

Bayerisches Zentrum für
Angewandte Energieforschung e.V.

Modellierung des Strahlungstransports in porösen Materialien

Daniel Gerstenlauer, Ch. Doerffel, M. Arduini-Schuster, J. Manara

AKT – Dienstag, 18. Februar 2014



Der Redner

Daniel Gerstenlauer
Diplom Physiker
Doktorand ZAE/EF



ZAE BAYERN

Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung

Übersicht



ZAE BAYERN

Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung

- **Motivation**
- Poröse Medien
- Simulation Strahlungstransport
- Messung Strahlungstransport
- Strahlungstransport nanoskaliger Medien

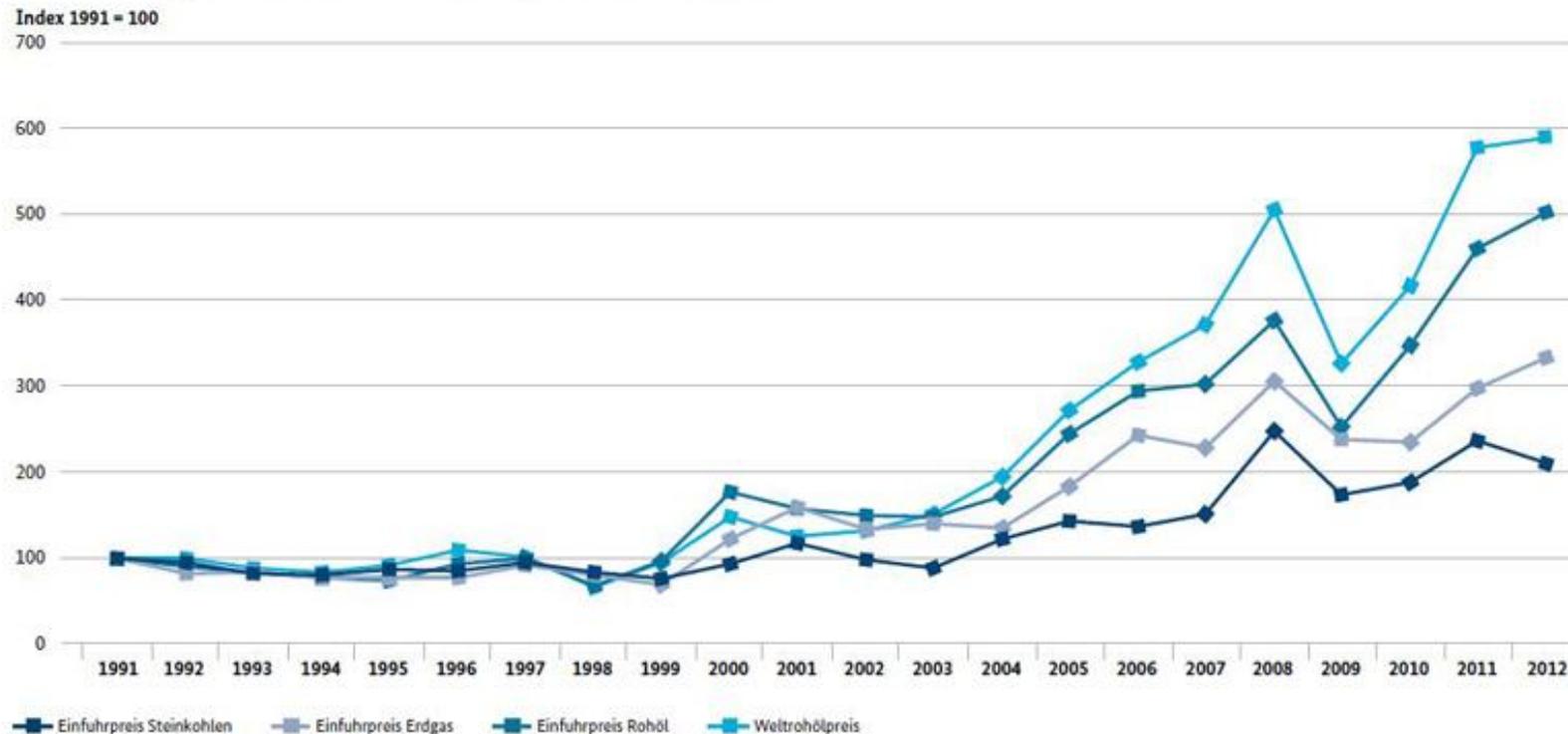
Motivation



ZAE BAYERN
Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung

Wärmetransport optimieren → Ressourcen sparen

35. Entwicklung von Weltrohöl- und Einfuhrpreisen in Deutschland



Quelle: Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA), Mineralölwirtschaftsverband (MWW)

Übersicht



ZAE BAYERN

Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung

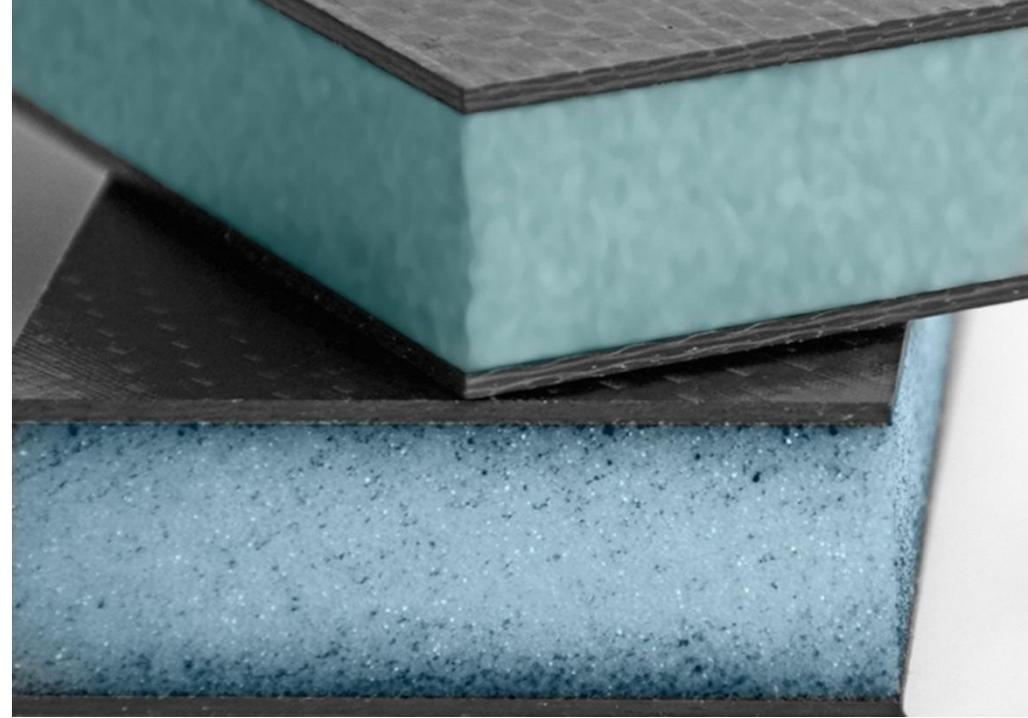
- Motivation
- **Poröse Medien**
- Simulation Strahlungstransport
- Messung Strahlungstransport
- Strahlungstransport nanoskaliger Medien

Poröse Medien

- Zwei Materialien verschiedener Phasen
- Ein umschließendes Material (Matrix)
- Verschiedene Strukturen möglich:
 - Schaum
 - Faser
 - Pulver
 - ...



Poröse Medien



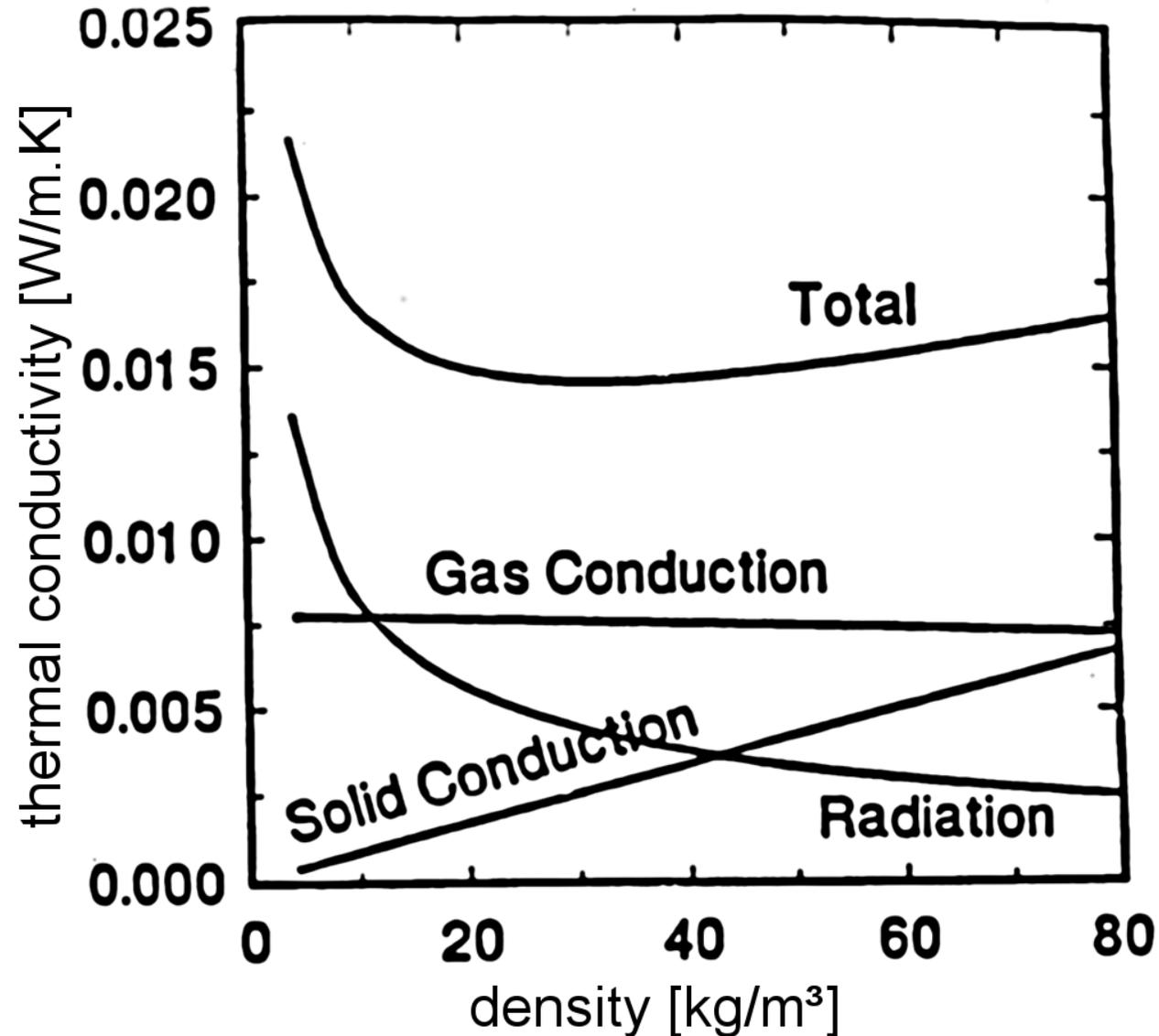
<http://www.plasticsportal.net>



<http://en.wikipedia.org>

Motivation

$$\begin{aligned}\lambda_{\text{tot}} &= \sum \lambda_i \\ &= \lambda_g + \lambda_s + \lambda_r\end{aligned}$$



Übersicht



ZAE BAYERN
Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung

- Motivation
- Poröse Medien
- **Simulation Strahlungstransport**
- Messung Strahlungstransport
- Strahlungstransport nanoskaliger Medien

Strahlungstransport

Für optisch dicke Proben gilt:

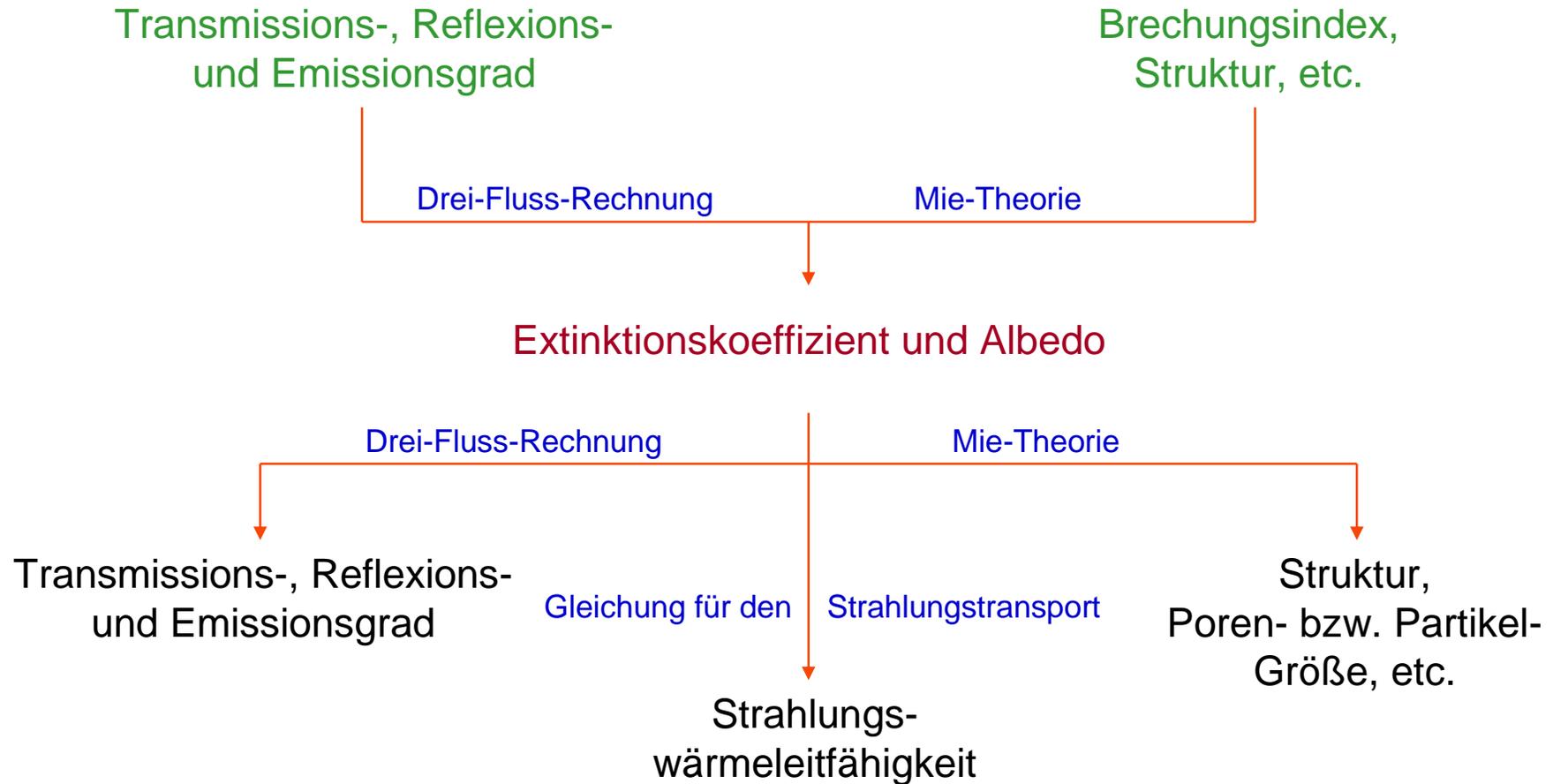
$$\lambda_r(T) = \frac{16 \sigma T^3}{3 e^*(T) \rho}$$

σ : Stefan-Boltzmann Konstante

e^* : Effektiver spezifischer Extinktionskoeffizient (Absorption & Streuung)

ρ : Dichte des Materials

Strahlungstransportgleichung



T-Matrix Methode

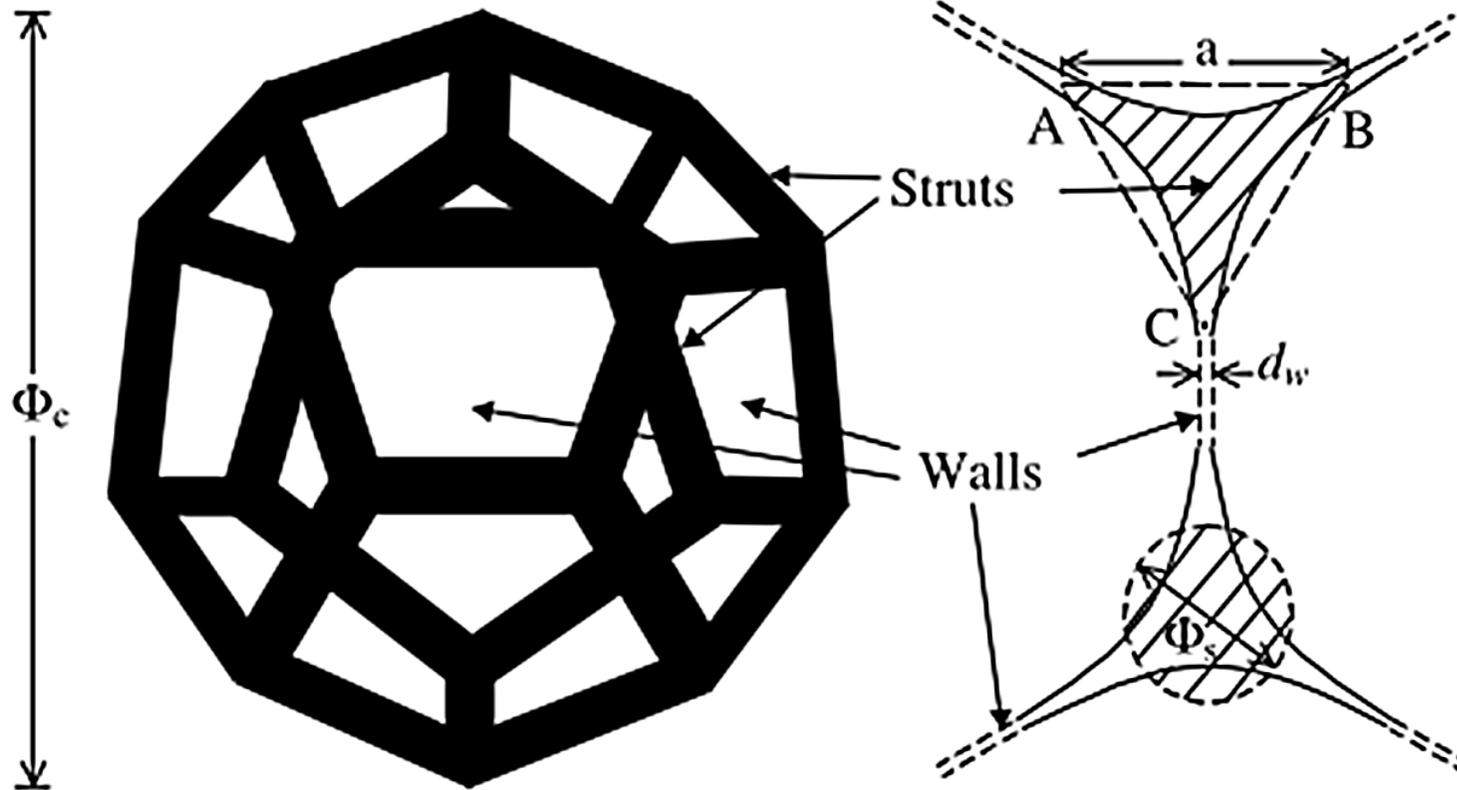
- Idee (Waterman):

$$\begin{pmatrix} a_{mn} \\ b_{mn} \end{pmatrix}_{\text{scatt}} = T \cdot \begin{pmatrix} f_{mn} \\ g_{mn} \end{pmatrix}_{\text{inc}}$$

- T-Matrix nur von physikalischen Eigenschaften bestimmt
- Ideale Sphäre (Mie):

$$\begin{pmatrix} a_n \\ b_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} T_n^1 & 0 \\ 0 & T_n^2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} f_n \\ g_n \end{pmatrix}$$

