

Auswirkung ausfrierender Gase auf die Wärmeleitfähigkeit von Dämmmaterialien

- Experimentelle Ergebnisse zum Einfluss abgeschiedener Füllgase -

M. Geisler, J. Wachtel, J. Hoffmann, H.-P. Ebert

**Bayerisches Zentrum für Angewandte
Energieforschung (ZAE Bayern), Würzburg**

**5. März 2010, Karlsruher Institut für Technologie Institut für
Materialforschung I, Eggenstein-Leopoldshafen**

- 1. Motivation**
- 2. Theorie**
- 3. Proben**
- 4. Experimenteller Aufbau**
- 5. Ergebnisse + Diskussion**
- 6. Zusammenfassung**

Wie kann man eine evakuierte Kryodämmung herstellen?

1. (Mechanisches) Abpumpen oder

2. Ausfrieren der Füllgase (Desublimations-Evakuierung)
→ “selbst-evakuierendes System”

Welchen Einfluß haben die abgeschiedenen Füllgase auf die Wärmeleitfähigkeit?



Anwendung:

Desublimations-Evakuierung der Füllgase in porösen Dämmstoffen stellt eine vielversprechende Technik für lange Kryo-Transferleitungen dar:

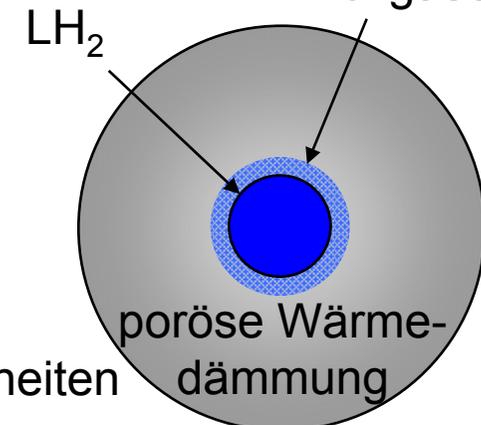
Wärmeeintrag vergleichbar mit kommerziell erhältlichen Kryo-Transferleitungen mit MLI ($\sim 1 \text{ W/m}$)

mutmaßliche
Vorteile:

- geringere Installationsarbeit und -zeit
- höhere Flexibilität im nicht-evakuierten Zustand
- keine Ventile erforderlich
- sehr große Leitungslängen möglich
- geringerer Wartungsaufwand
- geringere Empfindlichkeit gegenüber Restgasen und Unreinheiten
- Kostensenkung



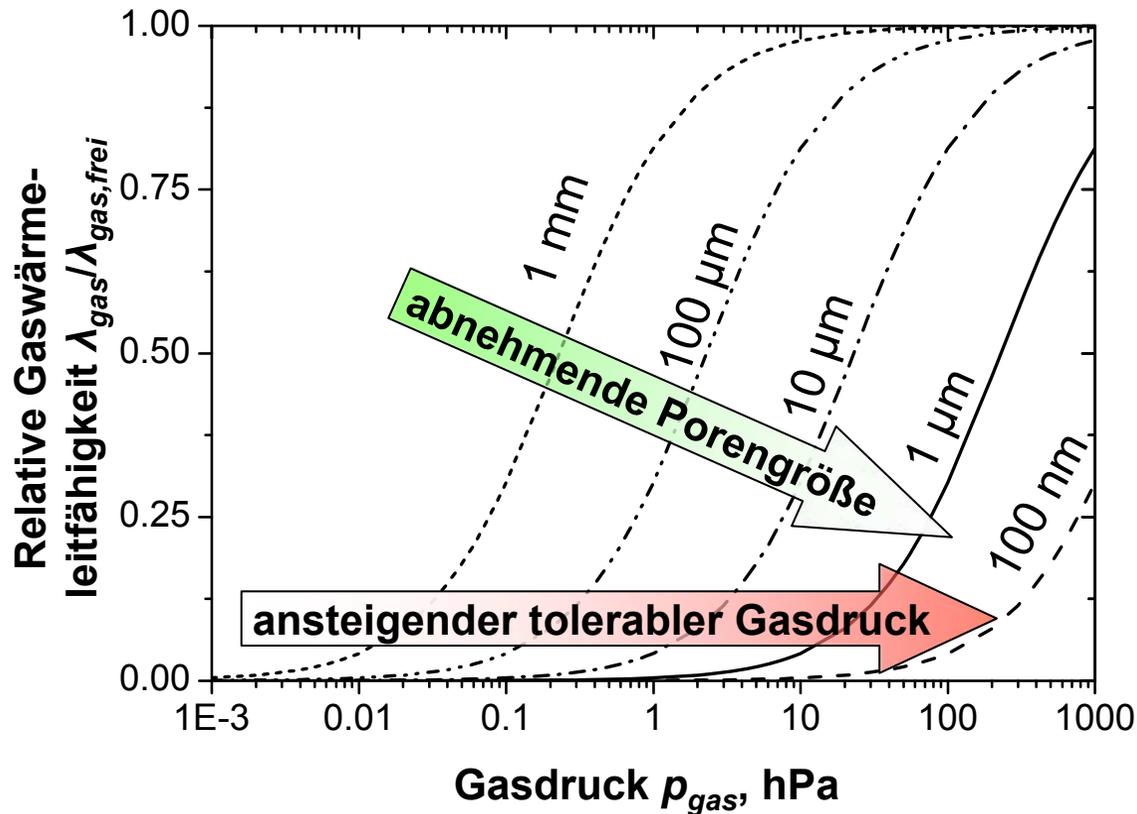
abgeschiedene
Füllgase



Gesamtwärmeleitfähigkeit:

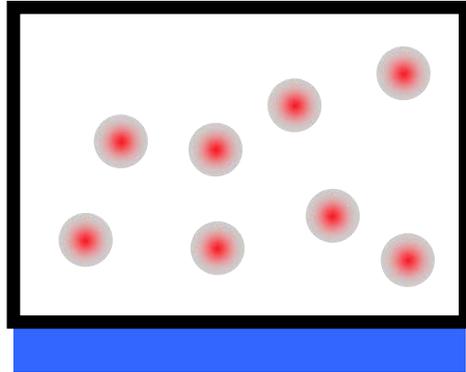
$$\lambda_{\text{total}} = \lambda_{\text{solid}} + \lambda_{\text{rad}} + \lambda_{\text{gas}}$$

$$\lambda_{\text{gas}}(p_{\text{gas}}) \sim \lambda_{\text{gas,free}} \cdot \left(1 + \frac{\text{const}}{\text{pore diameter} \cdot p_{\text{gas}}} \right)^{-1}$$

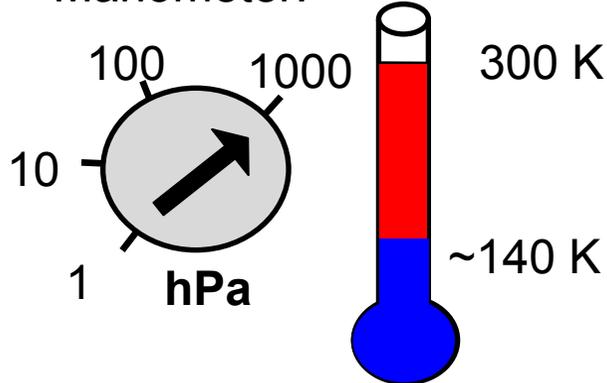


Theorie der Desublimations-Evakuierung

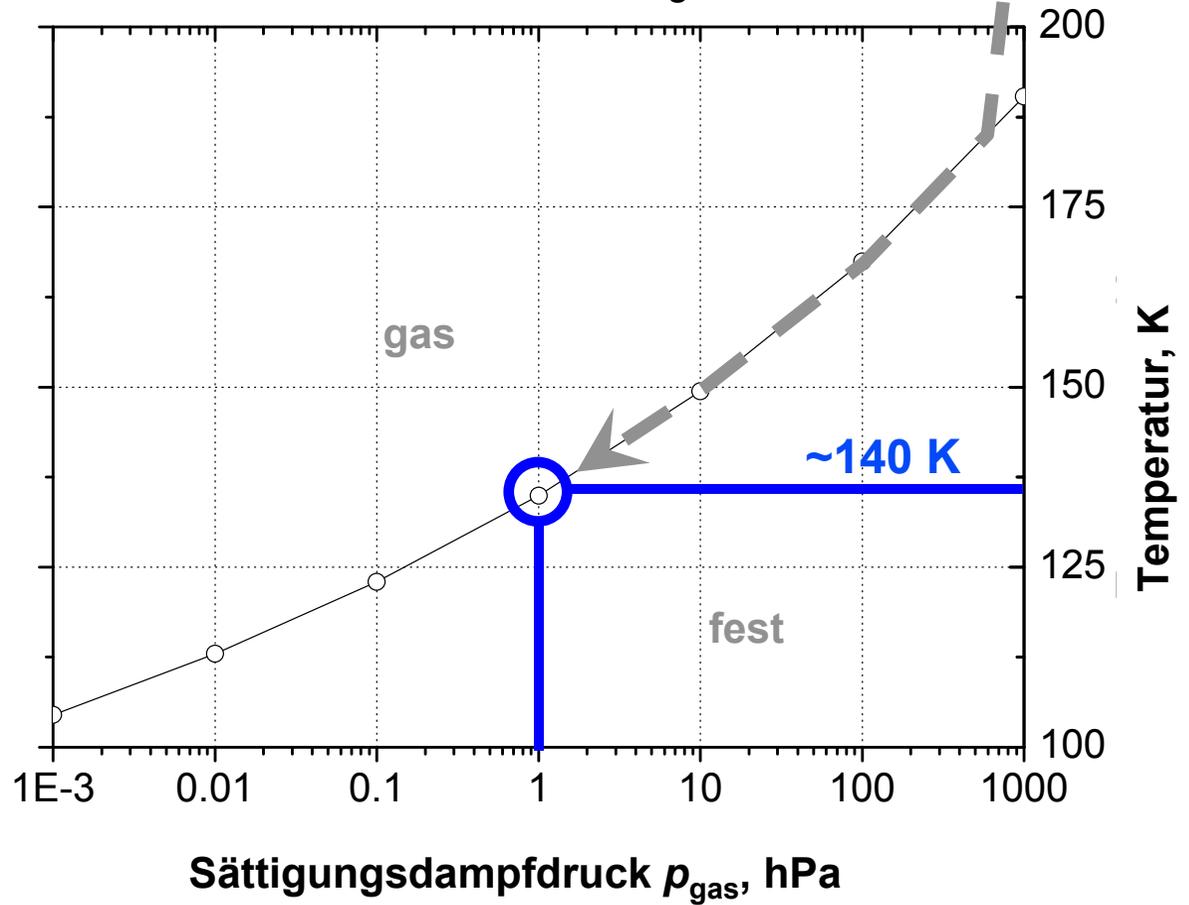
Füllgas = CO₂



Manometer:



Sättigungsdampfdruck $p_{\text{gas}}(T)$ für CO₂

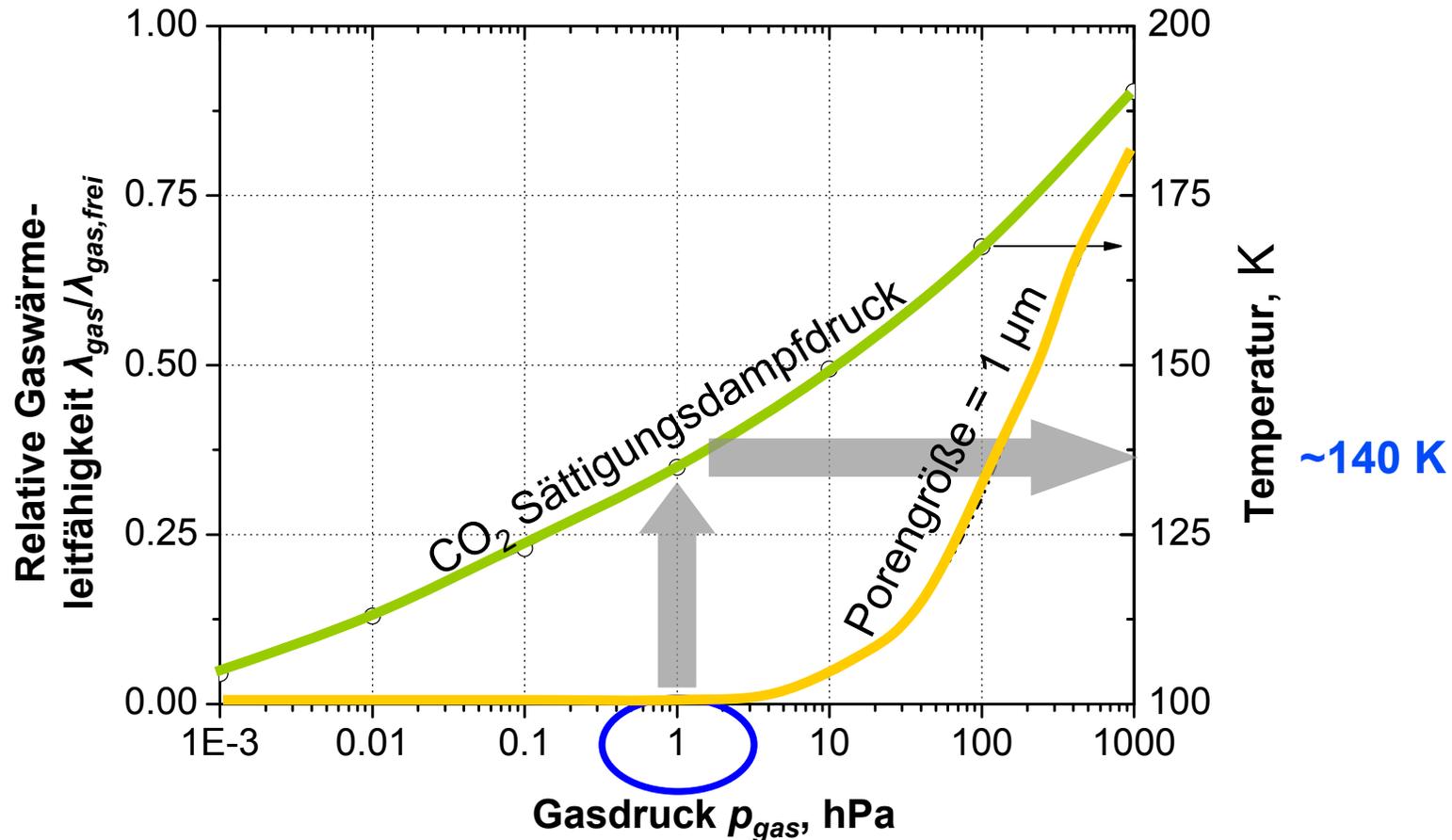


Theorie der Desublimations-Evakuierung

$$\lambda_{\text{total}} = \lambda_{\text{solid}} + \lambda_{\text{rad}} + \lambda_{\text{gas}}$$

The equation shows the total thermal conductivity as the sum of solid, radiation, and gas components. The λ_{solid} term is circled in red, and the λ_{gas} term is crossed out with a dotted line.

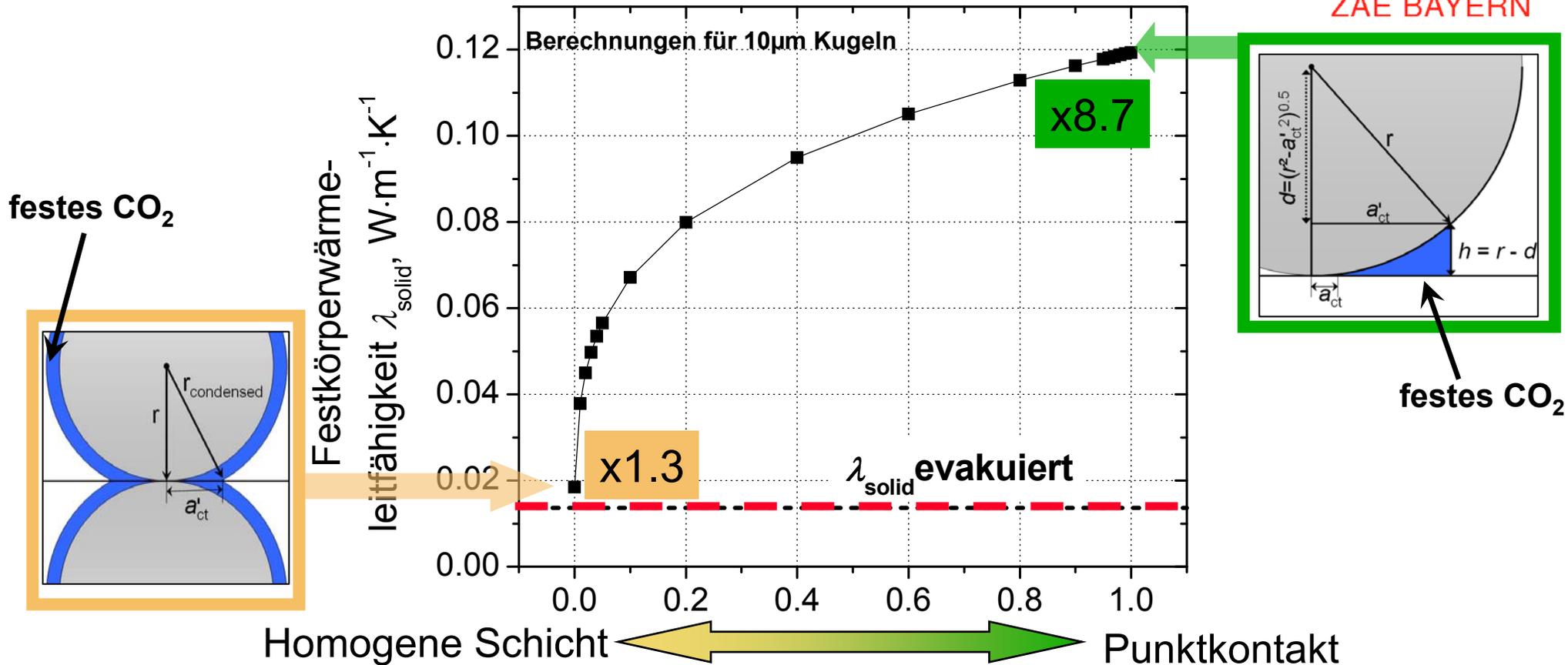
Welchen Einfluß haben die abgeschiedenen Füllgase auf die Wärmeleitfähigkeit?



λ_{solid} -Modell für Vollglaskugeln



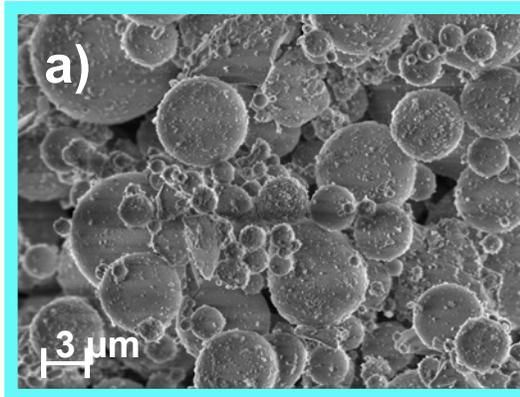
ZAE BAYERN



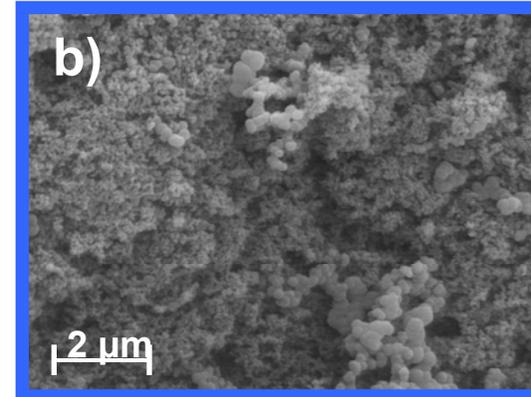
Ergebnisse:

Evakuiertes System	Homogene Schicht - Abscheidung	Kontaktpunkt - Abscheidung
$0.014 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$	$0.019 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$	$0.120 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$

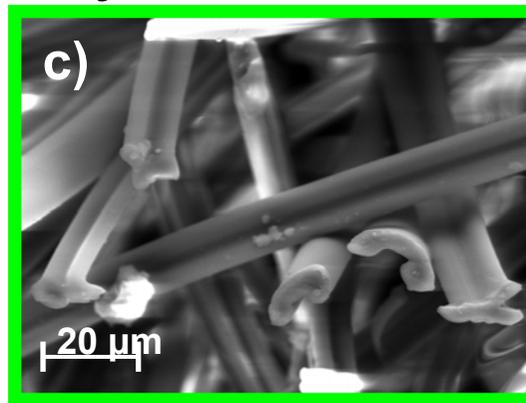
Vollglaskugeln



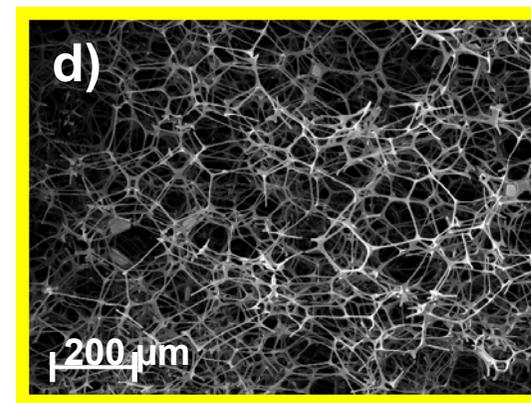
getrübte Kieselsäure



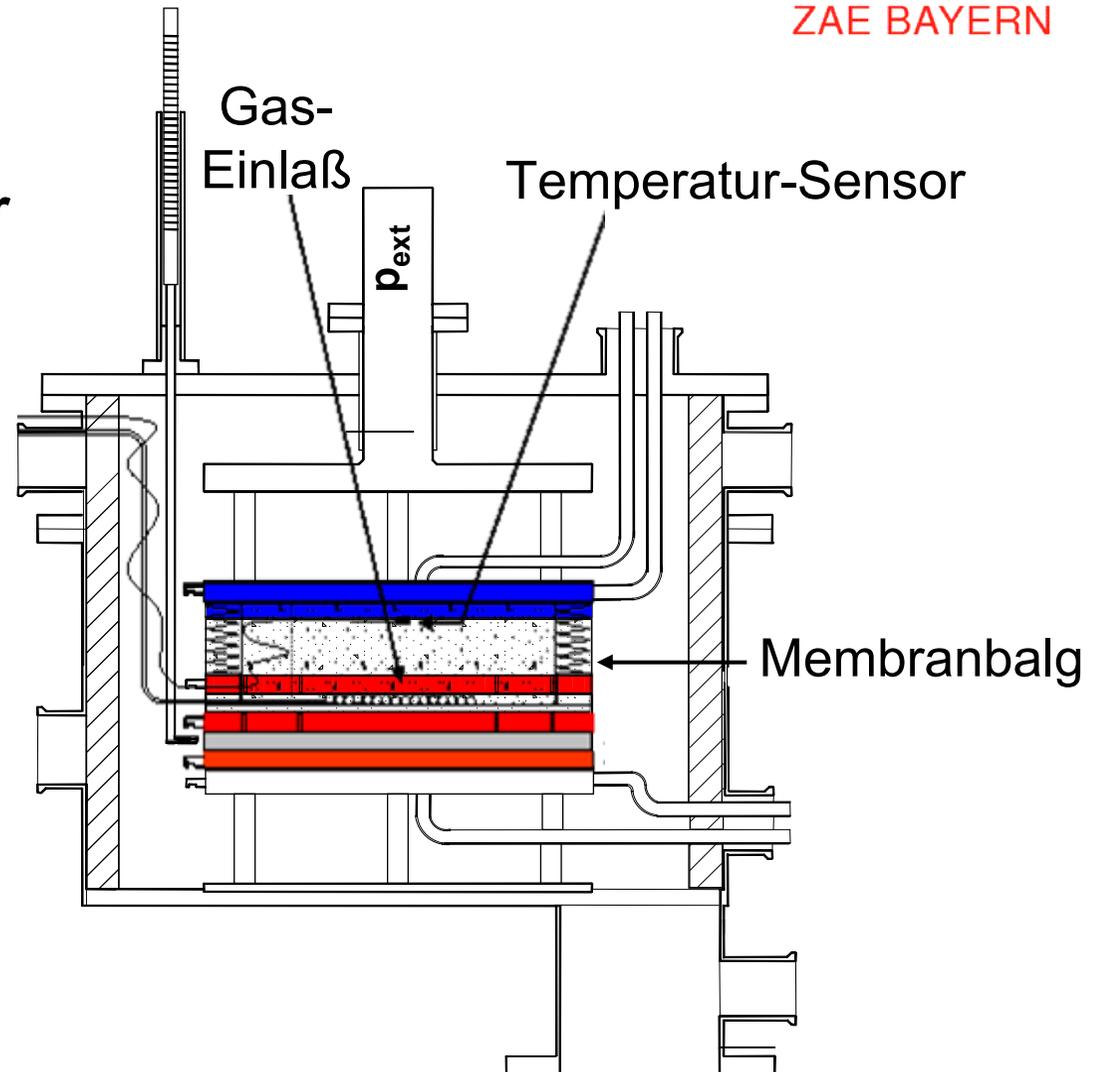
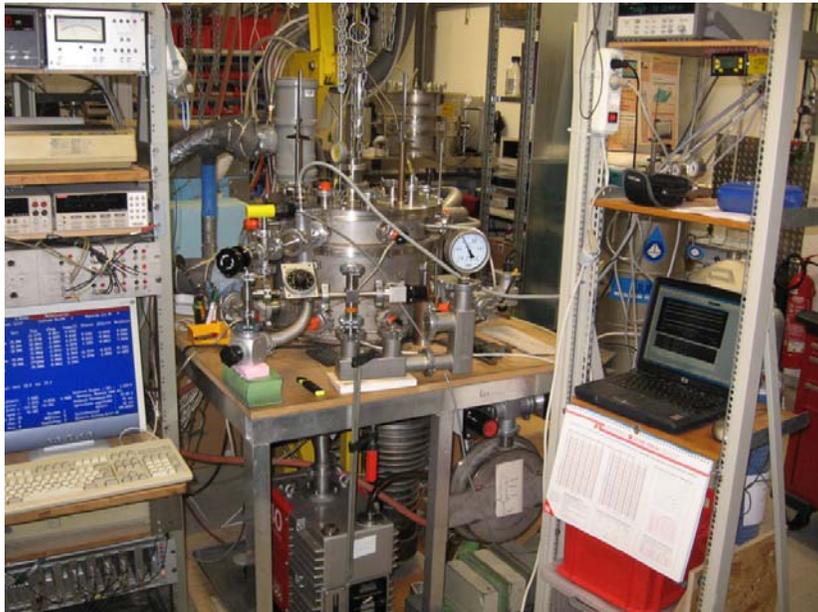
Polyimid-Fasern



Melaminharzschaum



modifizierte Plattenapparatur

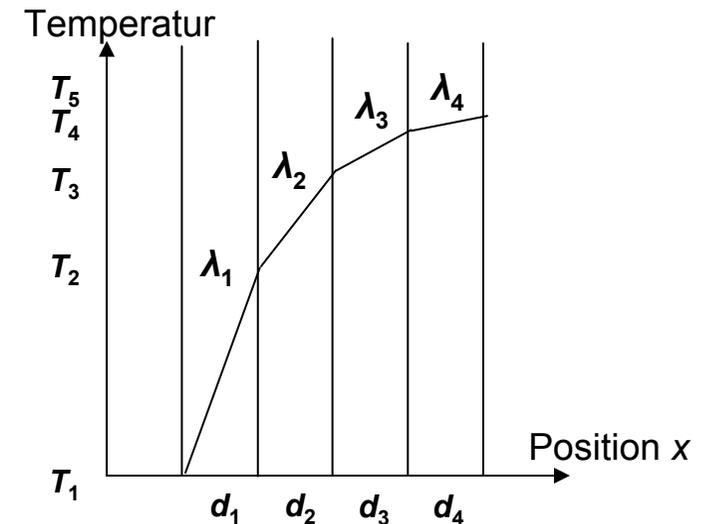
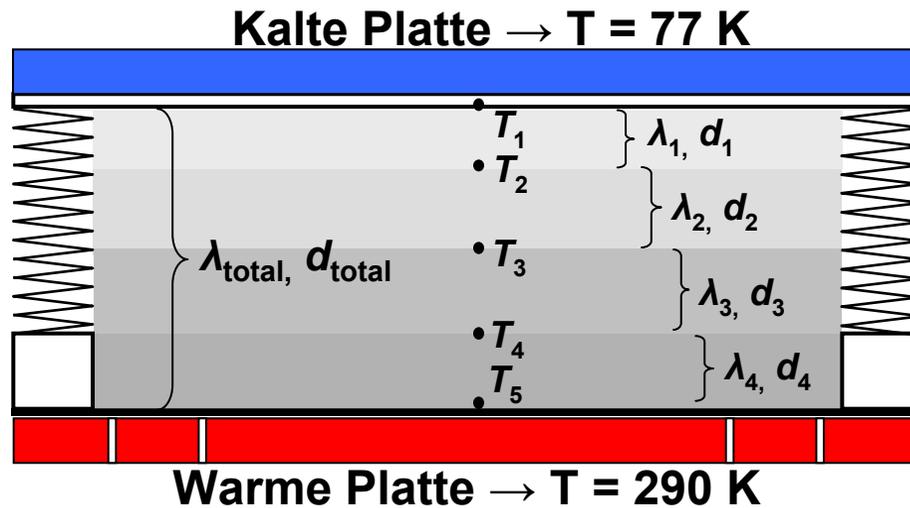
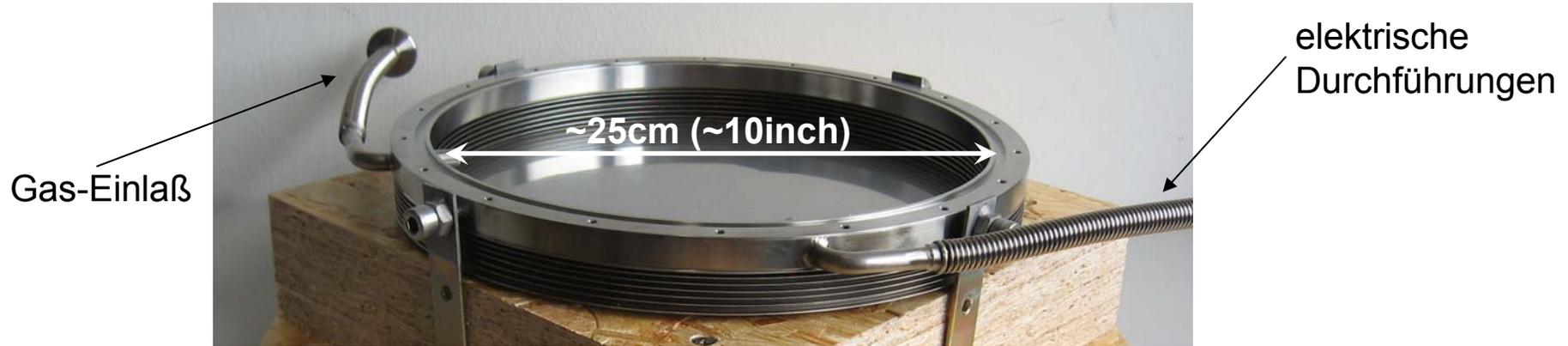


Experimenteller Aufbau



ZAE BAYERN

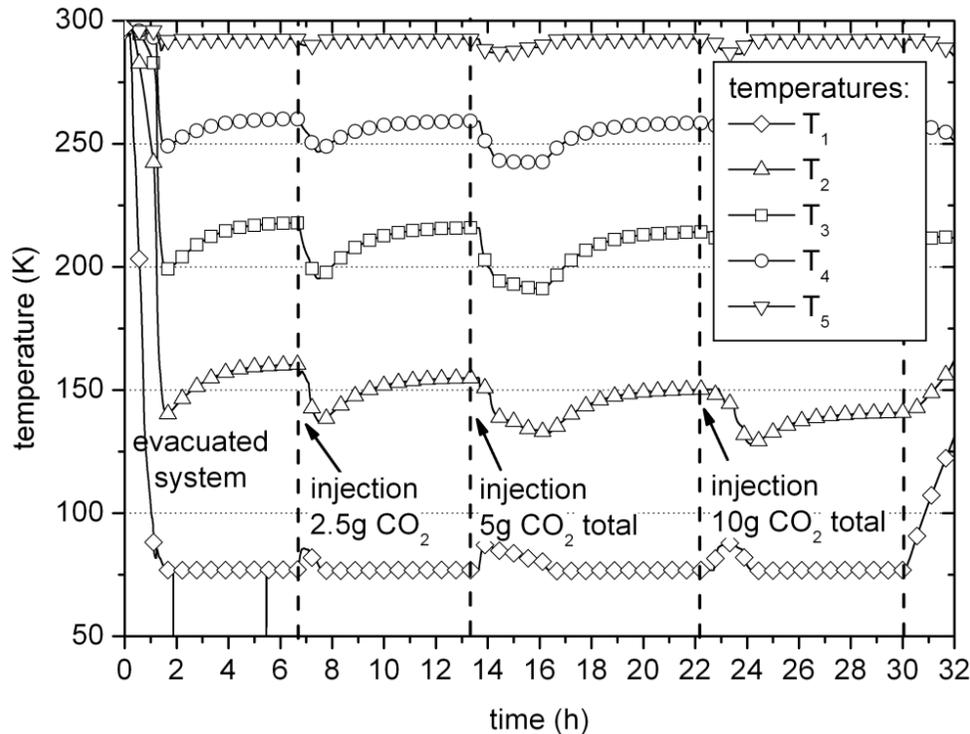
Flexibler, wiederverschließbarer und gasdichter Membranbalg



Method I

(Gas-Injektion in die kalte und evakuierte Probe)

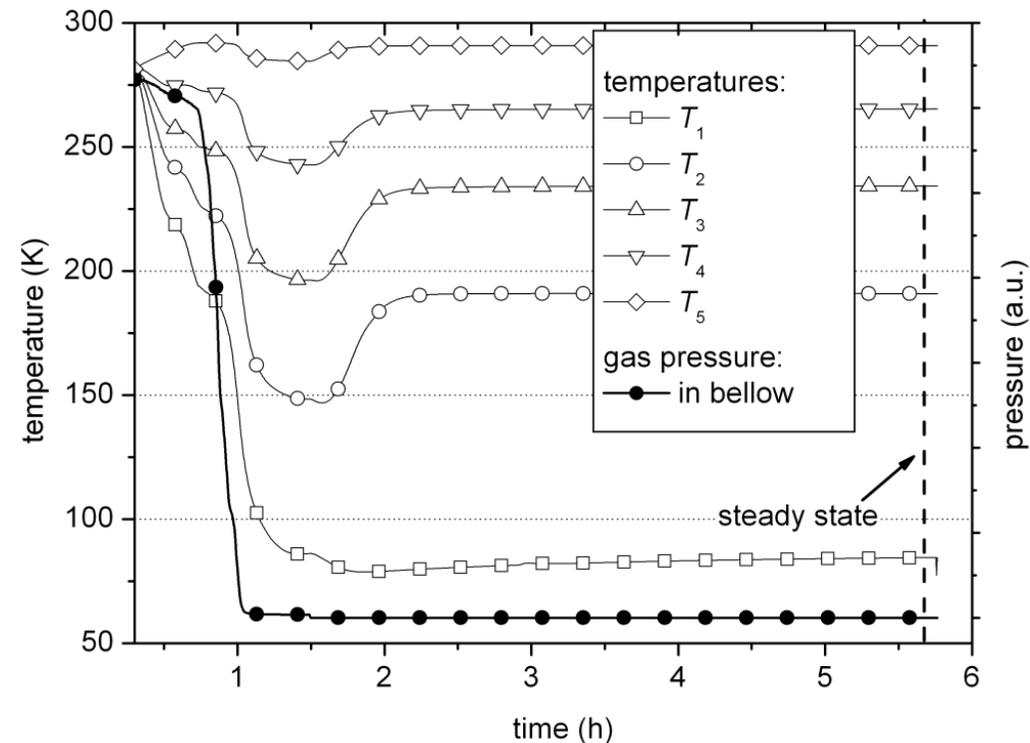
1. Abkühlen
2. Injektion von CO₂



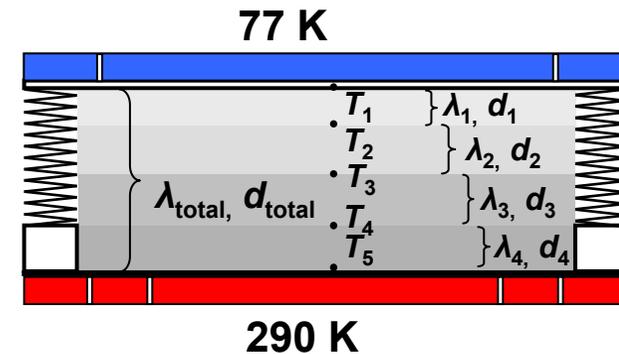
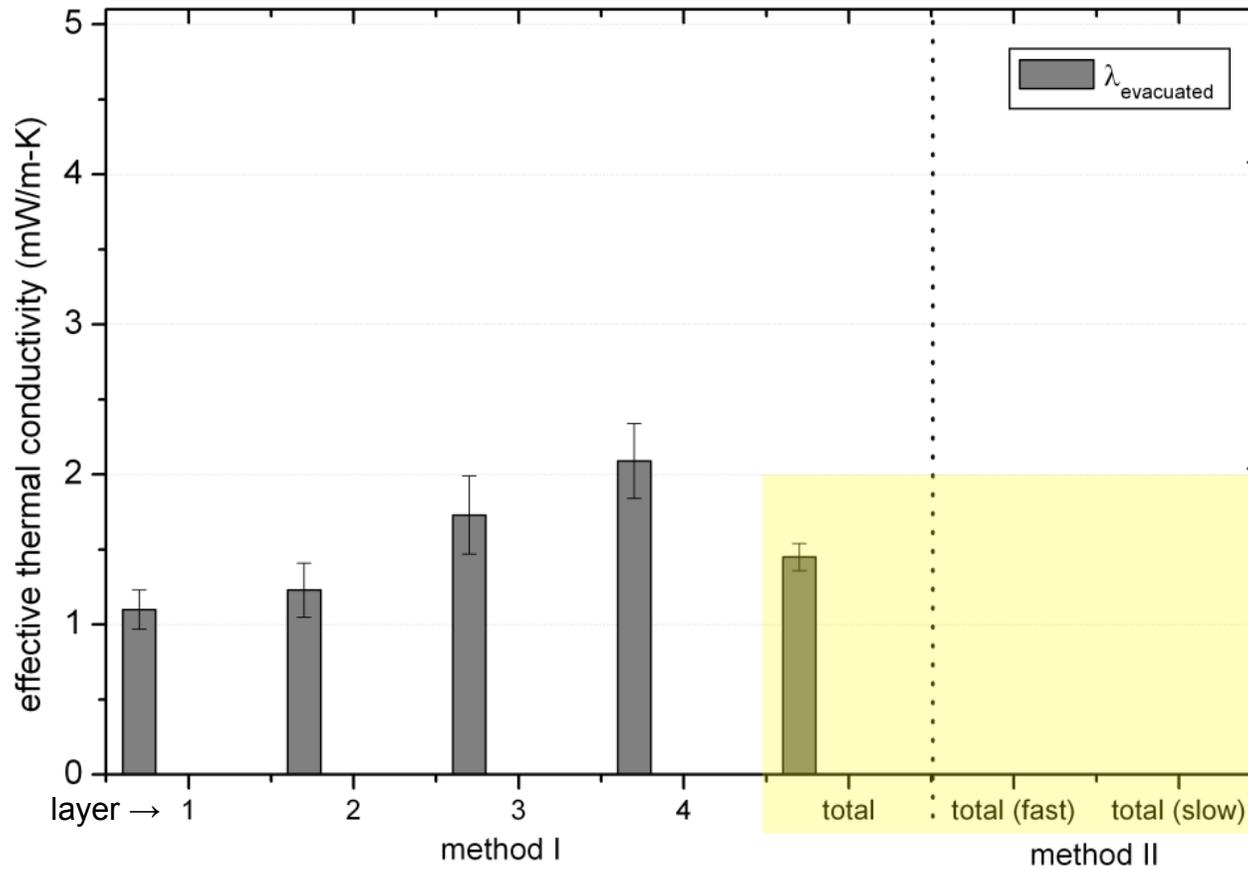
Method II

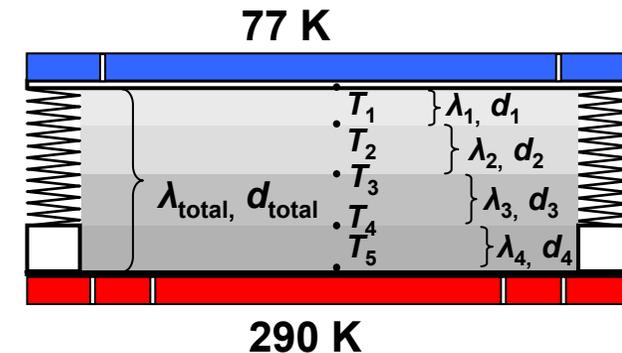
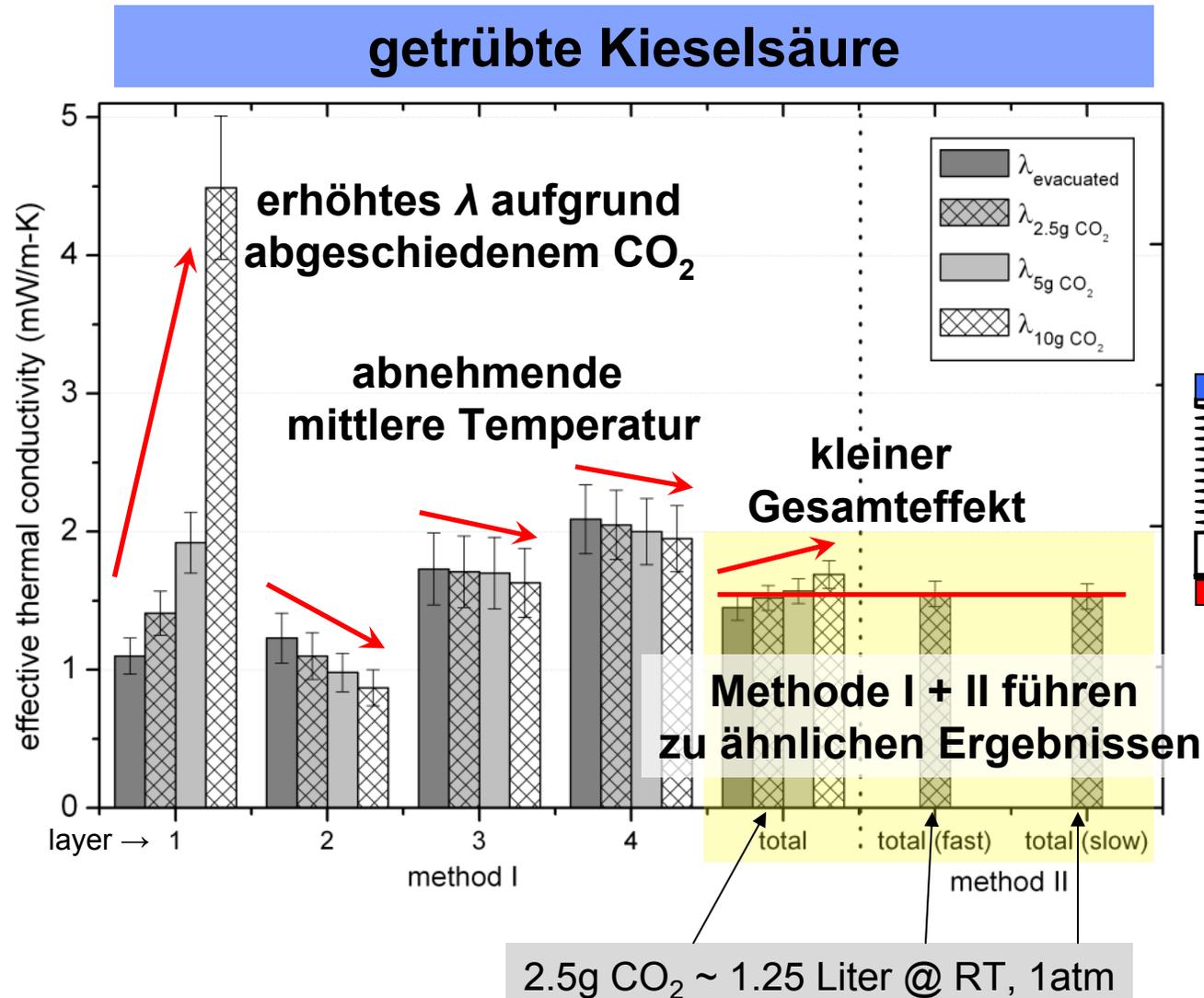
(Abkühlen mit Füllgas)

1. Injektion von CO₂
 2. Abkühlen
- slow 1-2 K/min
fast 5-10 K/min



getrübte Kieselsäure

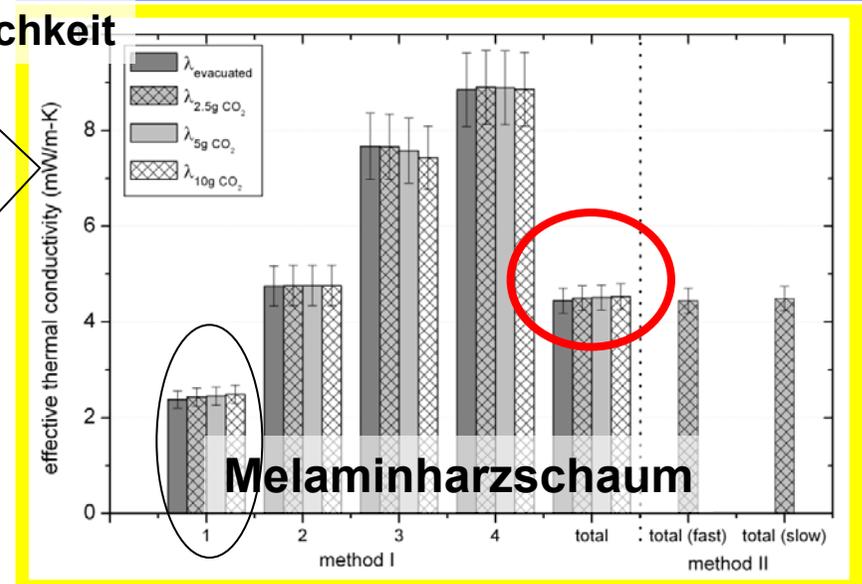
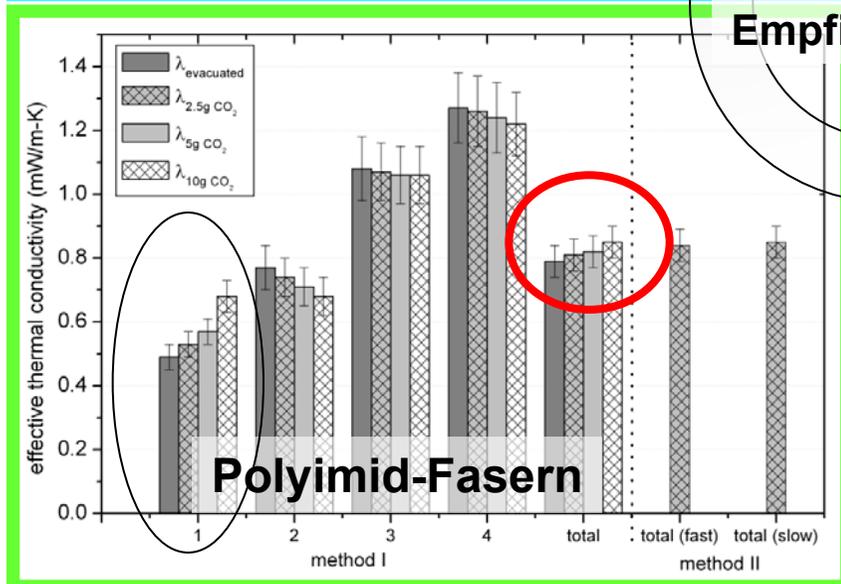
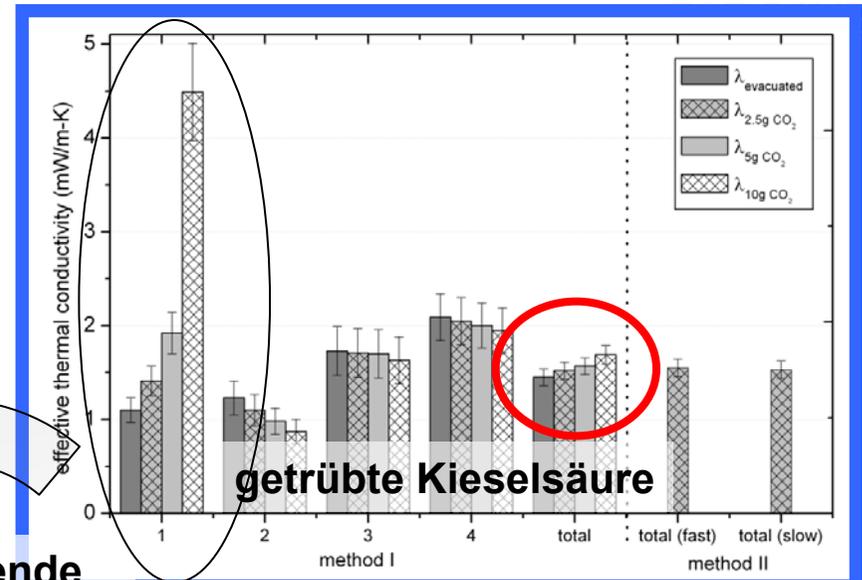
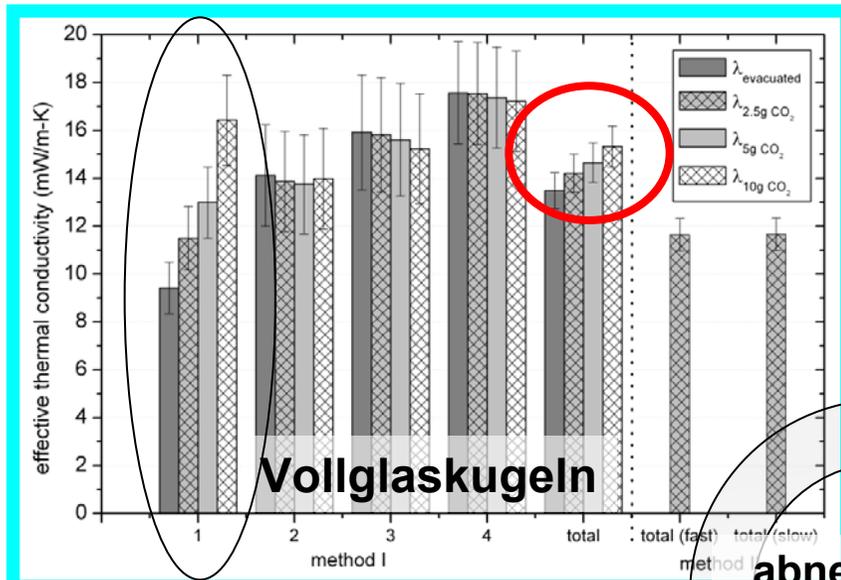




Ergebnisse + Diskussion

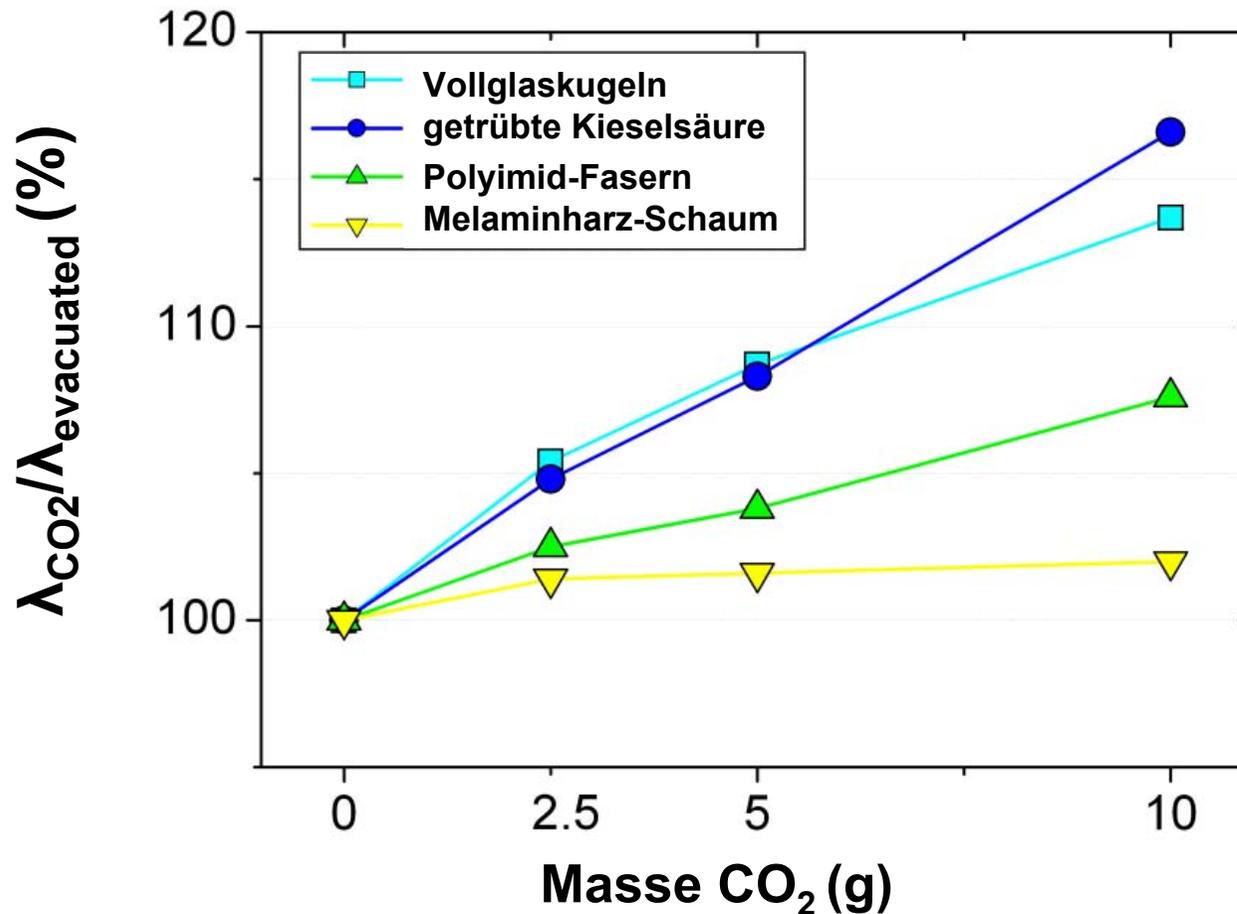


ERN



abnehmende Empfindlichkeit

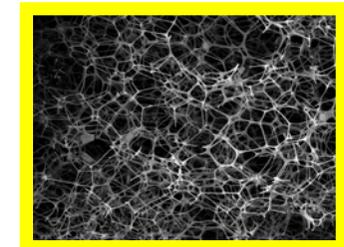
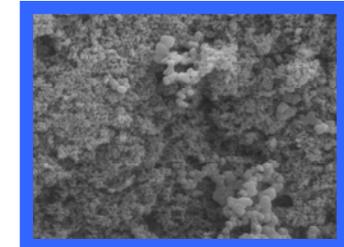
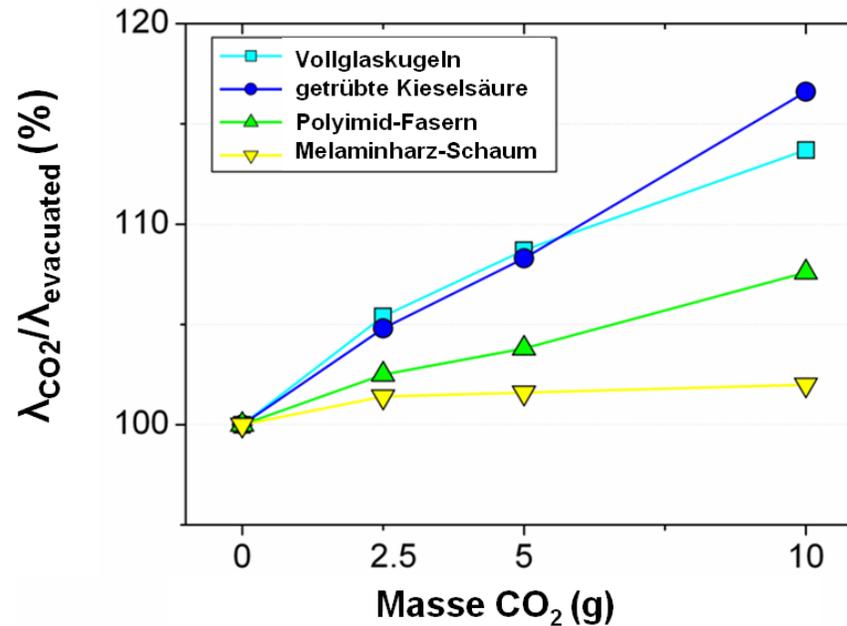
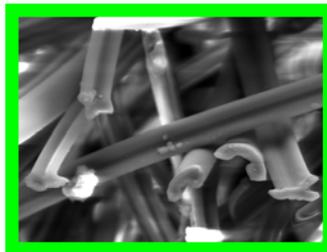
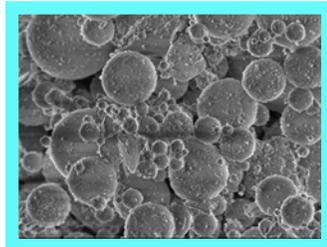
Relativer Anstieg der effektiven Gesamtwärmeleitfähigkeit
im Vergleich zum evakuierten System



Ergebnisse + Diskussion



ZAE BAYERN



	Punktkontakt-Dichte	Mittlere Wärmeleitfähigkeit*, 10^{-3} W/m-K	Spezifische Oberfläche, m^2/g	ρ , kg/m^3	p_{ext} , hPa
Getrübe Kieselensäure	Sehr hoch	1.5	~200 - 300	145	310 - 740
Vollglaskugeln	Hoch	14	1.6 - 3.0	1100	1047
Polyimid-Fasern	Niedrig	0.79	0.3 - 0.6	120	300 - 440
Melaminharz-Schaum	Keine	4.4	~0.1 - 0.6	21	40 - 90

* evakuiert, $T_{warm} = 290\text{K}$, $T_{cold} = 77\text{K}$

Zusammenfassung



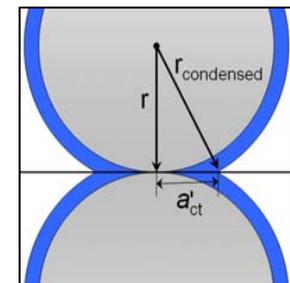
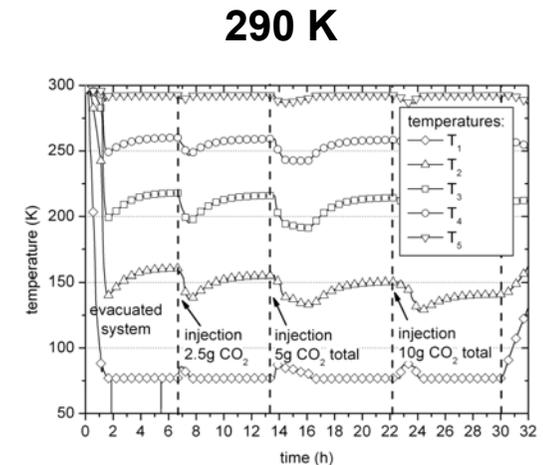
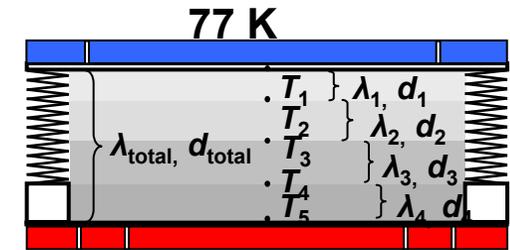
ZAE BAYERN

Desublimations-Evakuierung :

- Entwicklung einer Messmethode zur thermischen Charakterisierung
- Messungen von λ_{total} zeigen, dass:
 - primär die kälteste Schicht beeinflusst wird
 - der Gesamt-Einfluß für normale Mengen CO_2 moderat ist
 - das Füllgas vorwiegend homogen abgeschieden wird

Ausblick:

- weitere λ_{solid} -Modifikationen
- Modellierung dynamischer Eigenschaften von adsorbiertem CO_2
- Adsorptionsmessungen
- Neutronen-Radiographie-Experimente für CO_2 -Verteilung @ HZB
- Feld-Tests: Experimente mit LH_2 und CO_2 / Luft



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit !



Vortragender: Matthias Geisler

Kontakt: geisler@zae.uni-wuerzburg.de

Titel: Evakuierte Kryowärmedämmstoffe
durch Desublimation des Füllgases:
Experimentelle Ergebnisse zum
Einfluss abgeschiedener Füllgase

Veröffentlichung der
wesentlichen Ergebnisse:

M. Geisler, J. Wachtel, J. Hoffmann, H.-P. Ebert, *Condensation-evacuated cryogenic thermal insulation systems: experimental results of effects of deposited filling gases*, AIP Conference Proceedings of the CEC 2009 in Tucson, Arizona, print in 2010

Diese Arbeit wurde unterstützt durch:

