

Erweiterungsmöglichkeiten der Transient Hot Bridge Messmethode (THB) durch Finite Elemente Analyse



Dr. Heinz Renner
Vielitzer Straße 43
95100 Selb
GERMANY

Tel.: 0049 9287 880 42
Email: h.renner@linseis.de

In Zusammenarbeit mit:
Prof. Matthias Stripf,
M.Sc. Jochen Gaiser
Hochschule Karlsruhe
Inst. f. Kälte-, Klima- und Umwelttechnik
Moltkestr. 30
76133 Karlsruhe

Messung der Wärmeleitfähigkeit: Abweichungen bei unterschiedlichen Messmethoden

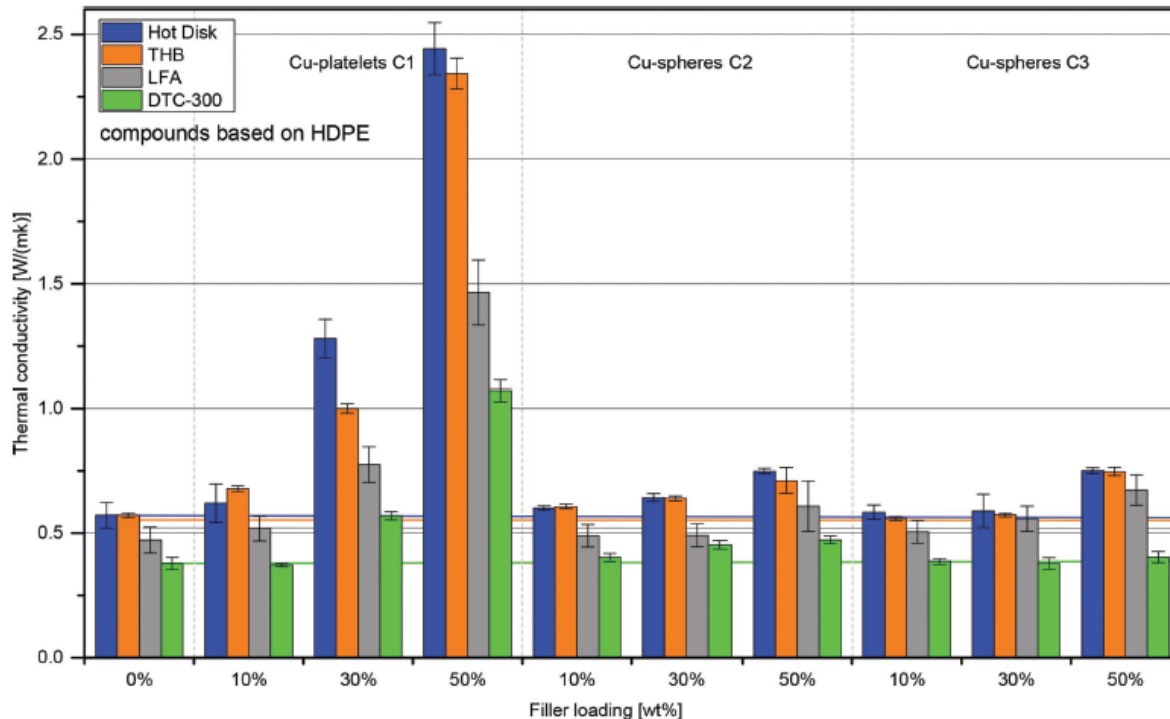


Figure 9. Effect of the filler geometry and concentration on the TC of HDPE-based compounds as determined by Hot Disk (isotropic measurement module), THB (BK7 calibration), LFA (radiation evaluation model), and DTC-300.

H. Weingrill, W. Hohenauer, K. Resch-Fauster, C. Zauner,
Analyzing Thermal Conductivity of Polyethylene-Based Compounds
Filled with Copper, Macromol. Mater. Eng. 2019, 1800644

Gründe für Abweichungen

- Probenvorbereitung
- Messparameter
- Auswertung der Messdaten
- Komplexer Wärmetransport in der Probe (z.B. Anisotropie, Inhomogenitäten etc.)

Einfluss der Messparameter

Viele Fehlerquellen wie z.B.:

- **LFA:** Pulsdauer- und Pulsenergie
- **Heizdrahtmethoden:** Heizleistung, Messdauer
- **Stationäre Methoden:** Temperaturgradient, Messdauer

Auswertung der Messaten

Basiert auf **Modellen** mit **Korrekturen** und **Annahmen**

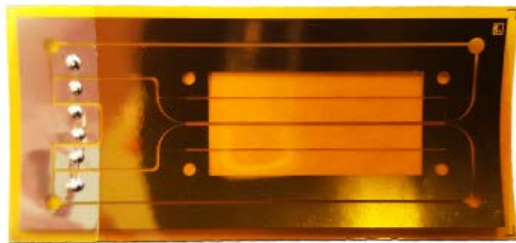
- **LFA:**
 - Korrekturen für Pulsdauer- und Pulsenergie
 - Korrekturen für Wärmeverluste
 - Korrekturen für Wärmestrahlung
 - ...
- **Heizdrahtmethoden:**
 - Annahmen und spezifische Randbedingungen bei der Lösung der Wärmeflussgleichungen

Eliminierung dieser Fehlerquellen

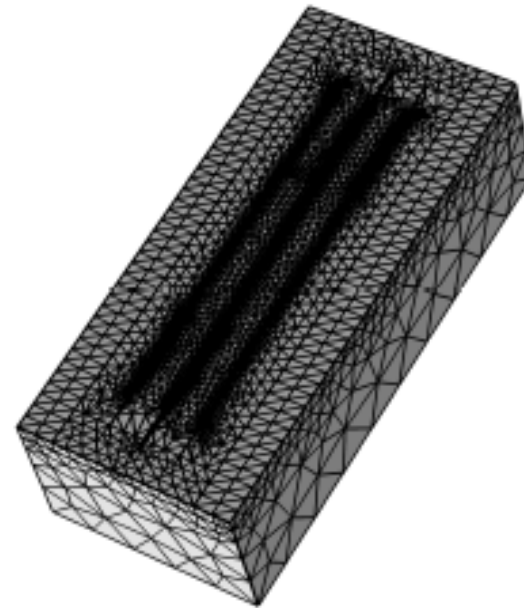
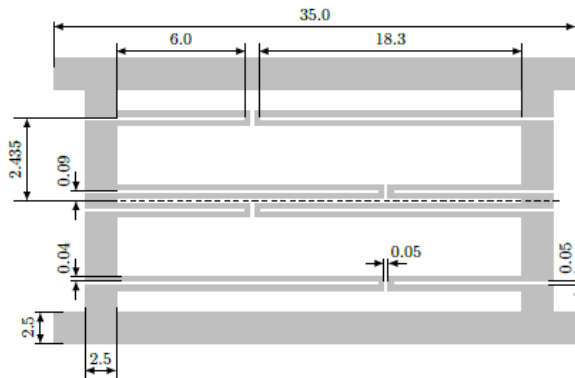
Auswertung der Rohdaten mit Finite Elemente Analyse

- Entwicklung eines Simulationsmodells für THB Methode
- Vergleich simulierter Daten und Messdaten
- Evaluierung mittels Referenzstandards
- Erweiterungen des Modells für anisotrope Materialien und komplexe Messaufgaben

THB Simulationsmodell

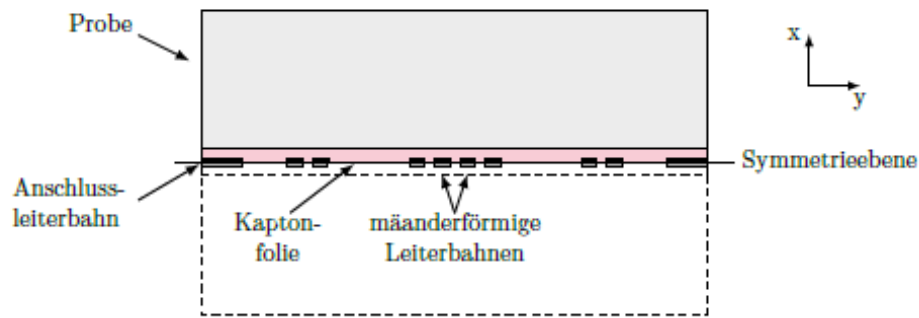


THB-Sensor

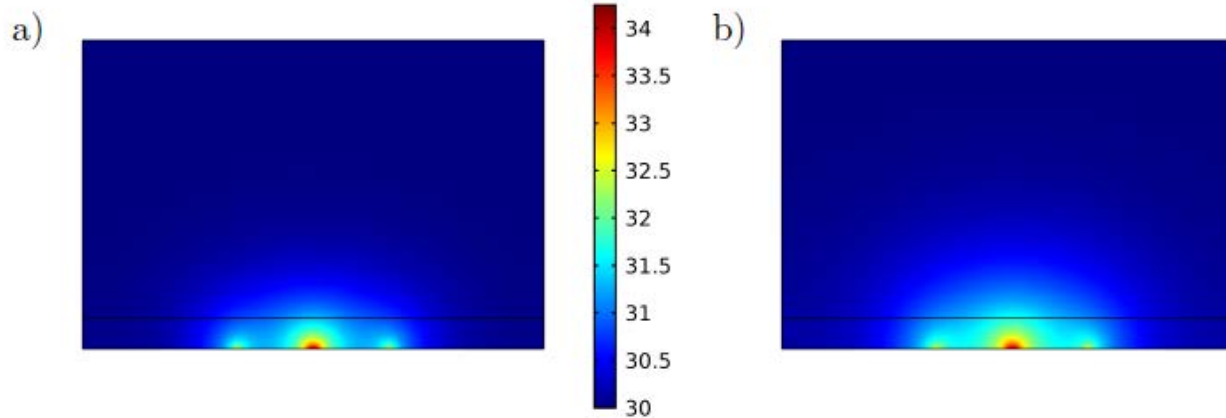


Vernetztes Simulationsmodell

THB Simulationsmodell

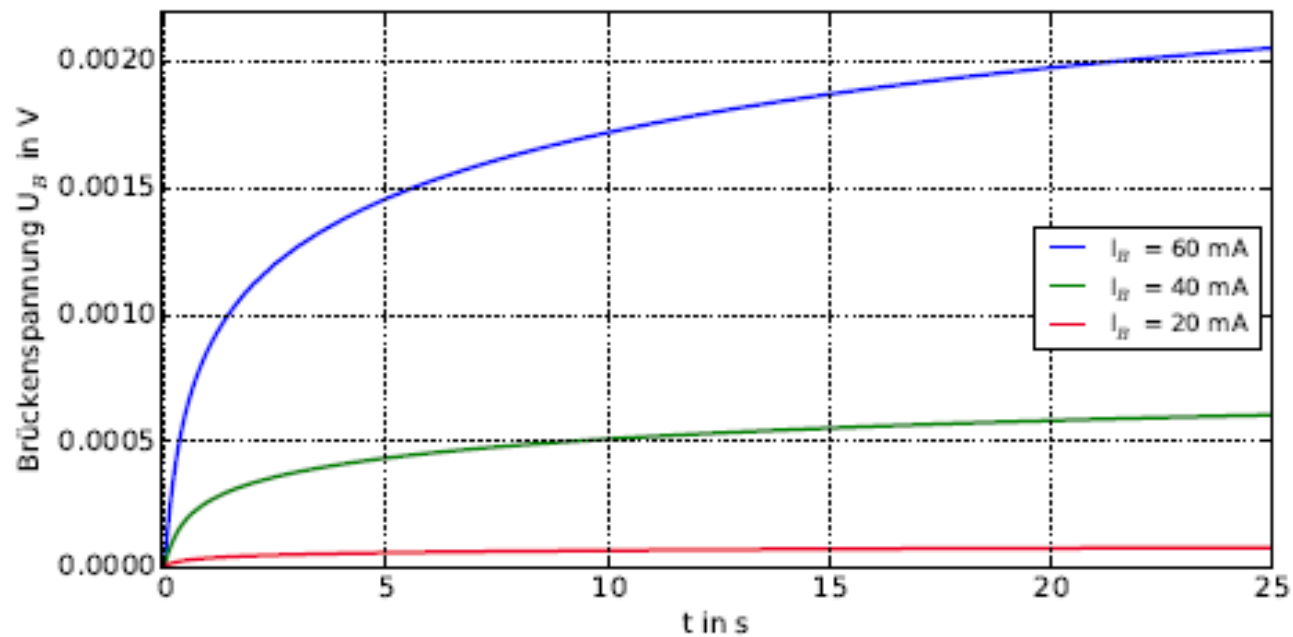


Qualitativer Schnitt des Sensormodells in der xy-Ebene an der Sensormitte



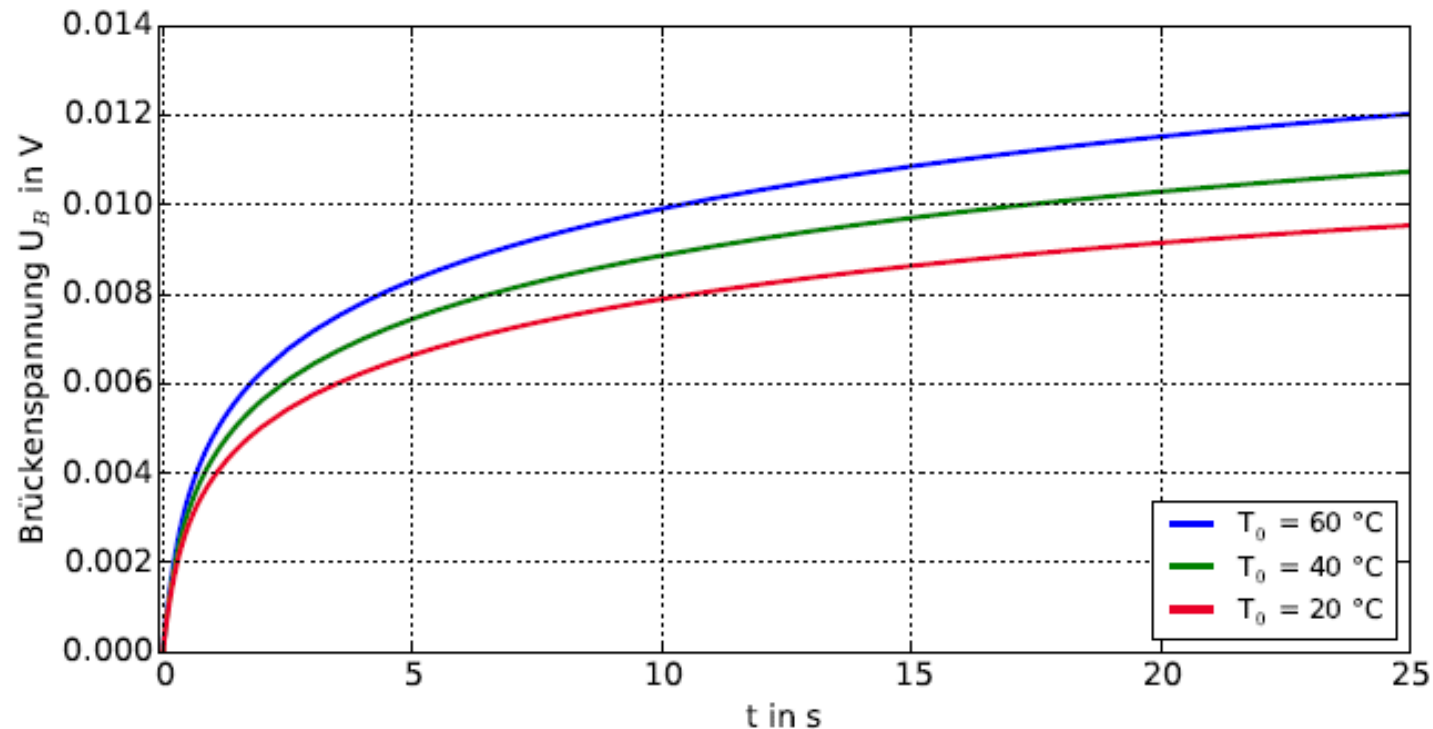
Temperaturverteilung der xy-Ebene an der Sensormitte nach 25 s, mit $I_B = 50 \text{ mA}$ und $T_0 = 30^\circ\text{C}$ in Abhängigkeit von der Probenwärmeleitfähigkeit: in a) $\lambda_{Probe} = 0.2 \frac{\text{W}}{\text{mK}}$ und in b) $\lambda_{Probe} = 0.4 \frac{\text{W}}{\text{mK}}$

Parameterstudien



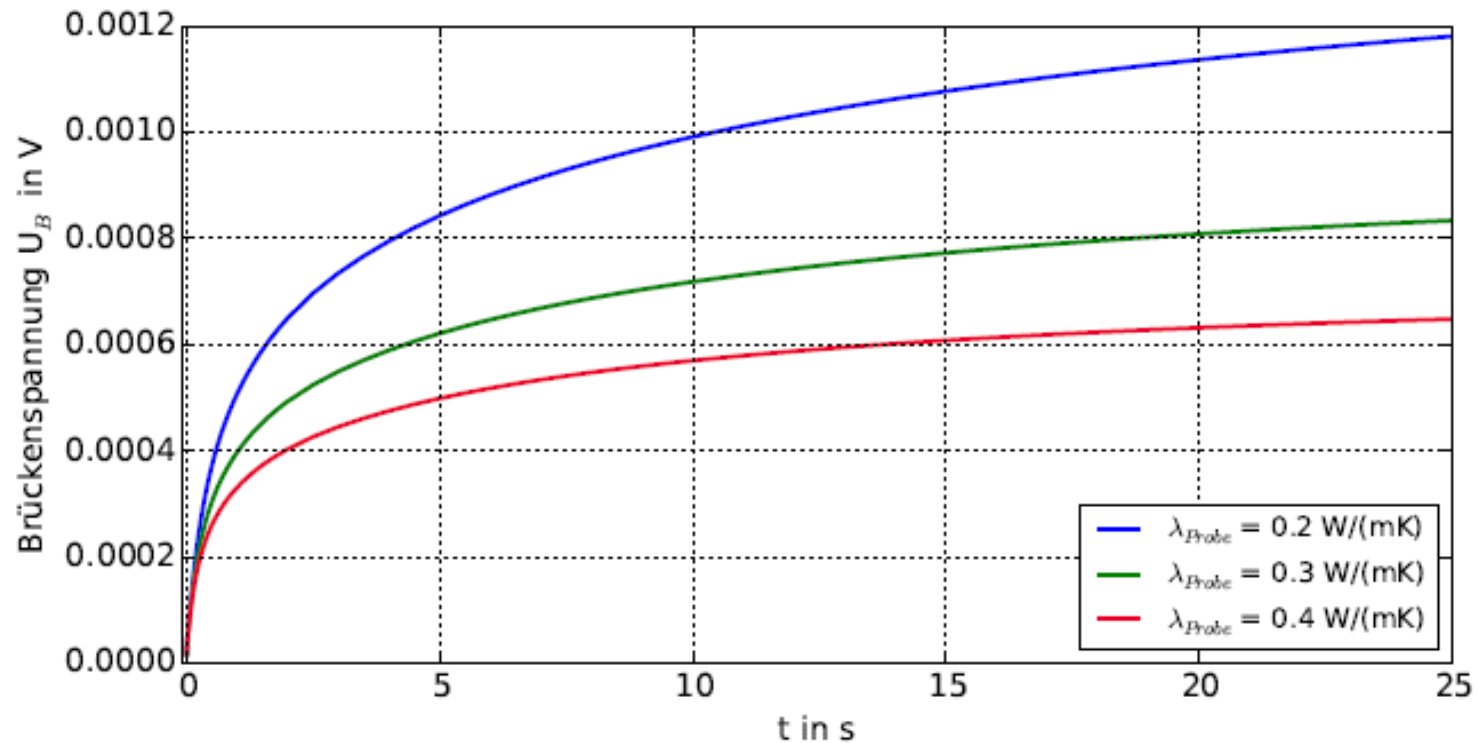
Brückenspannungsverlauf von PMMA abhängig vom Messstrom, mit $T_0 = 30\text{ °C}$

Parameterstudien



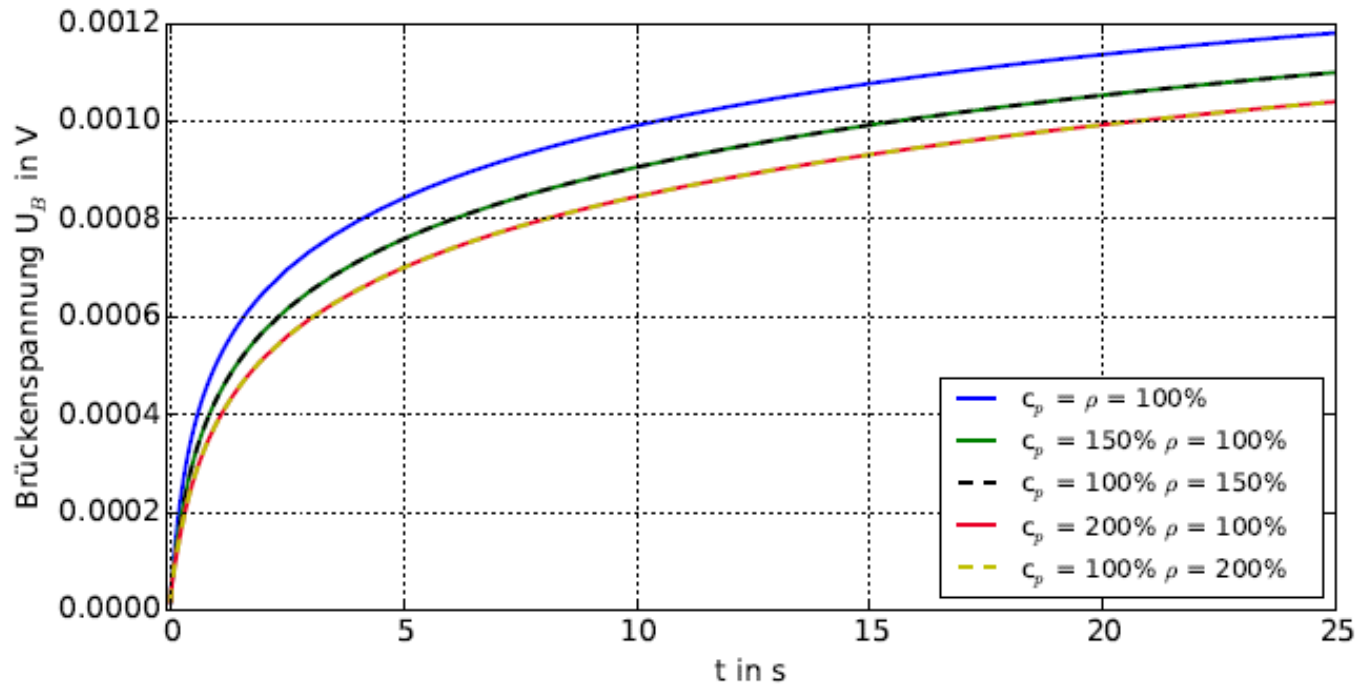
Brückenspannungsverlauf in Abhängigkeit von der Starttemperatur, mit $I_B = 50\text{ mA}$ und konstanten Probenstoffdaten von PMMA bei 20 °C

Parameterstudien



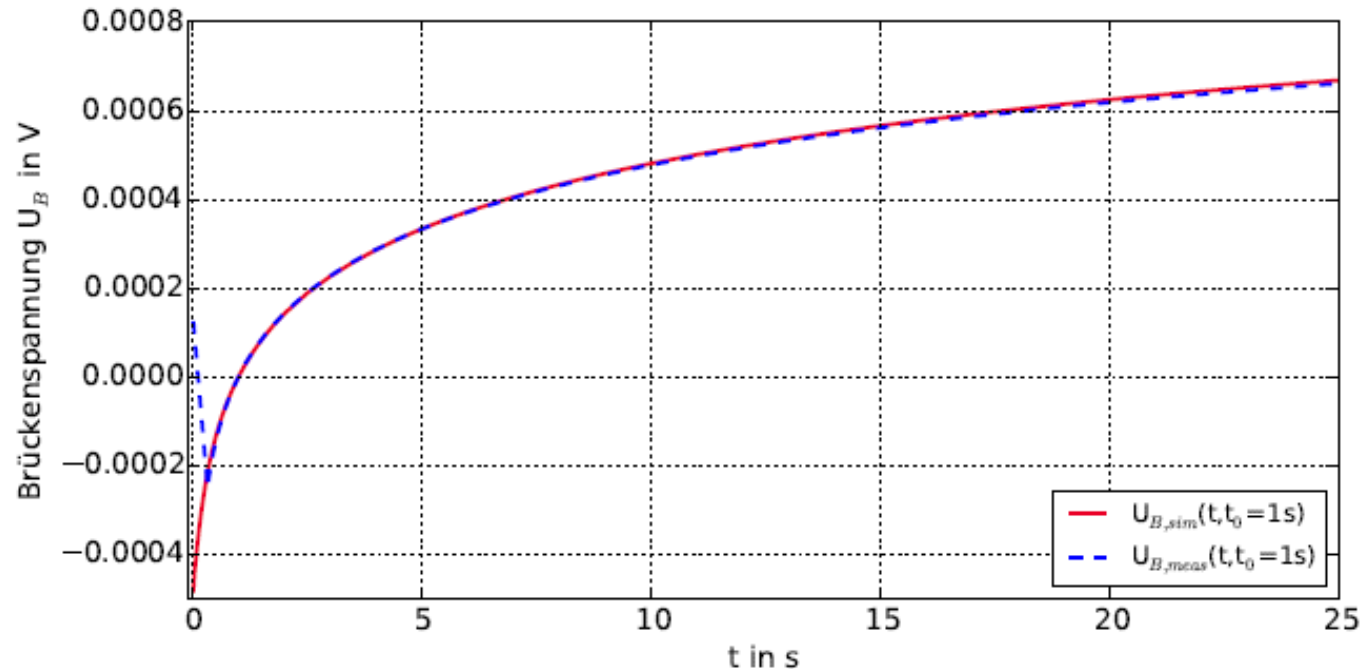
Brückenspannungsverlauf abhängig von der Wärmeleitfähigkeit λ_{Probe} ,
mit $T_0 = 30 \text{ }^\circ\text{C}$ und $I_B = 50 \text{ mA}$

Parameterstudien



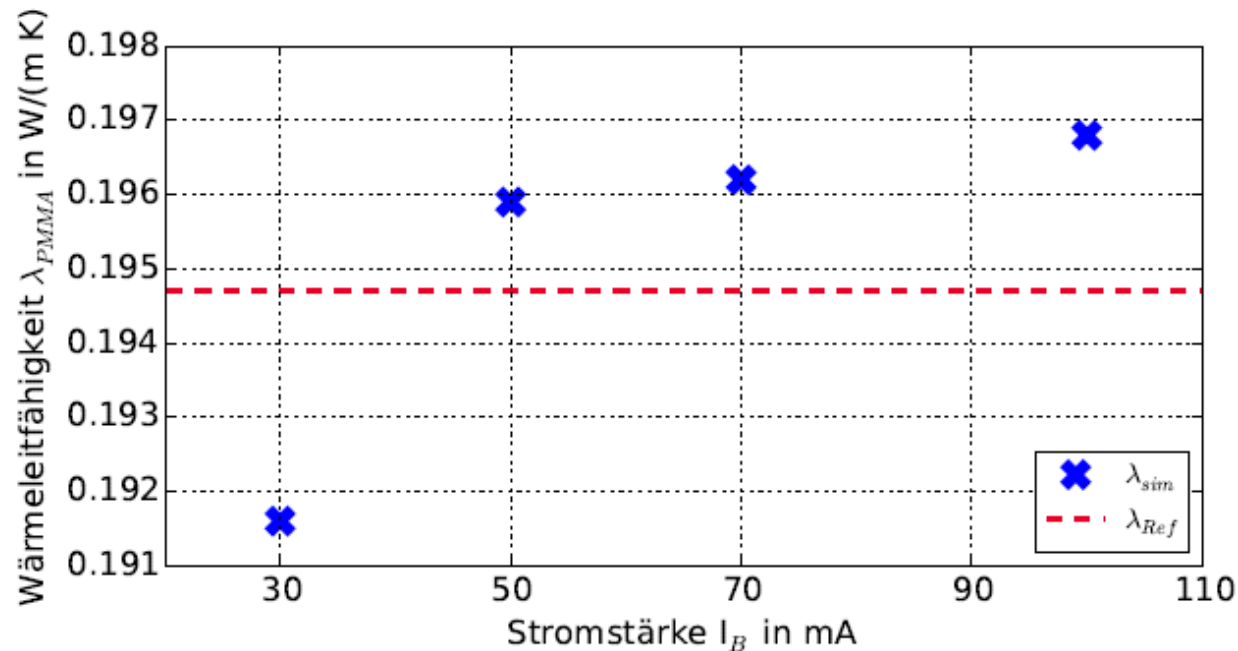
Brückenspannungsverlauf abhängig von der Dichte und Wärmekapazität,
mit $T_0 = 30\text{ °C}$ und $I_B = 50\text{ mA}$

Messbeispiele - PMMA



Vergleich des simulierten und gemessenen Brückenspannungsverlauf unter Berücksichtigung der Nullpunktverschiebung mit $T_0 = 30^\circ\text{C}$ und $I_B = 50\text{ mA}$

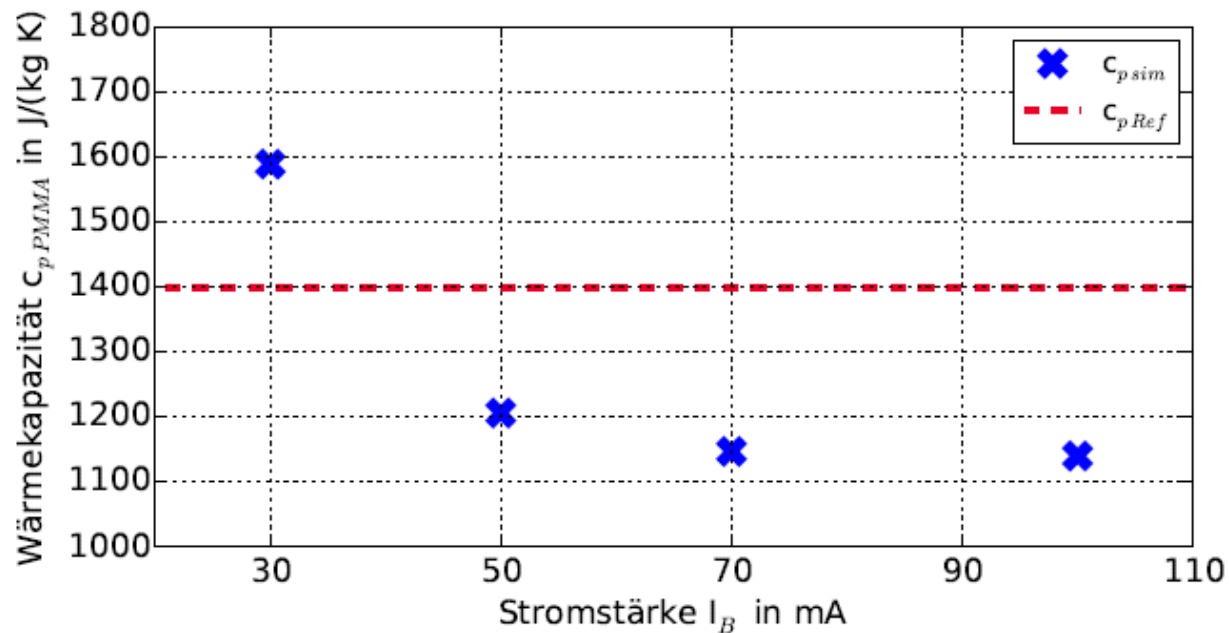
Messbeispiele - PMMA



Referenzwerte und berechnete Wärmeleitfähigkeiten von PMMA in Abhängigkeit der Messstromstärke

Abweichungen < 3% auch bei ungünstigen Messparametern!

Messbeispiele - PMMA



Referenzwerte und berechnete Wärmekapazitäten von PMMA

Ergebnisse der FEM- Auswertungen

- Hohe Genauigkeiten für die Berechnung der Wärmeleitfähigkeit
- Unabhängigkeit der Messergebnisse von Messparametern in weiten Bereichen

FEM Auswertungen

ERWEITERUNGSMÖGLICHKEITEN FÜR KOMPLEXERE ANWENDUNGEN

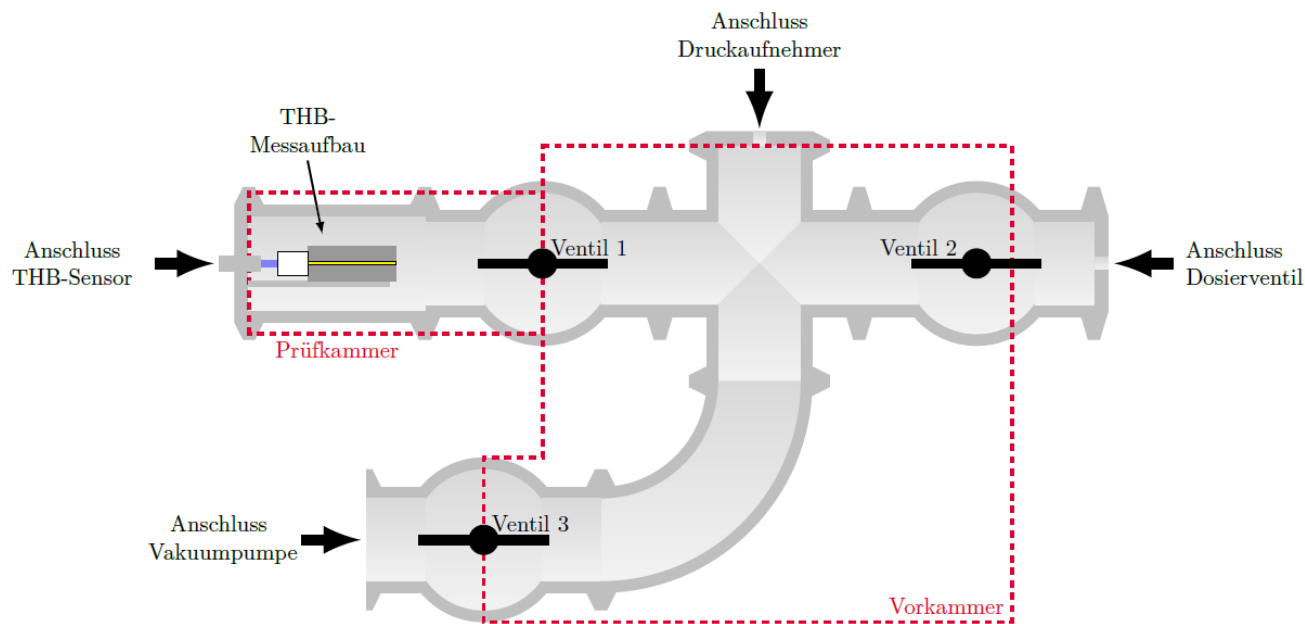
INSEIS

Beispiel 1: Adsorption - Beladungsabhängige Wärmeleitfähigkeit von Aktivkohle



Spannvorrichtung zum Anpressen von Aktivkohle an einen THB Sensor

Beispiel 1: Adsorption - Beladungsabhängige Wärmeleitfähigkeit von Aktivkohle



Messaufbau zur Untersuchung der Adsorption von Methanol an Aktivkohle

Beispiel 1: Adsorption - Beladungsabhängige Wärmeleitfähigkeit von Aktivkohle

Erweiterung des Simulationsmodells

- Beladungsänderungen durch Temperaturänderungen

$$\frac{\partial X_{ist}}{\partial t} = k_s A_p (X_{soll} - X_{ist}), \text{ mit } k_s A_p = \frac{15 D_{ad}}{r_p^2}$$

Beladungsänderung

- Berücksichtigung der Energieänderung im Korn des Adsorbens und der Massenänderung durch Quell- und Senkterme

$$\dot{q}_{ad} = h_{ad} \rho_{Ads}^{tr} \frac{\partial X_{ist}}{\partial t}$$

$$h_{ad} = A + h_{evap}$$

$$\frac{\partial m}{\partial t} = \frac{\rho_{Ads}^{tr}}{M_{Adb}} \frac{\partial X_{ist}}{\partial t}$$

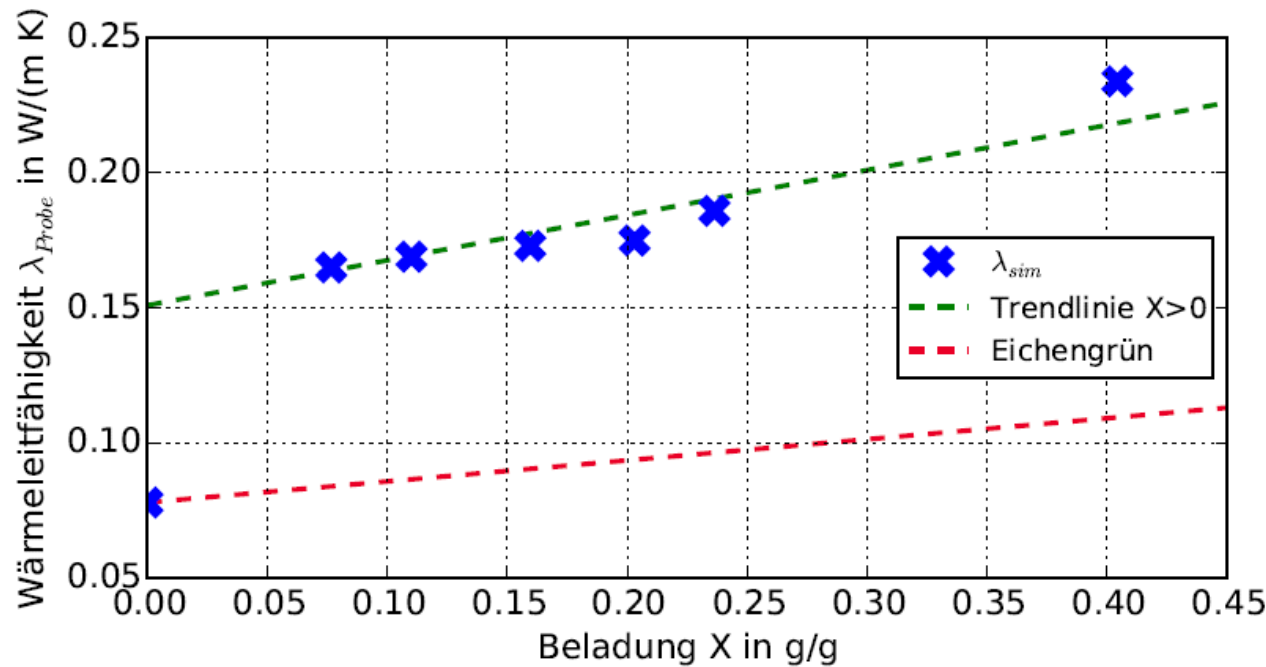
Änderung Adsorptionspotenzial

Masseänderung

Masterarbeit Jochen Gaiser, „Transient Hot Bridge Verfahren - Tool-Entwicklung zur optimierten Auswertung der Wärmeleitfähigkeit und Wärmekapazität poröser Materialien“, **Hochschule Karlsruhe, 2016**



Beispiel 1: Adsorption – Beladungsabhängige Wärmeleitfähigkeit



Beladungsabhängige Wärmeleitfähigkeit der Aktivkohle JHS400F in Abhängigkeit von der Beladung bei $T_0 = 30\text{ °C}$

Beispiel 2: Anisotropie

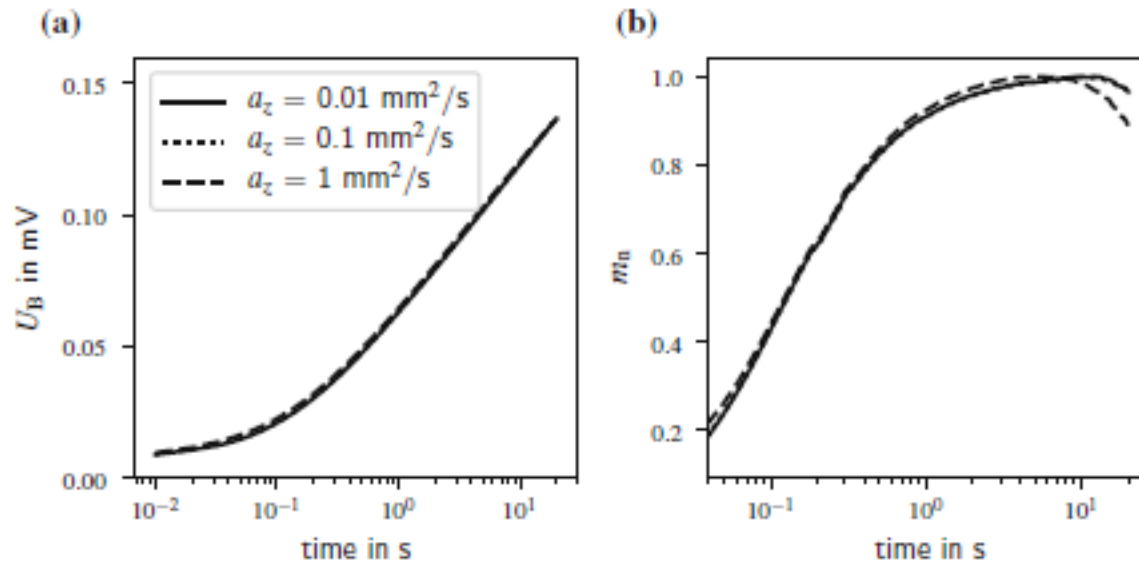


Fig. 3 Simulated bridge voltage (a) and the derived normalized slope (b) plotted against the time for various a_z , with $a_x = a_y = 0.1 \text{ mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$

J. Gaiser, M. Stipf, F. Henning,
Int. Journal of Thermophysics 2019, 40:12

Beispiel 2: Anisotropie

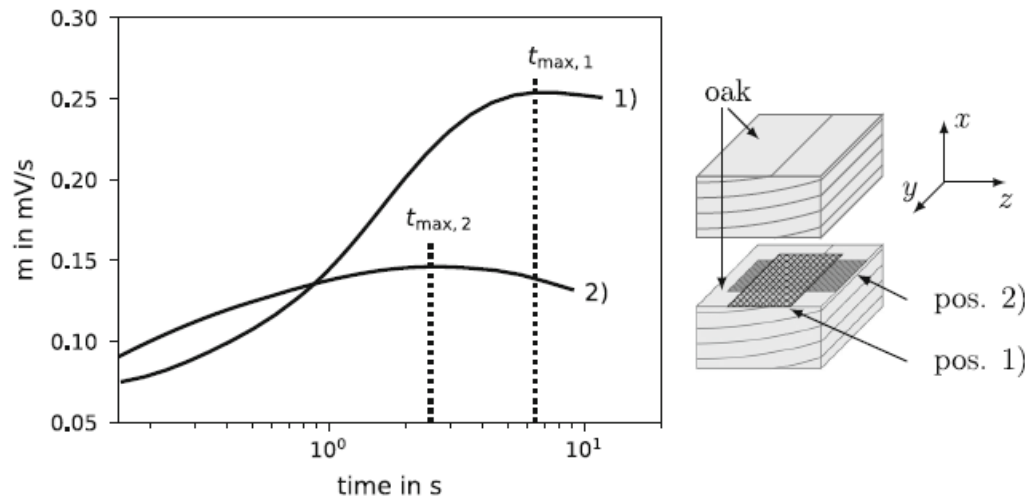


Fig. 10 Logarithmic slope of the measured bridge voltage and the corresponding time $t_{\max,i}$ of oak for two different sensor positions

Table 3 Comparison of the direction-dependent thermal conductivity of oak using different measuring methods

	λ_x (W · m ⁻¹ · K ⁻¹)	λ_y (W · m ⁻¹ · K ⁻¹)	λ_z (W · m ⁻¹ · K ⁻¹)
THB	0.26 ± 0.02	0.38 ± 0.04	0.15 ± 0.01
HFM	0.27 ± 0.01	0.38 ± 0.02	0.16 ± 0.01
Lagüela et al. [15]	0.22 ± 0.01	0.58 ± 0.03	0.21 ± 0.01

J. Gaiser, M. Stipf,
F. Henning, Int. Journal of
Thermophysics 2019, 40:12

Zusammenfassung

THB- Messmethode mit FEM Auswertungen:

- Eliminierung methodenspezifischer Auswerteungenauigkeiten (modellfreie Auswertung)
- Minimierung von Anwendungsfehlern
- Erweiterungsmöglichkeiten für komplexe Messaufgaben

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit !

Dr. Heinz Renner

h.renner@linseis.de
Tel. +49 9287 880 42

LINSEIS