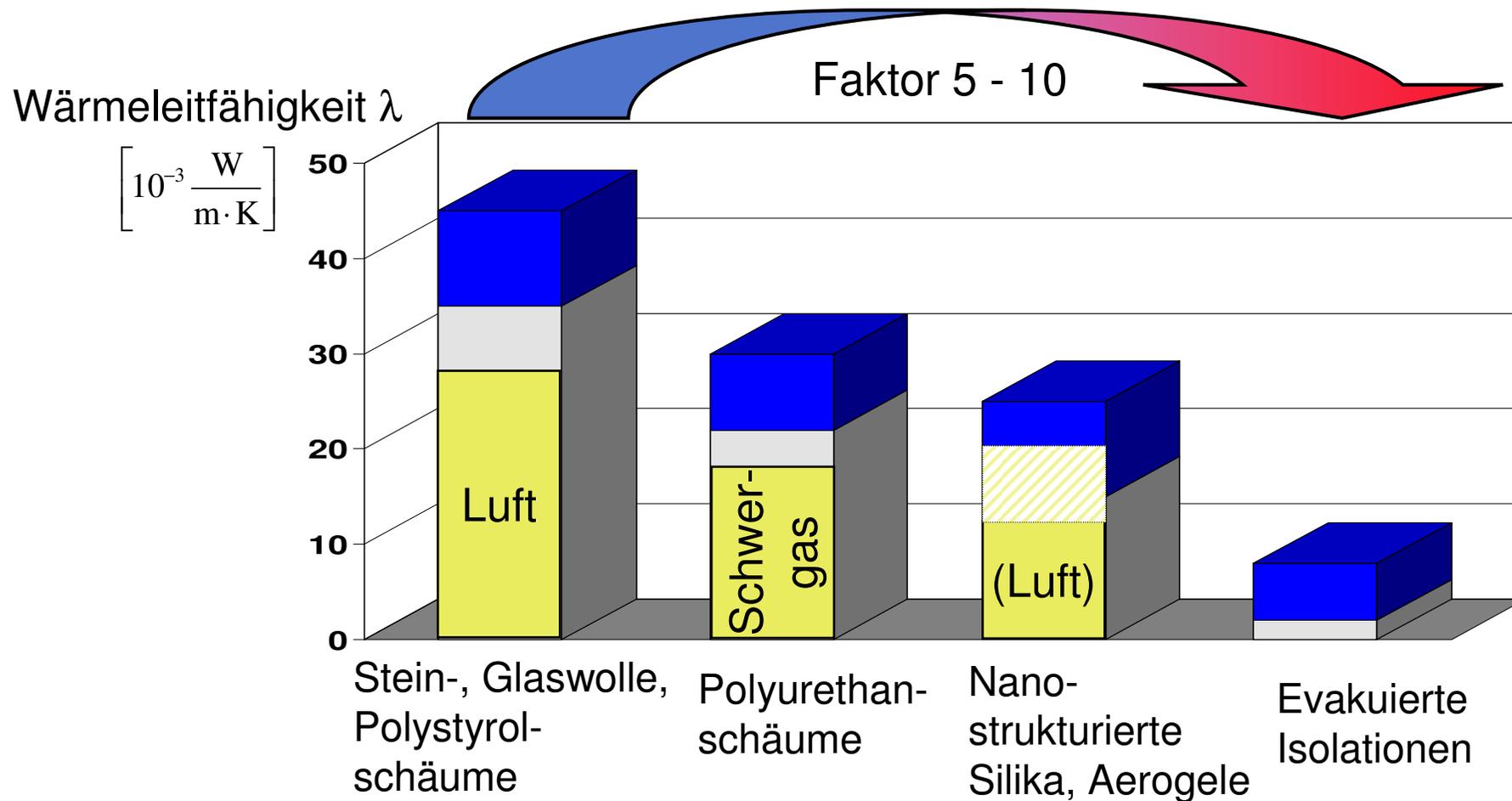


Quellen: ARENHA 1993, IWU 1994, Bundesarchitektenkammer 1995, Schulze Darup 1998/2000

- **Vakuumdämmung**
- **Vakuumverglasung**
- **Klimatisierung mit Phasenwechselmaterialien (PCM)**



# Dämmmaterialien (-systeme) im Vergleich



## Vakuum Isolationen

zylindrische Gefäße:  
Thermoskannen,  
Kryogefäße

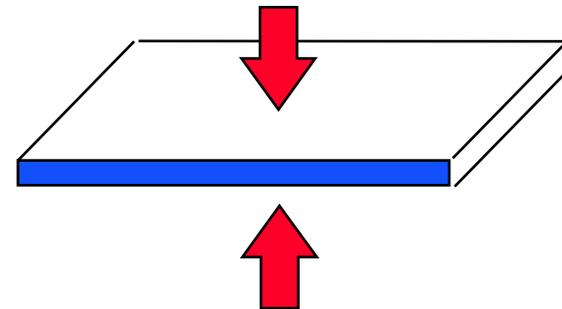


Atmosphärendruck  
entspr. Gewichtslast:  
 $10 \text{ t} / \text{m}^2$

$\lambda = 0,0001 \text{ bis } 0,005 \text{ W}/(\text{mK})$

flache Elemente:  
**Vakuum-Isolations-Paneele (VIP)**

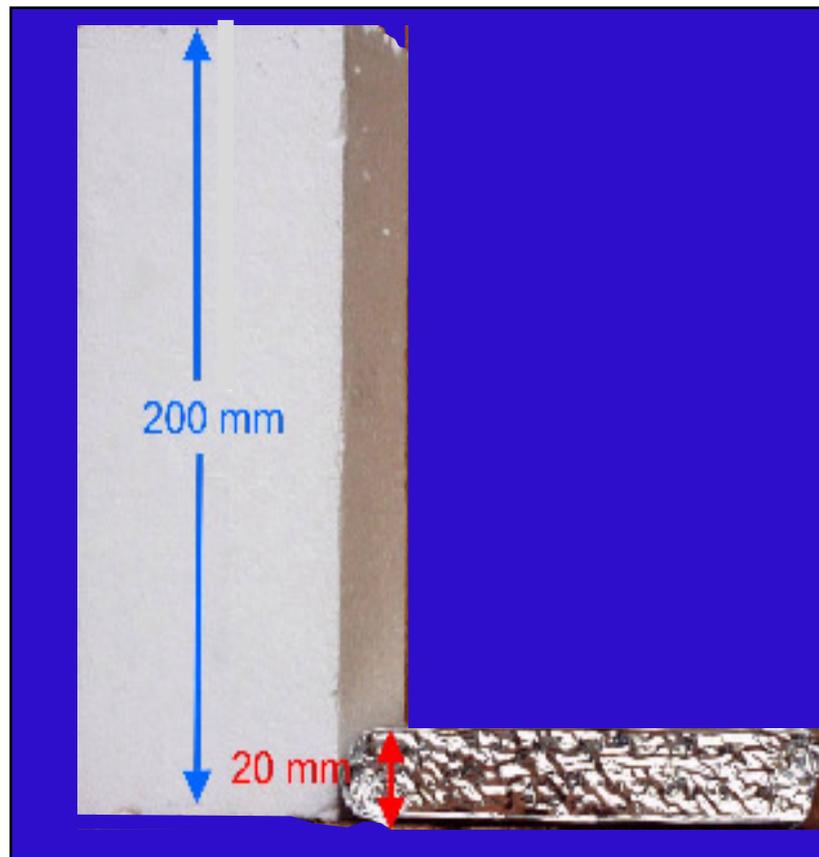
Druck tragendes Füllmaterial



$\lambda = 0,001 \text{ bis } 0,008 \text{ W}/(\text{mK})$

# VIP

## Grundlagen



EPS

VIP

Wärmeleitfähigkeit VIPs:

$$\lambda = 0,005 \text{ W/(mK)}$$

$$\lambda_{\text{belüftet}} = 0,020 \text{ W/(mK)}$$

⇒ Gewinn von Nutzfläche!

## Material- und Systementwicklung

Modellierung

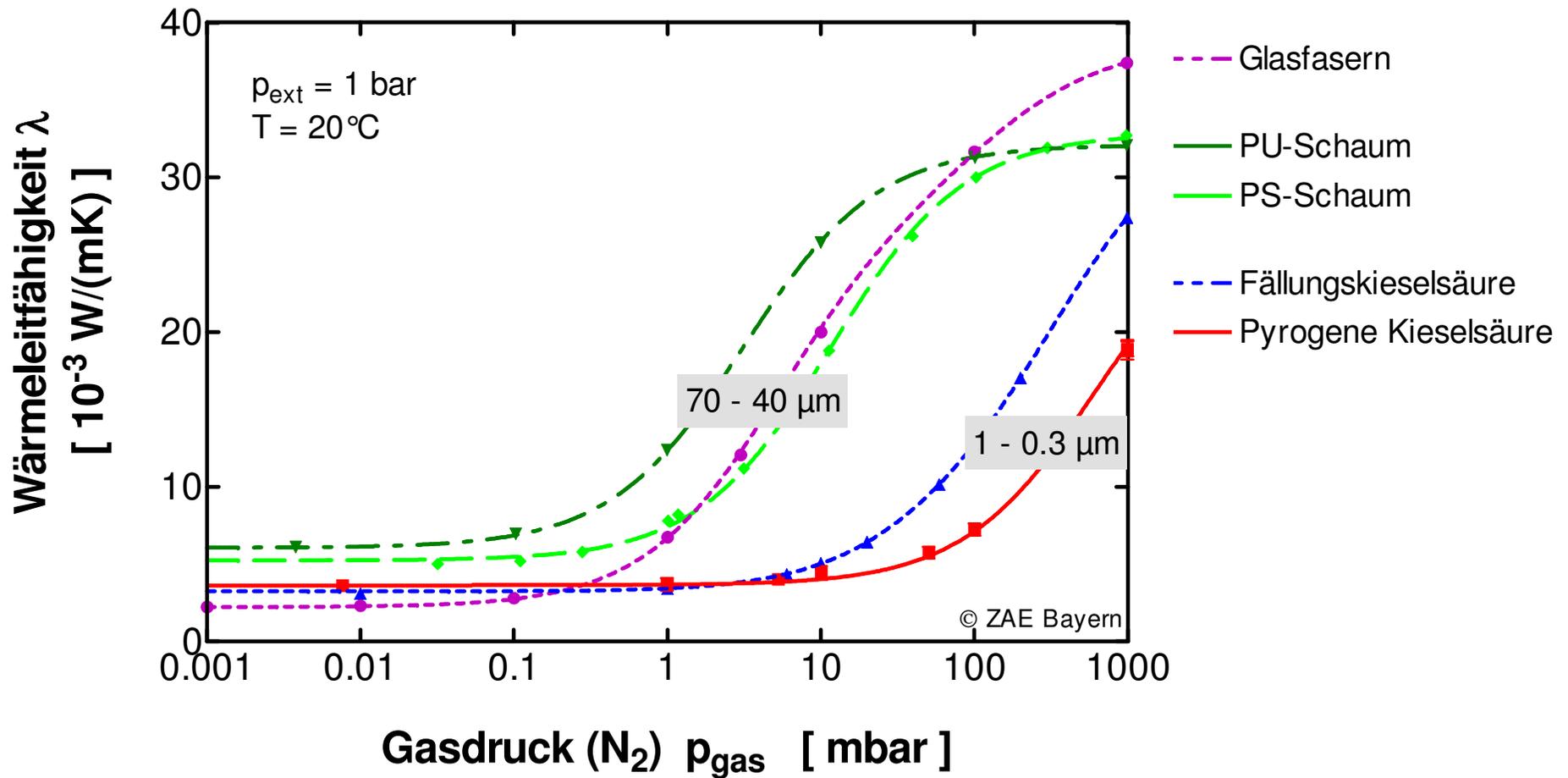
neue Messmethoden

Demonstration  
und  
Information



Koordinationsstelle für die nationalen Tätigkeiten zum Annex 39 der Internationalen Energie Agentur "High Performance Thermal Insulations for Buildings"

# Wärmeleitfähigkeit

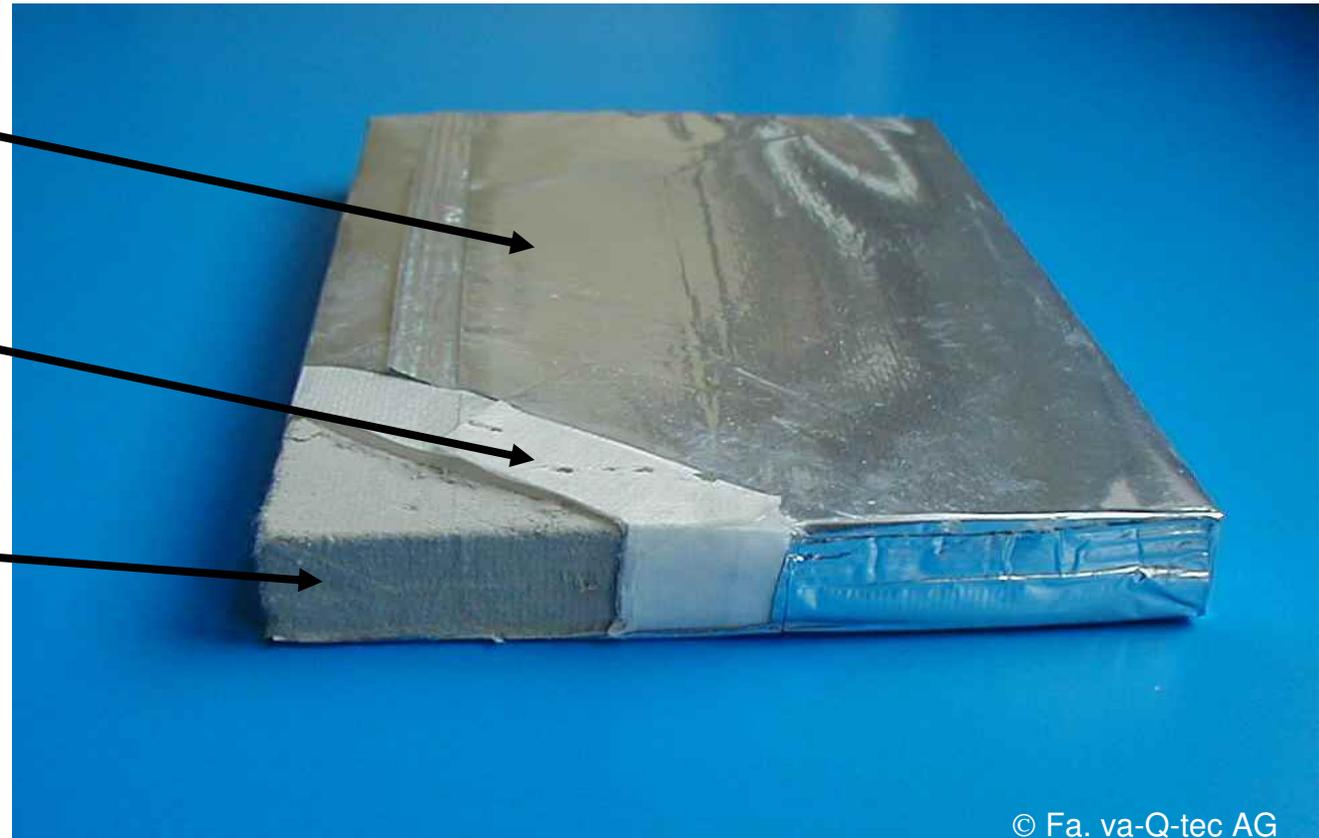


# Vakuumisolationspaneele (VIP)

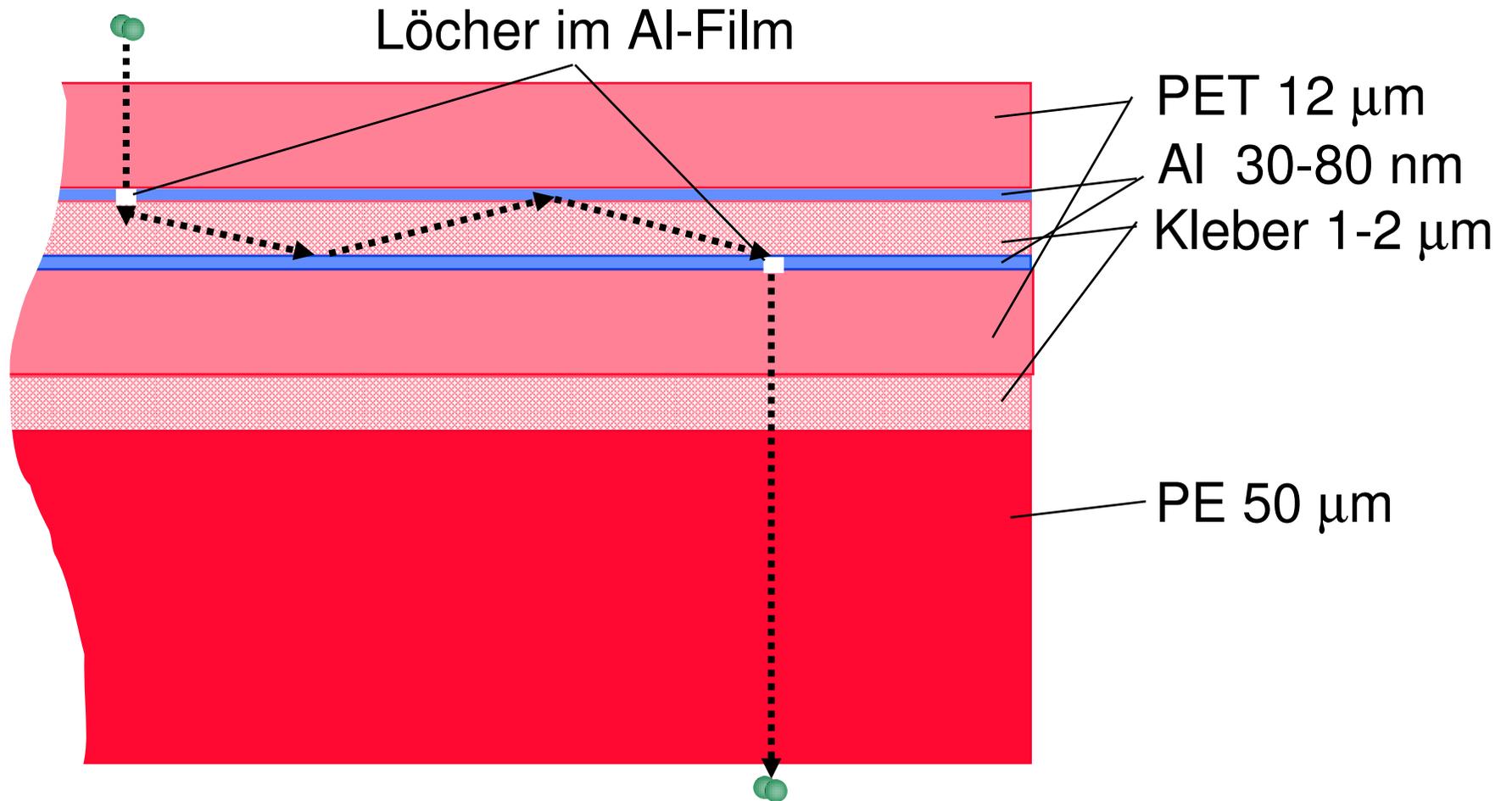
Hochbarrierefolie

Schutzvlies

Evakuiertes Kern  
(nanoporöses SiO<sub>2</sub>)

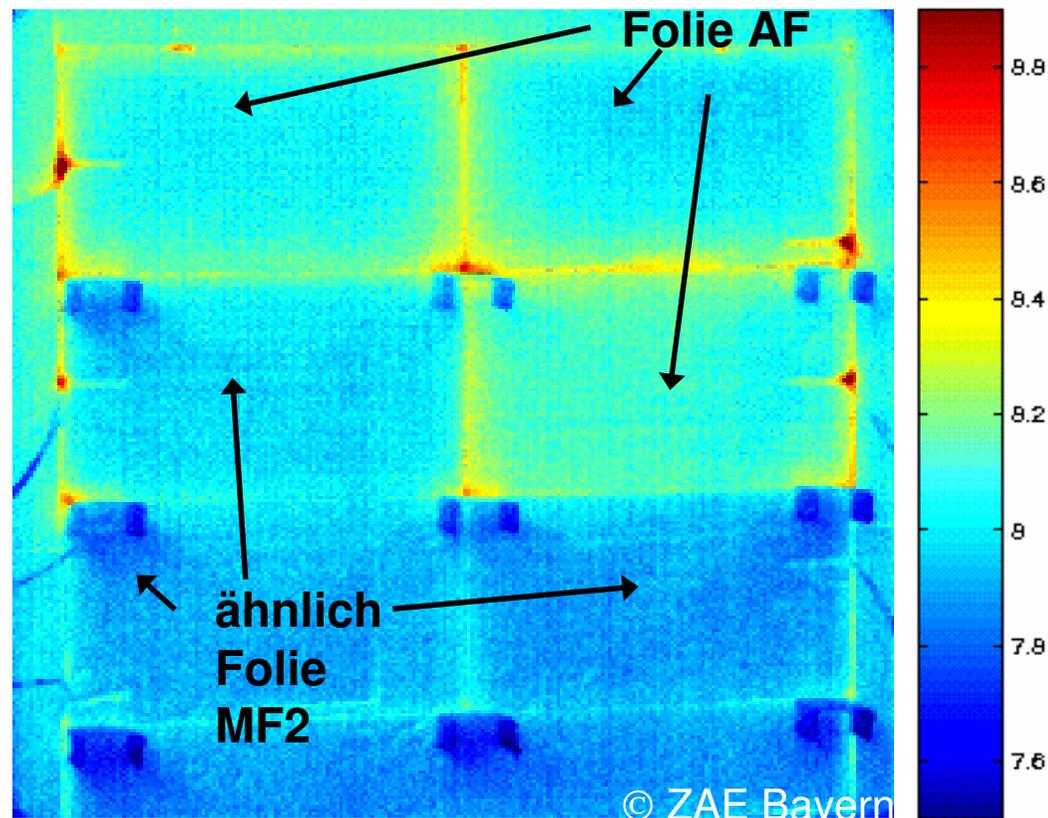


# Gastransport durch Hochbarrierefolien

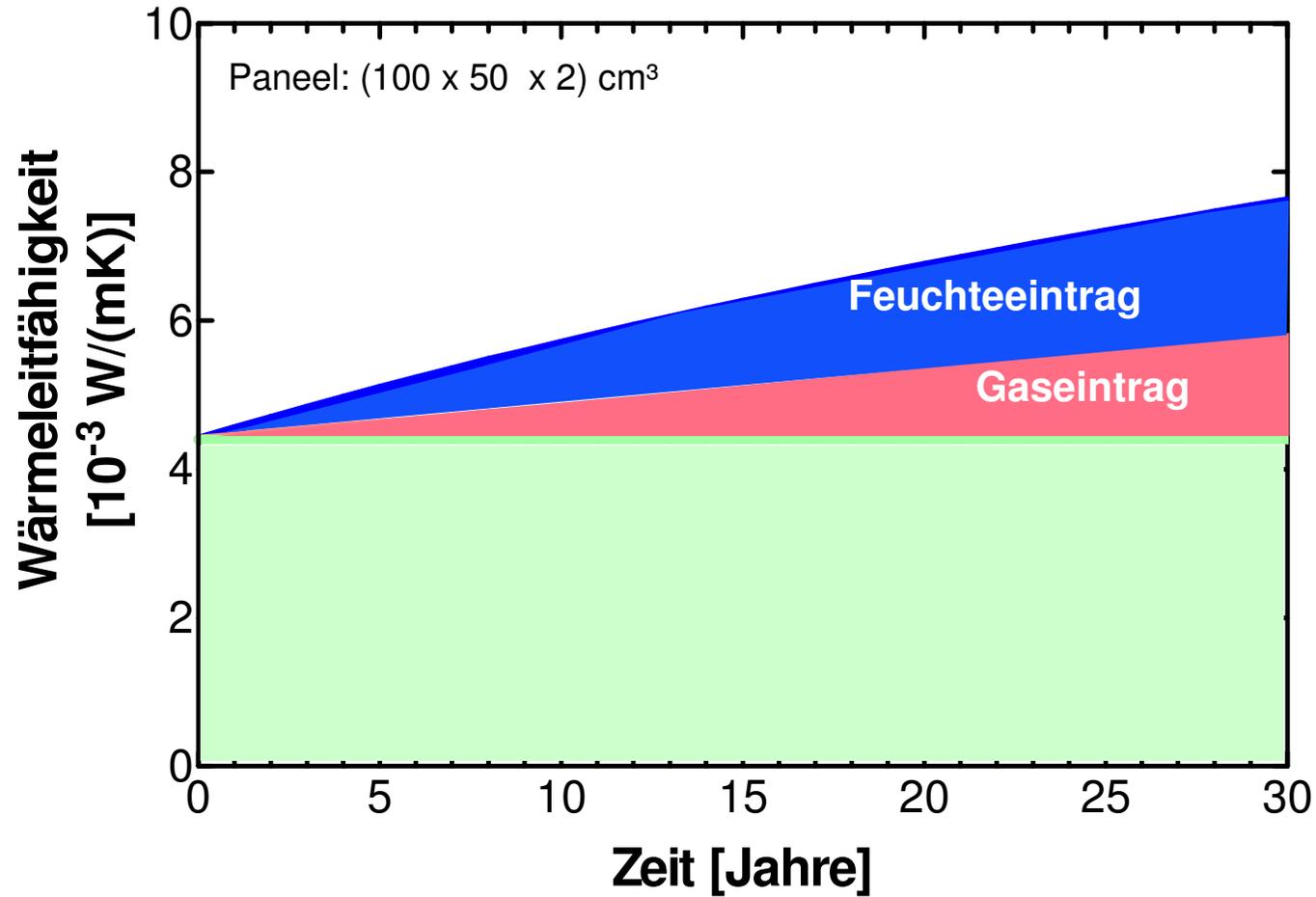


Gasdurchlässigkeiten (STP):  $< 0,0005 \text{ cm}^3/(\text{m}^2\text{d})$

## Wärmebrücke sogar aufgrund der Hüllfolien!

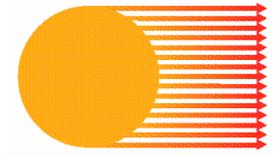


# Prognose der Funktionsdauer



**VIP**

# sanierte Reihenhausfassade



ZAE BAYERN



Architekt: F. Lichtblau, München, 2001

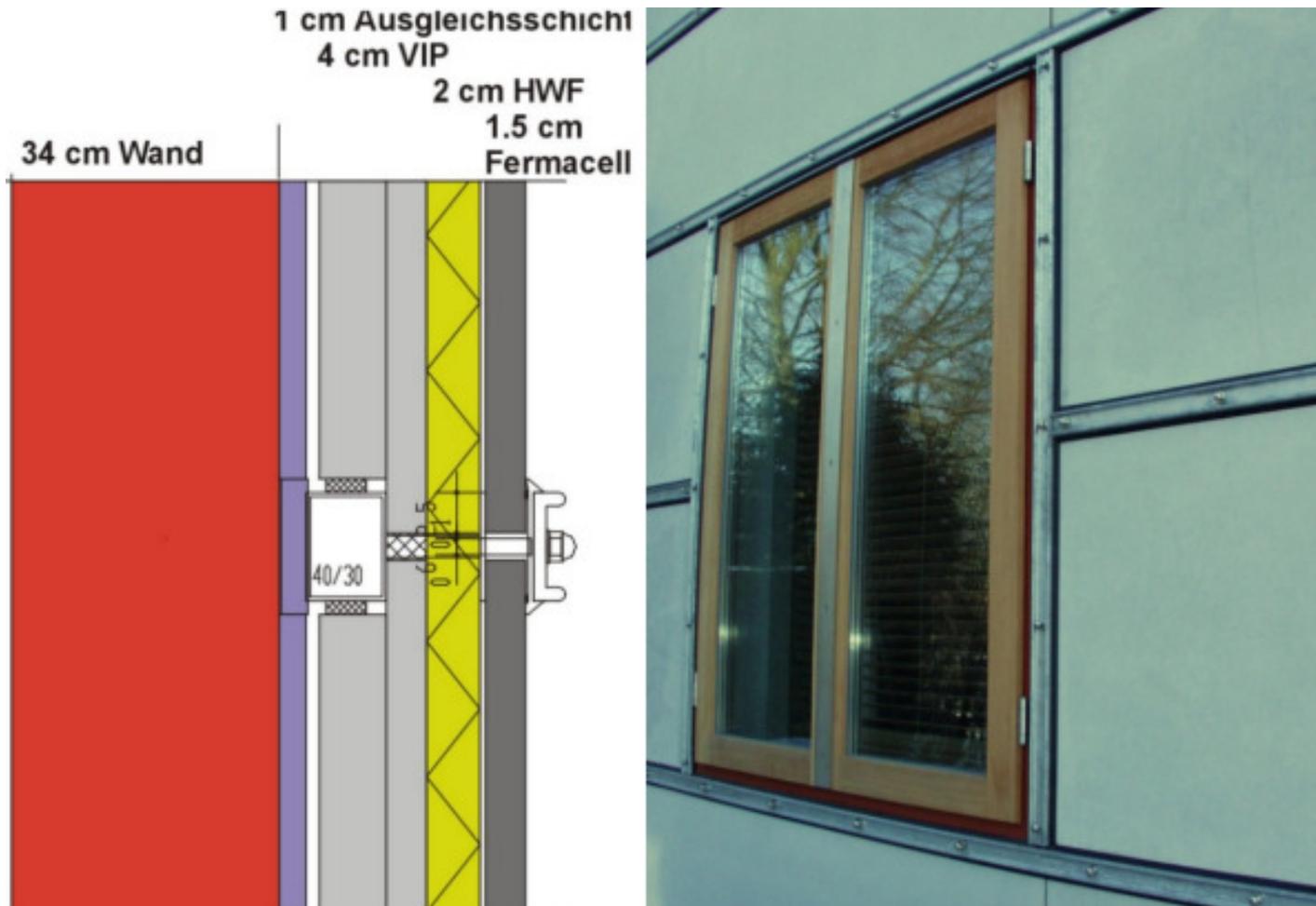
© ZAE Bayern

VIP

# sanierte Reihenhausfassade



ZAE BAYERN

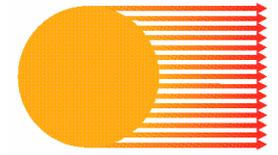


$U_{\text{vorher}} = 1,0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

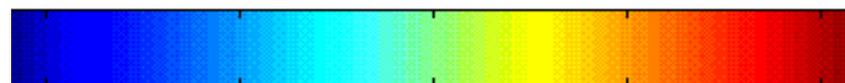
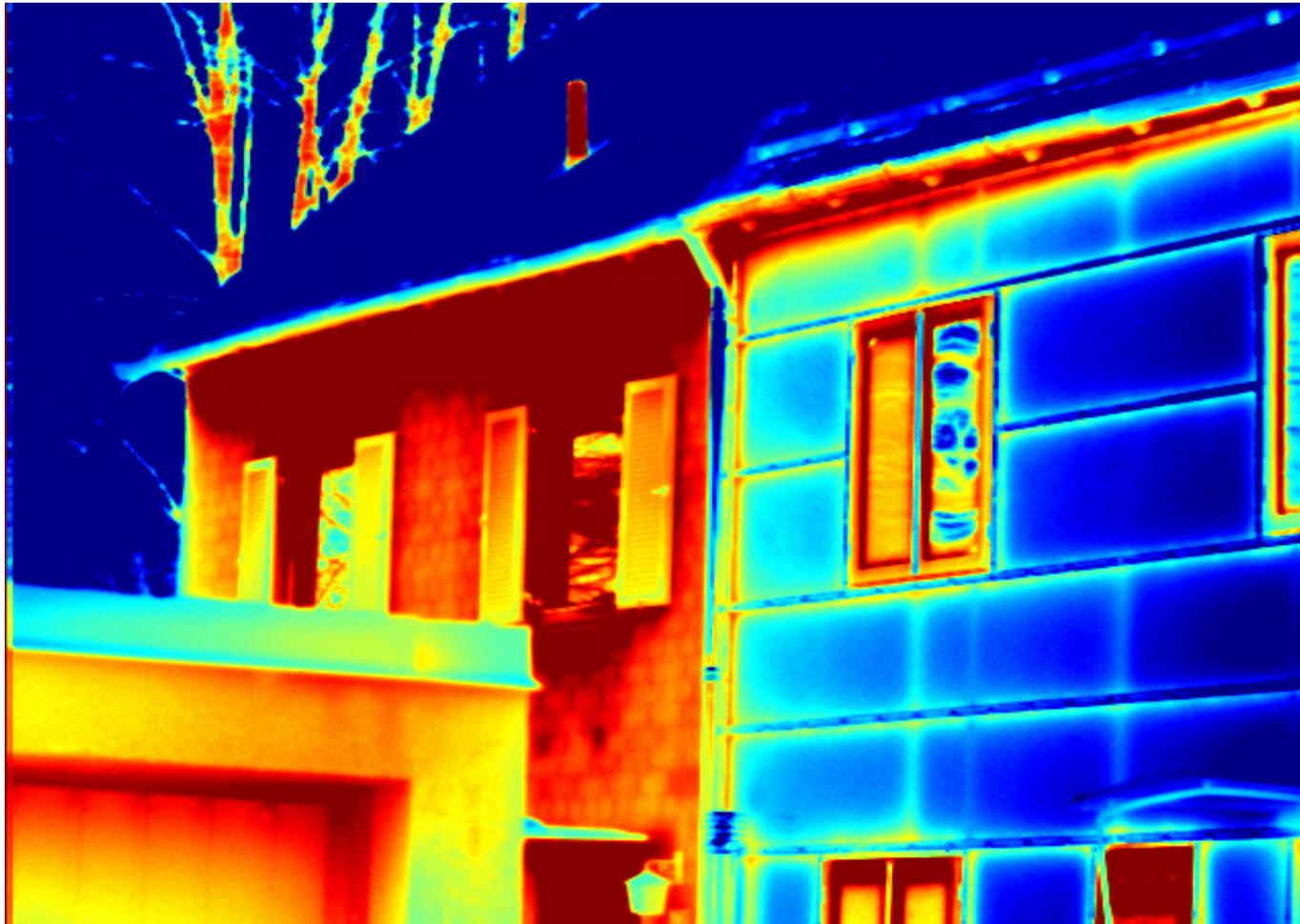
$\longrightarrow U_{\text{VIP}} = 0,15 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

VIP

# sanierte Reihenhausfassade



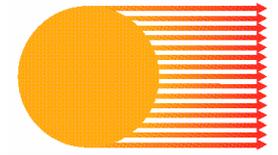
ZAE BAYERN



Temperatur →

**VIP**

# Vakuumgedämmte Betonfertigteile



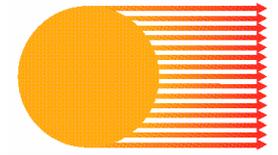
ZAE BAYERN

Vorgefertigtes Wandelement mit VIPs:



VIP

# Vakuumgedämmte Betonfertigteile



ZAE BAYERN

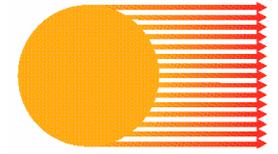
Demoobjekt



© A. Hangleiter GmbH & Co. KG

© ZAE Bayern

# Praxisbeispiel: Vakuumgedämmte Betonfertigteile



ZAE BAYERN



Architekten: Weinbrenner-Single

- Seit April 2005 bewohnt
- Sehr positive Beurteilung des Wohnklimas

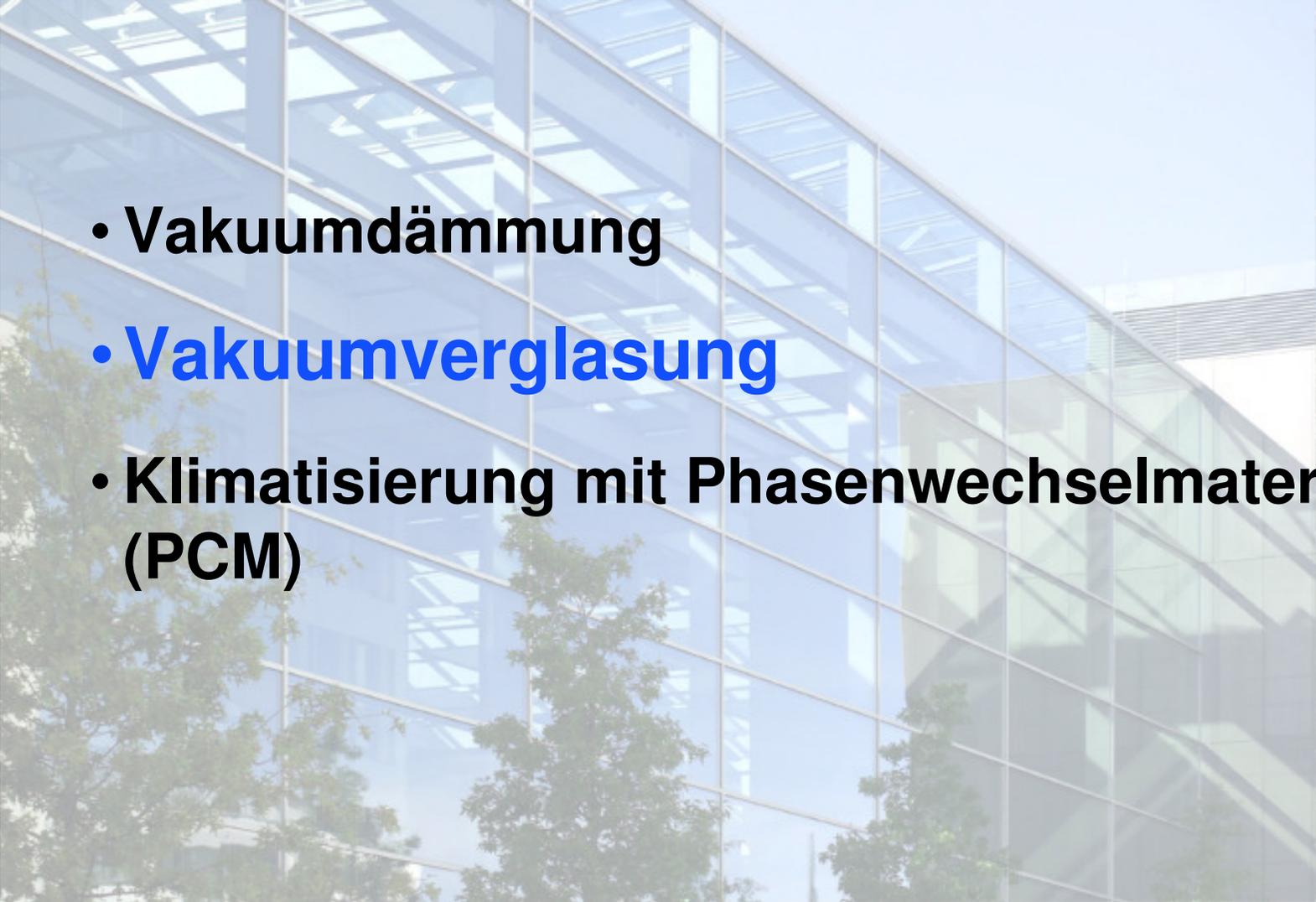
- VIPs haben eine 5 bis 10-fach bessere Dämmwirkung als konventionelle Dämmungen,
- vorsichtiges Handling bzw. Schutz der VIPs erforderlich,
- Wärmebrücken müssen vermieden werden,
- VIPs wurden an verschiedenen Demoobjekten erfolgreich eingesetzt,
- der Gewinn an Nutzraum kann den Einsatz von VIPs wirtschaftlich machen.

Viele weitere Informationen auf

<http://www.vip-bau.de>



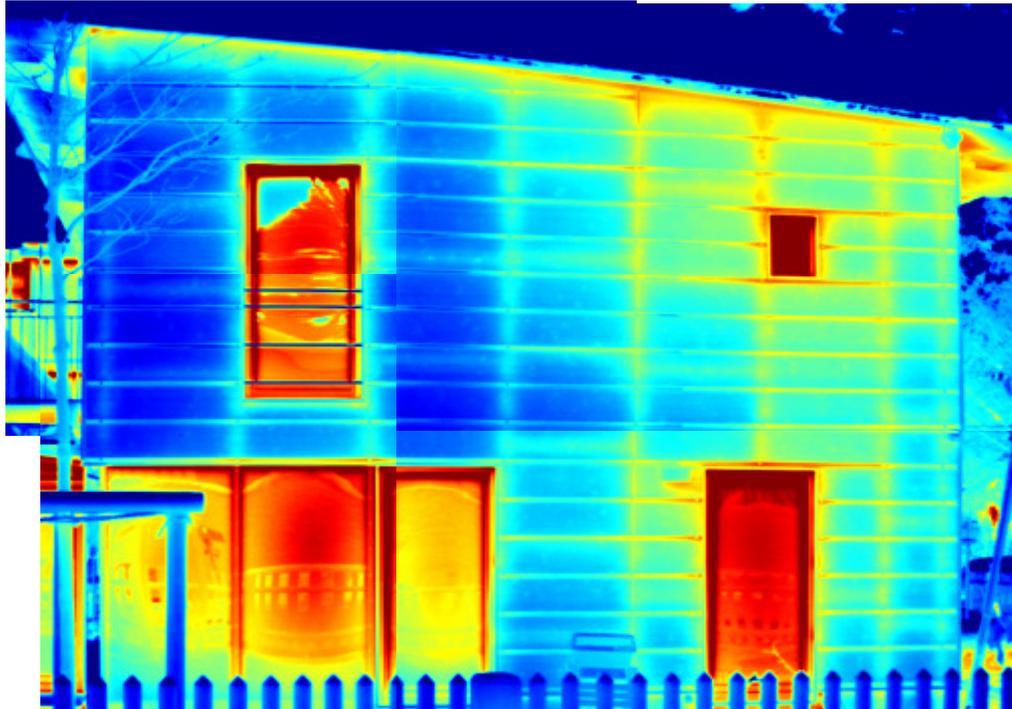
(Der Aufbau und die Pflege dieser Internetseiten werden vom Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit gefördert)

- 
- **Vakuumdämmung**
  - **Vakuumverglasung**
  - **Klimatisierung mit Phasenwechselmaterialien (PCM)**

---

# Problemstelle Verglasung

---



## **Wärmebildaufnahme**

einer Fassade:

*Rote Farbtöne = mehr Wärmeverluste durch die Gebäudehülle.*

- Fenster bilden immer noch die thermische Schwachstelle von Gebäuden.
- Selbst exzellentes Zweifachisolierverglas dämmt deutlich schlechter als eine durchschnittlich gedämmte opake Wand.
- Dreifachisolierverglas weist ein hohes Gewicht und eine große Systemdicke auf.
- Rund 400 Mio. Altbau-Fenstereinheiten in Deutschland

# VIG - Wärmetransport

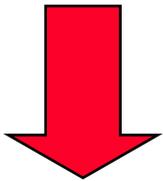


Wärmeschutzverglasung:

$$U = 1,3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

$$\varepsilon = 0,03$$

Füllgas: 16 mm Luft



Vakuumverglasung:

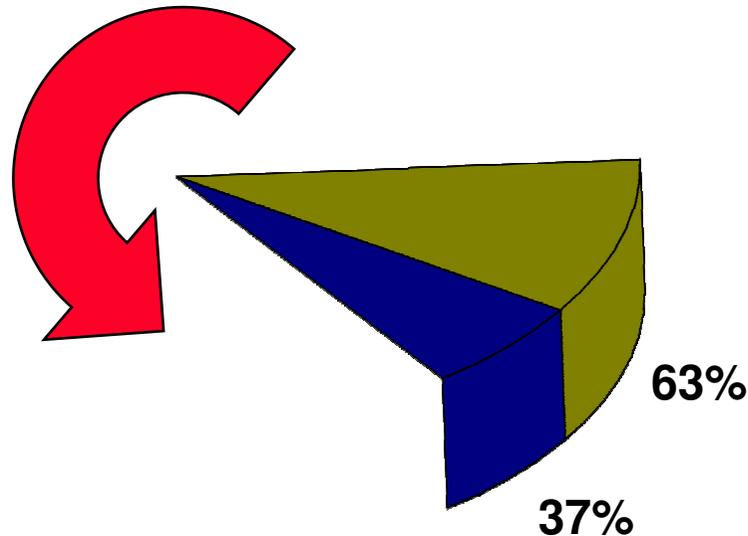
$$U = 0,4 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

$$\varepsilon = 0,03$$

Füllgas: 1 mm Luft  
bei  $<10^{-3}$  mbar

Anteil am  
U-Wert

 Wärmeleitung evakuiert  
 Strahlung



- Entwicklung von Vakuum-Isolierglas mit  $U < 0,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ .
- Kein Evakuierstutzen im Sichtbereich.
- Kosten vergleichbar mit 3-Verglasung.

# Projektpartner



Gefördert durch das



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Technologie

ZAE BAYERN

## Glasveredler



## Maschinen- und Anlagenbau



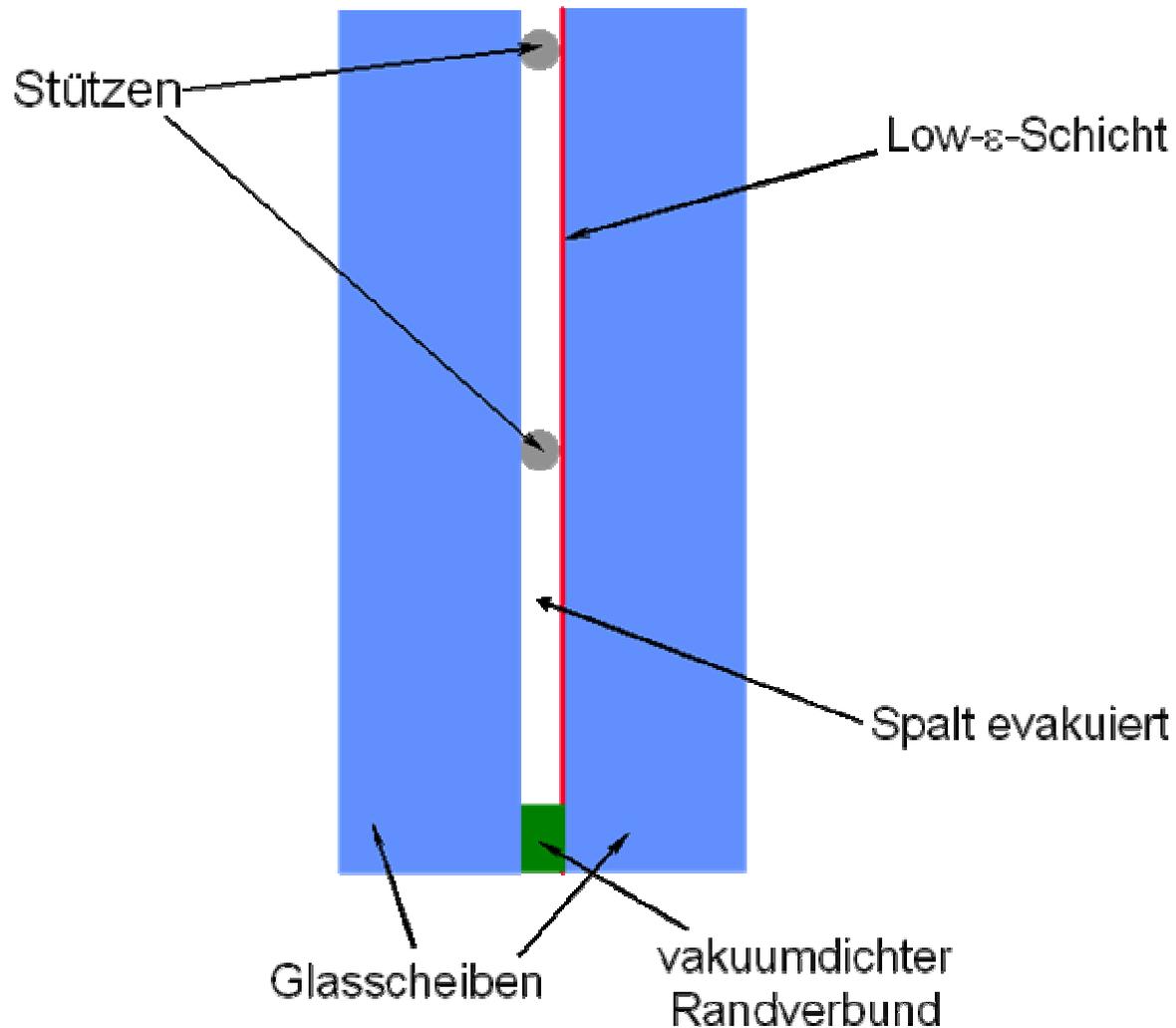
## Material – und Verfahrensgrundlagen



# Vakuum-Isolierglas Prinzip

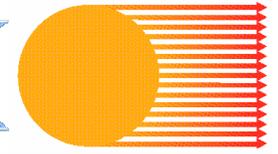


ZAE BAYERN



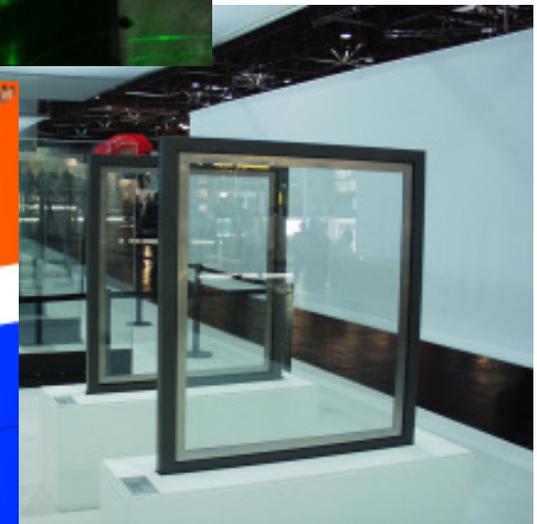
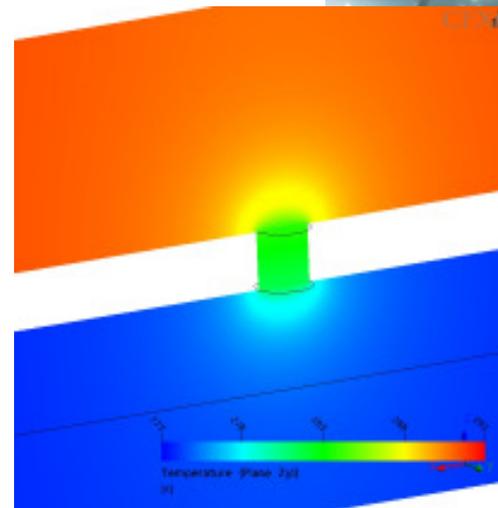
- gute Wärmedämmung  
 $U \approx 0,4 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
- geringes Gewicht  
(nur 2 Scheiben)
- schlanker Aufbau  
 $\approx 10\text{mm}$
- Dichtigkeit Randverbund?
- Sichtbarkeit Stützen?

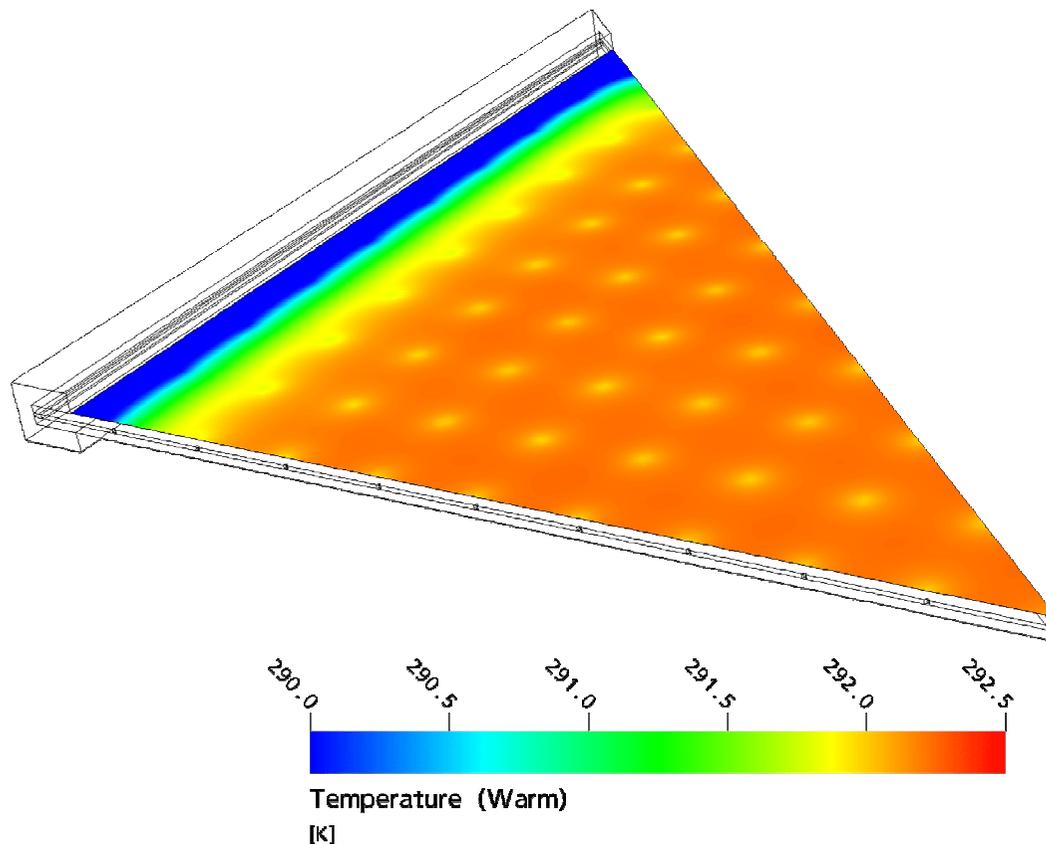
# Herausforderungen



ZAE BAYERN

- Thermische Optimierung
- Neue Randverbundkonzepte
- Optische Optimierung (Stützen)
- Gasdichtigkeit Randverbund
- Thermische Belastungsprüfung





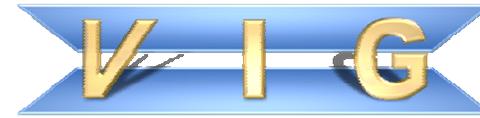
Wärmetransport in VIG:

- Restgas ( $\Lambda_{\text{gas}}$ )
- Wärmestrahlung ( $\Lambda_{\text{rad}}$ )
- Stützen ( $\Lambda_{\text{stütz}}$ )
- Randverbund
- Rahmeneinstand } ( $\Lambda_{\text{rand}}$ )

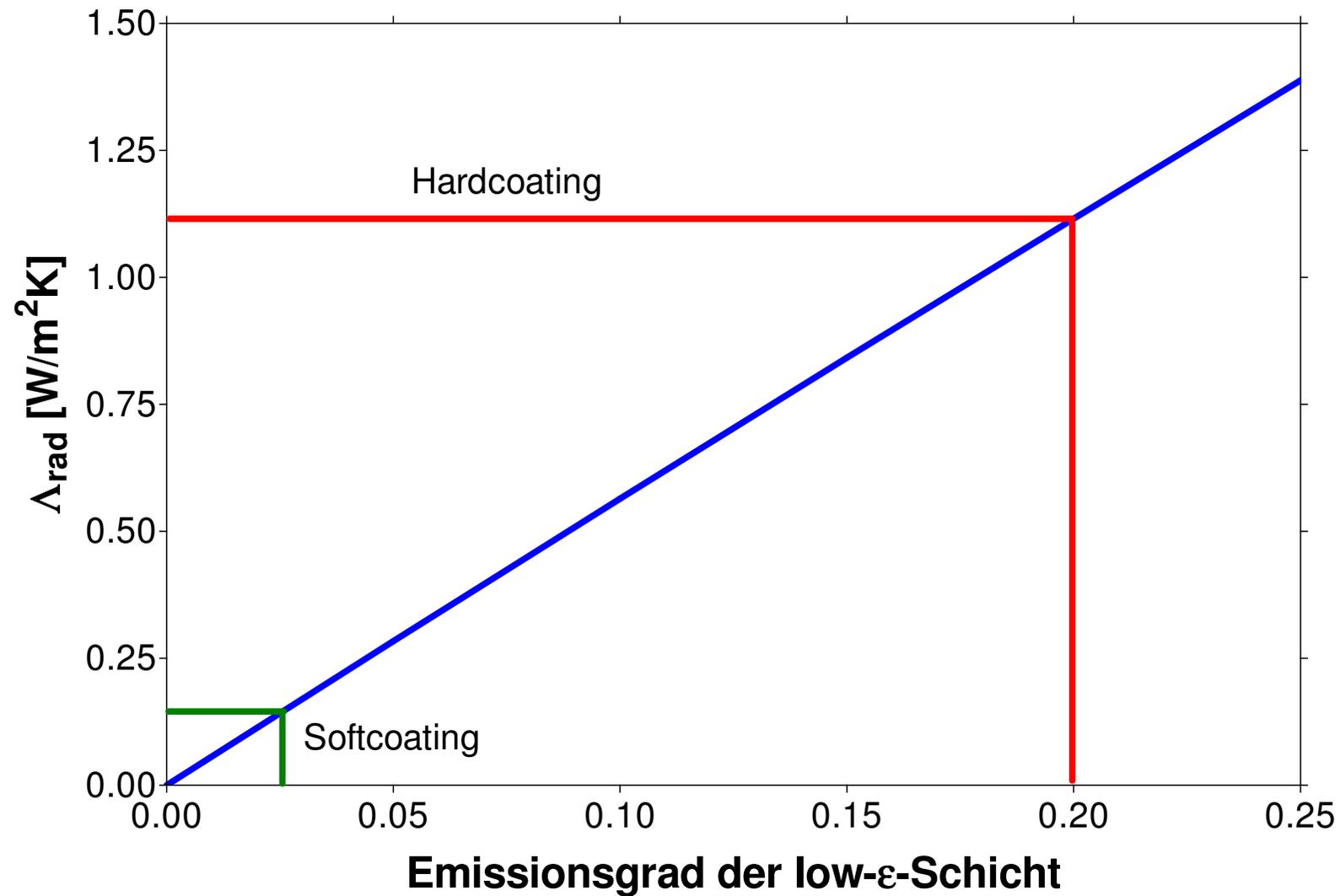
Für U-Werte  $< 0,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ :

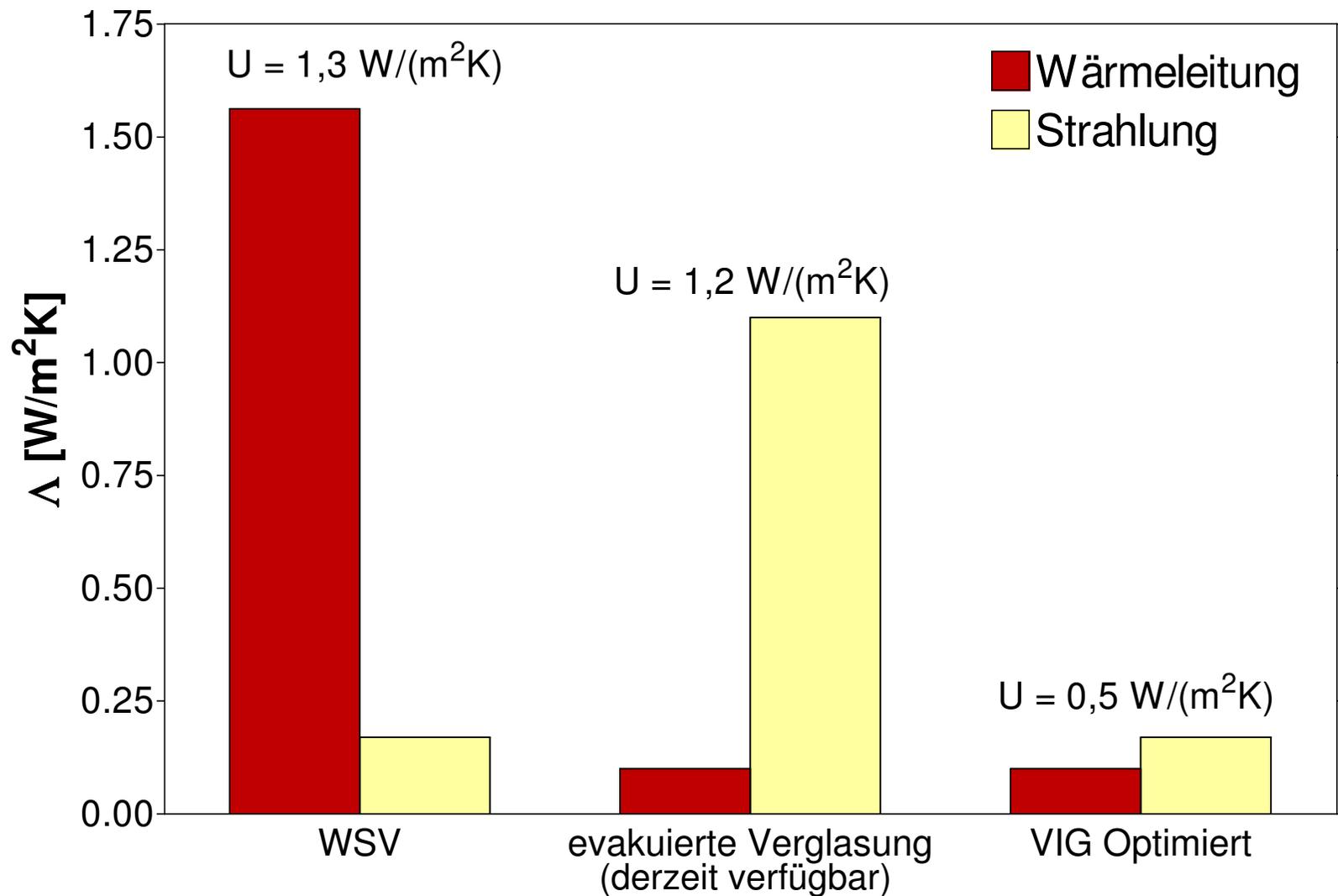
$$U \approx \Lambda_{\text{gas}} + \Lambda_{\text{rad}} + \Lambda_{\text{stütz}} + \Lambda_{\text{rand}}$$

# VIG - Einfluss der Beschichtung



ZAE BAYERN

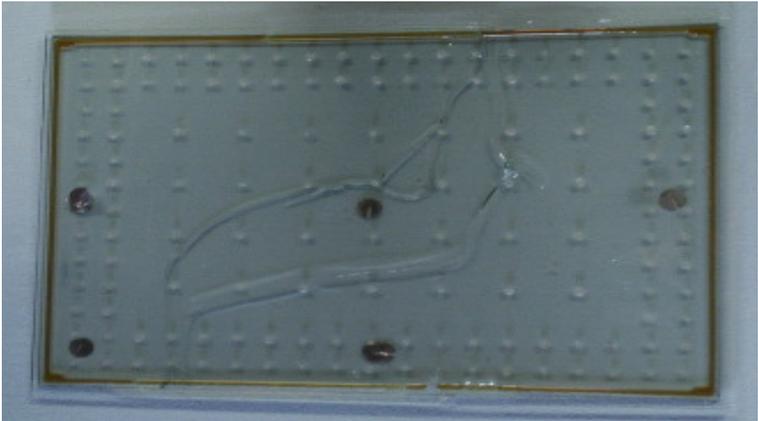
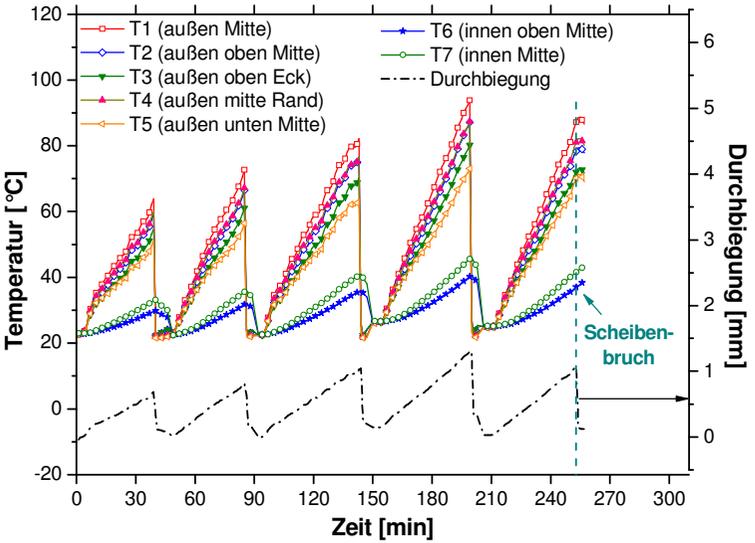




# Systemprüfung



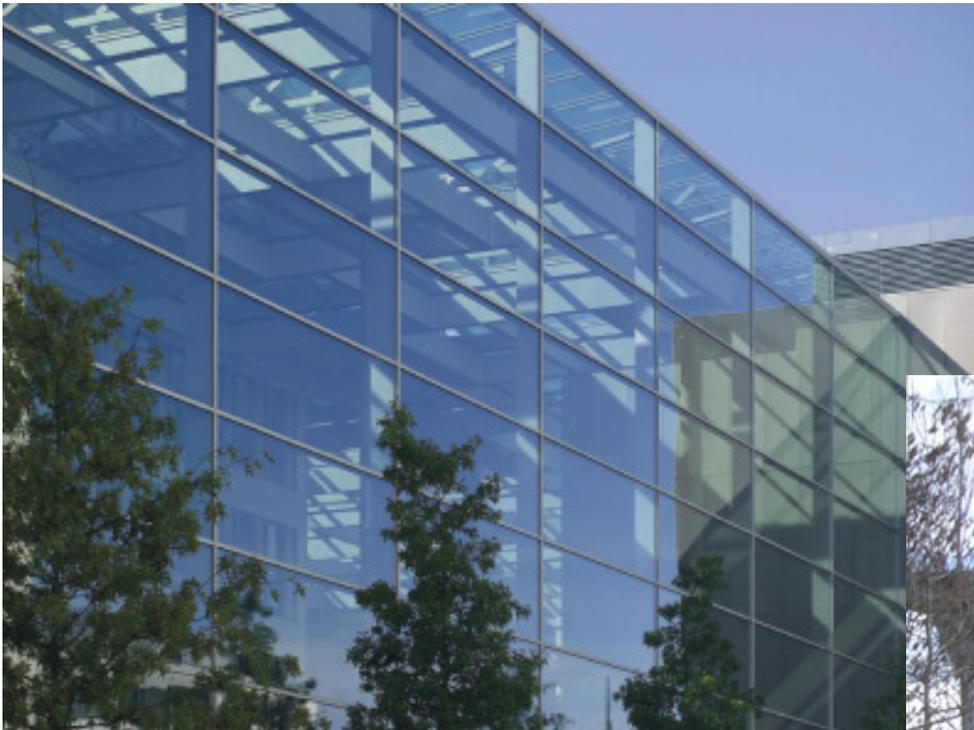
ZAE BAYERN



# Einsatzbereiche



ZAE BAYERN



**Fenster,  
Fassaden,  
Überdachungen**





**Mobile Anwendungen**

## Kühl- und Klimageräte



- Optimiertes VIG entwickelt:
  - $U < 0,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
  - Mechanische Stabilität  
Randverbund wie konventionelle Verglasungen.
- „Markttechnische Umsetzung“  
bis 2009 (Preis VIG wie Dreifachverglasung).



*VIG-Exponate auf der glasstec 2006.*

- **Vakuumdämmung**
- **Vakuumverglasung**
- **Klimatisierung mit Phasenwechselmaterialien (PCM)**

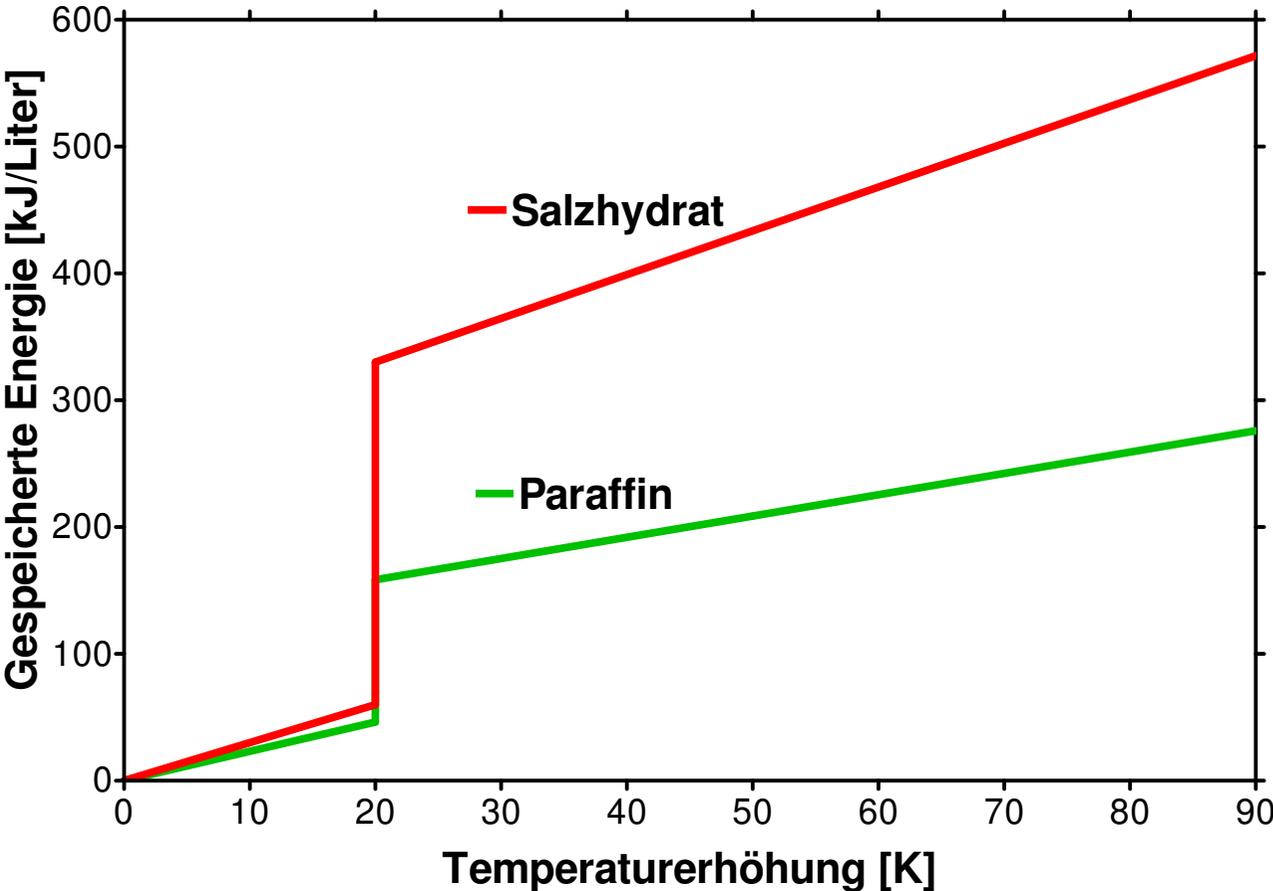
- Hohe Speicherdichte in einem engen Temperaturbereich
- Temperaturkonstanz während Phasenübergang  $\Rightarrow$  thermische Pufferwirkung
- Wirkungsweise rein passiv



# Wärmespeicherung mit Latentwärmespeichermaterialien

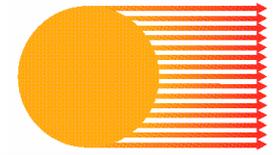


ZAE BAYERN

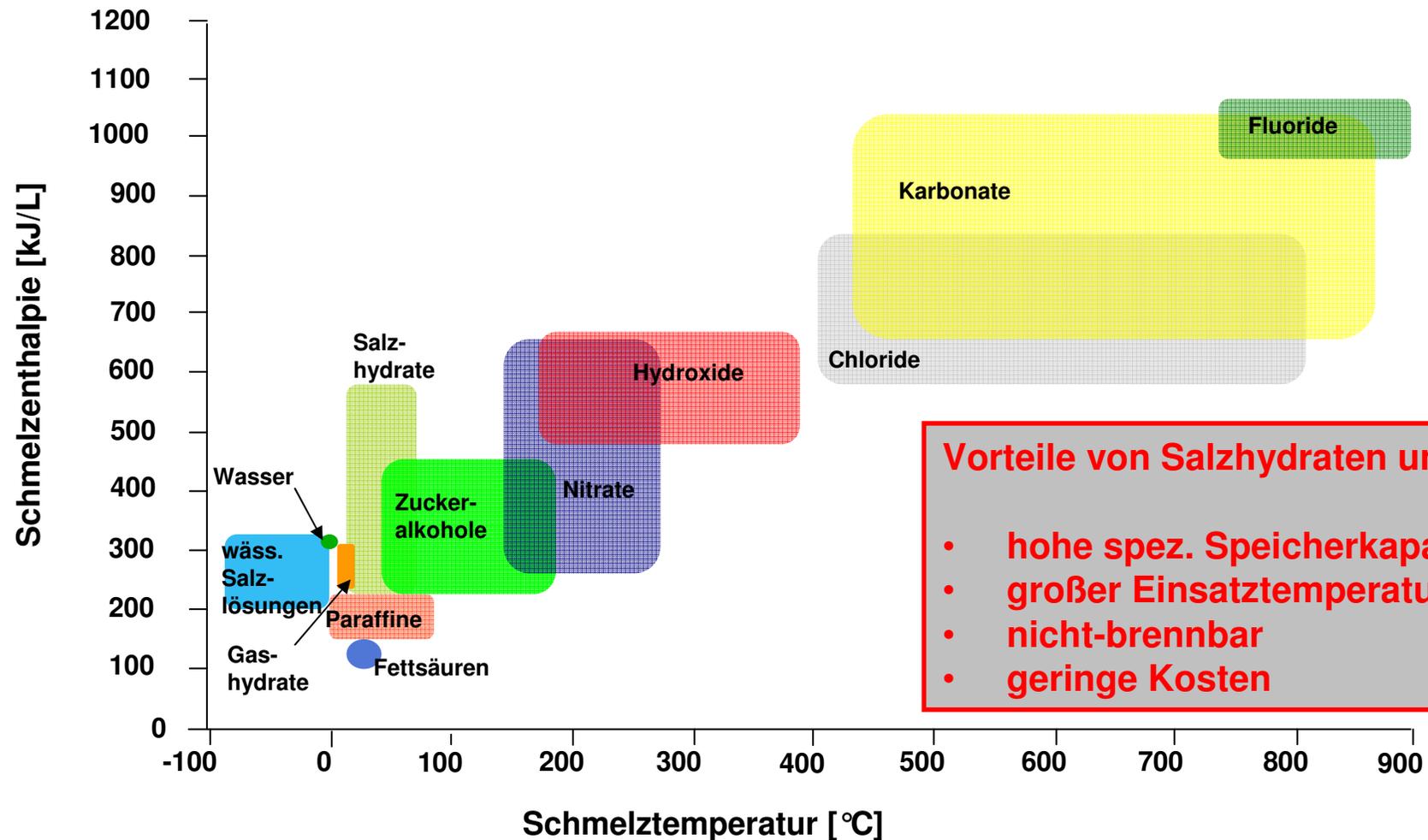


# Phasenwechselmaterialien

## Bekannte Materialklassen



ZAE BAYERN

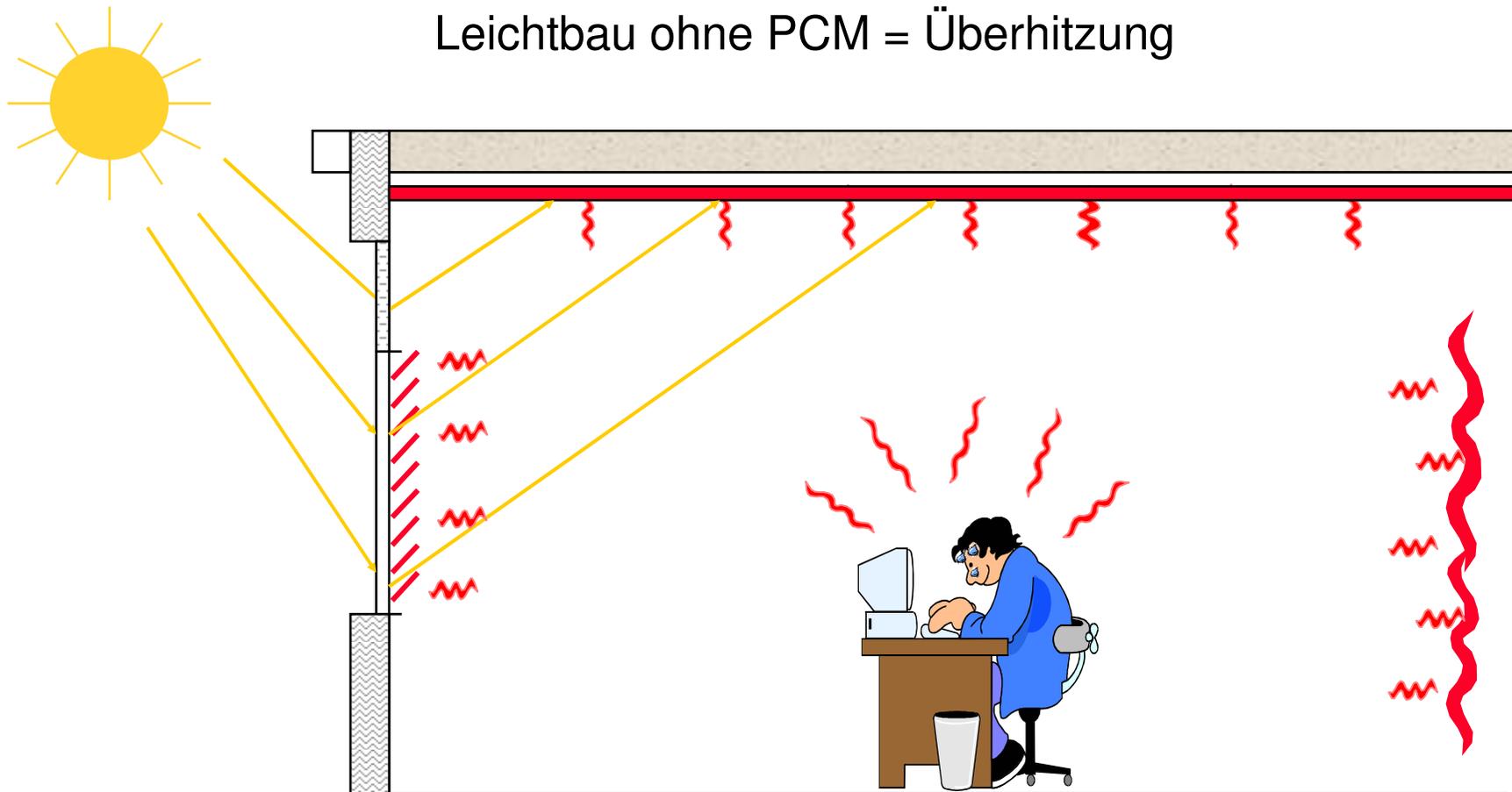


### Vorteile von Salzhydraten und Salzen:

- hohe spez. Speicherkapazität,
- großer Einsatztemperaturbereich
- nicht-brennbar
- geringe Kosten

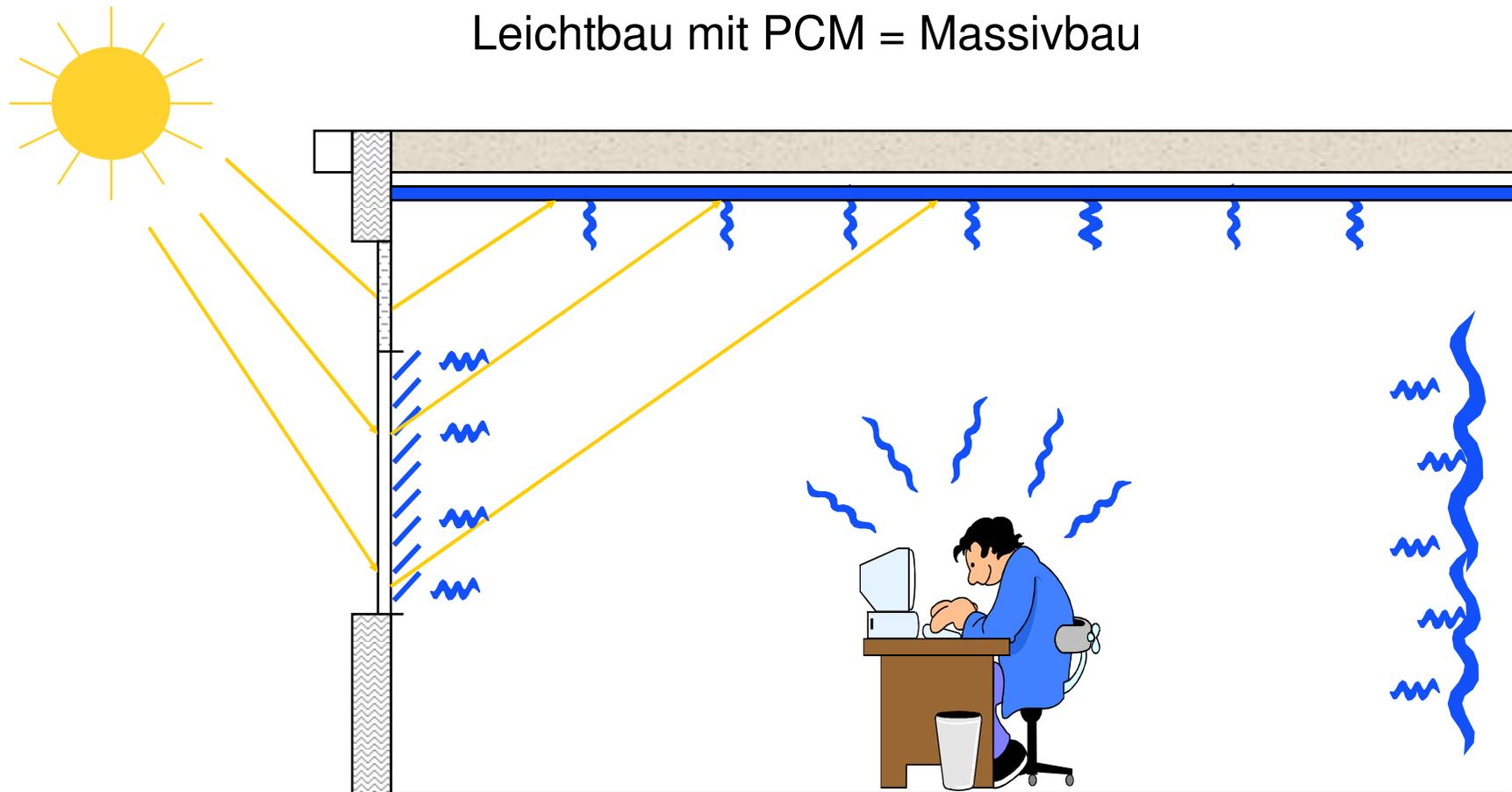
## Passive Raumkühlung

Leichtbau ohne PCM = Überhitzung



## Passive Raumkühlung

Leichtbau mit PCM = Massivbau

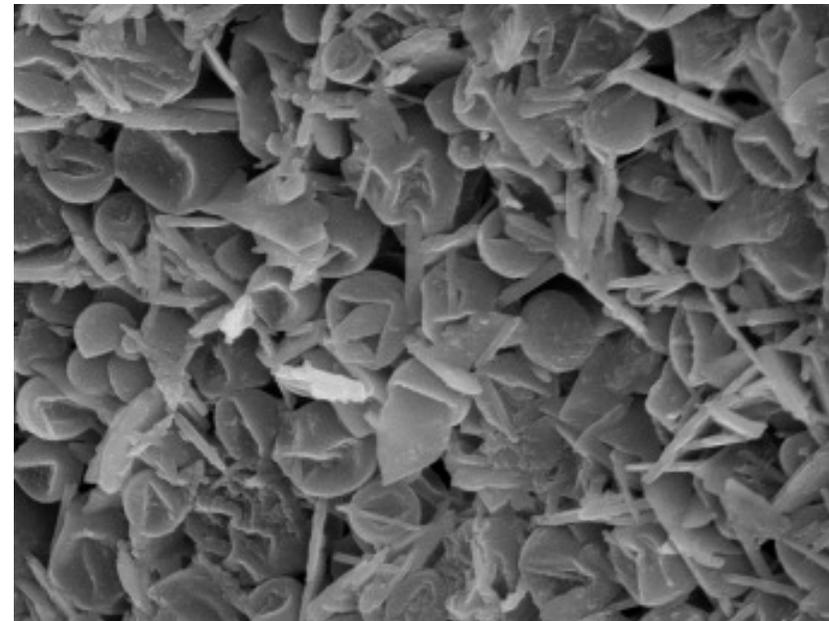


## Gipsplatte mit mikroverkapseltem Paraffin

- Einbringung von 35 Gew.% mikroverkapseltes Paraffin in den Kern der Gipsplatte auf einer Bandstraße
- Abdeckung Glasfaservlies anstelle Karton

### Technische Daten:

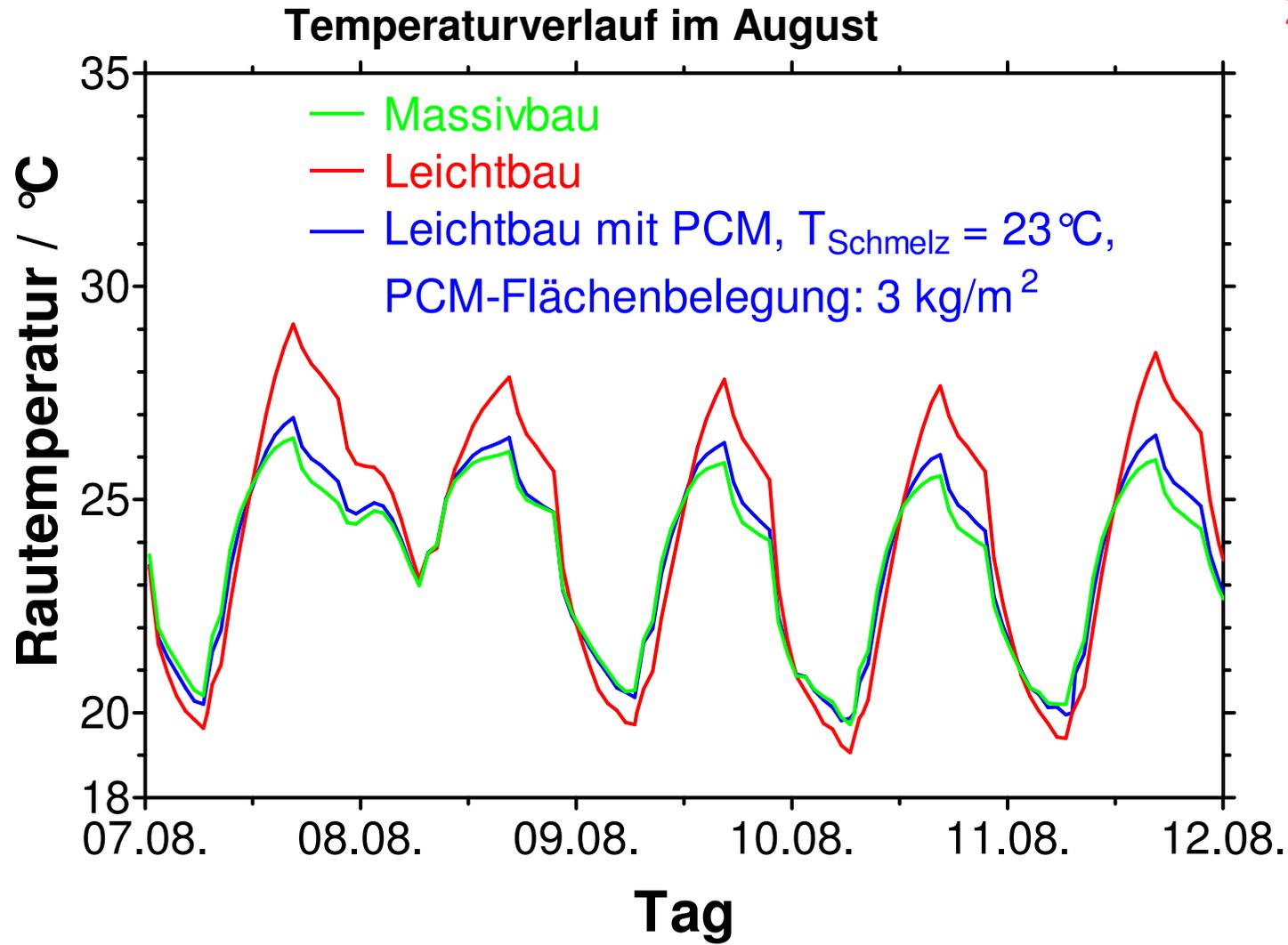
- Plattendicke: 15 mm
- Paraffinmenge: 3,3 kg/m<sup>2</sup>
- Schmelzenthalpie: 366 kJ/m<sup>2</sup>
- Baustoffklasse: B2  
(gemäß DIN 4102 Teil 1)



# PCM - Behaglichkeit



ZAE BAYERN



# Phasenwechsellmaterialien

## PCM-Verkapselungen



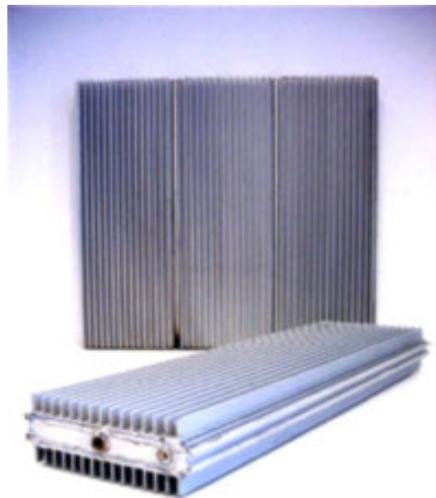
ZAE BAYERN



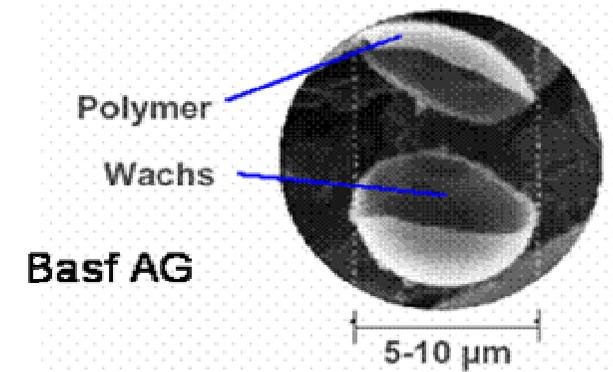
**makro**



TEAP / Australien



Climator / Schweden



**mikro**

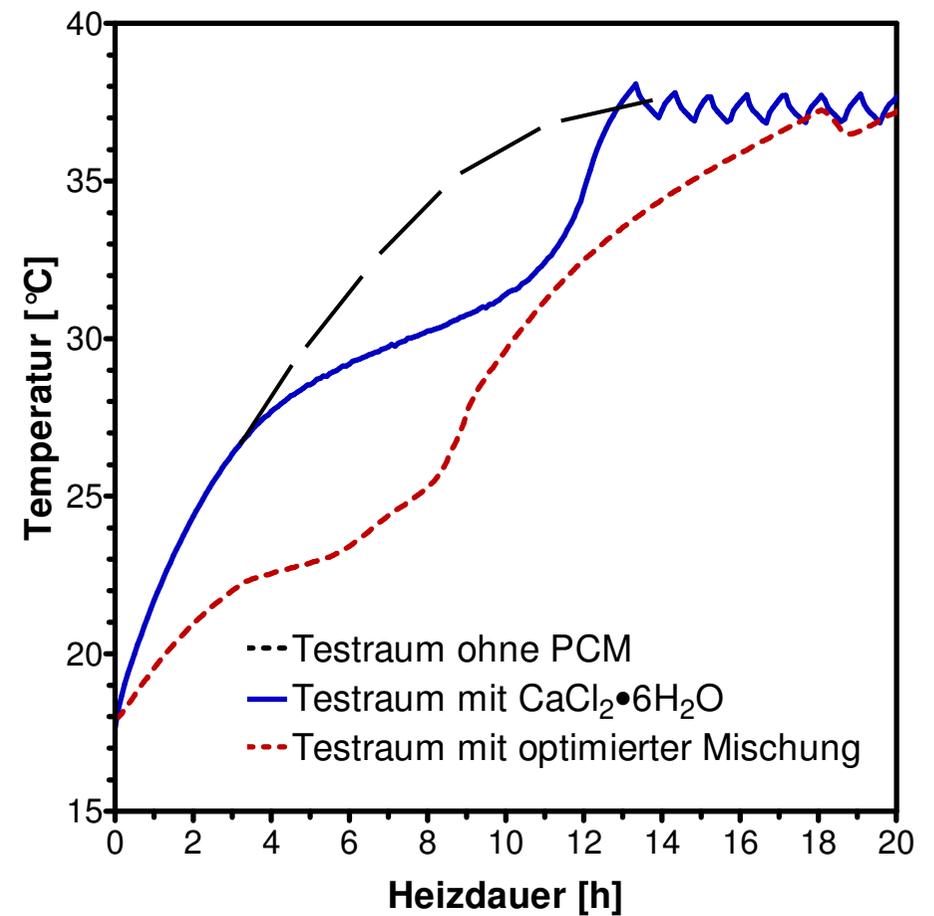


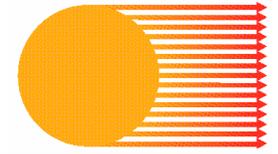
© ZAE Bayern

## Einbau makroverkapselter Salzhydrate in abgehängte Deckenkonstruktion



## Messergebnisse





**LWSNet: Netzwerk zur Überwindung grundlegender Probleme bei der Entwicklung hocheffizienter Latentwärmespeicher auf Basis anorganischer Speichermaterialien**

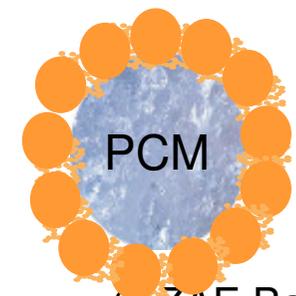
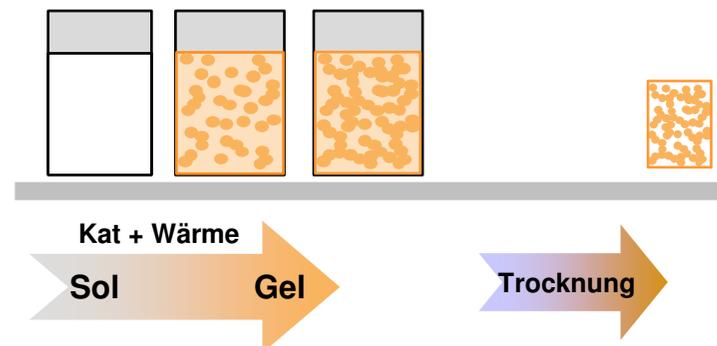


Eigenschaften:

- *Temperaturstabil*
- *Wasserdampfdicht (bei Hydraten)*
- *Mechanisch stabil unter Zyklisierung*
- *Verkapselung bei niedrigen Prozesstemperaturen*

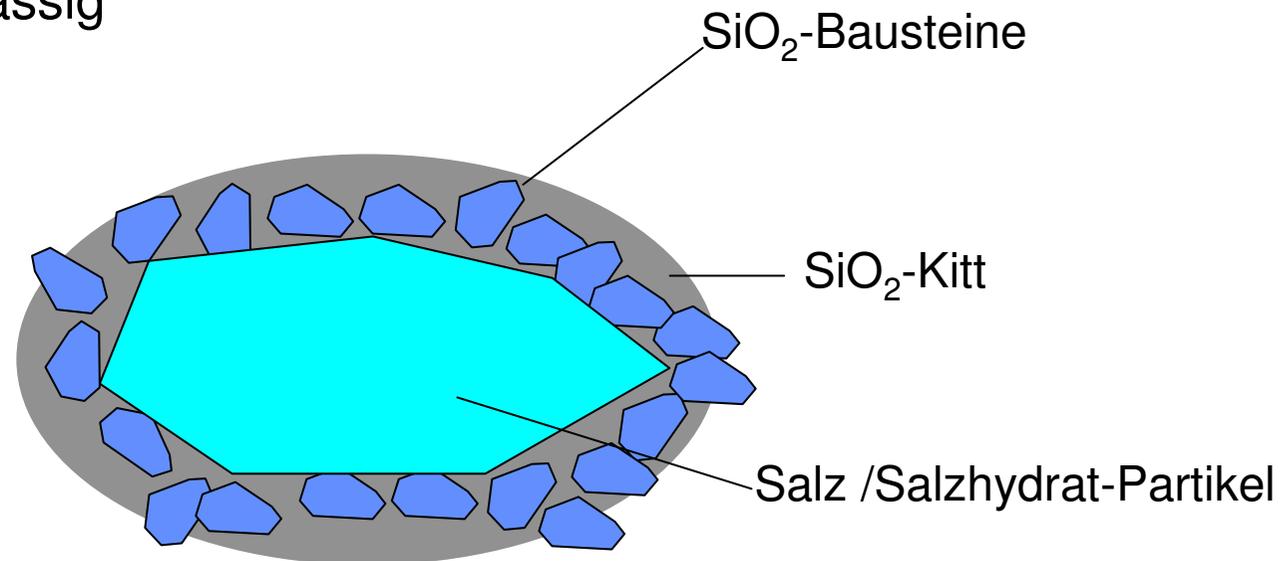
Lösungsansatz:

*SiO<sub>2</sub>-Beschichtung über Sol-Gel Prozess (Beispiel)*



## Vorteile des anorganischen Ansatzes

- hohe Temperaturbeständigkeit
- wasserdampfdurchlässig



Mikroverkapselung

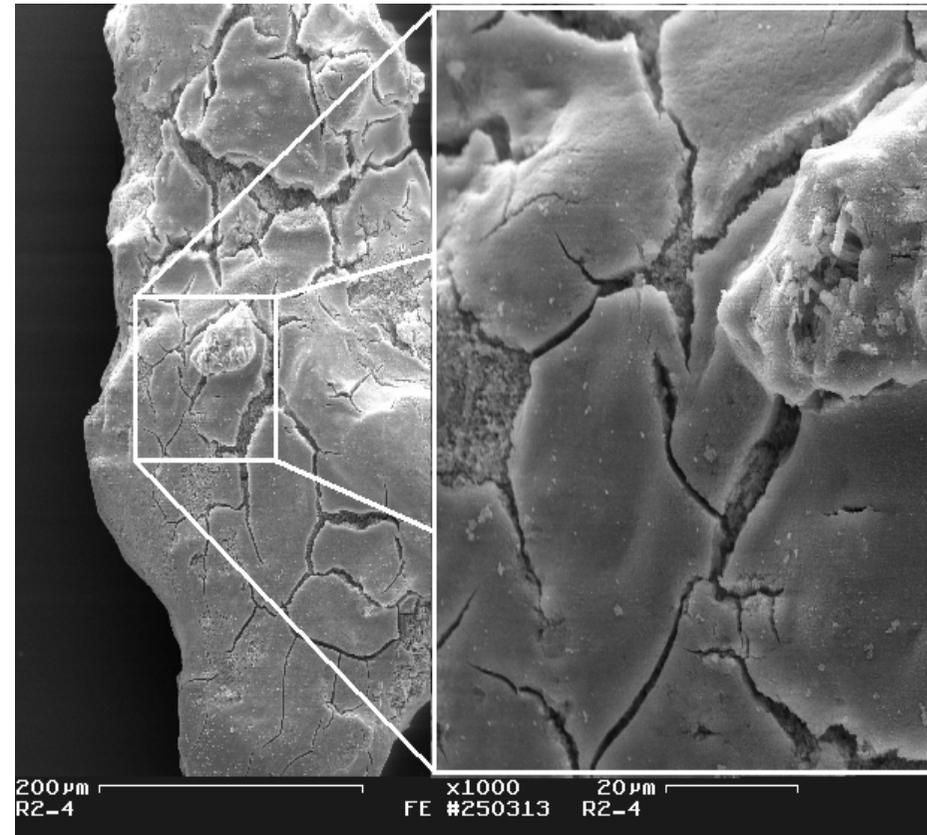
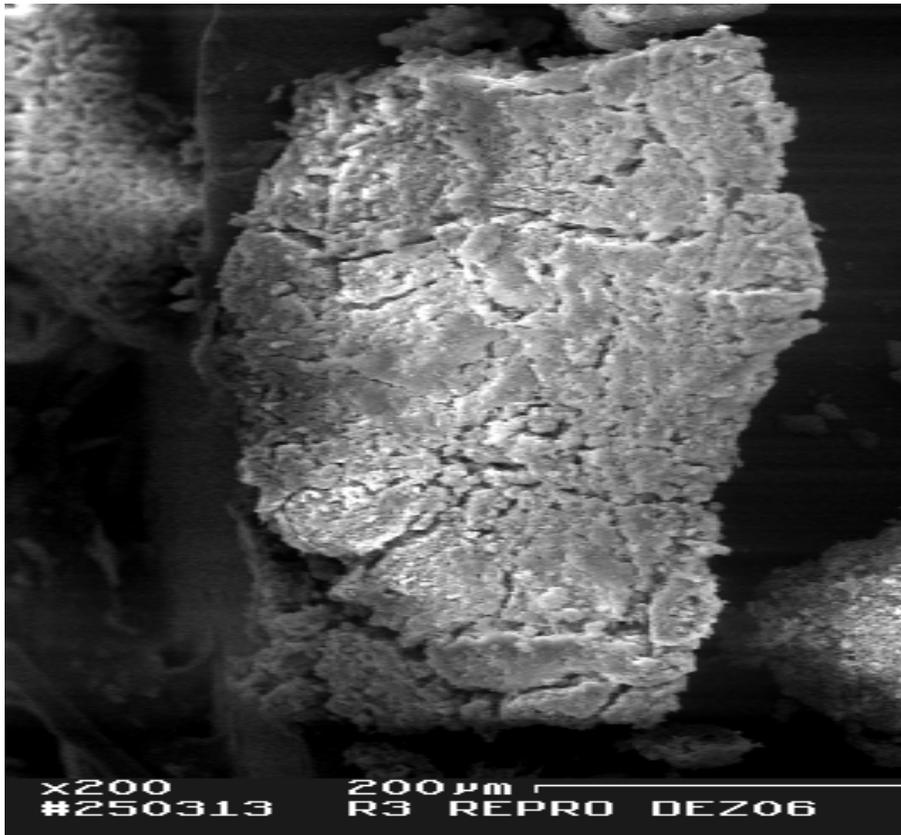


# Mikroverkapselung mit $\text{SiO}_x$ über Sol-Gel Prozess



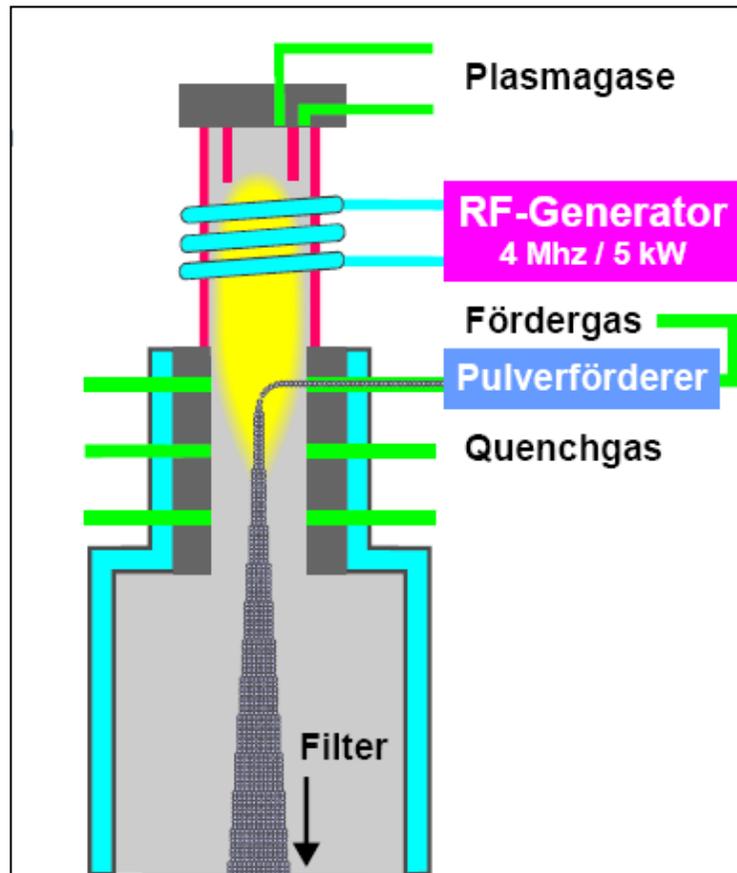
ZAE BAYERN

Rein anorganische Beschichtung mit unterschiedlichen  $\text{SiO}_2$ -Bausteinen



Mikroverkapselung

## Nachbehandlung im thermischen Plasma (Ar/O<sub>2</sub>)



Mikroverkapselung

PCM-Demoprojekt (Laufzeit 07/06-12/09), gefördert vom BMWi

- Einbau verschiedener PCM-Systeme in real genutzte Demogebäude
- Erfassung der Betriebsdaten im praktischen Betrieb
- Ermittlung von verlässlichen Systemkennwerten und Energieeinsparpotenzial
- Erfassung der Nutzerakzeptanz
- Öffentlichkeitsarbeit zur Marktanreizbildung (Vertrauen in PCM-Systeme)
- Lastganguntersuchungen (Verschiebung des Strombezugs auf Schwachlastzeiten)



- Energieeffizienz ist wesentlich für die Erreichung der energiepolitischen Ziele
- Neue Materialien bieten Chancen zur Steigerung der Energieeffizienz
- Abgestimmte Materialforschung, Komponenten- und Systementwicklung erforderlich
- Demonstration und Information sind wichtig für eine nachhaltige Umsetzung

---

# Danksagung

---



Die Arbeiten wurden bzw. werden unterstützt:

- Projekt „**Vakuumdämmungen für Gebäude**“,  
gefördert vom Bayerischen Staatsministerium für Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr  
und Technologie, Az.: 9400/6.1 – IBS/b – 43145/00
- gefördert vom Bundesministerium für Wirtschaft (und Arbeit):  
Projekt: „**Entwicklung von vakuumgedämmten Betonfertigteilen**“, Fkz.: 0327321C  
Projekt: „**...energ. Sanierung Gemeindezentrum „guter Hirte“ ...**“, Fkz.: 03229750R  
Projekte „**Koordinationsstelle für die nationalen Tätigkeiten zum Annex 39  
`High Performance Thermal Insulations for Buildings` der Internationalen  
Energieagentur (IEA)**“ und „**VIP-Testmethoden**“, Fkz.: 0327321E  
Projekt: „**Vakuüm-Isolierglas**“ Fkz.: 0327366  
Projekt: „**PCM Demonstration**“
- gefördert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung: „**LWSNet**“ Fkz.:  
03SF0307A