Mie Theorie



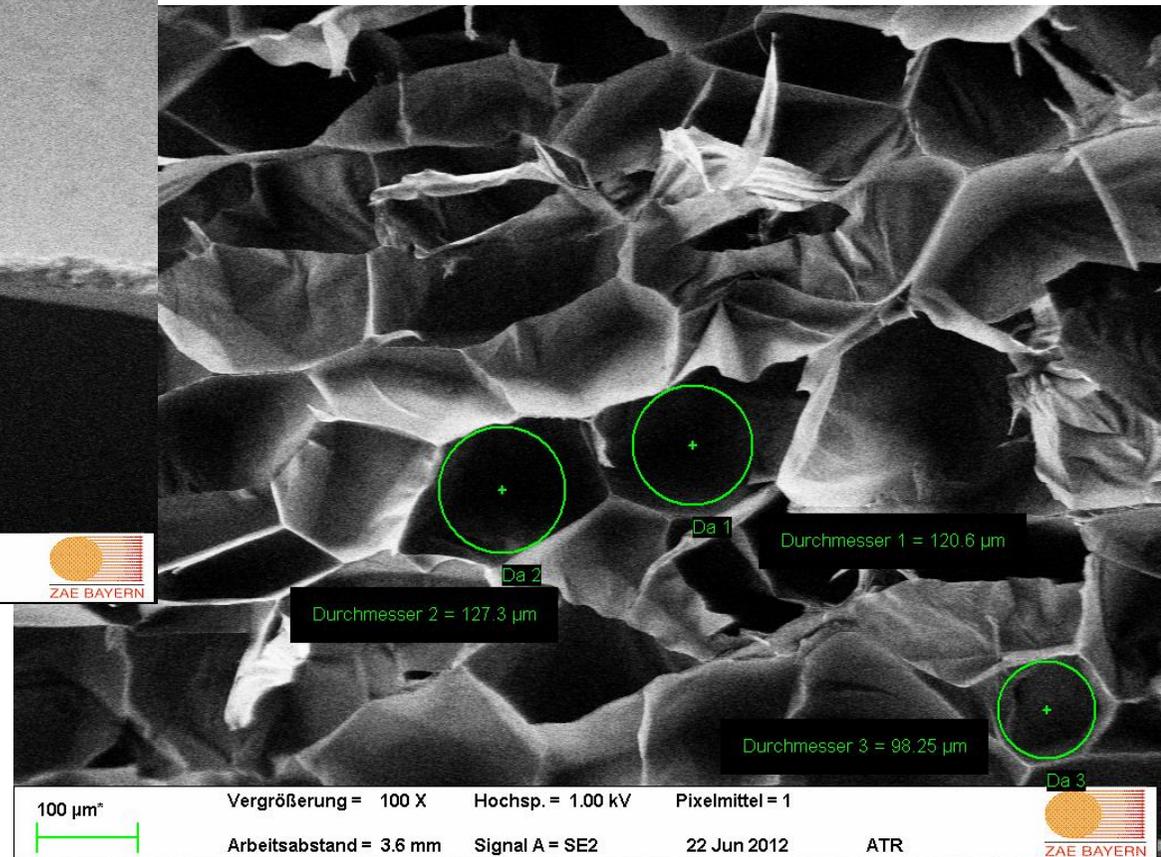
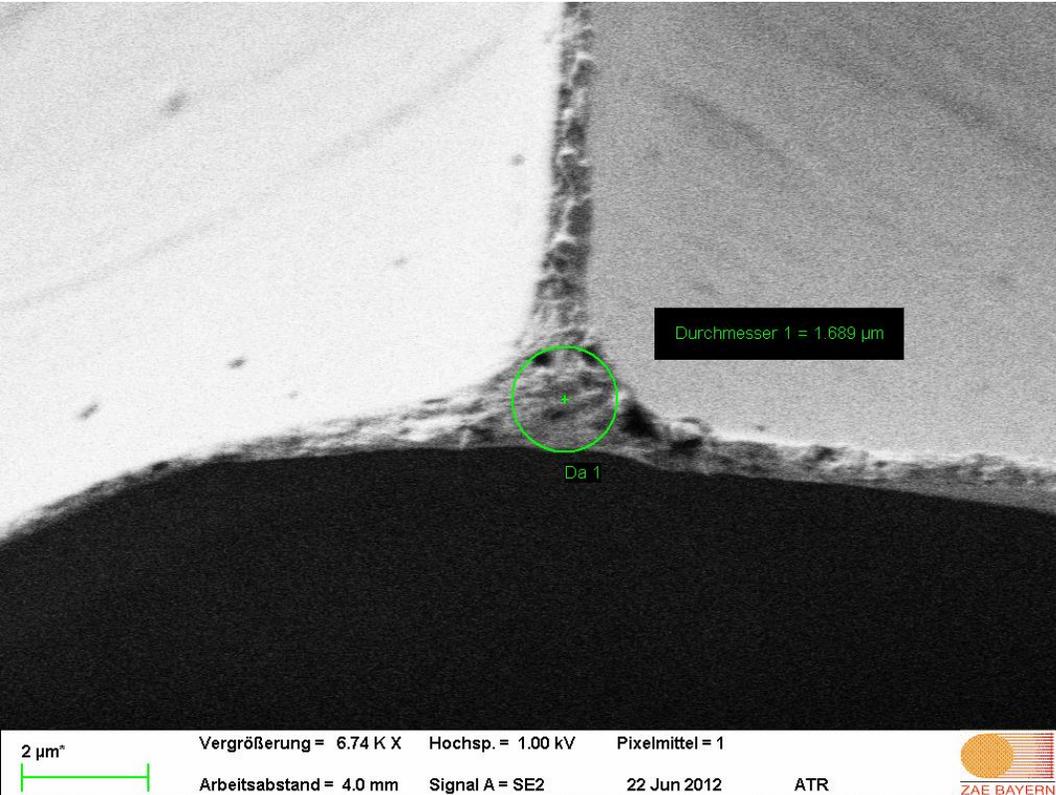
Placido/Arduini-Schuster/Kuhn, Thermal properties predictive model for insulating foams, Infr phys tech 2004.

Mie Theorie



ZAE BAYERN

Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung



Mie Theorie

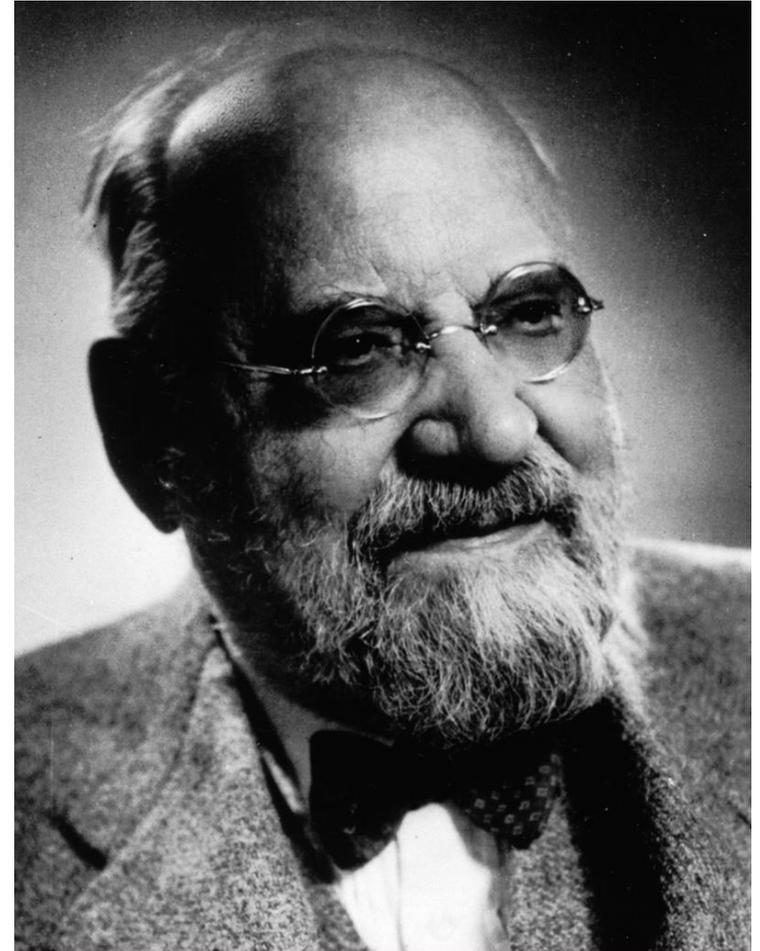


ZAE BAYERN

Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung

(Halb-)analytisches Modell:

- Schaum auf Substrukturen herunterbrechen
- Taschenrechner verwenden



Gustav Mie (29.09.1868 - 13.02.1957)
Professor in Halle 1917-1924

Finite Differences in Time Domain

- Bisher:
 - T-Matrix beliebig kompliziert und rechenintensiv
 - Mie Theorie ohne abhängige Effekte

- Alternativ:
 - Finite Differenzen im Zeitregime als weitere Möglichkeit, Strahlungstransport zu simulieren

Finite Differences in Time Domain

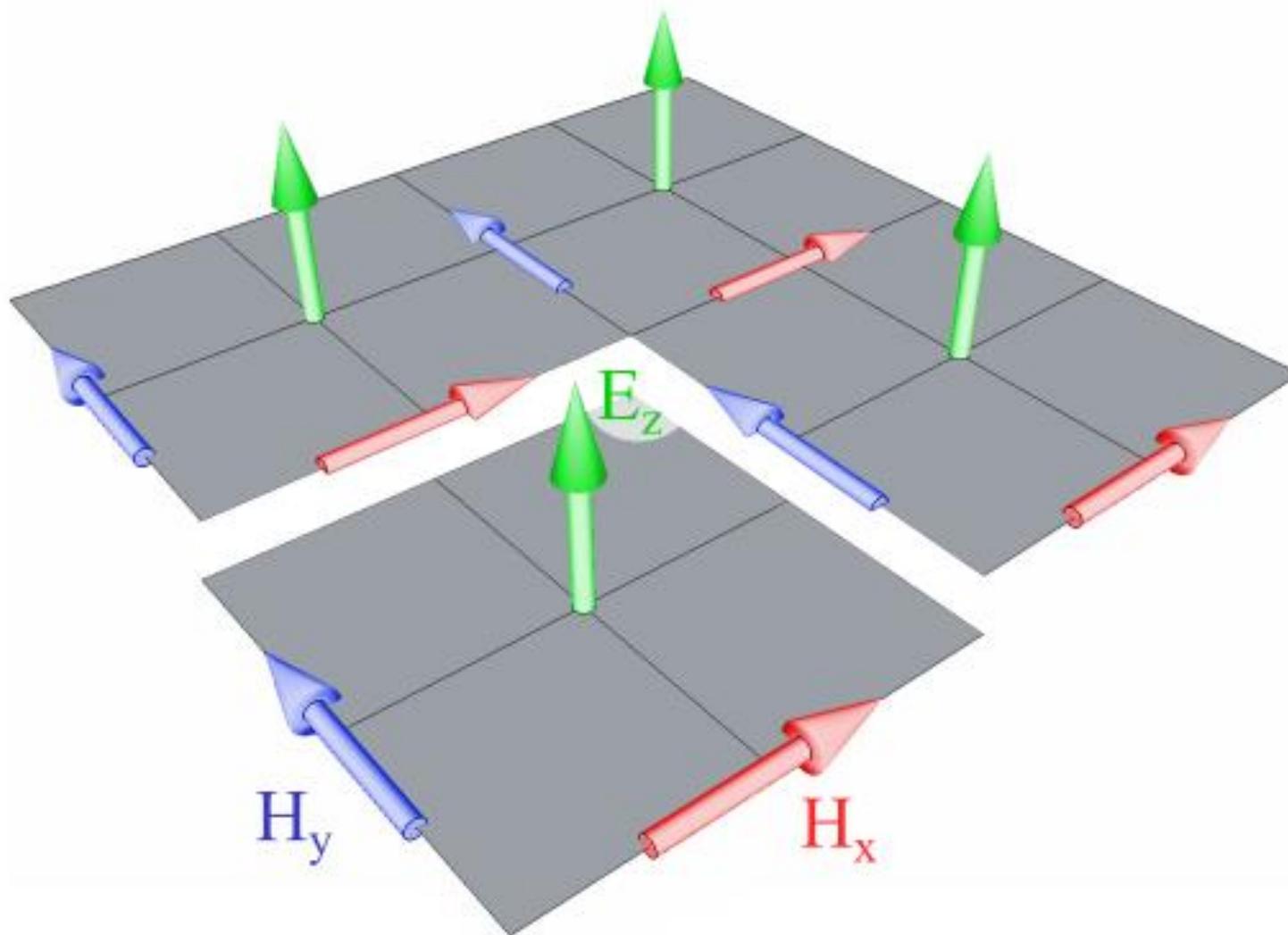
- Part. Ableitungen der Maxwell Gleichungen durch finite Differenzen ersetzen
- Em. Felder an diskreten Punkten berechnen
- Em. Felder untereinander jeweils um halbe Zellgröße versetzen → Yee-Zellen
- El. Feldes/magn. Feldes abwechselnd berechnen → leap frog in time stepping

Finite Differences in Time Domain



ZAE BAYERN

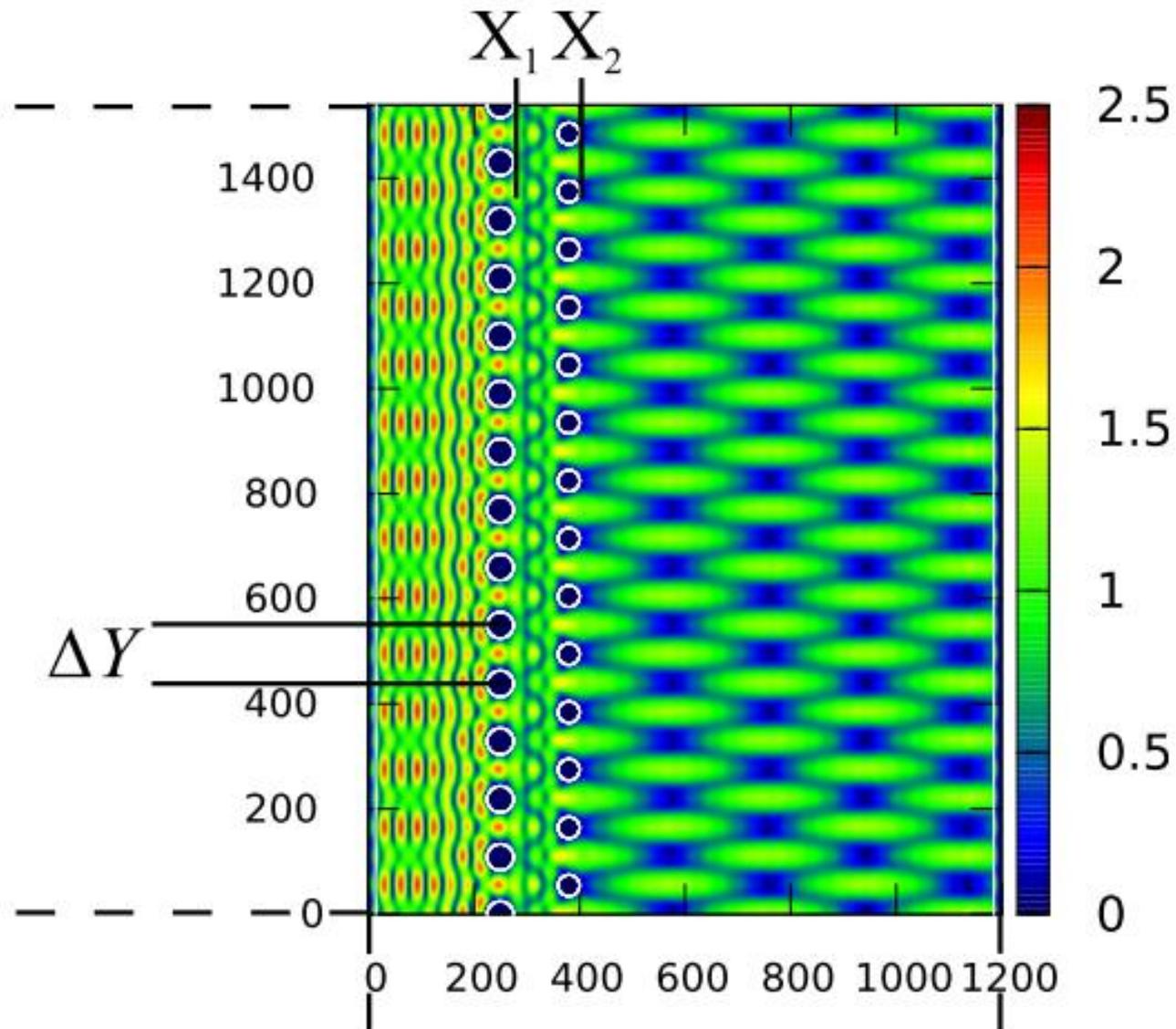
Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung



Finite Differences in Time Domain



ZAE BAYERN
Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung



Finite Differences in Time Domain

Hier Video zeigen, da PPT keine *.mkv abspielt

Übersicht



ZAE BAYERN
Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung

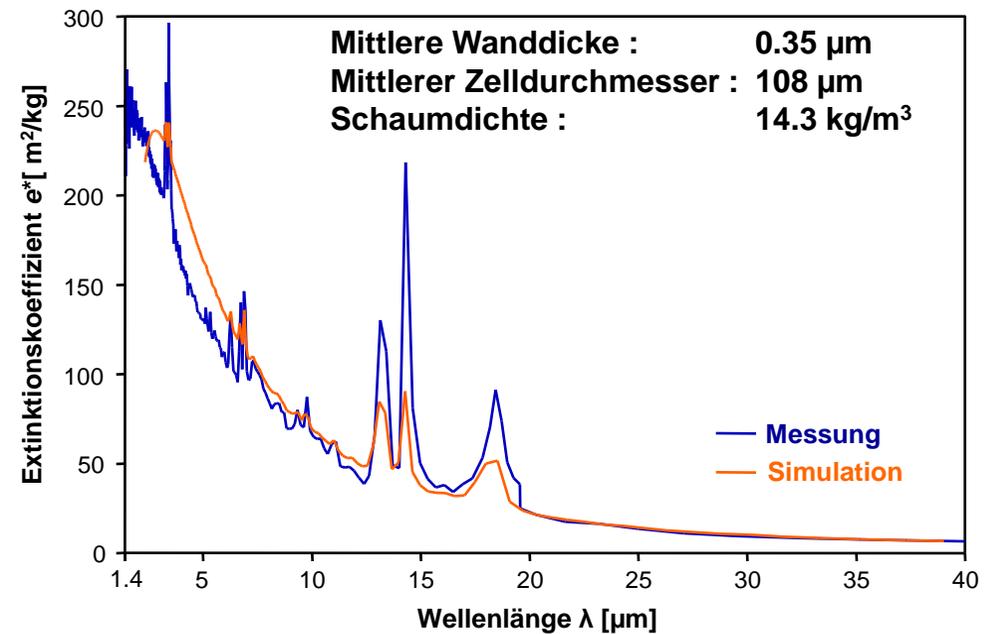
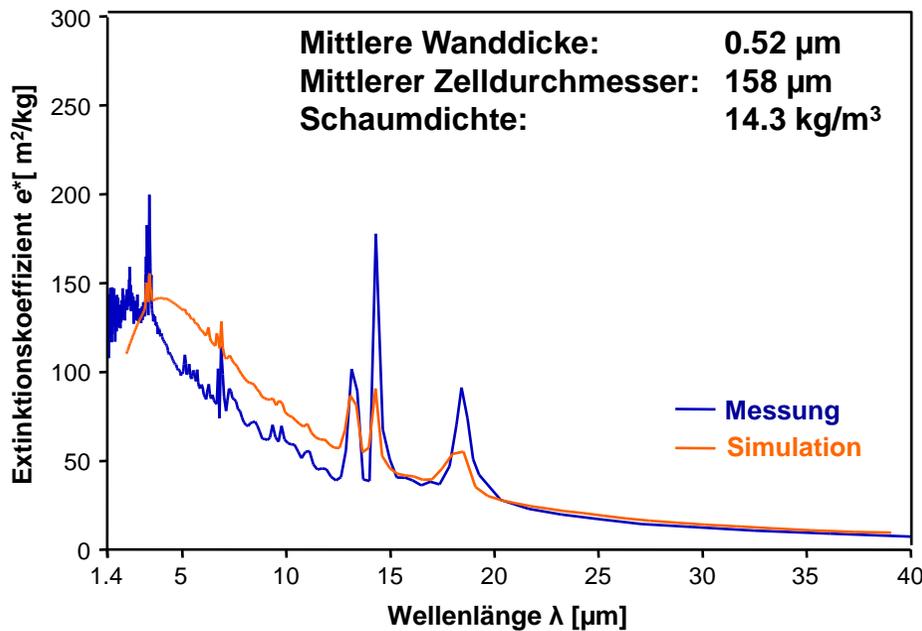
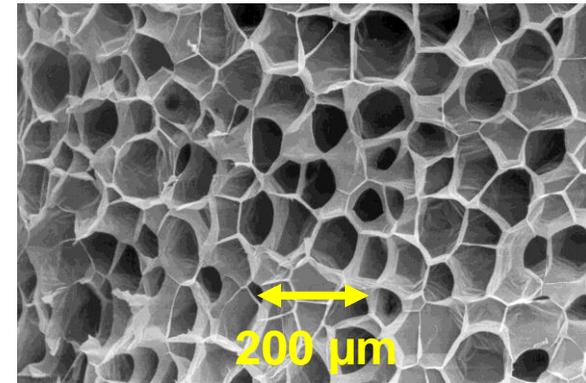
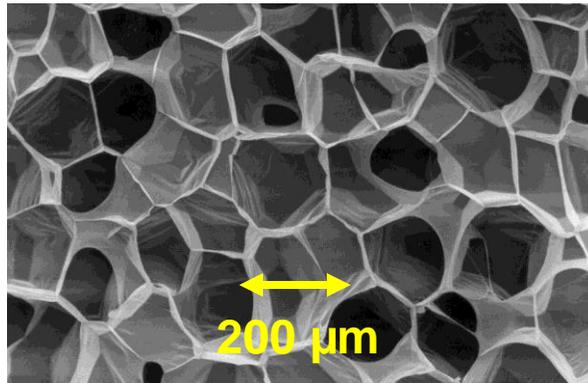
- Motivation
- Poröse Medien
- Simulation Strahlungstransport
- **Messung Strahlungstransport**
- Strahlungstransport nanoskaliger Medien

Simulation Mie Theorie



ZAE BAYERN

Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung

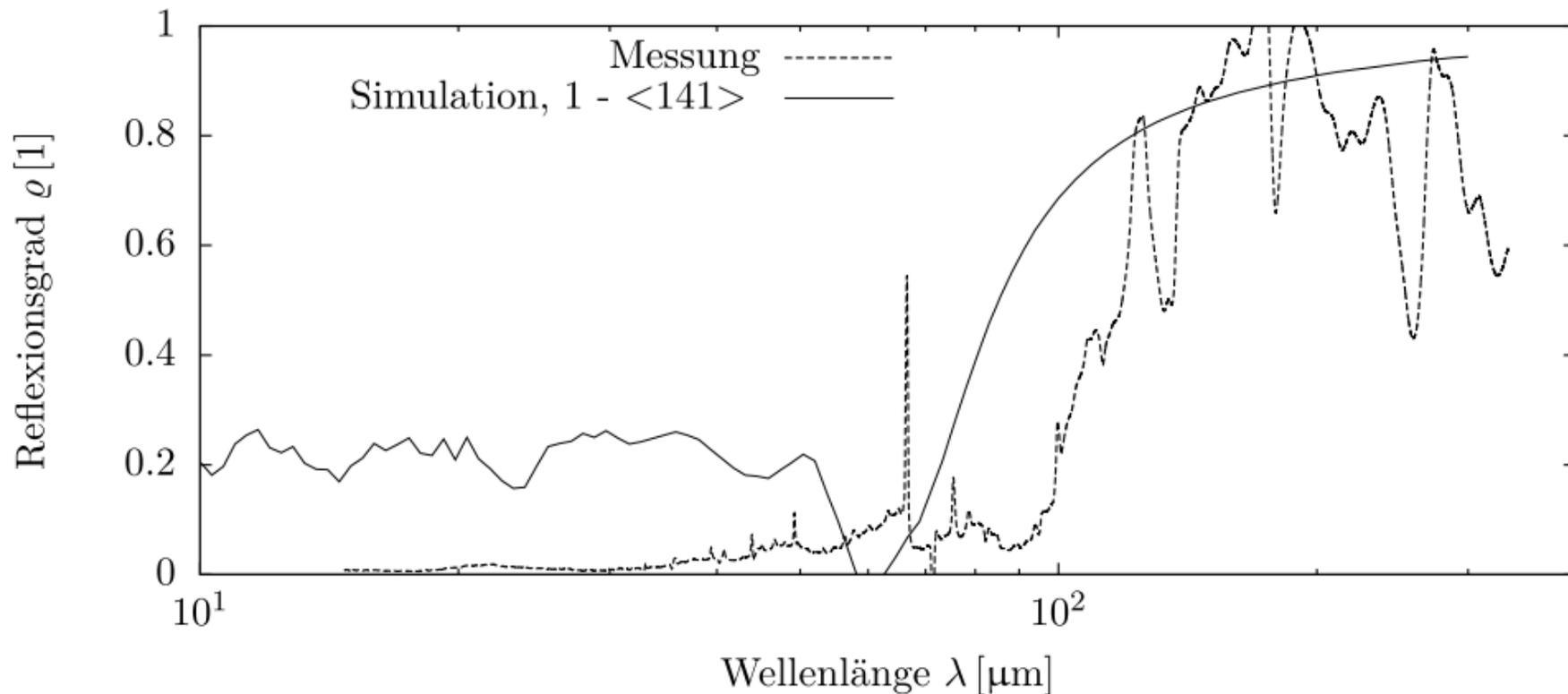


Placido/Arduini-Schuster/Kuhn, Thermal properties predictive model for insulating foams, Infr phys tech 2004.

Simulation FDTD



Reflexionsgrad Gitter $d = 25\mu\text{m}$, $m = 38\mu\text{m}$



Übersicht



ZAE BAYERN
Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung

- Motivation
- Poröse Medien
- Simulation Strahlungswärmetransport
- Messung Strahlungswärmetransport
- **Strahlungstransport nanoskaliger Medien**

Wärmequantisierung

Messung des Wärmeleitfähigkeitquants g_0 ergibt

$$g_0 = \pi^2 k_B^2 \frac{T}{3h} = 9.456 \times \frac{10^{-13} \text{ W}}{\text{K}^2} \times T$$

Schwab/Henriksen/Worlock/Roukes, Measurement of the quantum of thermal conductance, Nature 2000

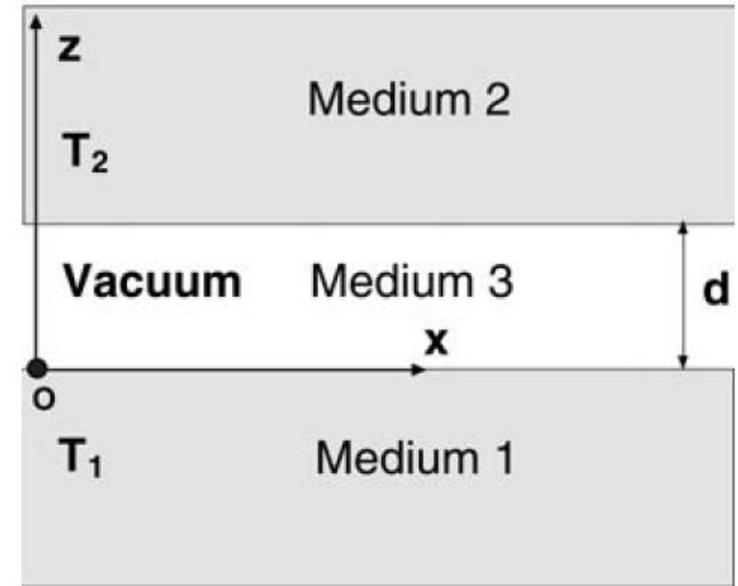
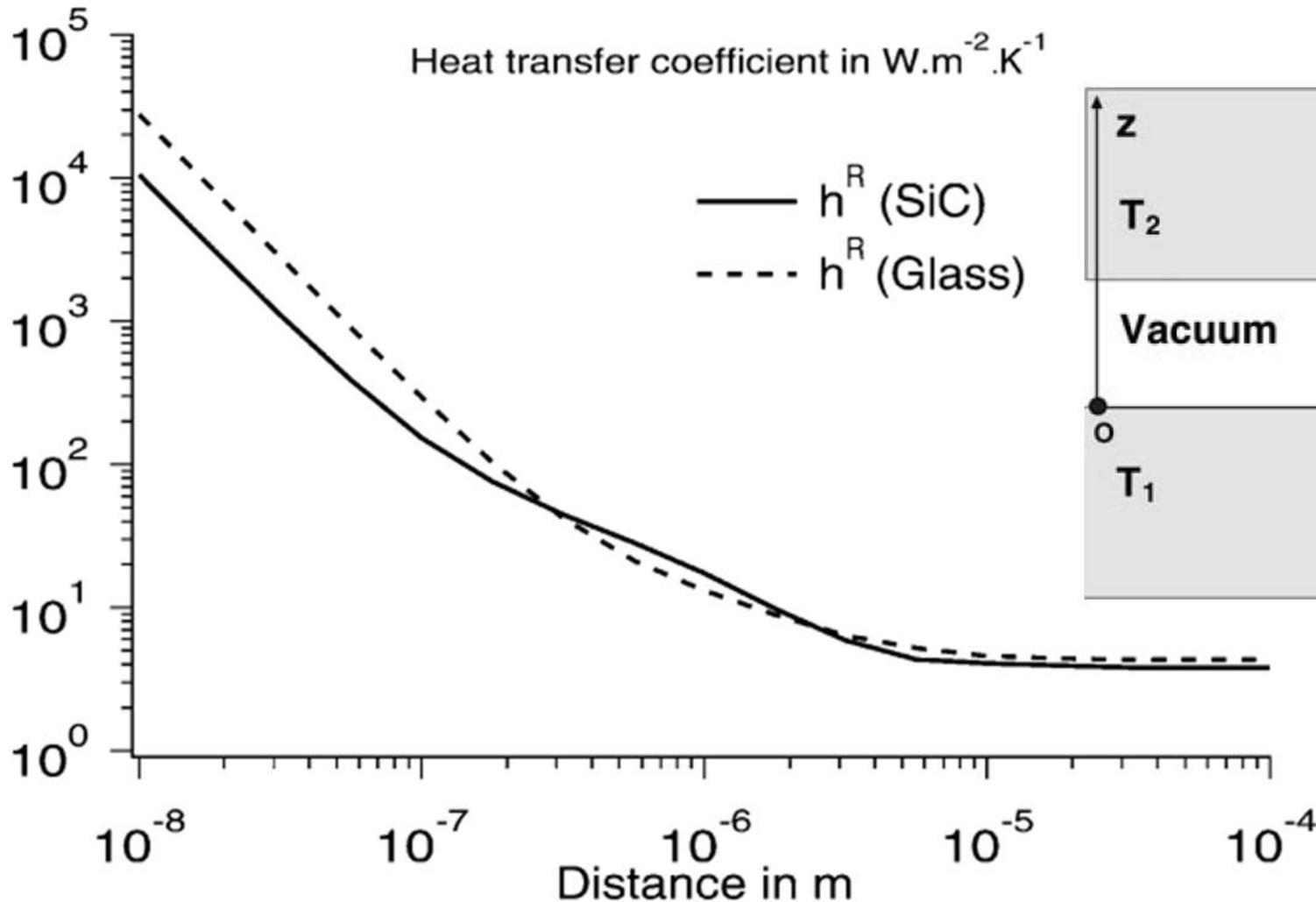
Mesoskopisches Dilemma

- Fouriers Gesetz \leftrightarrow Wärmequantisierung
- Übergang unbekannt, aber:
 - Übergang Mikro- oder Nanoschäumen bedeutet Quantisierung beachten: Phononentransport und –streuung, ballistischer Transport, ...

Strahlungstransport

- Strahlungstransport auf kleinsten Skalen: klassische Elektrodynamik + Fluktuations-Dissipations-Theorem (FDT)
- FDT korreliert kleine Störungen des lokalen thermischen Gleichgewichts mit der Reaktion spontaner Fluktuation

Strahlungstransport



Karl Joulain, Microscale and Nanoscale Heat Transfer

Zusammenfassung + Ausblick

- Vielzahl poröser Materialien auf Strahlungstransport untersuchbar
- Mie Theorie beschreibt Schäume sehr gut
- FDTD als vielseitigere Methode eingeführt
- Kleinere Strukturen benötigen neue Methoden/Physik

Vielen Dank für die Aufmerksamkeit

MIT SONNE UND VERSTAND.



ZAE BAYERN

Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung