

# **Kryokondensation eines Gases innerhalb eines Dämmstoffes**

Jan Hoffmann

Zentrum für angewandte Energieforschung Bayern e.V

Hamburg 03.03.2009

- Anwendungen
- Kryokondensation eines Gases
- Experimenteller Aufbau und Messmethoden
- Ergebnisse
- Zusammenfassung

# Anwendungen

Für die Supraleitung (verlustfreie Stromleitung) werden wärmeisolierte Kabel benötigt.

Das Projekt *icefuel*<sup>®</sup> (integrated cable energy system for fuel and power) behandelt Rohrleitungen zum Transport von LH<sub>2</sub>.

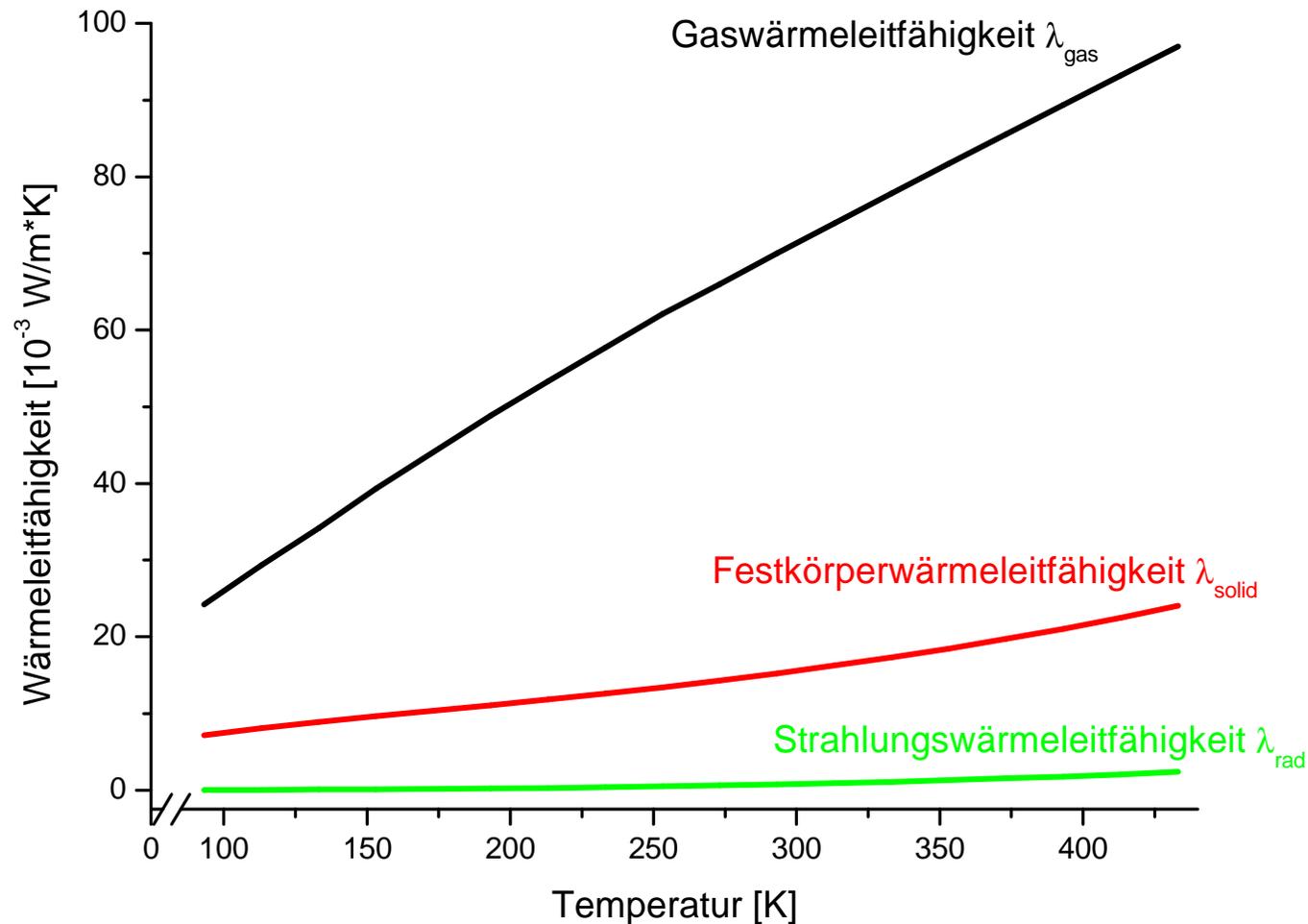
Für eine ausreichende Dämmung ist es notwendig, dass die mittlere Wärmeleitfähigkeit des Dämmstoffes entsprechend klein ist.



# Kryokondensation

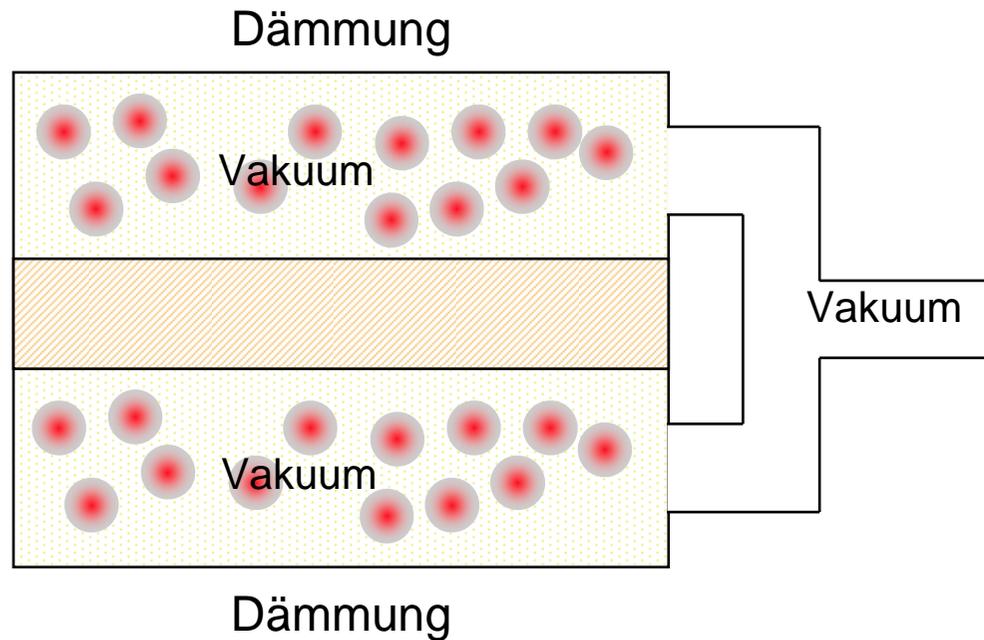
## Vergleich der Wärmeleitfähigkeiten

Vergleich von  $\lambda_{\text{gas}}$ ,  $\lambda_{\text{rad}}$  und  $\lambda_{\text{solid}}$  einer Pulverschüttung



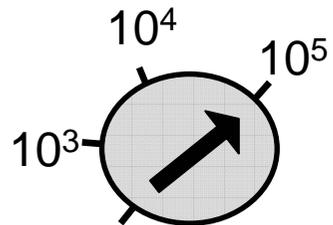
# Kryokondensation

## Evakuieren einer Dämmung

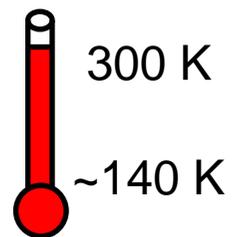


### mechanisches Evakuieren:

- + gut erprobte Technik
- + sehr geringe Drücke möglich
- Anschlüsse notwendig
- Dauer
- keine Flexibilität nach evakuieren



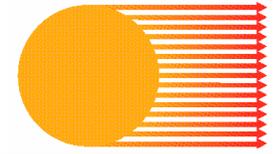
Druck [Pa]



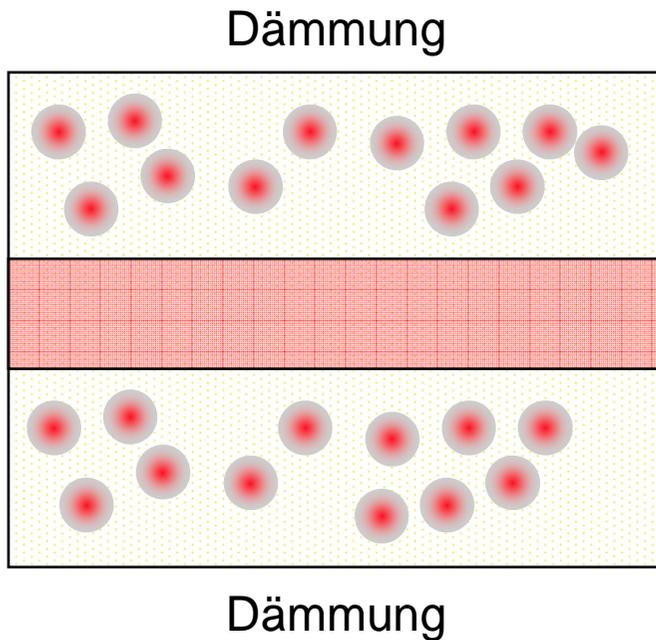
Temperatur [K]

# Kryokondensation

## Kryokondensation innerhalb einer Dämmung

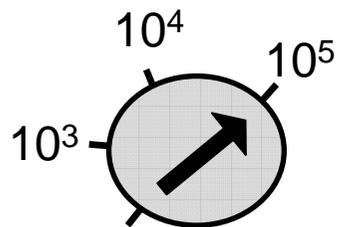


ZAE BAYERN

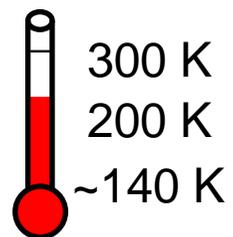


### Kryokondensation innerhalb einer Dämmung:

- + Flexibilität während des Verbaus
- + keine Anschlüsse notwendig
- + kurze Zeit
- Restdruck bleibt
- Erhöhung der Festkörperwärmeleitung



Druck [Pa]

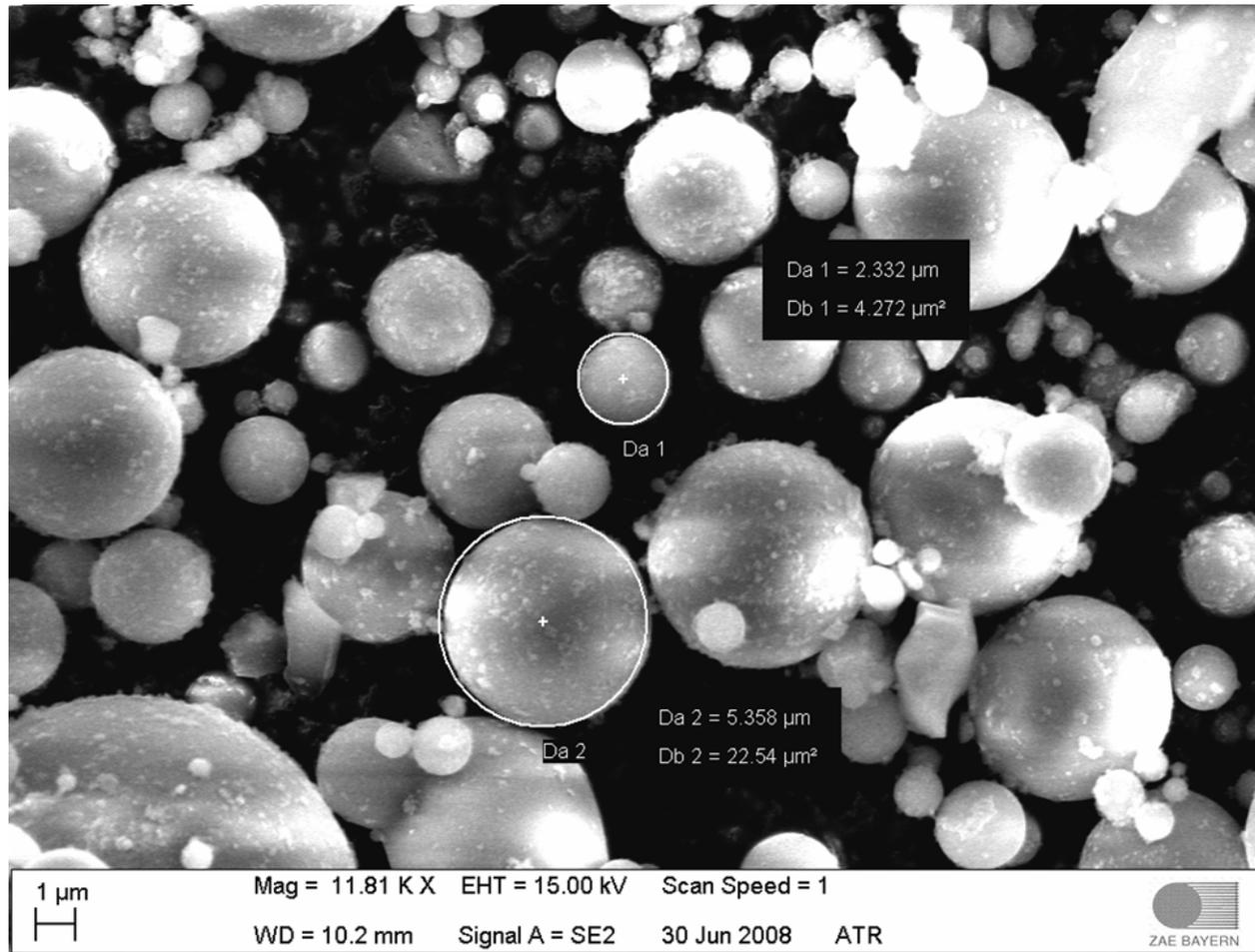


Temperatur [K]

# Kryokondensation

## Pulverschüttung

### REM Aufnahme: Pulverschüttung aus Glaskugeln



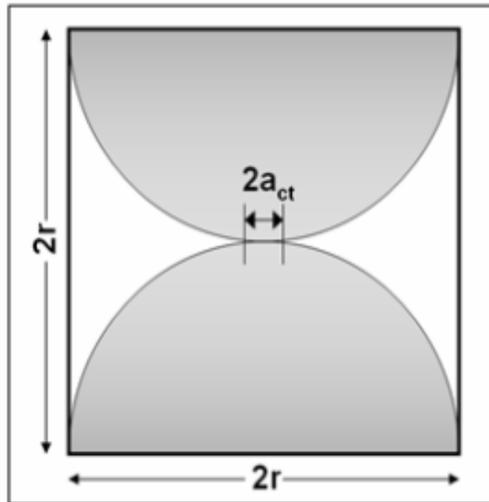
Beschreibung durch  
angepasstes Modell:

- Pulver (Kugeln)

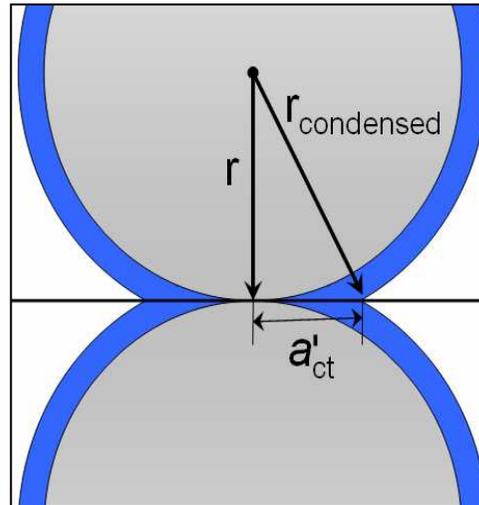
# Kryokondensation

## Modell zur Ablagerung innerhalb einer Pulverschüttung

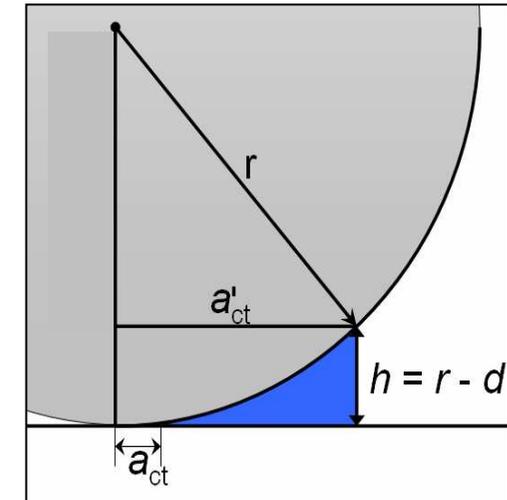
Kondensation eines Gases innerhalb einer Pulverschüttung:



Ohne Ablagerung



Homogene Ablagerung



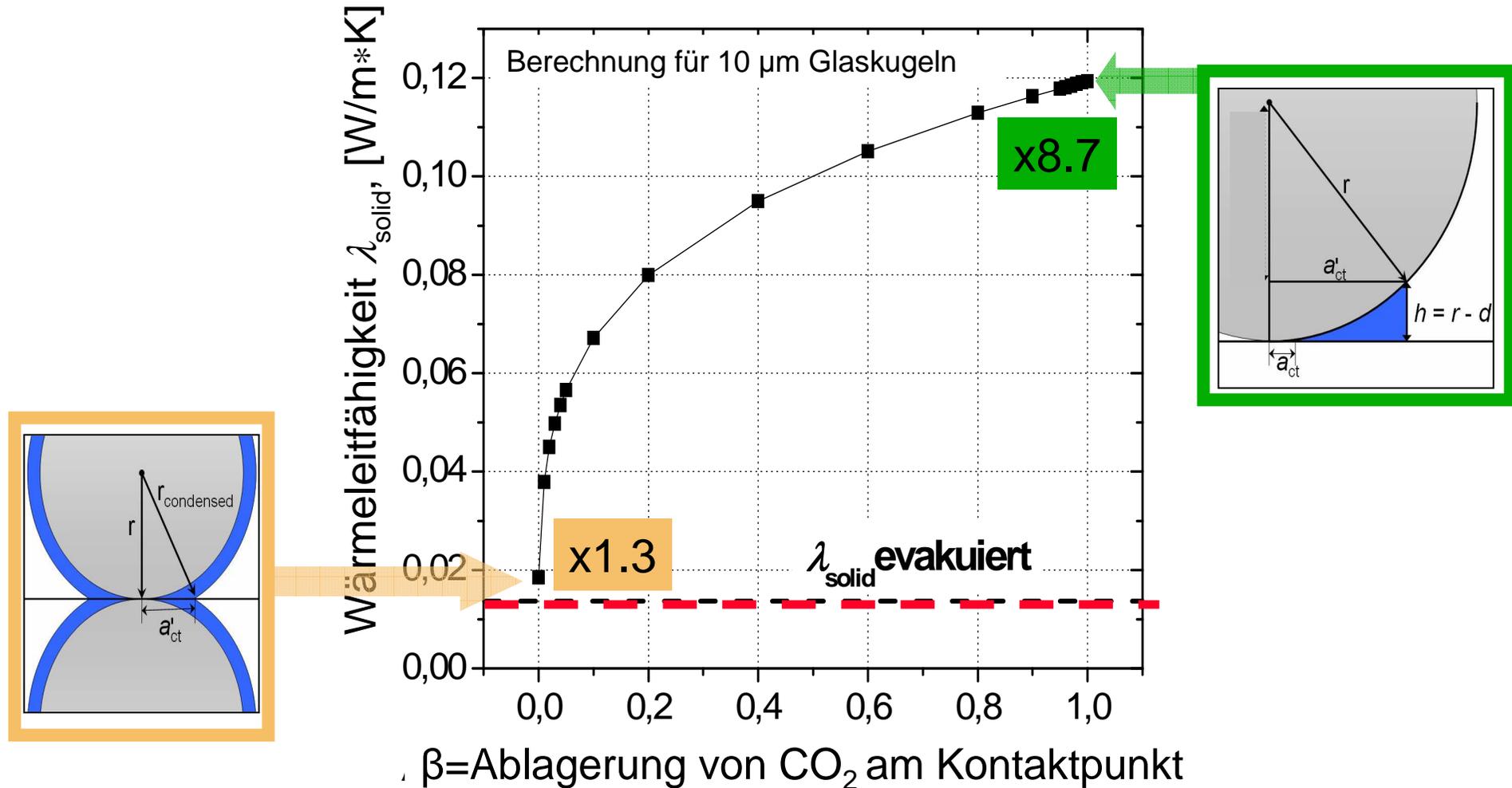
Zwickelablagerung

$$\lambda_{solid}(T) = \frac{a_{ct}}{2r} \lambda_{bulk}(T)$$

# Kryokondensation

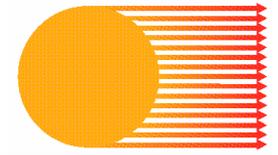
## Festkörperwärmeleitfähigkeit bei verschiedenen Ablagerungenformen

Berechnung von  $\lambda_{\text{solid}}$  für beide Fälle:

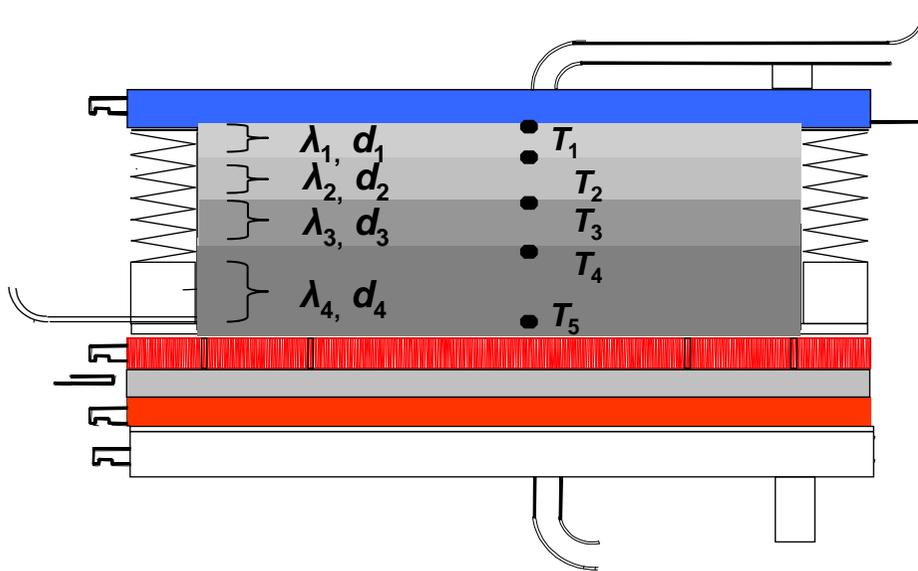


# Experimenteller Aufbau und Messmethoden

## Aufbau der Messzelle



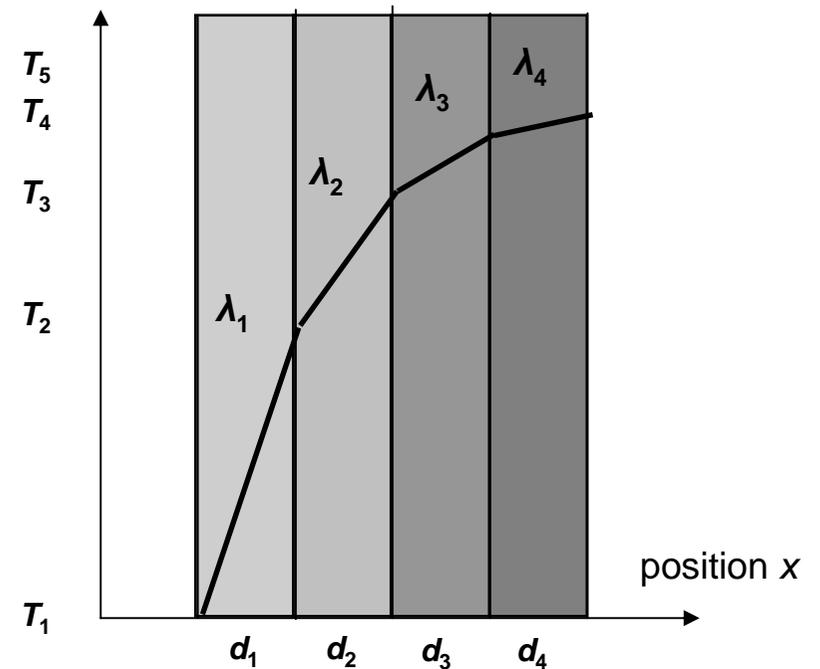
ZAE BAYERN



$$\lambda_{total} = \frac{P_{el} d_{total}}{A \Delta T}$$

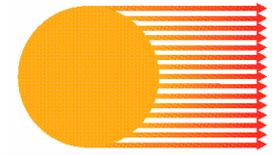
$$\lambda_i = \frac{P_{el} d_i}{A (T_{i+1} - T_i)}$$

temperature

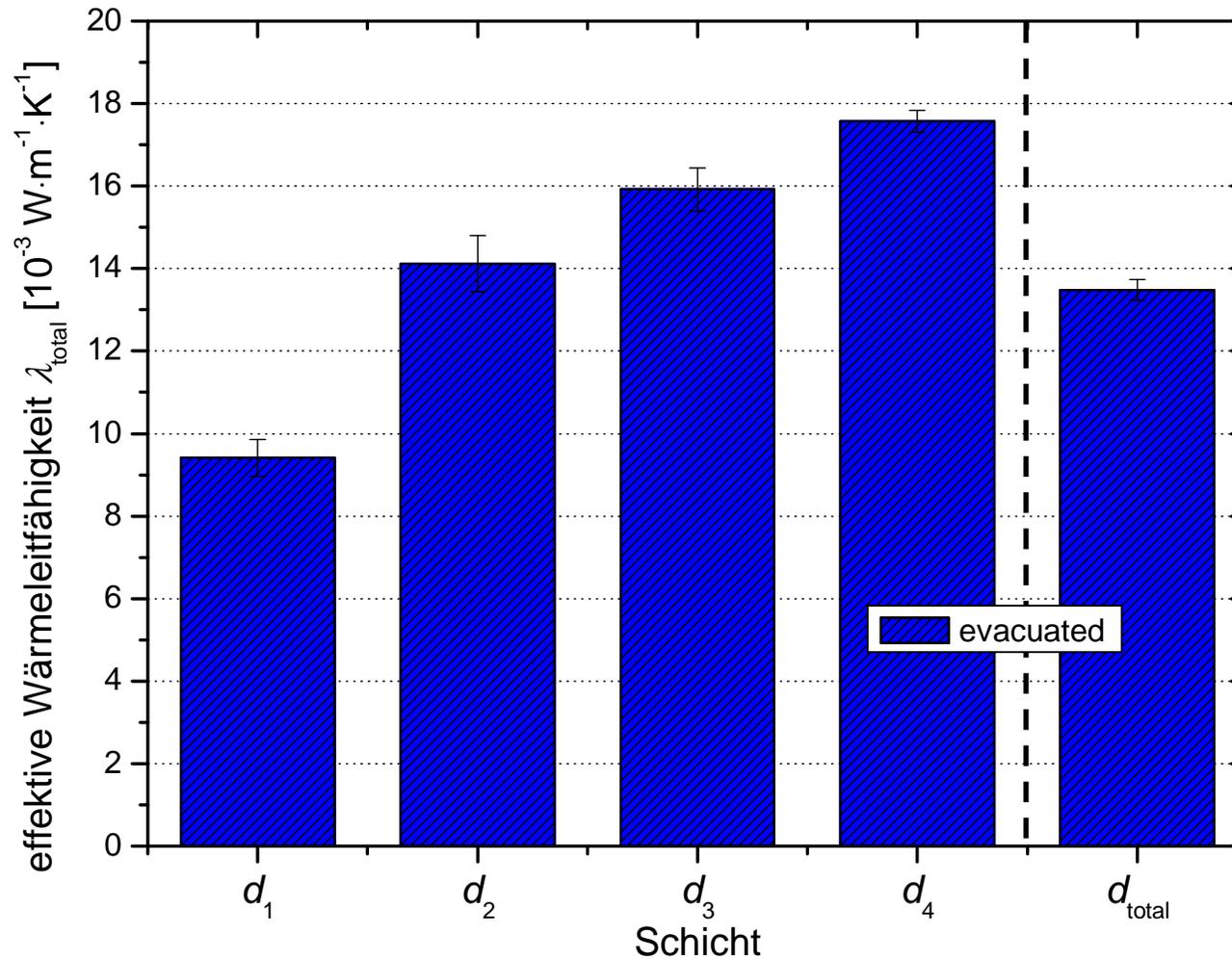


# Ergebnisse

## effektive Wärmeleitfähigkeit bei verschiedenen Beladungen

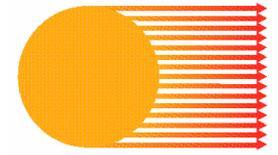


ZAE BAYERN

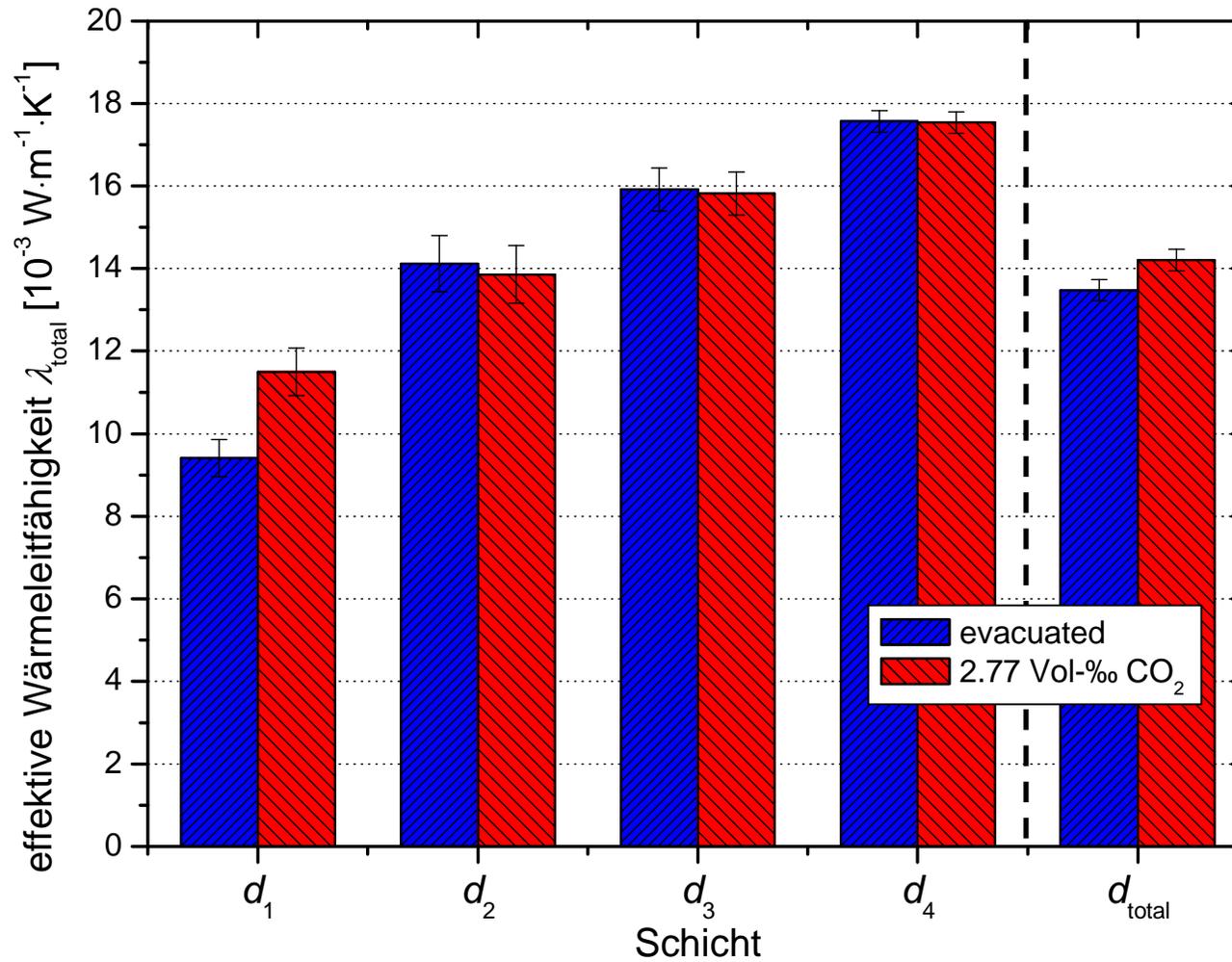


# Ergebnisse

## effektive Wärmeleitfähigkeit bei verschiedenen Beladungen

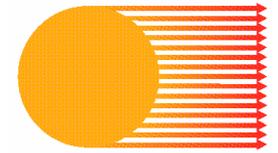


ZAE BAYERN

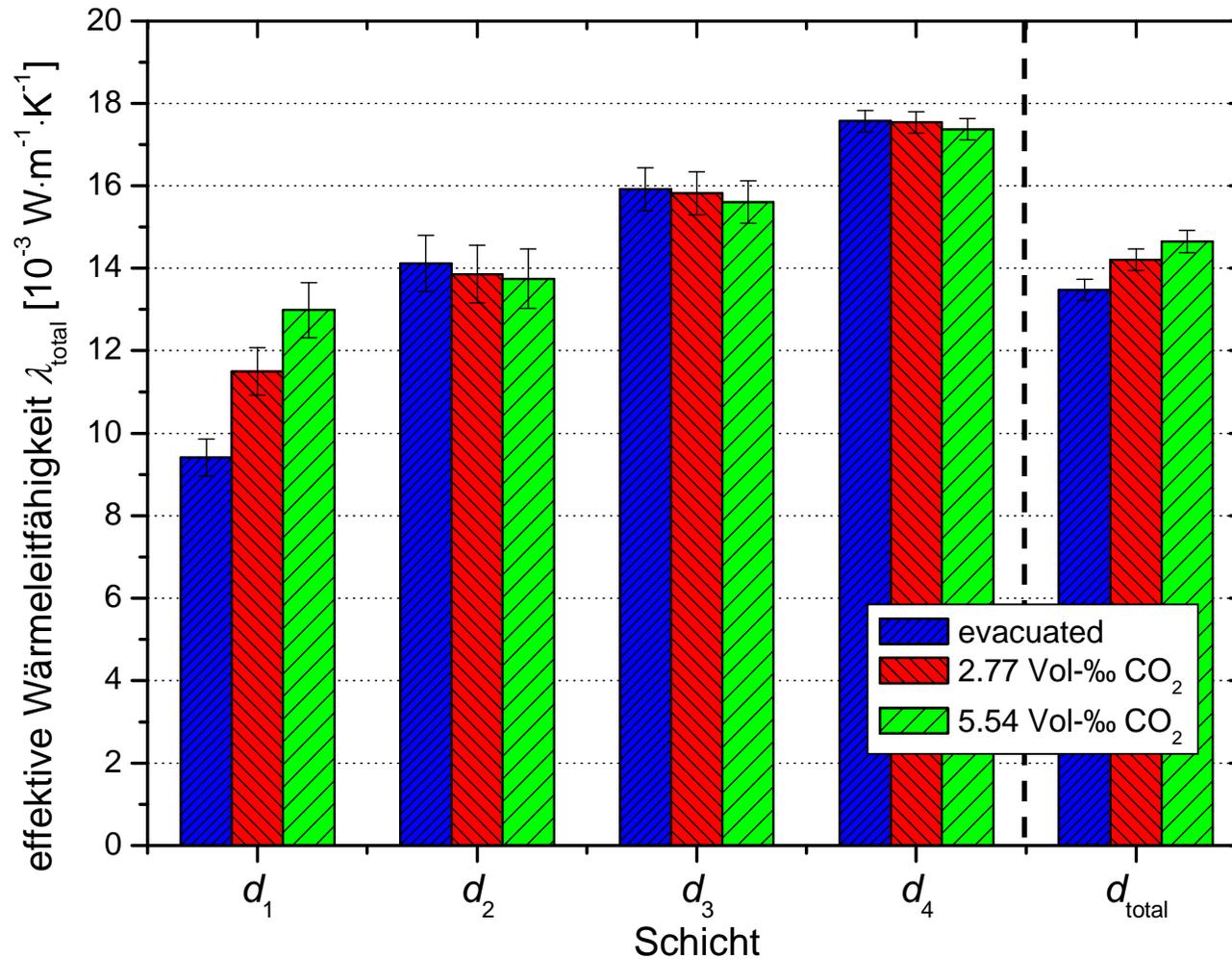


# Ergebnisse

## effektive Wärmeleitfähigkeit bei verschiedenen Beladungen

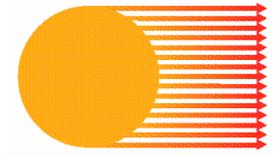


ZAE BAYERN

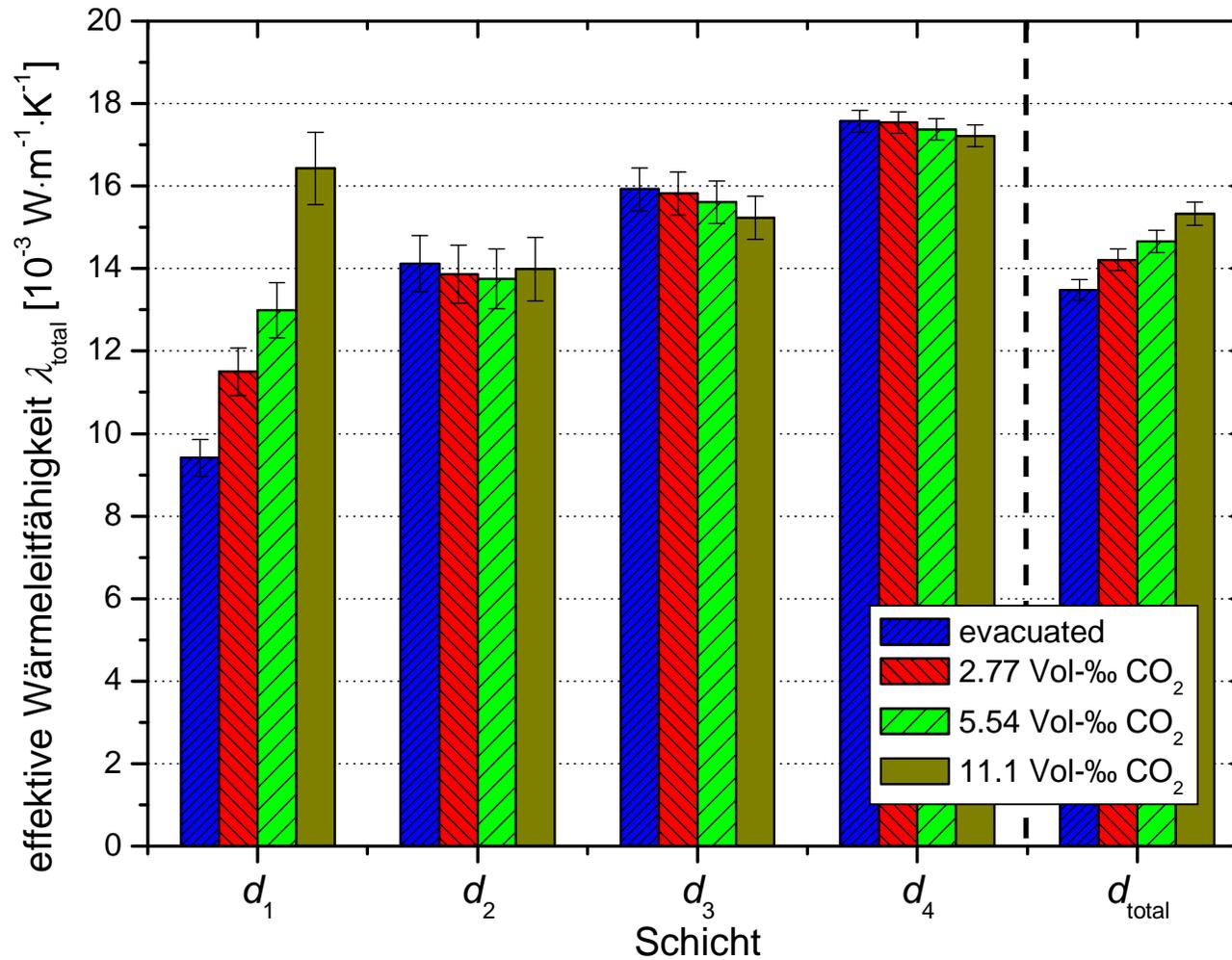


# Ergebnisse

## effektive Wärmeleitfähigkeit bei verschiedenen Beladungen



ZAE BAYERN



- Bedarf für Kryodämmstoffe vorhanden
- Durch Kryokondensation wird die Gaswärmeleitfähigkeit innerhalb der Dämmung gesenkt (auf „Kosten“ einer Erhöhung der Festkörperwärmeleitung)
- Die Ablagerung scheint sich homogen auf der Oberfläche des Pulvers abzuscheiden und erhöht die Wärmeleitfähigkeit des Materials um einen kleinen Faktor

**Vielen Dank für ihre Aufmerksamkeit!**

*Kontakt: [Jan.Hoffmann@zae.uni-wuerzburg.de](mailto:Jan.Hoffmann@zae.uni-wuerzburg.de)*

[1] <http://en.wikipedia.org/wiki/File:CERN-cables-p1030764.jpg>

[2] [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:MAN\\_Wasserstoffverbrennungsmotor.jpg&filetimestamp=20081016172323](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:MAN_Wasserstoffverbrennungsmotor.jpg&filetimestamp=20081016172323)

[3] ZAE Bayern e. V.