

# Neue Materialien und Komponenten für Energieeffiziente Gebäudehüllen

Ulrich Heinemann, Helmut Weinläder,  
Hans-Peter Ebert, Stephan Weismann

DPG Frühjahrstagung 2015 - Arbeitskreis Energie (AKE), 16. – 18. März 2015, Berlin

Bayerisches Zentrum für  
Angewandte Energieforschung e.V.

MIT SONNE UND VERSTAND.



**ZAE BAYERN**

Bayerisches Zentrum  
für Angewandte  
Energieforschung

# Gliederung



**ZAE BAYERN**

Bayerisches Zentrum  
für Angewandte  
Energieforschung

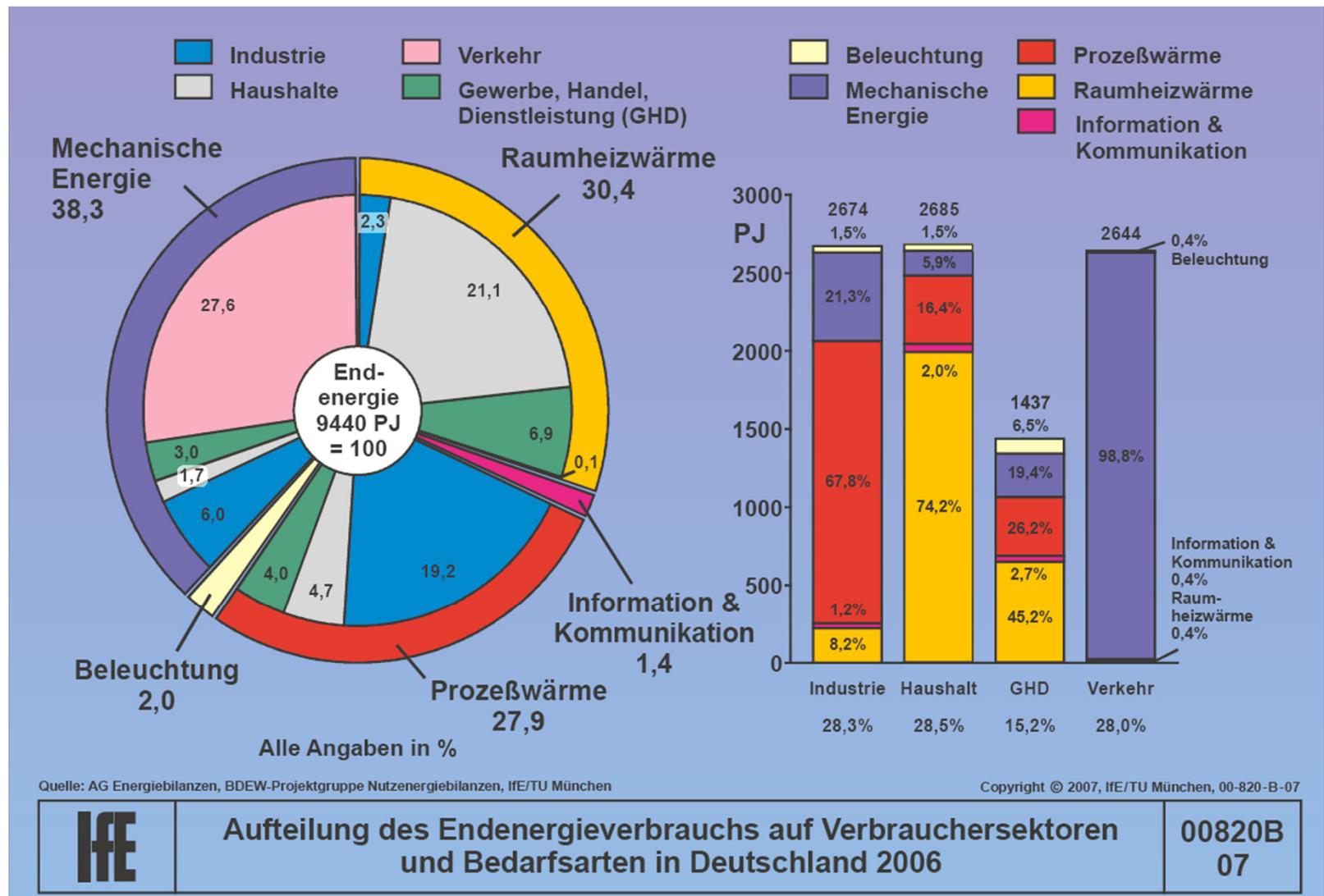
- Motivation
- Wärmetransport in Dämmmaterialien und Optimierungsansätze
- Konventionelle Dämmstoffe
- „Neue“ Materialien und Komponenten
  - Nanostrukturierte Materialien
  - Vakuumisulationspaneele (VIP)
  - Vakuumisolierverglas (VIG)
  - Transparente Wärmedämmung (TWD)
  - Schaltbare Wärmedämmung (SWD)

# Endenergieverbrauch Deutschland 2006



ZAE BAYERN

Bayerisches Zentrum  
für Angewandte  
Energieforschung



Quelle:  
Tzscheutschler P., Nickel M.,  
Wernicke I., Buttermann H.-G.:

Energieverbrauch in  
Deutschland - Stand 2006:  
Daten, Fakten, Kommentare.  
erschieden in BWK Ausgabe 3-  
2008, Seite 46-51; ISSN: 1618-  
193X; Düsseldorf 2008



Aufteilung des Endenergieverbrauchs auf Verbrauchersektoren  
und Bedarfsarten in Deutschland 2006

00820B  
07

# Wärmetransport in porösen Dämmstoffen



ZAE BAYERN

Bayerisches Zentrum  
für Angewandte  
Energieforschung

$$\lambda = \lambda_s + \lambda_r + \lambda_g + \lambda_c$$

$\lambda$  : Wärmeleitfähigkeit

$\lambda_s$  : Festkörperleitung (Struktur, Dichte, Belastungsdruck)

$\lambda_r$  : Wärmestrahlung (Dichte, "Partikelgröße",  $\propto T^3$ )

$\lambda_g$  : Gasleitung (Gasart, Porosität, Struktur, Porengröße)

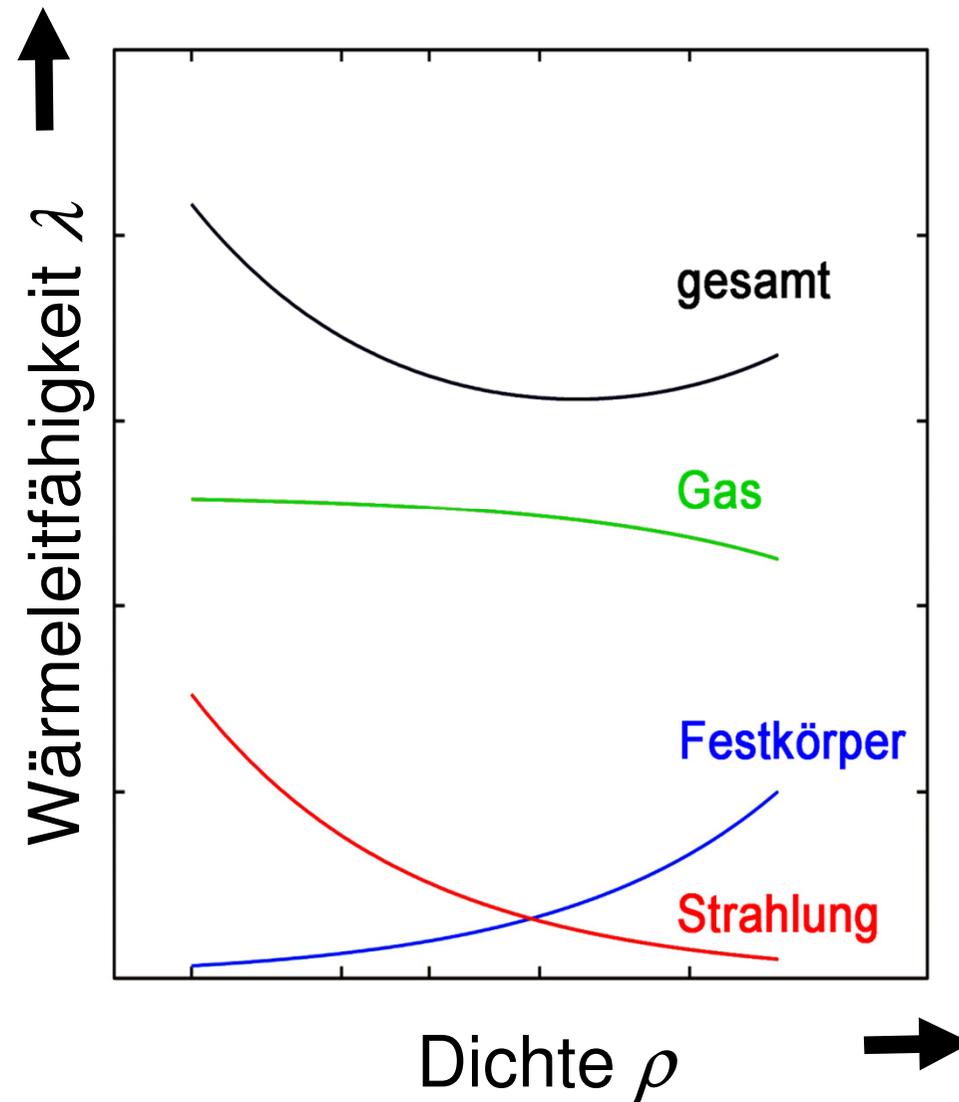
$\lambda_c$  : Kopplungsterme ( $\lambda_s, \lambda_g$ )

# Wärmetransport in Schäumen



ZAE BAYERN

Bayerisches Zentrum  
für Angewandte  
Energieforschung



# EPS mit Infrarot-Trübung



**ZAE BAYERN**

Bayerisches Zentrum  
für Angewandte  
Energieforschung



# Dämmmaterialien (-systeme) im Vergleich

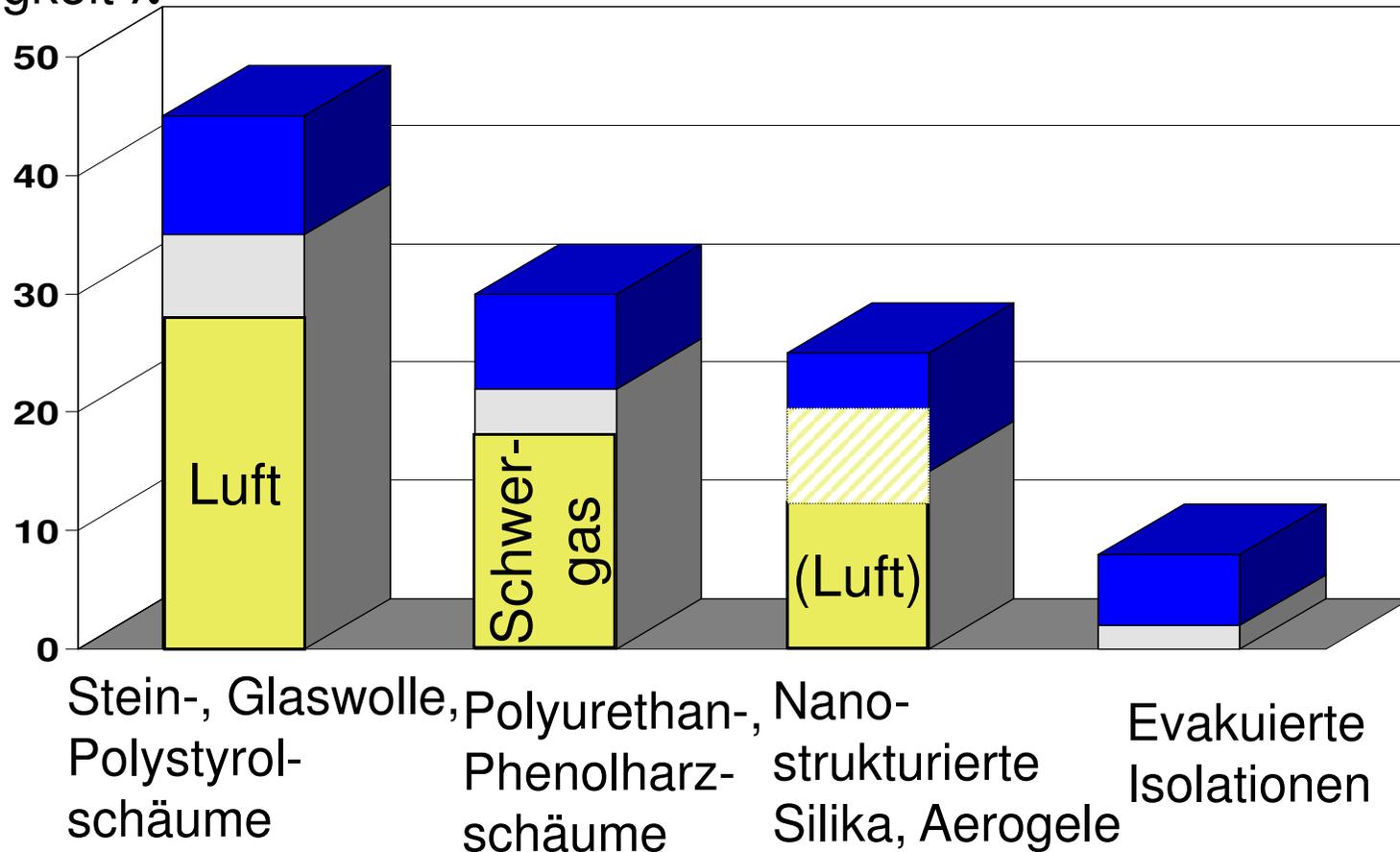


ZAE BAYERN  
Bayerisches Zentrum  
für Angewandte  
Energieforschung



Wärmeleitfähigkeit  $\lambda$

$$\left[ 10^{-3} \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \right]$$



## Vakuum Isolationen

zylindrische Gefäße:  
Thermoskannen,  
Kryogefäße

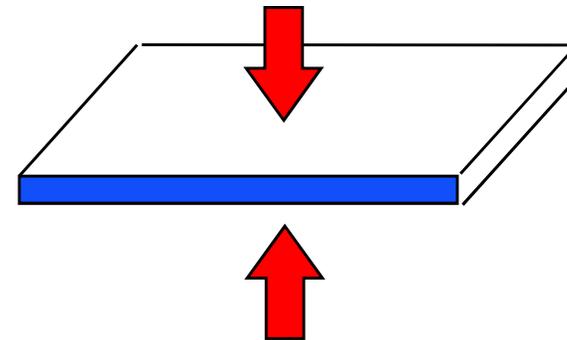


Atmosphärendruck  
entspr.  
Gewichtslast:  
 $10 \text{ t} / \text{m}^2$

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

flache Elemente:  
Vakuum-Isolations-Paneele (VIP)

Druck tragendes Füllmaterial



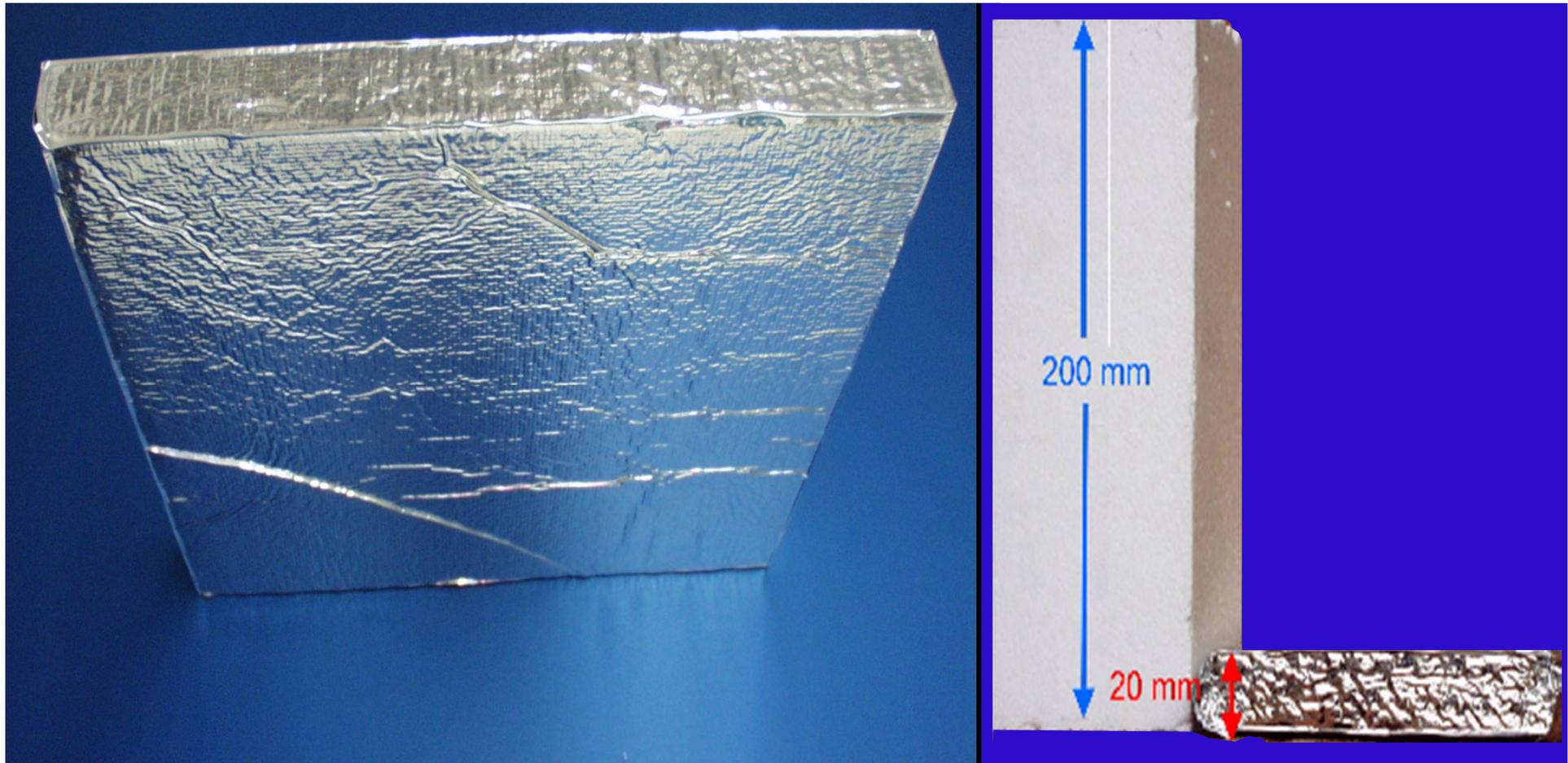
$\lambda = 0,001 \text{ bis } 0,008 \text{ W}/(\text{mK})$

# Vakuumisolationspaneel mit Hochbarriere-Laminat



ZAE BAYERN

Bayerisches Zentrum  
für Angewandte  
Energieforschung



# Vakuumisolationspaneel mit Hochbarriere-Laminat

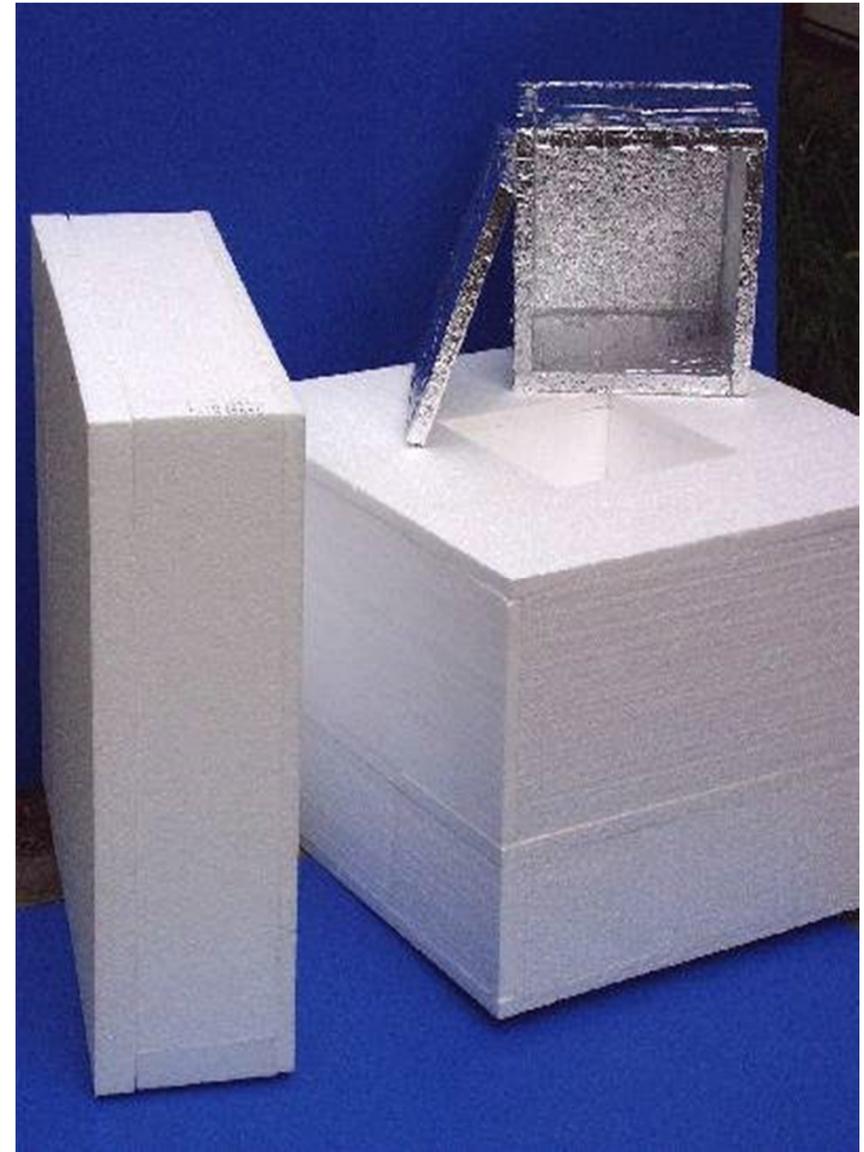


ZAE BAYERN

Bayerisches Zentrum  
für Angewandte  
Energieforschung

Transportboxen  
mit ähnlichen  
Isolationseigenschaften

Hier:  
Volumen der VIP-gedämmten Box  
weniger als 1/20 der Standard PS-  
Box



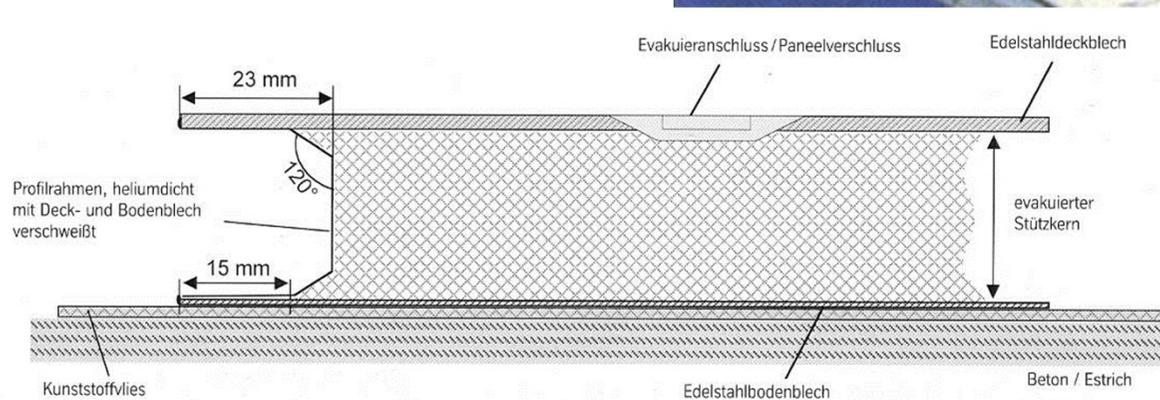
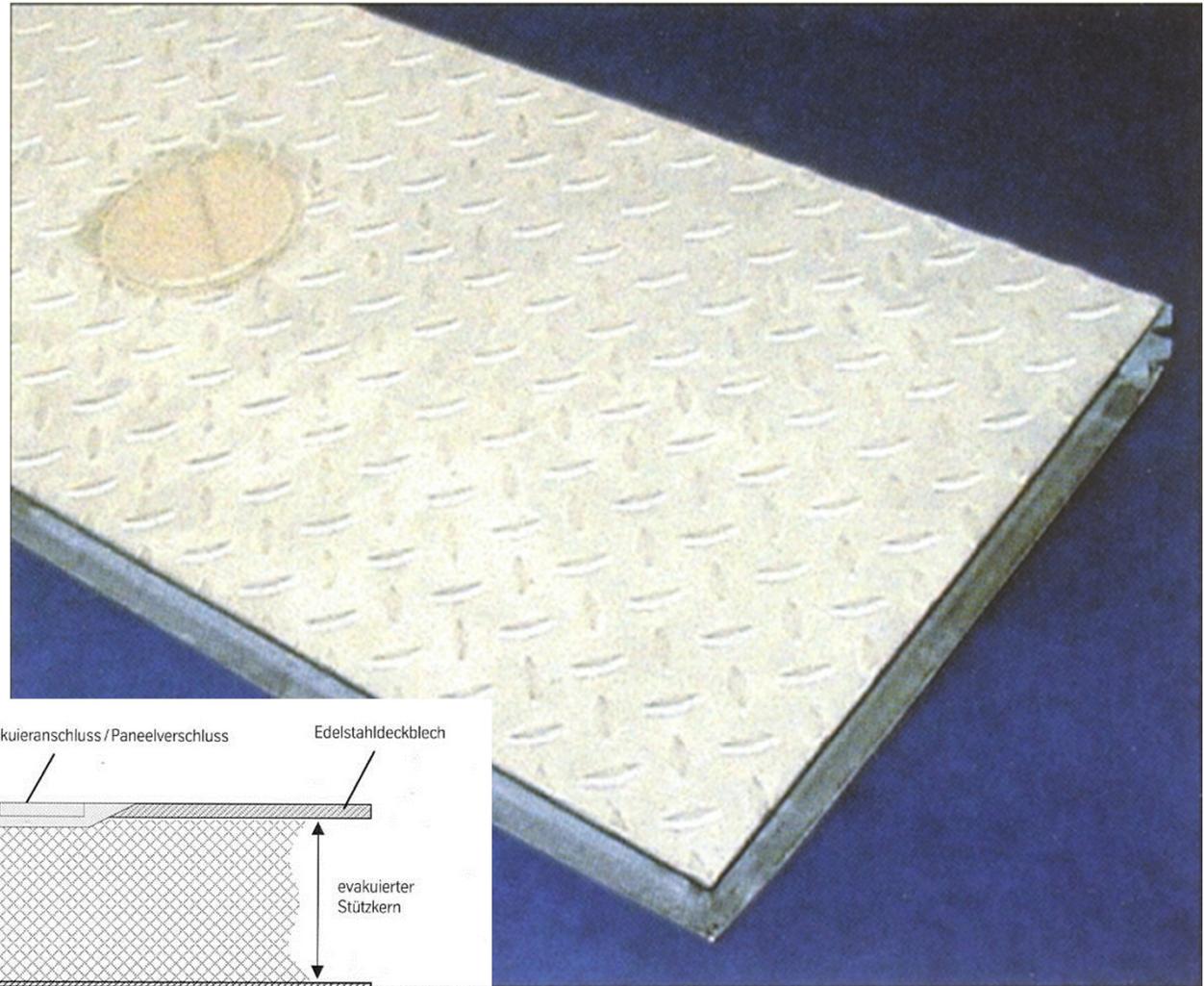
# Edelstahl-umhüllte Vakuumpaneele



ZAE BAYERN

Bayerisches Zentrum  
für Angewandte  
Energieforschung

Hülle aus Edelstahl  
Nähte geschweißt  
Kern aus pyrogener  
Kieselsäure



Quelle: lambdasave GmbH

## Dämmmaterial → Dämmelemente

In vielerlei Hinsicht vergleichbar mit einem Fenster:

- Planungsaufwand, Standardgrößen ↔ Maßanfertigung
- empfindlich gegen Beschädigung
- erhöhter Wärmedurchgang am Rand

**VIP** = **Füllmaterial** + **Hülle**

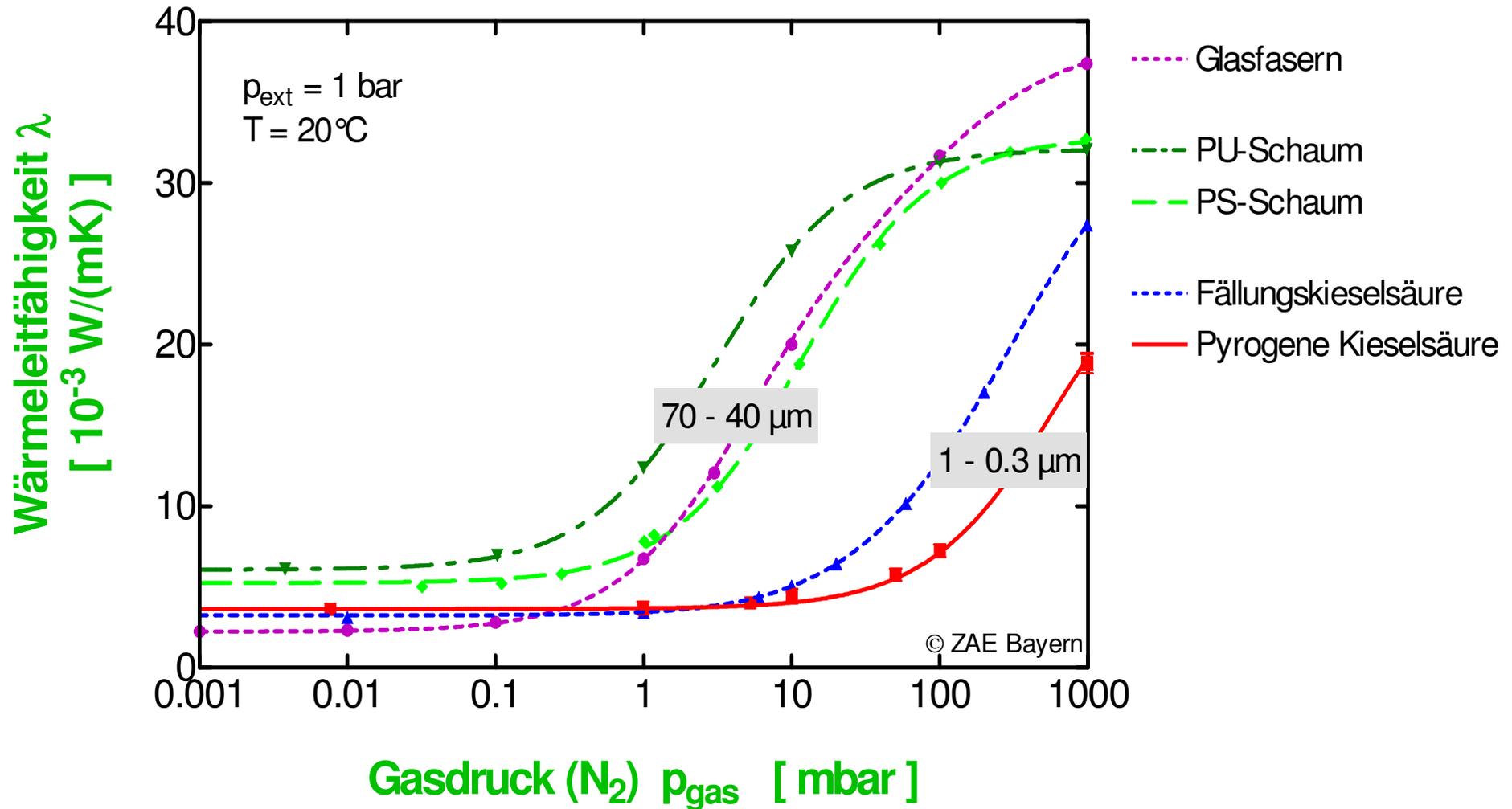
Anforderungen:

- evakuierbar (offenporig) „vakuumdicht“
- druckbelastbar
- „sauber“ (kein Ausgasen)

# Wärmeleitfähigkeit



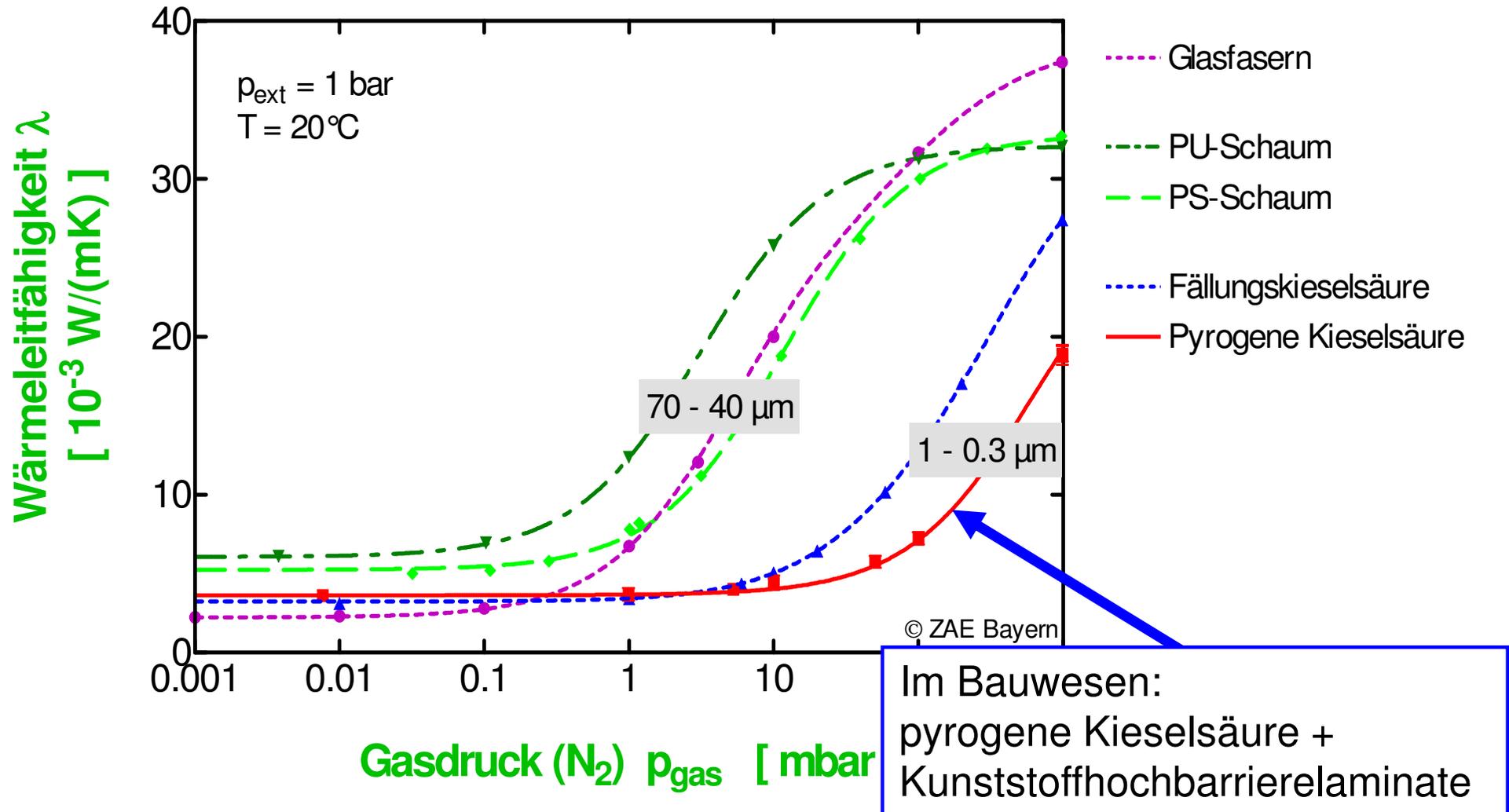
ZAE BAYERN  
Bayerisches Zentrum  
für Angewandte  
Energieforschung



# Wärmeleitfähigkeit



ZAE BAYERN  
Bayerisches Zentrum  
für Angewandte  
Energieforschung



# Wärmebrücken / mittlerer U-Wert



ZAE BAYERN

Bayerisches Zentrum  
für Angewandte  
Energieforschung

- Erhöhter Wärmedurchgang an Rändern, Fugen und jeglicher Unterbrechung der aus VIPs bestehenden Dämmelage
- Wärmebrücken sind deutlich kritischer als bei herkömmlichen Dämmungen

**→ effektive U-Wert ist größer als  
der für die Mitte eines VIPs zu erwartende !!!**

(abhängig von der Einbausituation)

# Bayerisches Zentrum für Angewandte Energieforschung



ZAE BAYERN

Bayerisches Zentrum  
für Angewandte  
Energieforschung



**Südfassade**

Architect: Prof. Volz / Obernburg

Photo: © Dieter Leistner

# Wärmebrücken



**ZAE BAYERN**

Bayerisches Zentrum  
für Angewandte  
Energieforschung

Innenansicht eines mit einer  
Glasscheibe abgedeckten  
Vakuumisolationspaneels



# Fassadenelement mit integriertem Heizkörper



ZAE BAYERN

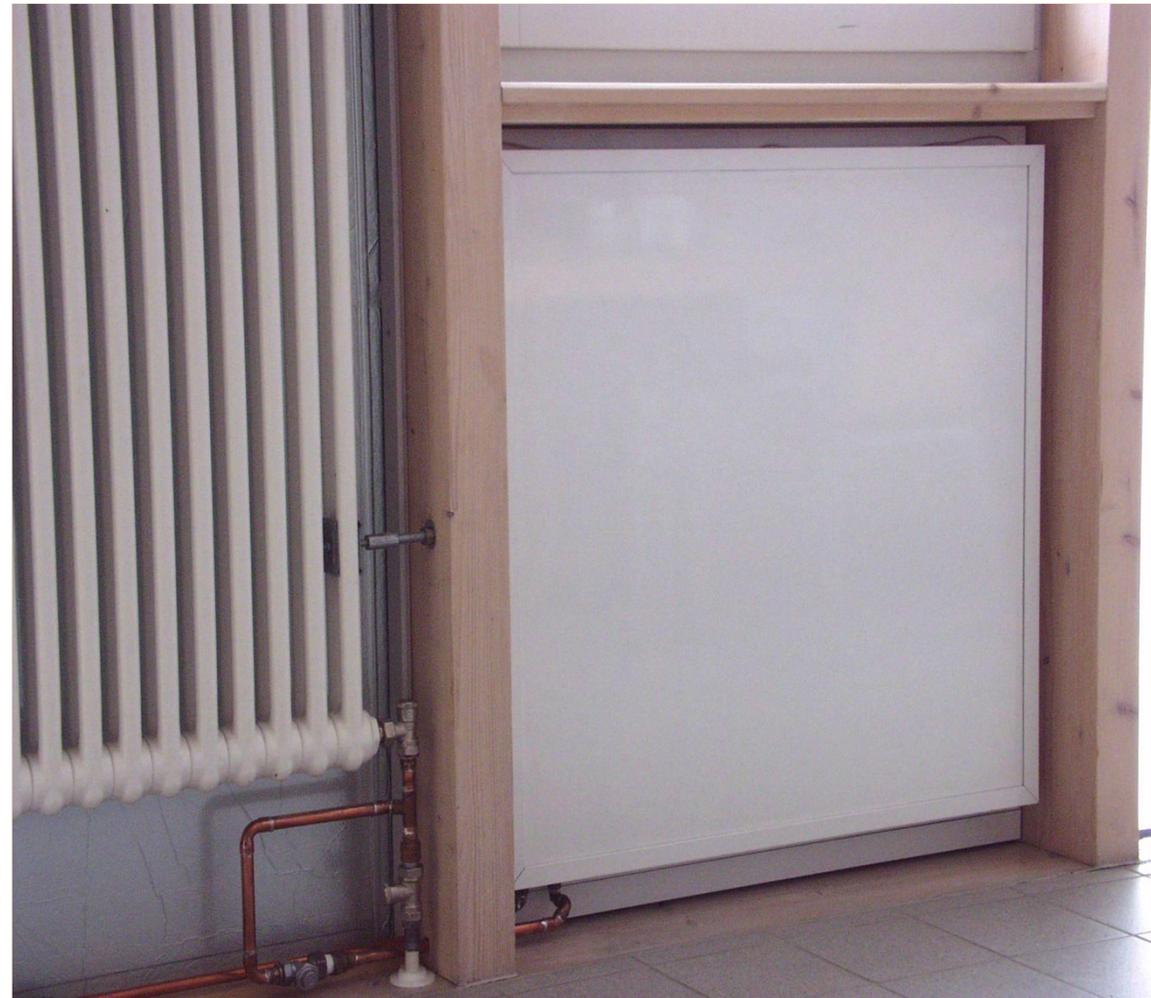
Bayerisches Zentrum  
für Angewandte  
Energieforschung

hier: in Testfassade des  
ZAE Bayern installiert

U-Wert in der Mitte:  
 $0.2 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

U-Wert integral:  
mit Standard-Rahmen-  
und  
Anschlusskonstruktion

$2.0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  !!!



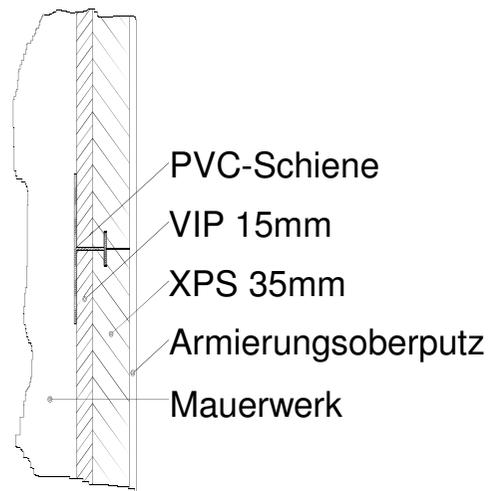
# Praxisbeispiel: Fassade mit Vakuumdämmung Restauration eines denkmal-geschützten Gebäudes



ZAE BAYERN

Bayerisches Zentrum  
für Angewandte  
Energieforschung

## Konstruktionsskizze WDVS



U-Wert =  $0.20 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  bei einer Gesamtdicke von 6 cm!

**Gegenüber der Ausgangssituation Verringerung um ca. 80%!**

# Vakuumgedämmte Betonfertigteile



Wärmebrückenarmer  
Bandanker (nur sehr  
wenige erforderlich)

Sandwich aus Alufolie, 3 cm VIP  
und 3 cm PU-Hartschaumplatte:

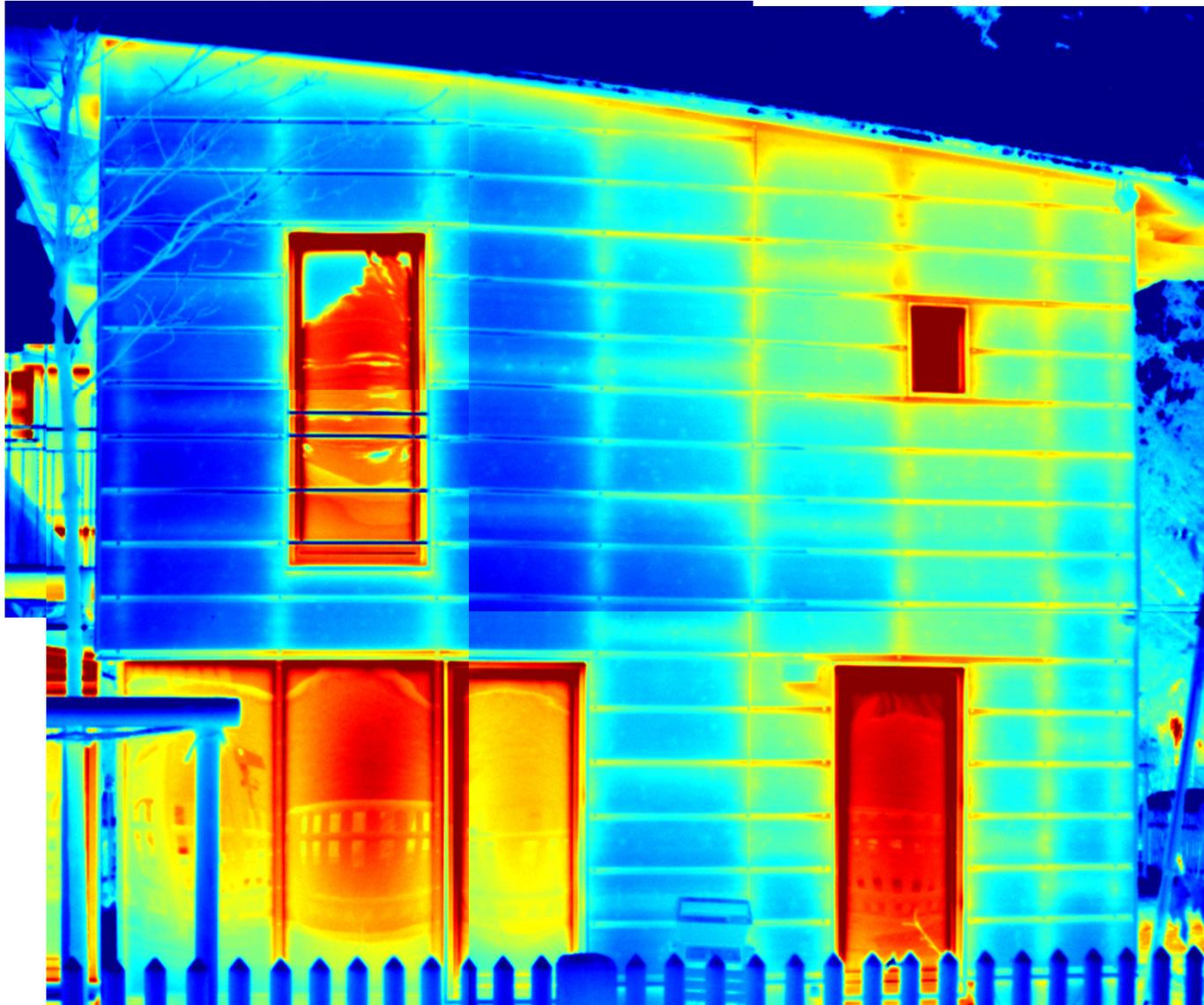
Holzlattung für  
Fassadenplatten

# Motivation - Vakuumisolierglas



ZAE BAYERN

Bayerisches Zentrum  
für Angewandte  
Energieforschung



- Fassade:  
 $U \leq 0.2 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
- Fenster:  
 $U_g \approx 1.1 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$   
2-Verglasung  
 $U_g \approx 0.6 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$   
3-Verglasung  
(hohes Gewicht!)



ZAE BAYERN  
Bayerisches Zentrum  
für Angewandte  
Energieforschung

# Analyse des Wärmetransports

Wärmeschutzverglasung:

$$U_g = 1.3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

$$\varepsilon = 0.03$$

Zwischenraum: 16 mm Luft

**evakuieren**

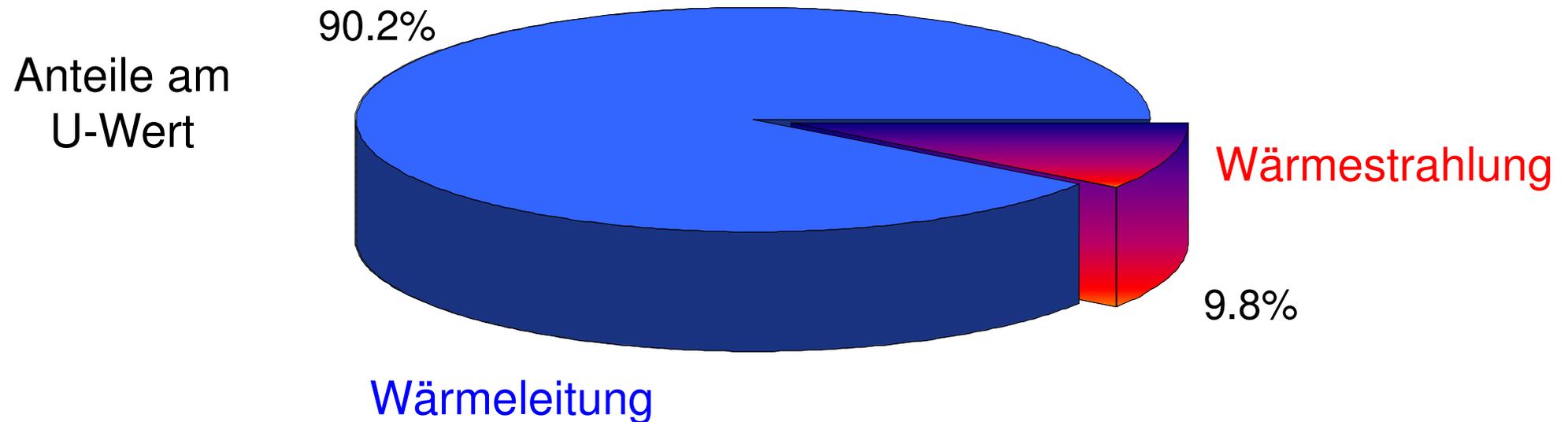


Vakuumverglasung:

$$U_g < 0.5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

$$\varepsilon = 0.03$$

Zwischenraum: 1 mm  
evakuiert, Stützen

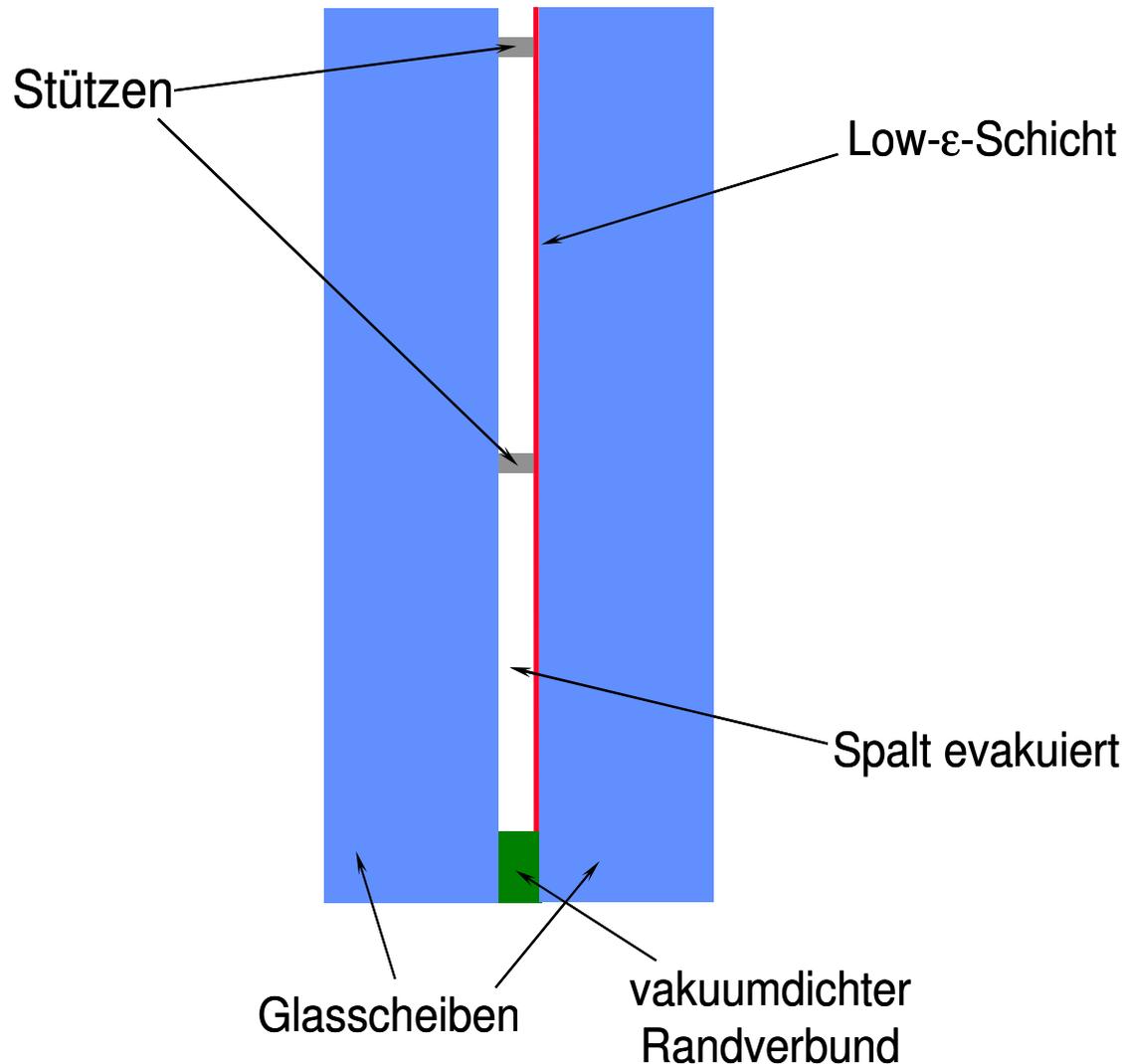


# Vakuum-Isolierglas Prinzip



ZAE BAYERN

Bayerisches Zentrum  
für Angewandte  
Energieforschung

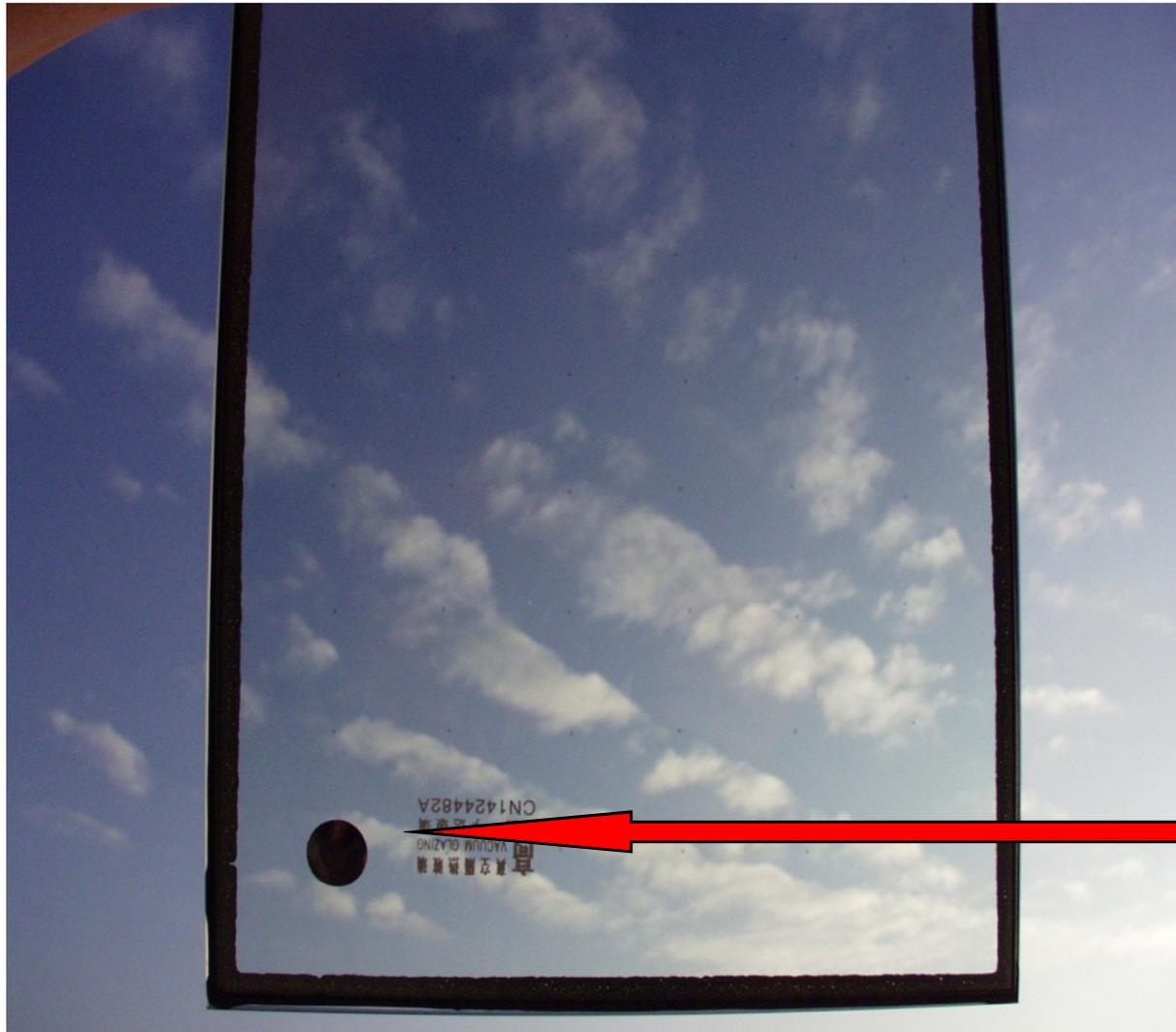


- schlanker Aufbau  
≈ 10mm
- geringes Gewicht  
(nur 2 Scheiben)
- gute Wärmedämmung  
 $U_g < 0.5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
- Preis vergleichbar  
3-fach Verglasung

# Stand der Technik



ZAE BAYERN  
Bayerisches Zentrum  
für Angewandte  
Energieforschung



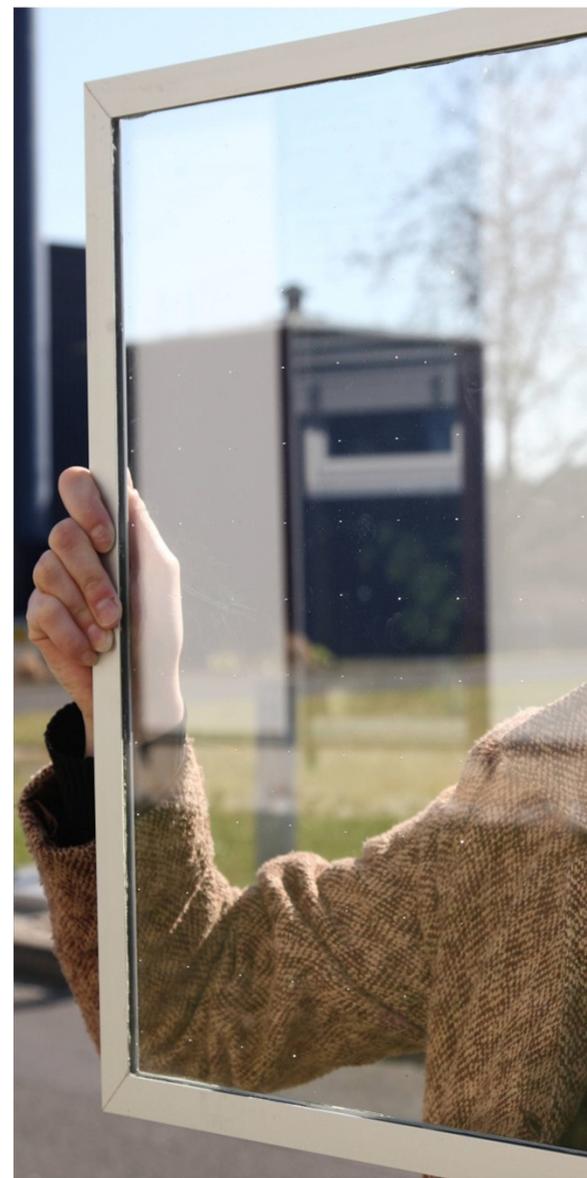
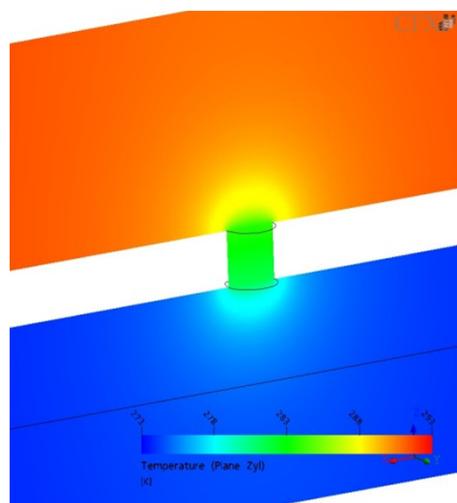
Kommerzielle Produkte:

- Stützen kaum sichtbar
- geringes Gewicht
- schlanker Aufbau  
8 - 10mm

aber

- Evakuierstutzen
- **$U_g$ : 0.5 bis 1.1 W/(m<sup>2</sup>K)**

- Neues Randverbundkonzept
- Verwendung effizienter Softcoatings
- thermisch optimiert  $U_g < 0.5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

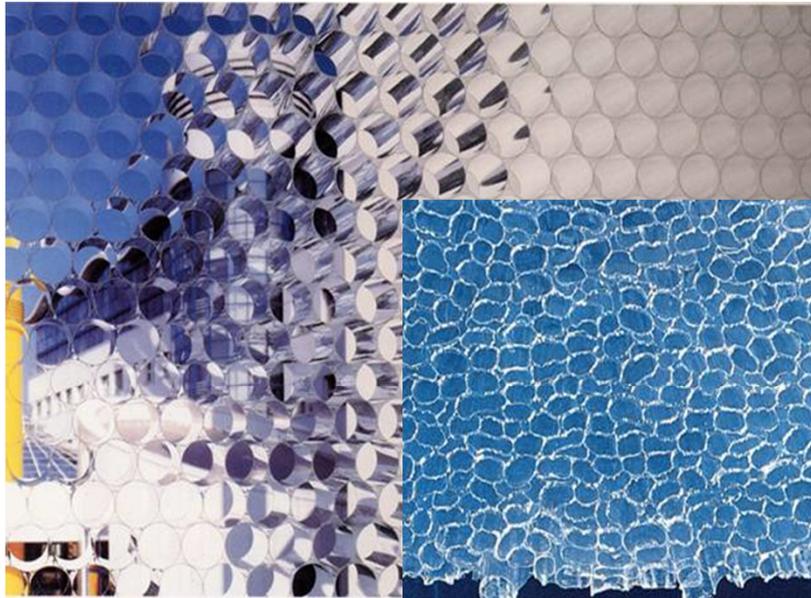


# Transparente Wärmedämmung (TWD)



ZAE BAYERN

Bayerisches Zentrum  
für Angewandte  
Energieforschung



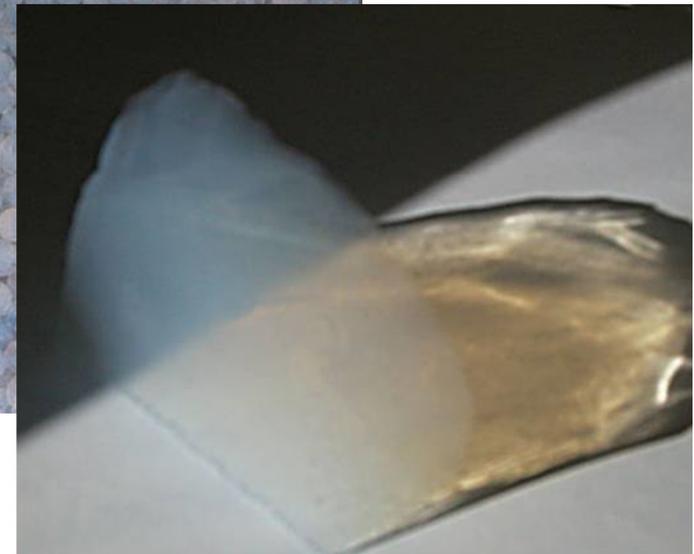
**Glas-TWD (Schott Rohrglas)**



**Polycarbonat- /  
PMMA-Waben**



**Aerogel-Granulat**



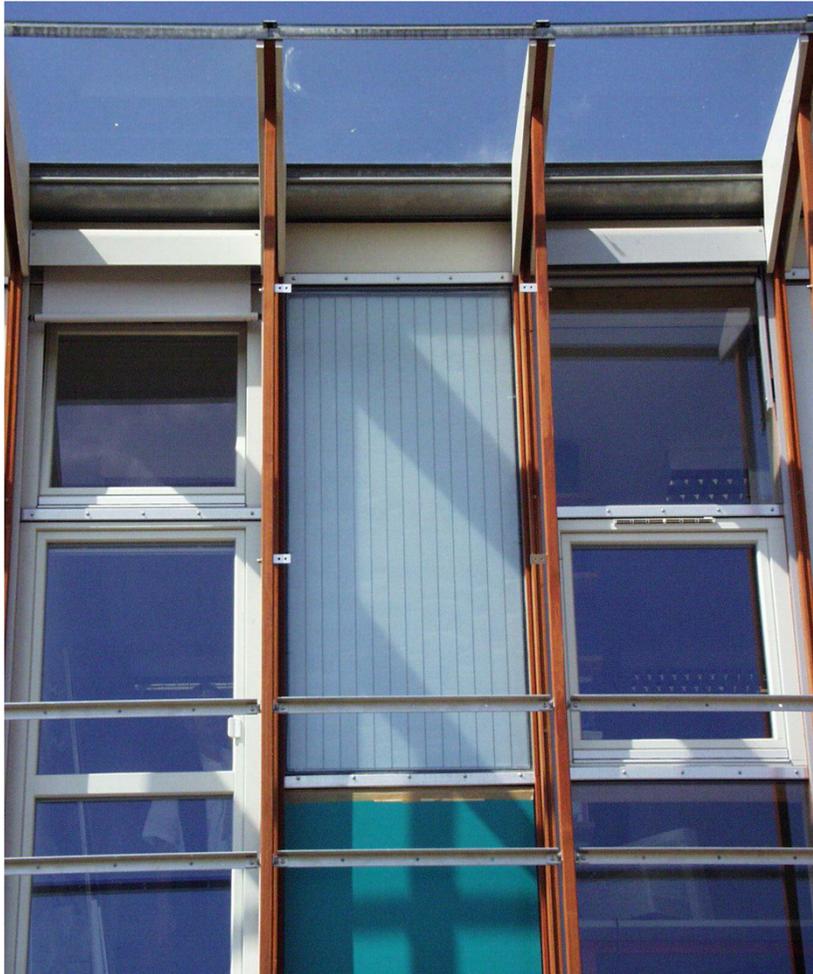
**Aerogel, monolitisch**

# TWD – Tageslichtnutzung / blendfreies Tageslicht



ZAE BAYERN  
Bayerisches Zentrum  
für Angewandte  
Energieforschung

## Außenansicht



## Innenansicht



$$U = 0.4 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}); g = 0.4$$

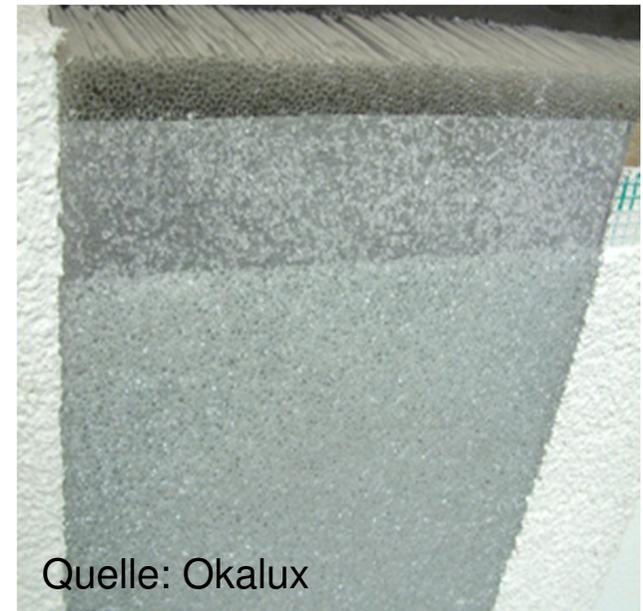
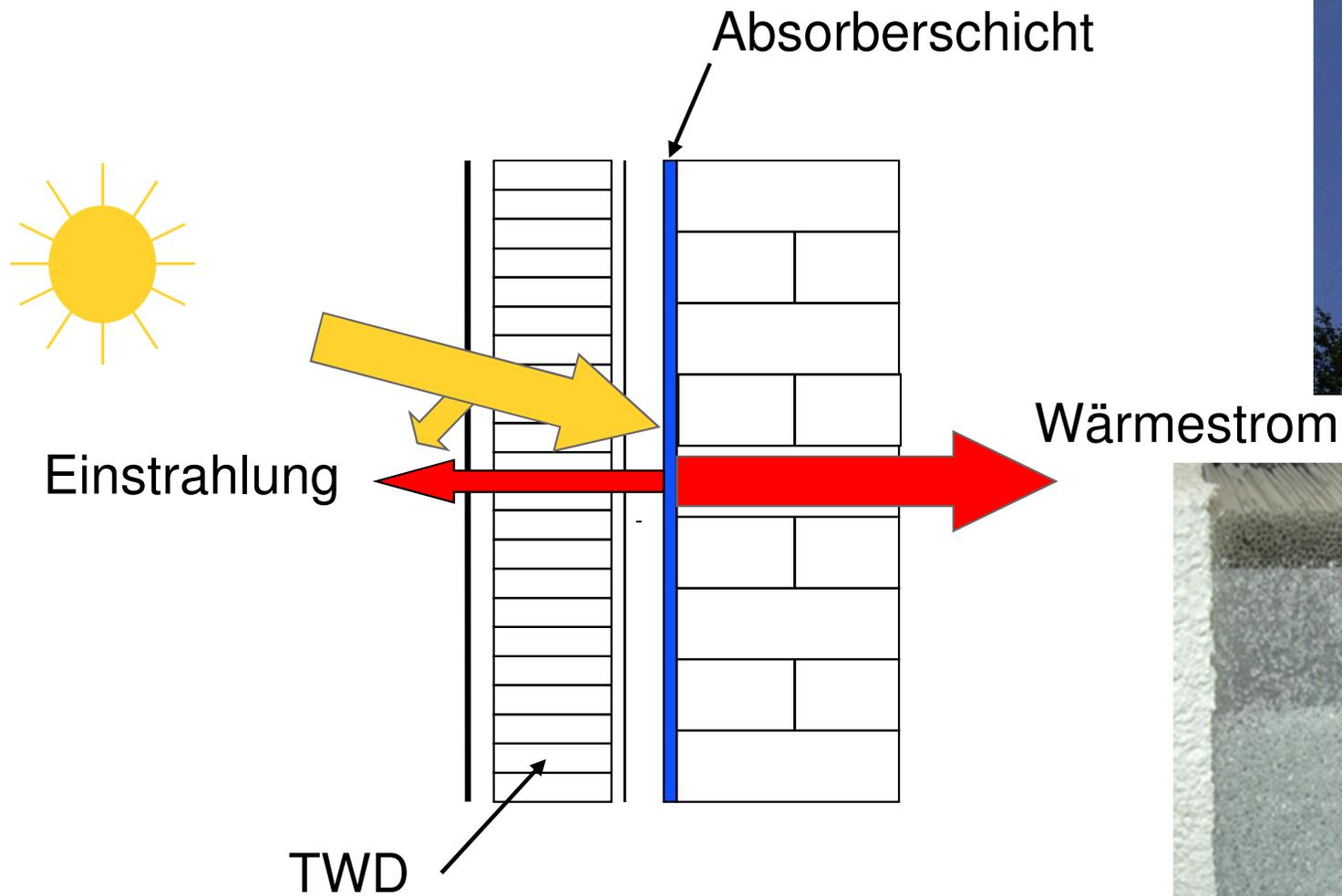
⇒ ausgeglichene Energiebilanz über Heizperiode auch an Nordfassade

# TWD – Passive Solarenergienutzung



ZAE BAYERN

Bayerisches Zentrum  
für Angewandte  
Energieforschung

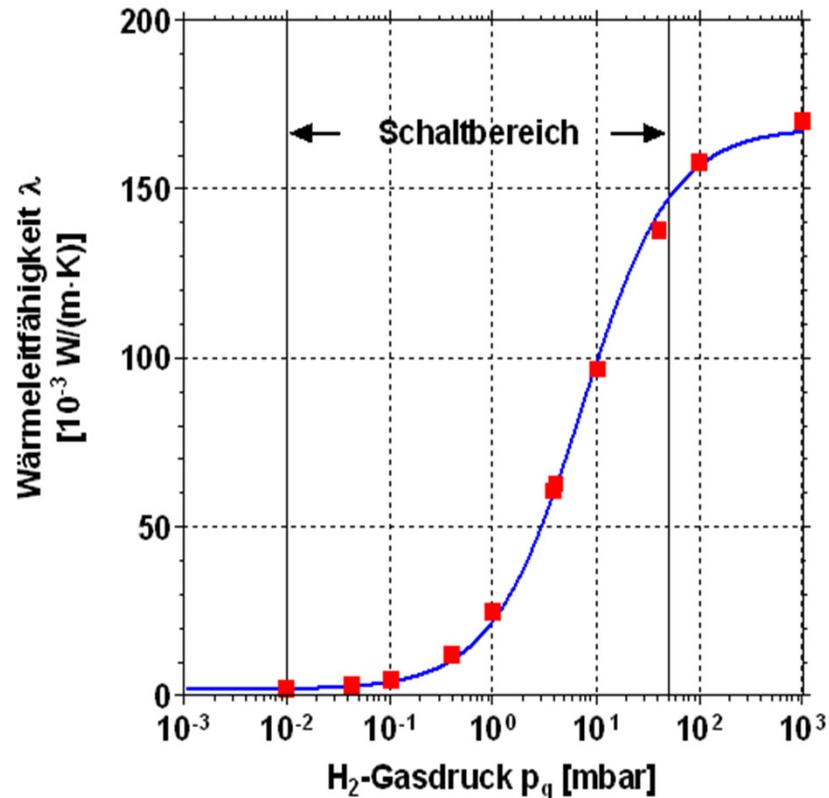


# Schaltbare Wärmedämmung (SWD)



ZAE BAYERN

Bayerisches Zentrum  
für Angewandte  
Energieforschung



Schaltbare Wärmedämmung (SWD) basiert auf einem Vakuumisulationspanel VIP mit Edelstahlhülle und Glasfaserfüllung und integriertem Metallhydridgetter



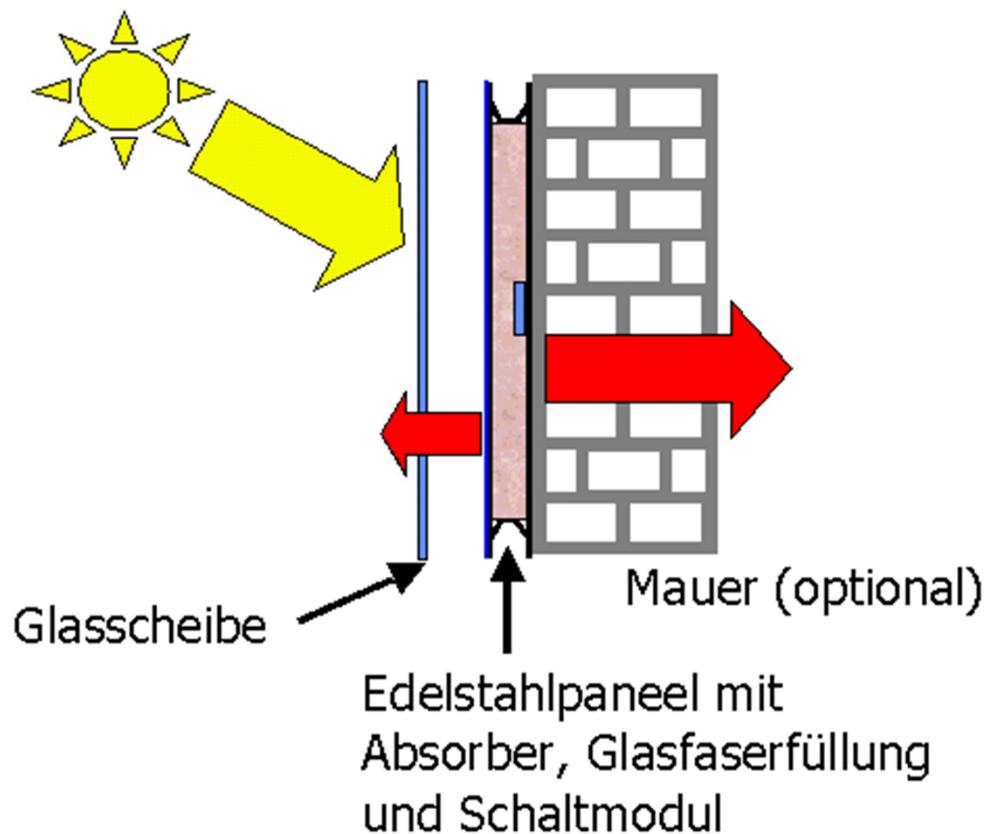
Aufheizen des Getters → Wasserstoff wird freigesetzt → die Wärmeleitfähigkeit im VIP um ca. Faktor 100 erhöht. Der Vorgang ist reversibel.

# Schaltbare Wärmedämmung (SWD)

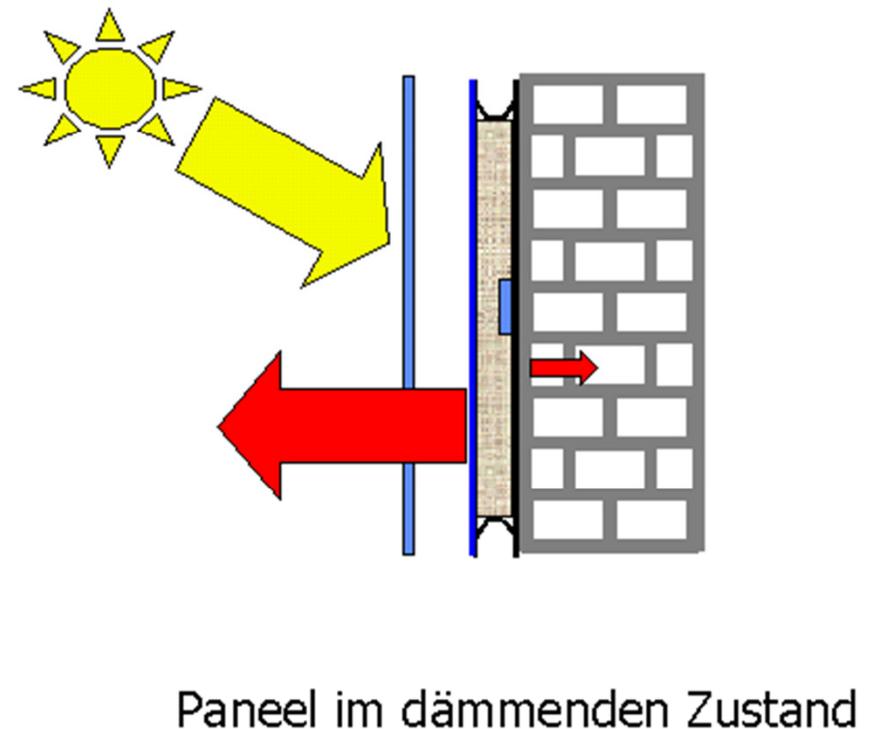


ZAE BAYERN  
Bayerisches Zentrum  
für Angewandte  
Energieforschung

## Wärmeleitbetrieb (Heizperiode und Sonne)



## Dämmbetrieb (zu allen anderen Zeiten)



# Was bringt die Zukunft?



ZAE BAYERN

Bayerisches Zentrum  
für Angewandte  
Energieforschung

- Steigender Bedarf an Dämmstoffen/-systemen insbesondere für Maßnahmen im Bestand
- Ökologische Dämmstoffe  
nachwachsende Rohstoffe, Recycling von Rohstoffen
- Nanostrukturierte Schäume (Silika-Aerogele)
- Organische nanostrukturierte Schäume
- Vakuumisulationspaneele
- Integrierte funktionelle Dämmsysteme

# Danksagung



**ZAE BAYERN**

Bayerisches Zentrum  
für Angewandte  
Energieforschung

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/Technologie/Energie):  
Projekt „**Entwicklung von vakuumgedämmten Betonfertigteilen**“, Fkz.: 0327 321C  
Projekt „**...energ. Sanierung Gemeindezentrum „guter Hirte“ ...**“, Fkz.: 0329 750R  
Projekte „**Koordinationsstelle für die nationalen Tätigkeiten zum Annex 39  
`High Performance Thermal Insulations for Buildings` der Internationalen  
Energieagentur (IEA)**“ und „**VIP-Testmethoden**“, Fkz.: 0327 321E  
Projekt „**VIG-Vakuumisolierglas**“, Fkz.: 0327 366 , 0327 419 und 03ET1147A  
  
Projekt: „**VIP-PROVE, ... Wissenschaftl. Begleitforschung**“, Fkz.: 0327 321N  
Projekt „**DEENIF**“, „**MoniReserach**“, Fkz.: 0327879A und 03ET1245A



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Technologie

Hinweis: siehe auch [www.vip-bau.de](http://www.vip-bau.de)



# FORSCHUNGSPLOTTFORM „ENERGY EFFICIENCY CENTER“



ZAE BAYERN

Bayerisches Zentrum  
für Angewandte  
Energieforschung



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



MIT SONNE UND VERSTAND.

© ZAE Bayern



**ZAE BAYERN**

Bayerisches Zentrum  
für Angewandte  
Energieforschung