

## Auswirkung ausfrierender Gase auf die Wärmeleitfähigkeit von Dämmmaterialien

*- Experimentelle Ergebnisse zum Einfluss abgeschiedner 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:

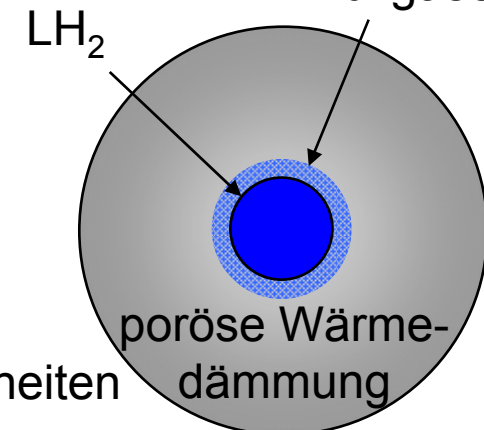
Wärmeeintrag vergleichbar mit kommerziell erhältlichen Kryo-Transferleitungen mit MLI ( $\sim 1 \text{ W/m}$ )

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



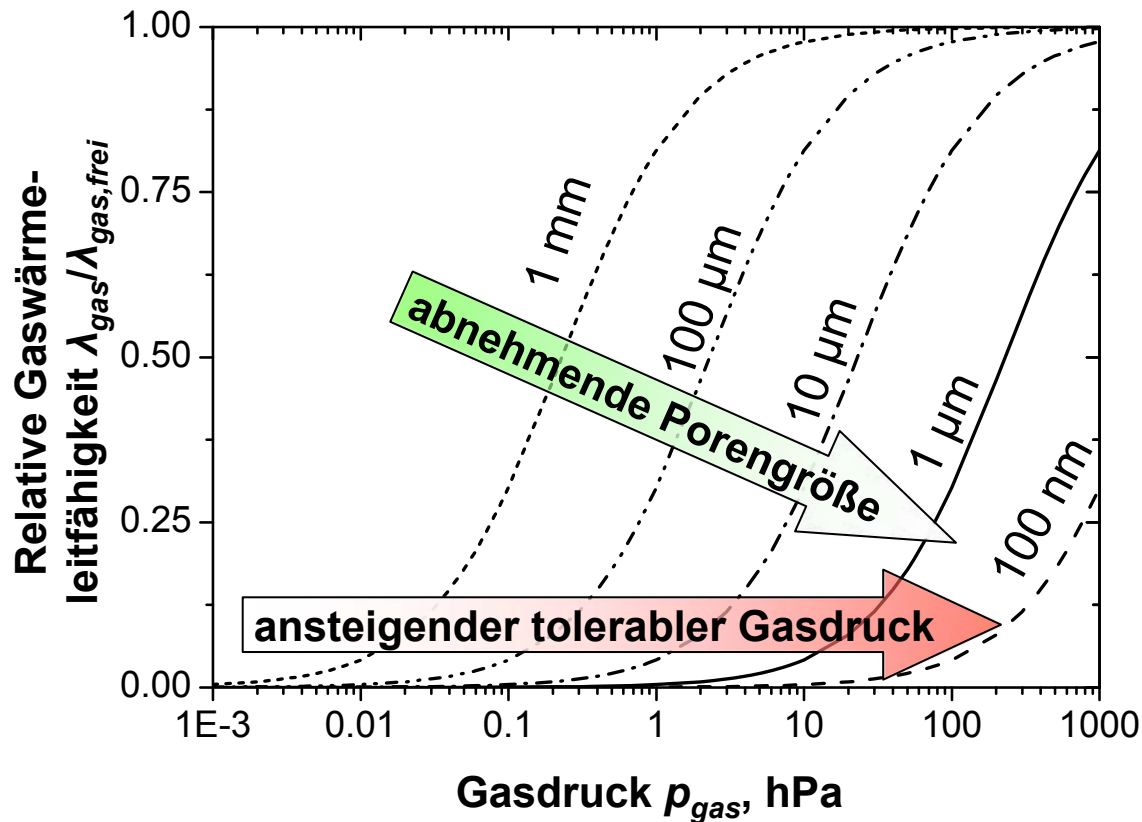
abgeschiedene  
Füllgase



Gesamtwärmeleitfähigkeit:

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

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

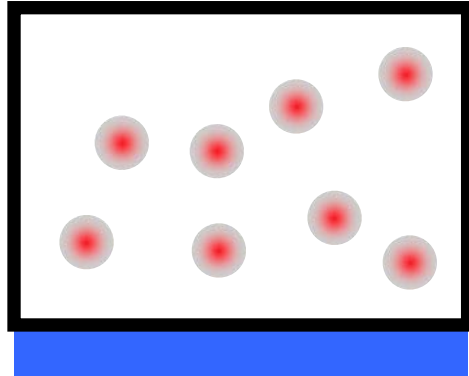


# Theorie der Desublimations-Evakuierung

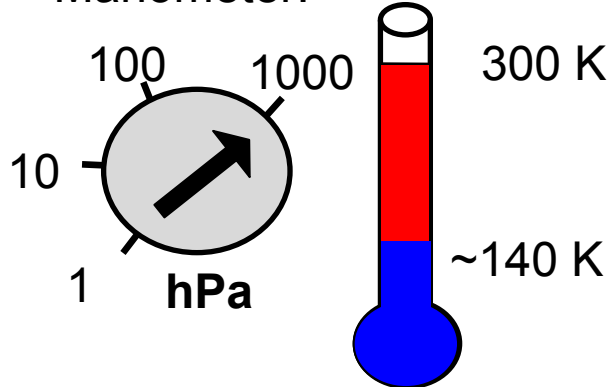


ZAE BAYERN

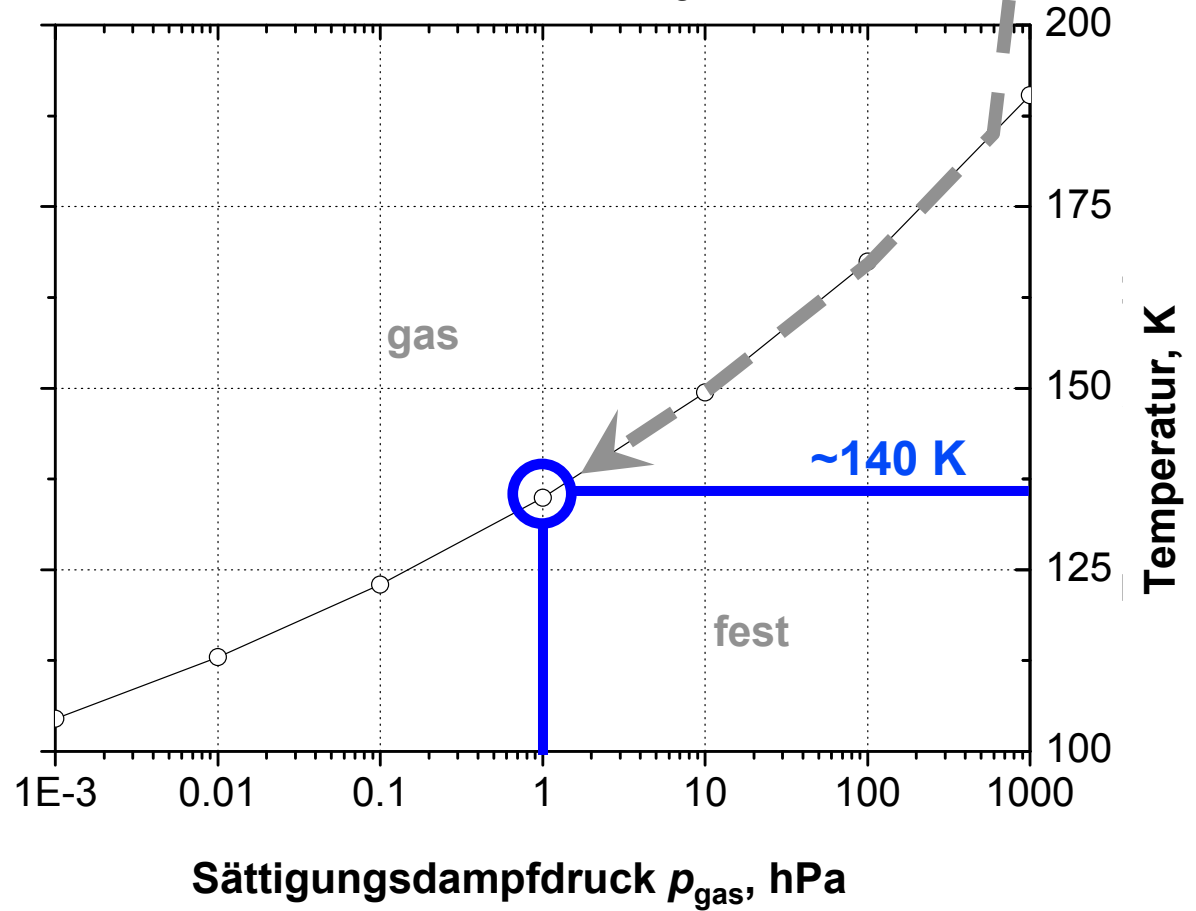
Füllgas = CO<sub>2</sub>



Manometer:



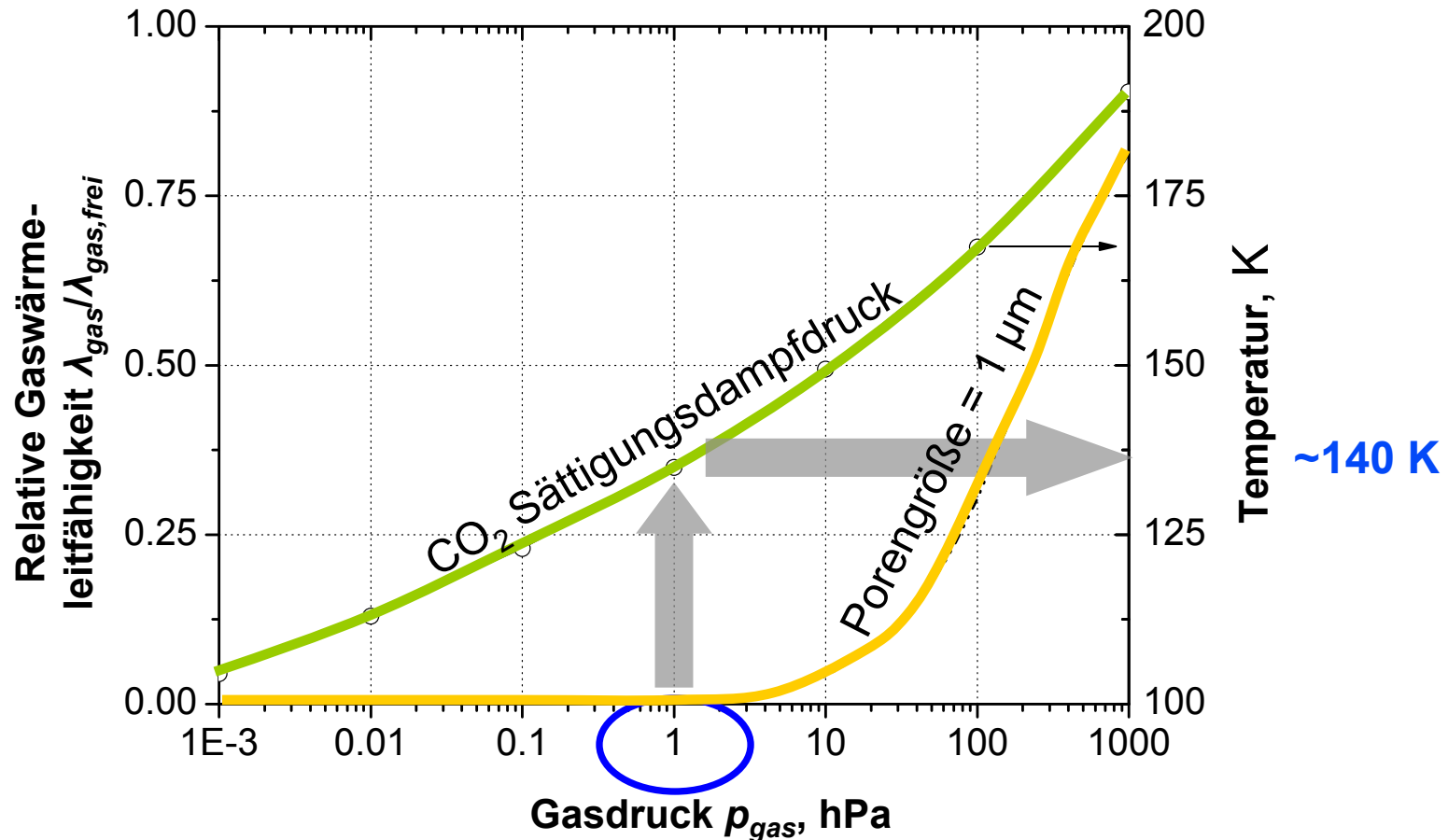
Sättigungsdampfdruck  $p_{\text{gas}}(T)$  für CO<sub>2</sub>



# Theorie der Desublimations-Evakuierung

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

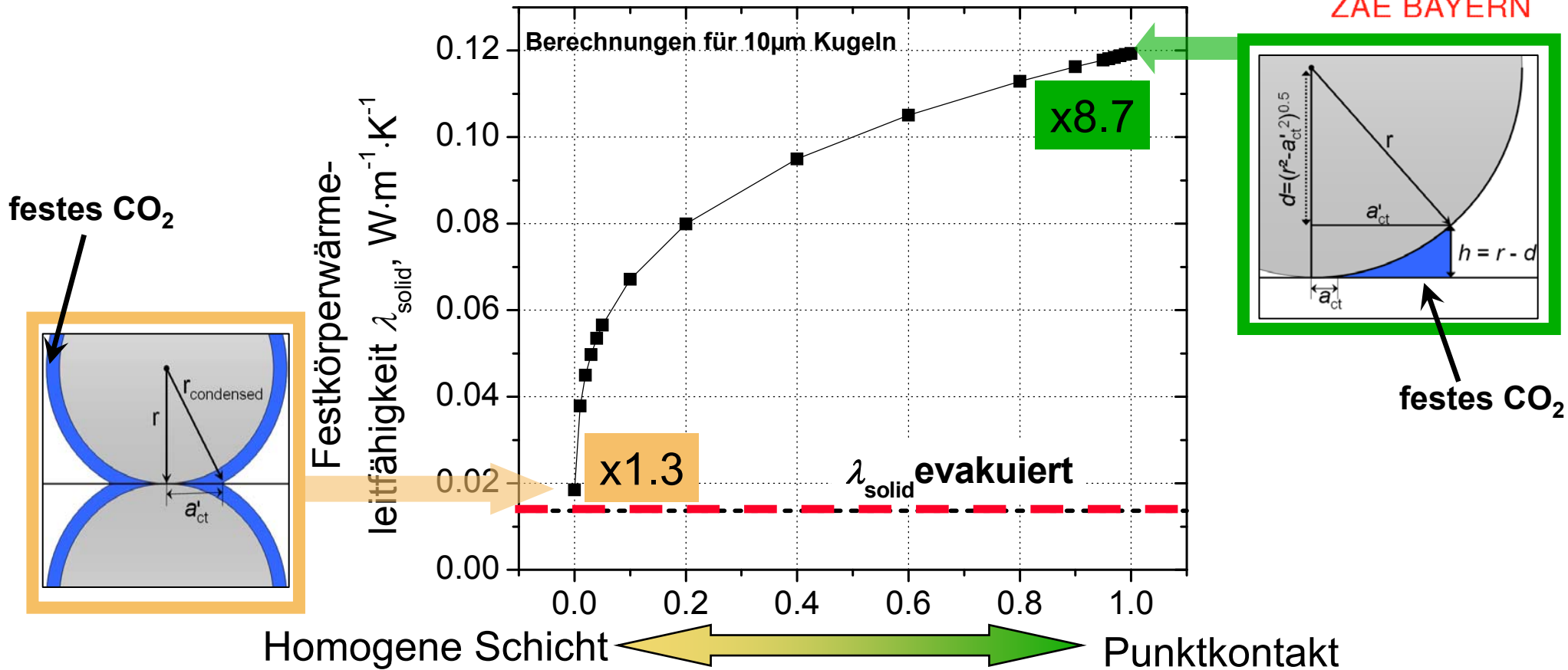
Welchen Einfluß haben die abgeschiedenen Füllgase auf die Wärmeleitfähigkeit?



# $\lambda_{\text{solid}}$ -Modell für Vollglaskugeln



ZAE BAYERN

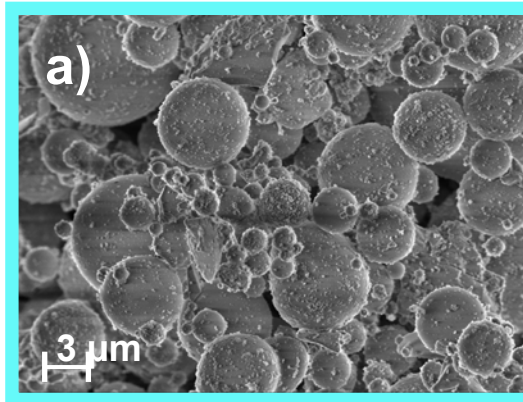


## Ergebnisse:

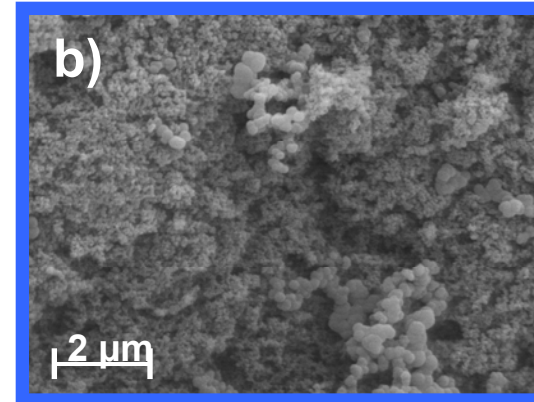
Evakuiertes System	Homogene Schicht - Abscheidung	Kontaktpunkt - Abscheidung
$0.014 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$	$0.019 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$	$0.120 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$



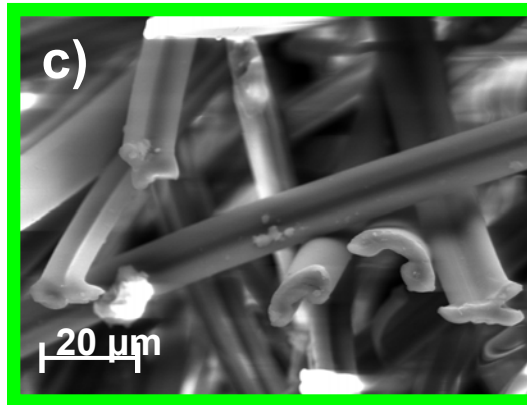
## Vollglaskugeln



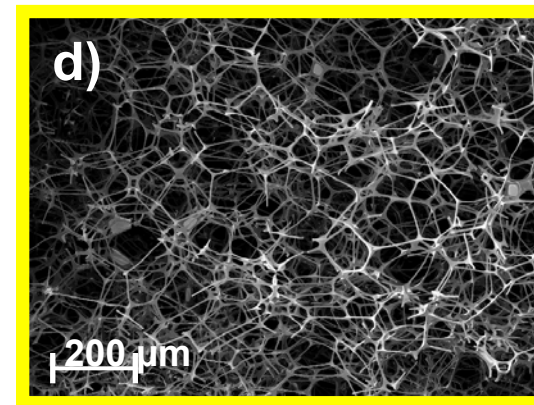
## getrübte Kieselsäure



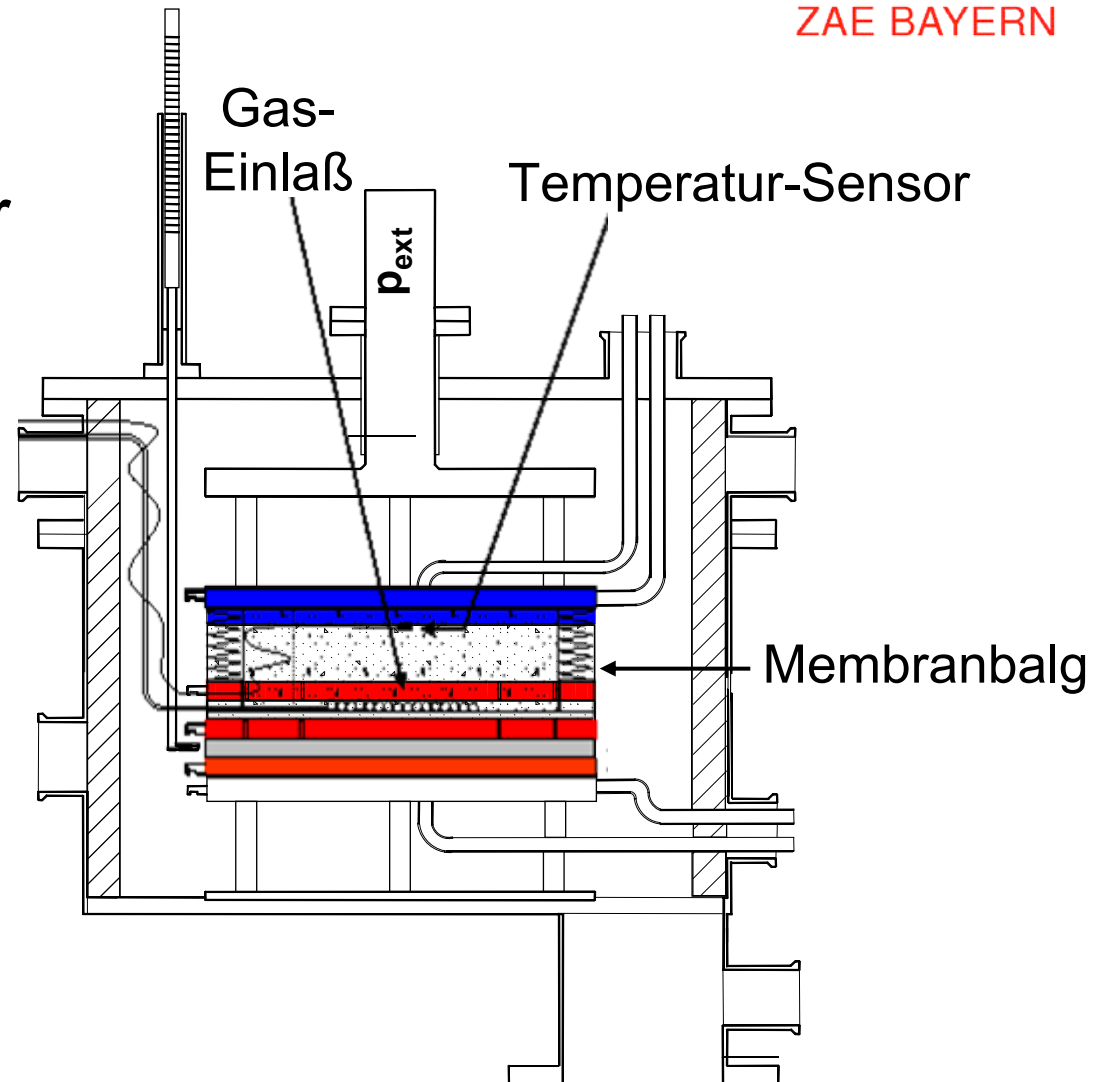
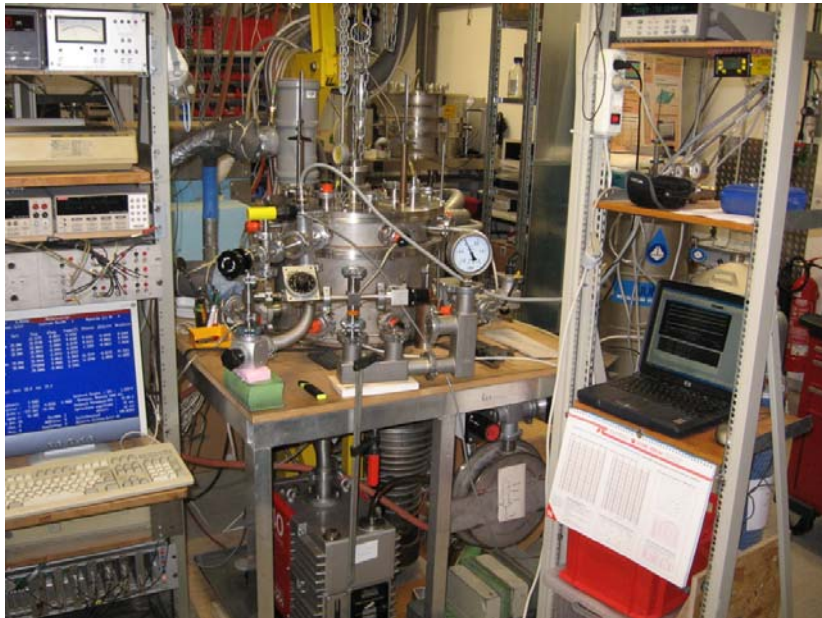
## Polyimid-Fasern



## Melaminharzschaum

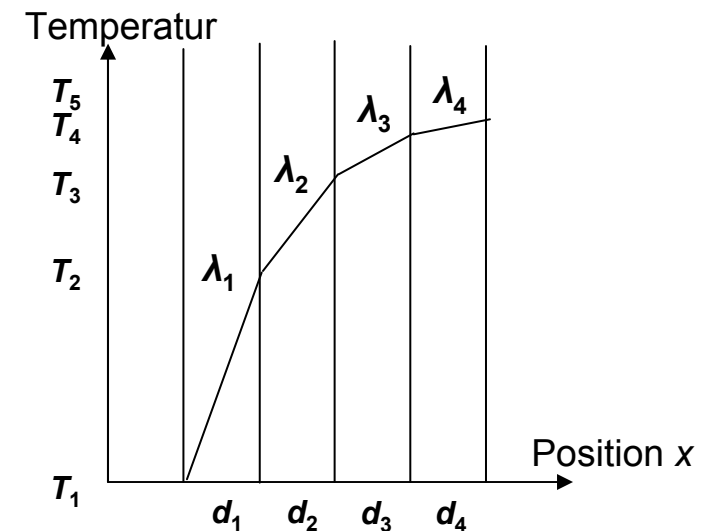
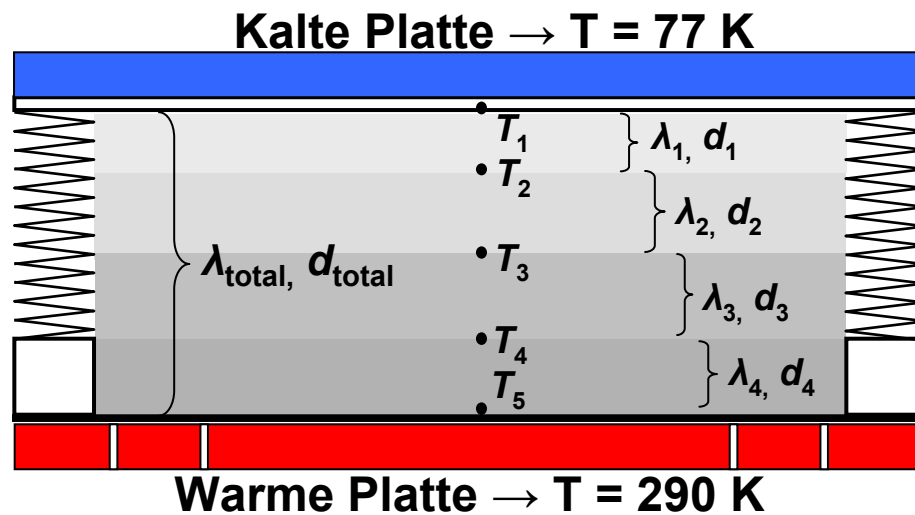
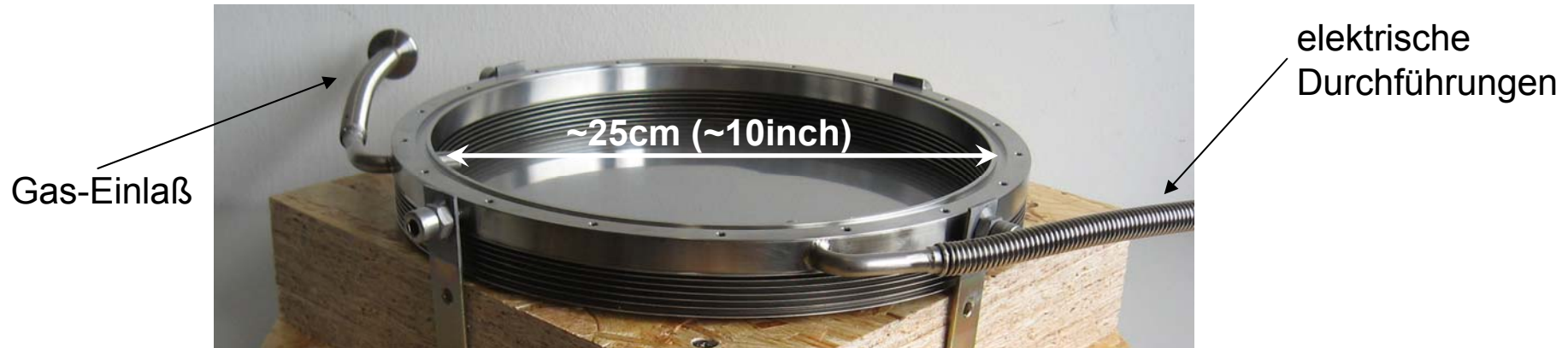


## modifizierte Plattenapparatur



# Experimenteller Aufbau

## Flexibler, wiederverschließbarer und gasdichter Membranbalg

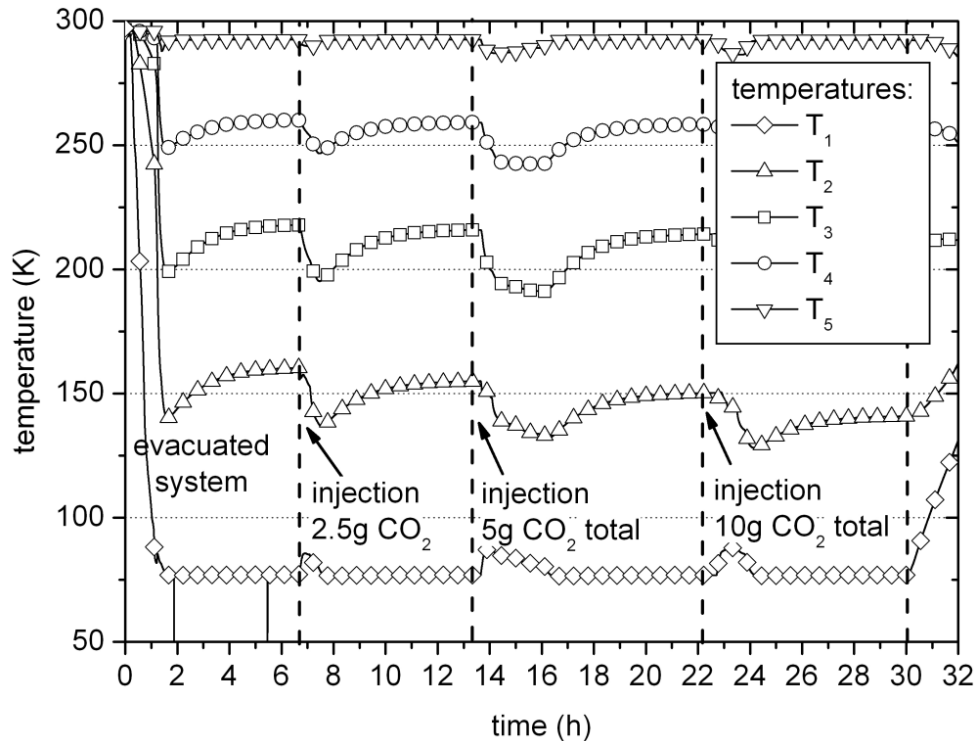


# Experimentelle Messverfahren

## Method I

(Gas-Injektion in die kalte und evakuierte Probe)

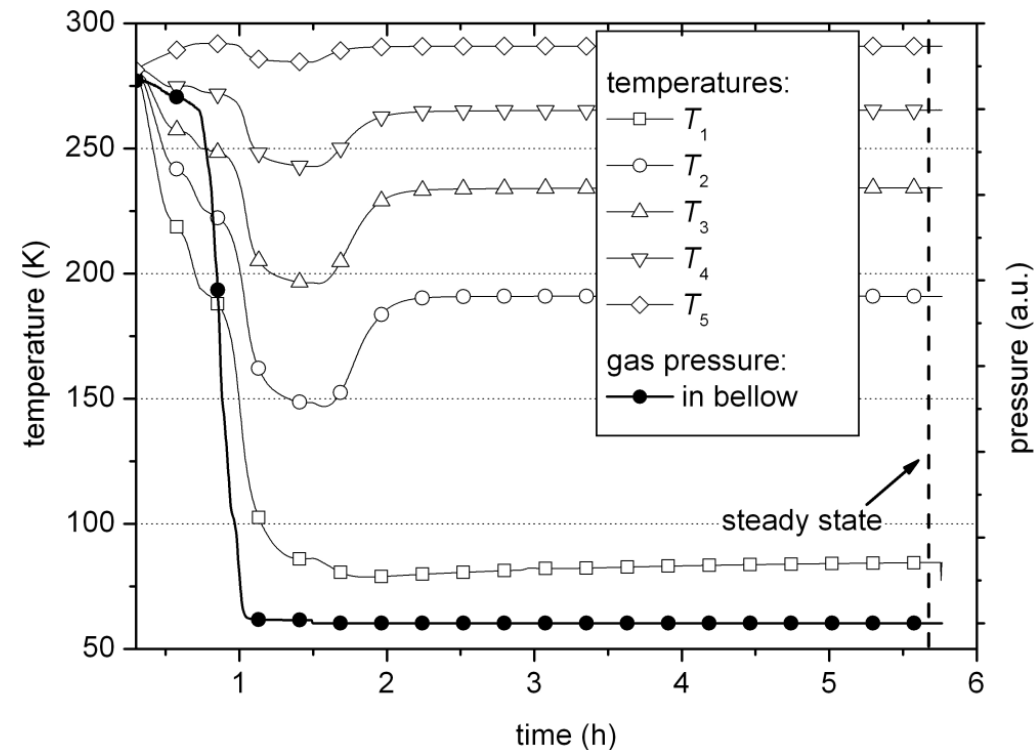
1. Abkühlen
2. Injektion von  $\text{CO}_2$



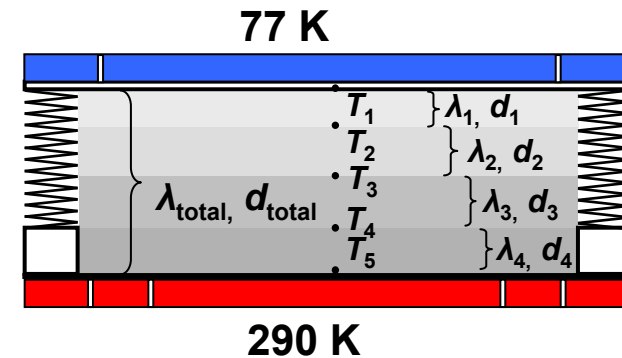
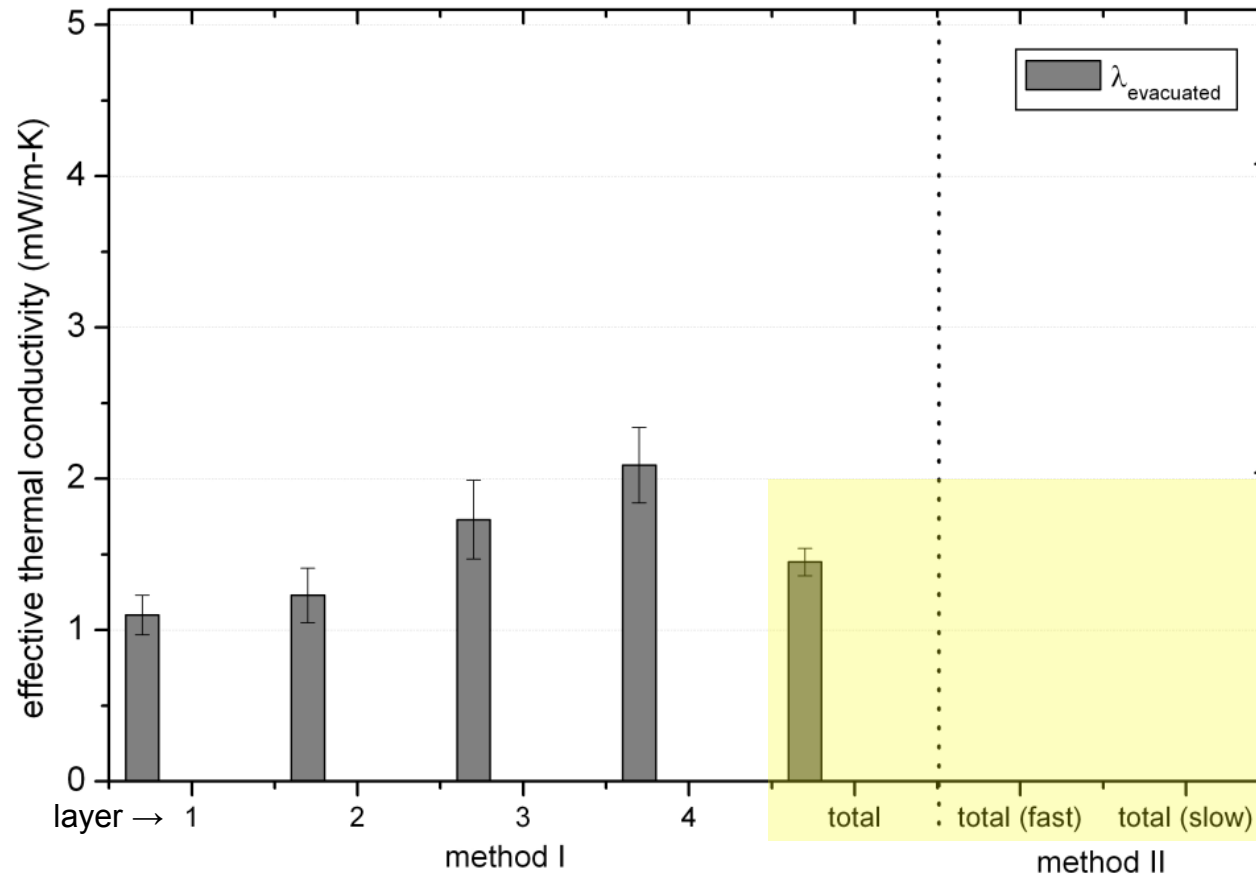
## Method II

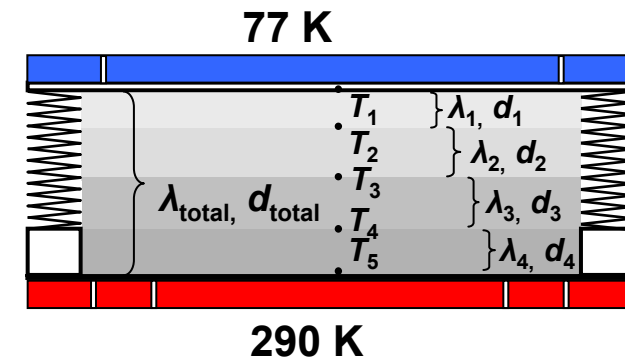
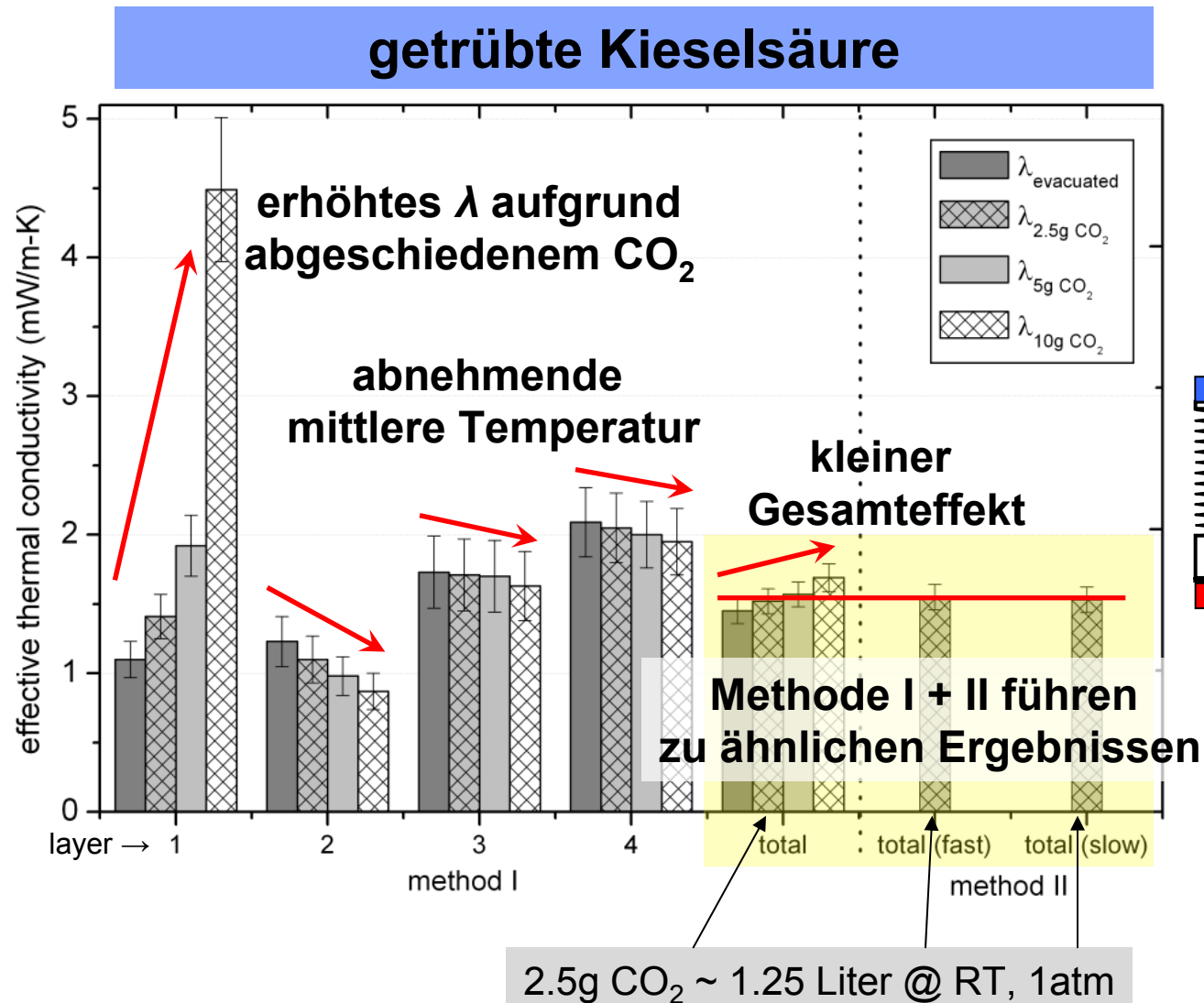
(Abkühlen mit Füllgas)

1. Injektion von  $\text{CO}_2$
  2. Abkühlen
- slow 1-2 K/min  
fast 5-10 K/min



## getrübte Kieselsäure

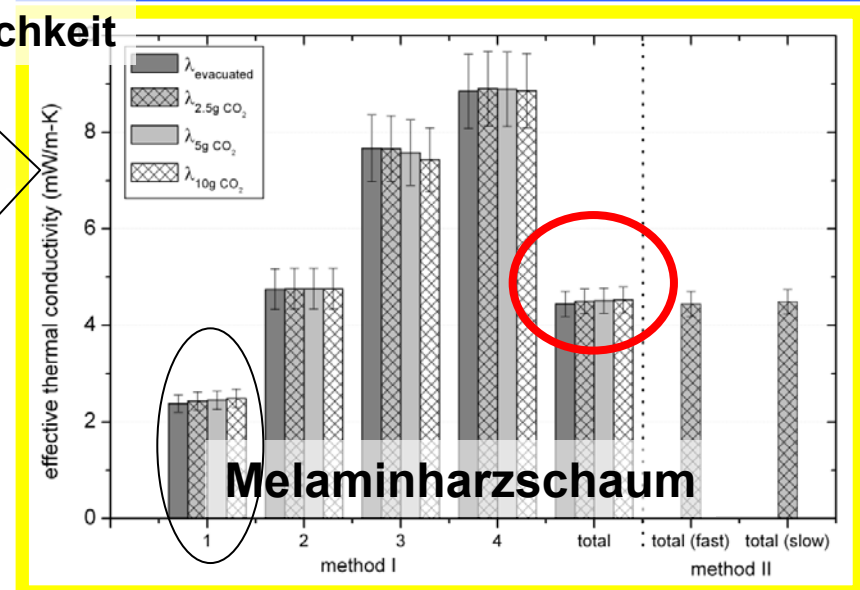
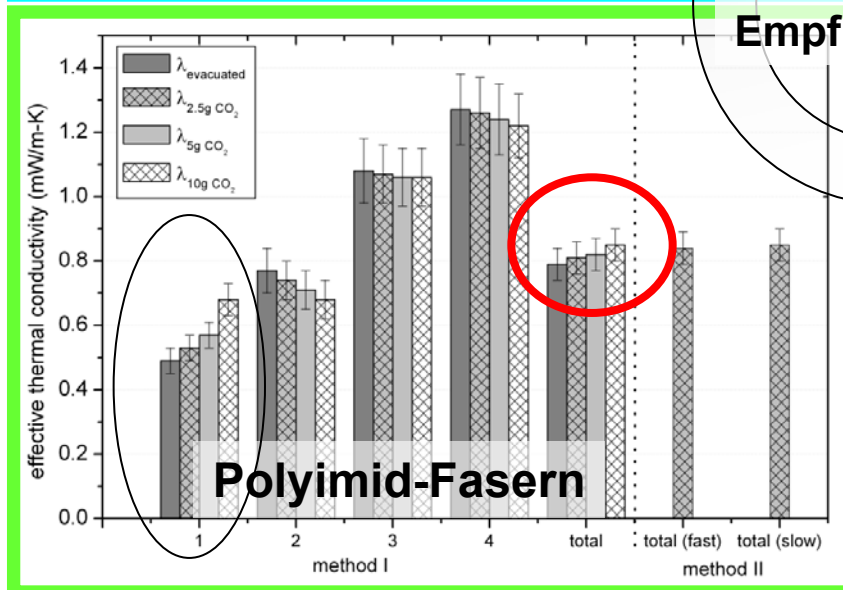
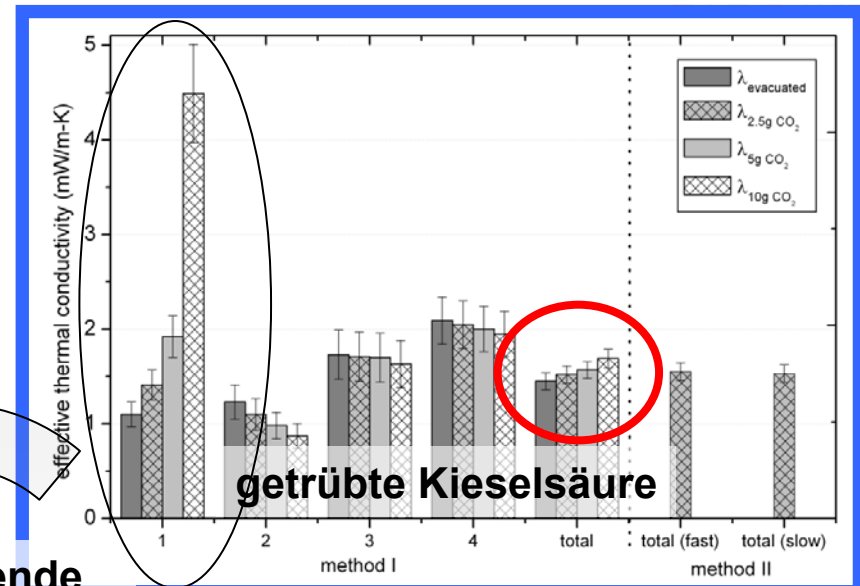
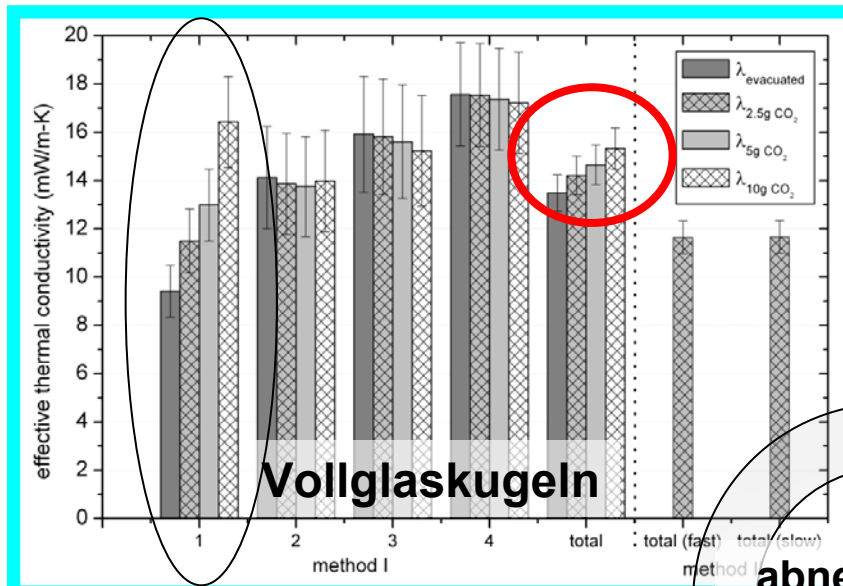




# Ergebnisse + Diskussion

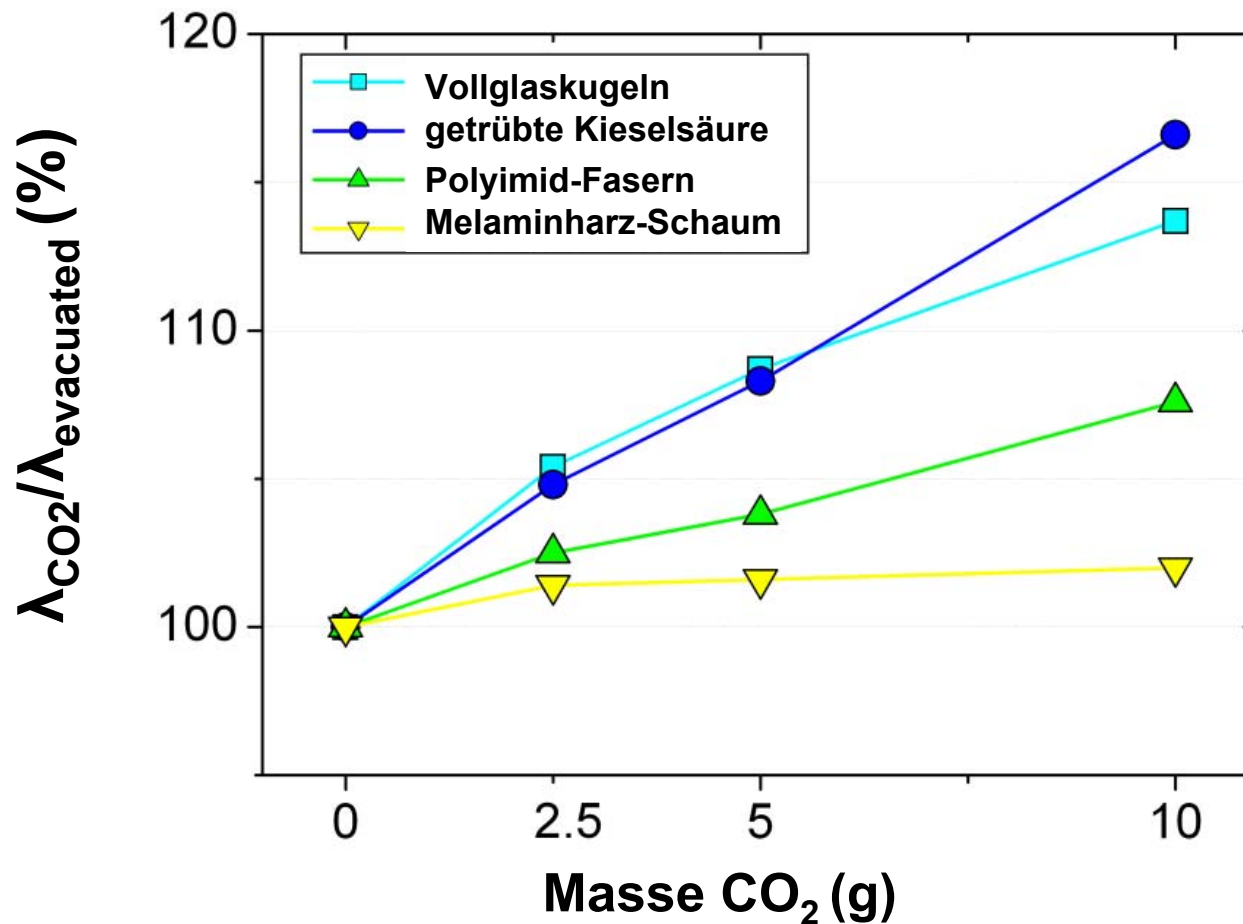


ERN



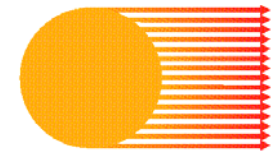
abnehmende  
Empfindlichkeit

Relativer Anstieg der effektiven Gesamtwärmeleitfähigkeit  
im Vergleich zum evakuierten System

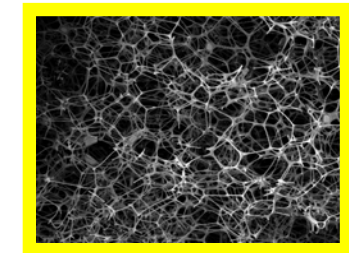
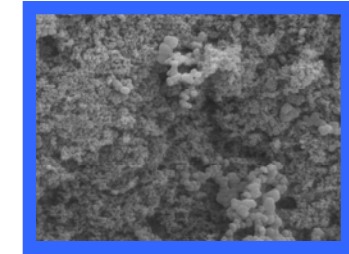
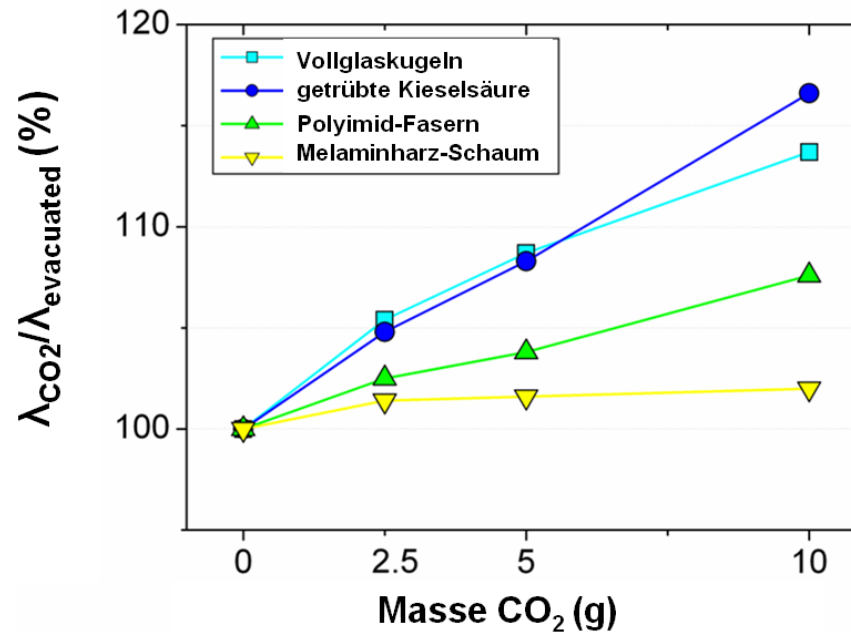
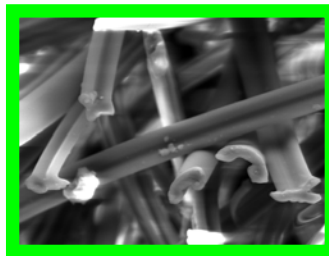
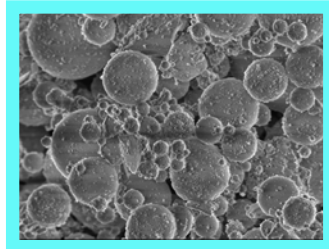




# Ergebnisse + Diskussion



ZAE BAYERN



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

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

# Zusammenfassung



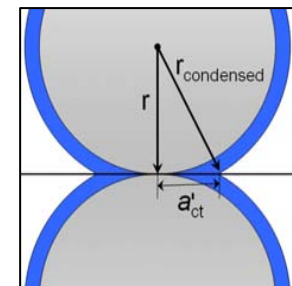
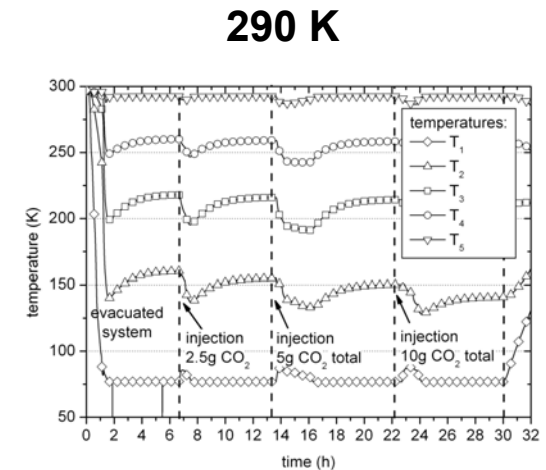
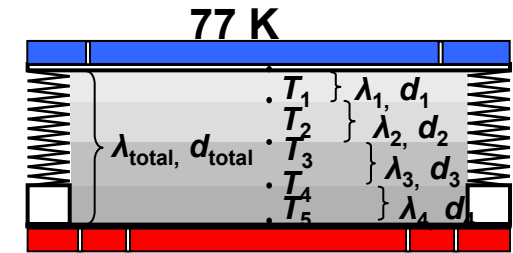
ZAE BAYERN

## Desublimations-Evakuierung :

- Entwicklung einer Messmethode zur thermischen Charakterisierung
- Messungen von  $\lambda_{\text{total}}$  zeigen, dass:
  - primär die kälteste Schicht beeinflusst wird
  - der Gesamt-Einfluß für normale Mengen  $\text{CO}_2$  moderat ist
  - das Füllgas vorwiegend homogen abgeschieden wird

## Ausblick:

- weitere  $\lambda_{\text{solid}}$ -Modifikationen
- Modellierung dynamischer Eigenschaften von adsorbiertem  $\text{CO}_2$
- Adsorptionsmessungen
- Neutronen-Radiographie-Experimente für  $\text{CO}_2$ -Verteilung @ HZB
- Feld-Tests: Experimente mit  $\text{LH}_2$  und  $\text{CO}_2$  / Luft



---

# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit !

---



**Vortragender:** Matthias Geisler

**Kontakt:** [geisler@zae.uni-wuerzburg.de](mailto: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:

