

Evakuierte Isolationen im Überblick

Ulrich Heinemann

Hubert Schwab, Andreas Beck, Jochen Fricke

Vortrag im Rahmen der Fachtagung

“Vakuumdämmung in der baulichen Anwendung”

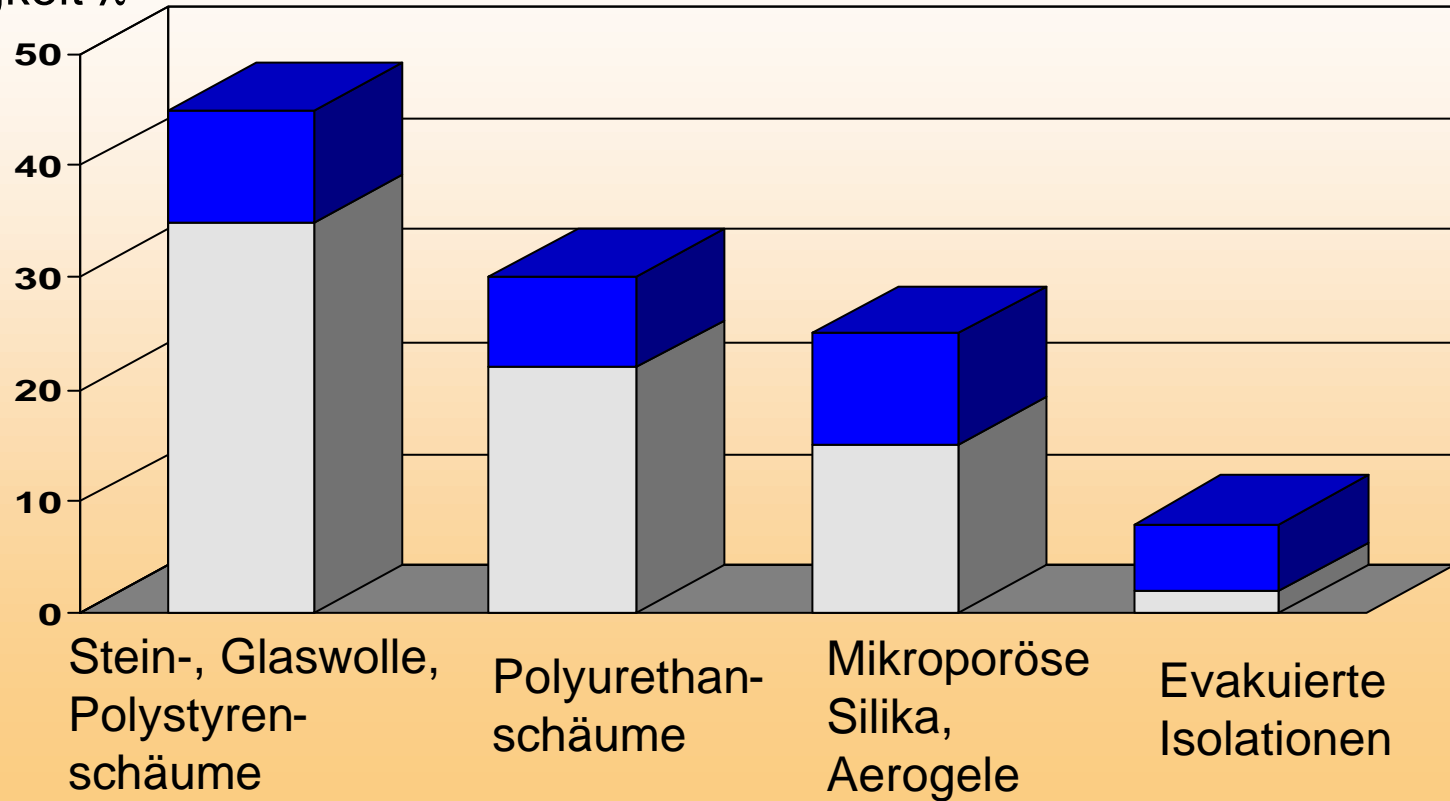
Rostock-Warnemünde 10./11. Juli 2003

Energieeinsparung durch bessere Isolierung

- dickere Isolation
- geringere Wärmeleitfähigkeit

Wärmeleitfähigkeit λ

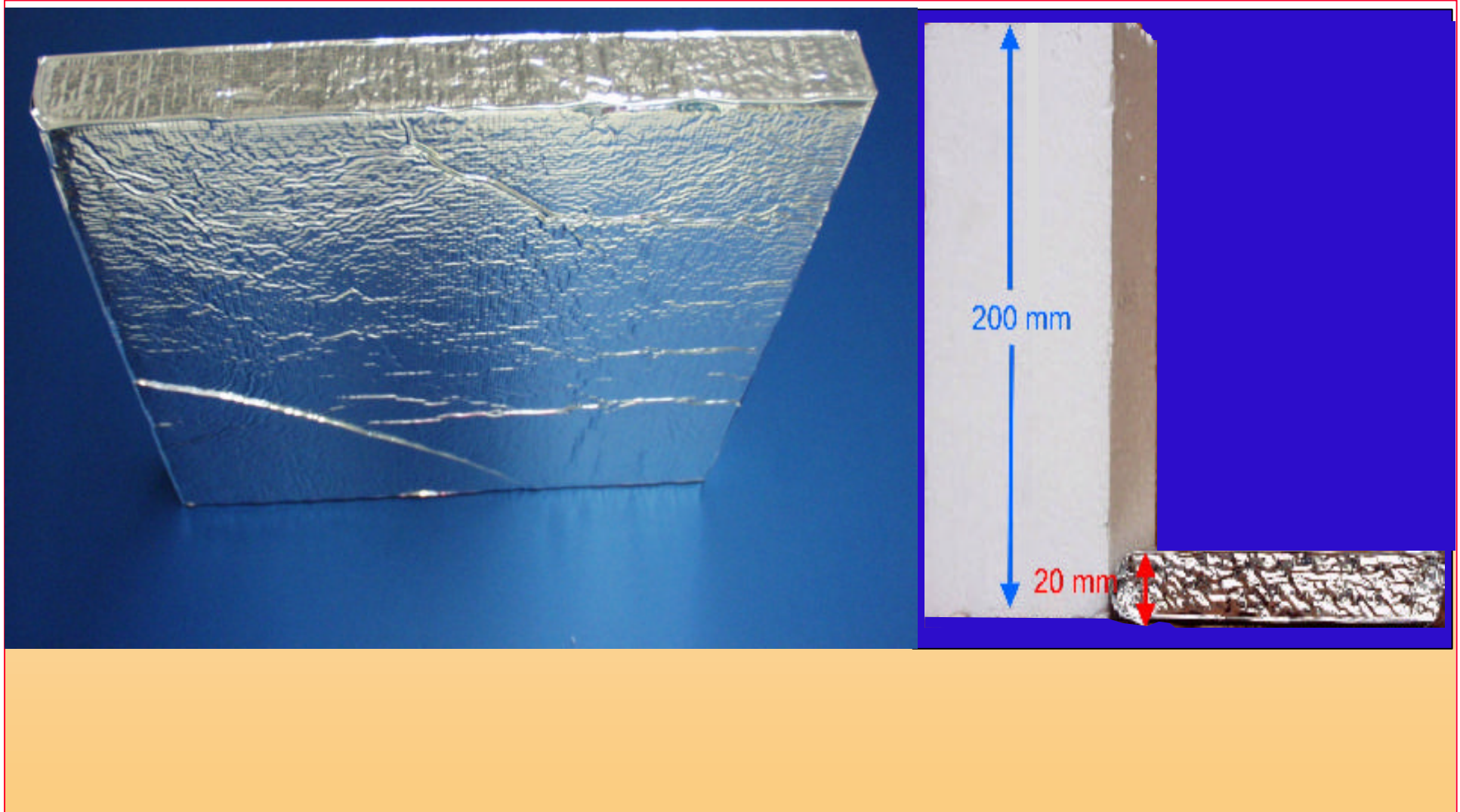
$$\left[10^{-3} \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \right]$$



Vakuum Isolations Paneel mit Hochbarriere-Folie



ZAE BAYERN



Vakuum Isolationen

zylindrische Gefäße

flache Paneele

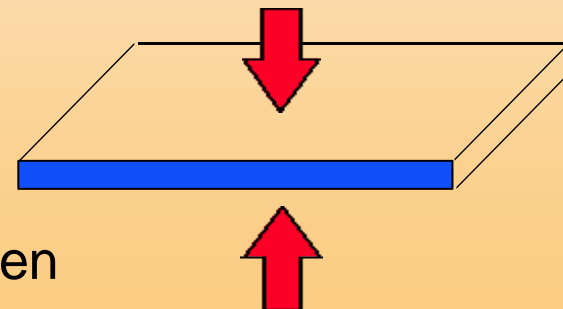
Vakuum-Isolations-Paneele (VIP)

Folien, Wände
mit geringer Emissivität

Druck tragendes Füllmaterial



Kryogefäße,
Thermoskannen



Last:
"10 Tonnen pro
Quadratmeter"

Anwendungen



- Kühl- und Gefrierschränke
- Latentwärmespeicher für Fahrzeuge
- Hochtemperatur-Batterien für Fahrzeuge
- Kühlfahrzeuge, Kühlzellen oder Kühlhäuser
- Heißwasserbehälter
- **Gebäude**
- Solar-Anwendungen

Der prinzipielle Weg



Um eine evakuierte Isolation herzustellen:

- entferne die enthaltenen Gase
- halte sie evakuiert

VIP = Füllmaterial + Hülle
(Material oder Struktur)

Anforderungen:

- evakuierbar
d.h. offen-porig
- druckbelastbar
- `sauber`
(kein Ausgasen)

`Vakuum-dicht`

- Glas- oder Mineralfasern
- Pulver, Aerogele z.B.
 - Perlite
 - Fällungs-
 - pyrogene Kieselsäuren
- offen-porige Schäume z.B.
 - Polystyren
 - Polyurethan
 - Polyimid

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

λ : Wärmeleitfähigkeit

λ_s : Festkörperleitung (Struktur, Dichte, Belastungsdruck)

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

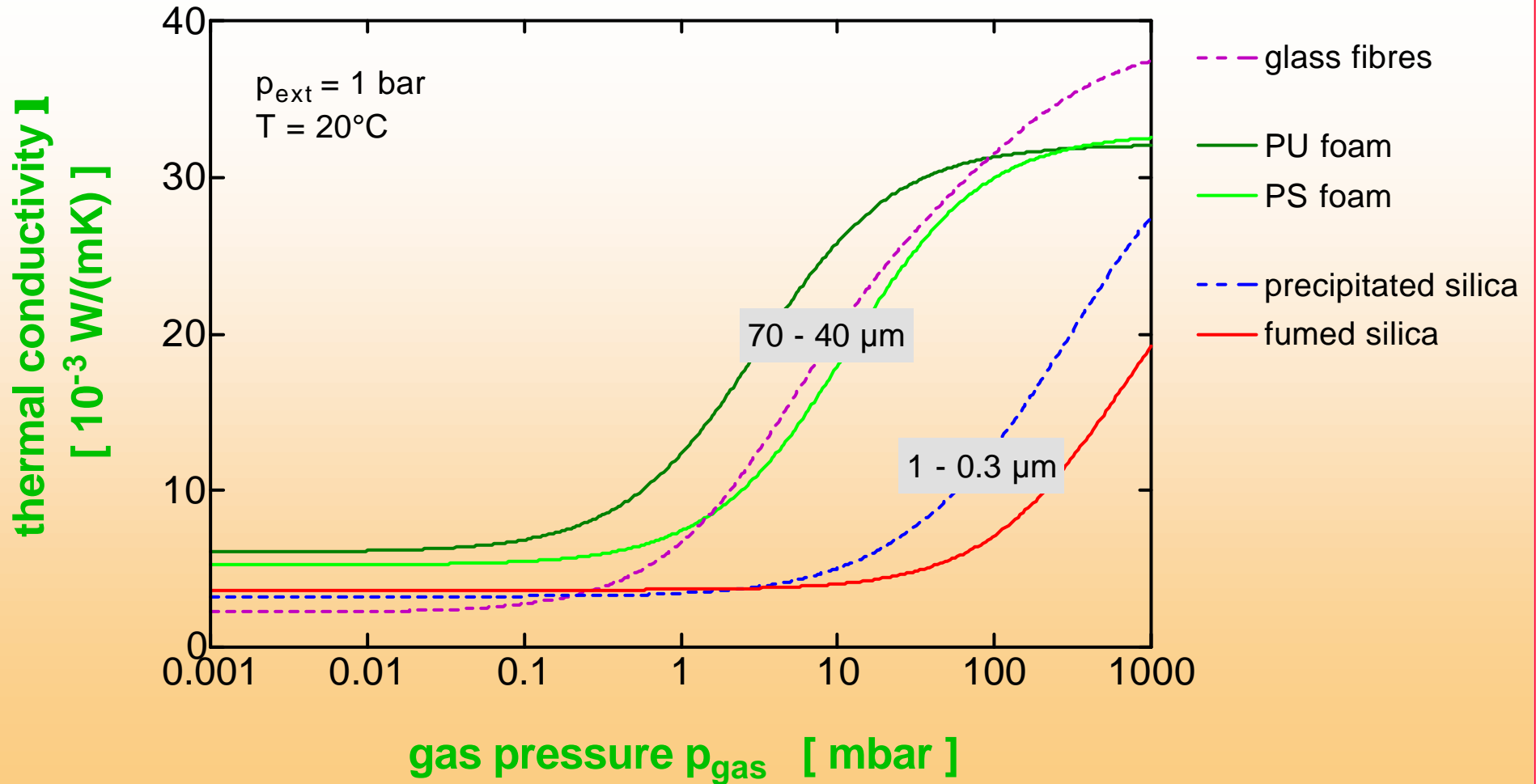
λ_g : Gasleitung (Gasart, Porosität, Struktur, Porengröße)

λ_c : Kopplungsterme (λ_s, λ_g)

Minimierung der einzelnen Wärmetransportpfade:

- Festkörperleitung λ_s → geringe Dichte, punktförmige Kontakte
- Wärmestrahlung λ_r → hohe Dichte, hohe spezifische Extinktion im IR
- Gaswärmeleitung λ_g → kleine Poren

Wärmeleitfähigkeit



UHei Jan.02



Wärmetransport weitgehend verstanden



mehrere Typen von Füllmaterialien sind für die Anwendung in VIPs optimiert

Nach der Herstellung eines VIPs verändert sich der interne Gasdruck durch

- Eindringen verschiedener Gase durch die Hülle
- De- und Adsorption von Gasen von/im Füllmaterial

Hülle aus Glas oder Metall:

- ausreichend dicht für alle Füllmaterialien
- umfangreiche Erfahrungen aus dem Bereich der Vakuumtechnik bei zylindrischen „drucktragenden“ evakuierten Isolationen, wie Thermos- und Kryogefäße

Hülle aus metallisierten Kunststofffolien:

- Permeation durch die Folie
proportional - zur Größe der Oberfläche,
- Permeation durch die Siegelnähte
proportional - zur Länge der Siegelnähte,
- zur Dicke des Siegelschichten,
- zum Permeationsvermögen des Siegelmaterials

Im allgemeinen kann das Permeationsvermögen beschrieben werden als Produkt der Löslichkeit S und der Diffusivität D :

$$P = S \cdot D$$

Für jedes Gas (H_2O , O_2 , N_2) hängen diese ab von:

- Temperatur
- relativer Feuchte
- treibender Kraft (Partialdruck-Gradient)
- Dicke

Permeation von VIP-Hüllen



in der Theorie:

man nehme die Daten für die (ungestresste) Folie und das Siegelmaterial und berechne die totale Permeationsrate

in der Praxis von VIPs:

findet man größere Permeationsraten,
insbesondere solche proportional zur Länge der Kanten

Erhöhte Permeationsraten ergeben sich aufgrund von:

- Verletzungen im Aufbau der Folien, insbesondere aufgrund von mechanischem Stress
- Inhomogenitäten oder Fehler in der Siegelung (Korrektur Temperaturprozess? Druck? Zeit?)
- Verunreinigung der Siegelnaht mit Pulver oder Fasern
- Falten

- Starke Abhängigkeit der Permeationsraten von Temperatur und relativer Feuchte
- Ob die Permeationsraten ausreichend niedrig sind, hängt somit auch von den klimatischen Bedingungen in der praktischen Anwendung ab!

mögliche zusätzliche Probleme:

- Korrosion und Delamination
- Degradation der Folien und Siegelnähte, z.B. durch Kristallisation der Polymere ?



Southern facade

architect: Prof. Volz / Obernburg

picture: © Dieter Leistner

Northern Façade



architect: Prof. Volz / Obernburg

picture: © Dieter Leistner

Zusammenfassung



- In Vakuum-Isolations-Panelen können extrem niedrige Wärmeleitfähigkeiten erreicht werden: 0,002 bis 0,008 (W/mK).
- Nanostrukturierte Materialien ermöglichen den Einsatz von Kunststoffbarrierefolien für VIPs mit einer rechnerischen Funktionsdauer von mehr als 50 Jahren.
- In Verbindung mit Metall- oder Glashüllen können auch Füllmaterialien mit gröberen Porenstrukturen eingesetzt werden.
- Hieraus ergibt sich ein enormes Potenzial zu Reduktion der CO₂-Emission, für viele verschiedene Anwendungen im Neubau, insbesondere auch bei der Altbausanierung.