



**ZAE BAYERN**

Bayerisches Zentrum  
für Angewandte  
Energieforschung

# Referenzmaterialien für das Vergleichsverfahren – Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit von PEEK

**Tagung des AK-Thermophysik am 18. und 19. März 2013**

**Frank Hemberger, Johannes Wachtel, Stephan Vidi**



1. Vergleichsverfahren – Warum?
2. PEEK
  - Materialeigenschaften
  - Probekörper
3. Thermische Charakterisierung
  - Eingesetzte Messverfahren
  - Ergebnisse
4. Fazit

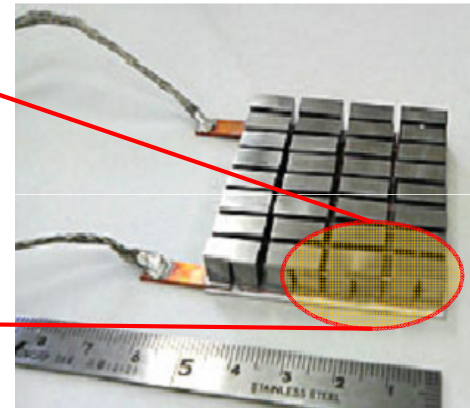
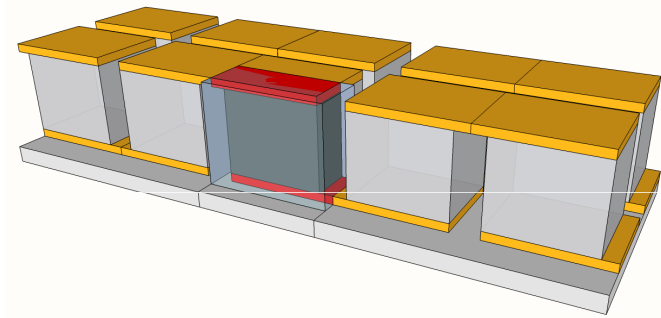
# Motivation

## Effektive Wärmeleitfähigkeit von Systemen: Simulieren & Messen



ZAE BAYERN

Bayerisches Zentrum  
für Angewandte  
Energieforschung



[www.instructables.com](http://www.instructables.com)



Bild: Rainer Knäpper, License: [artlibre](https://artlibre.org/)

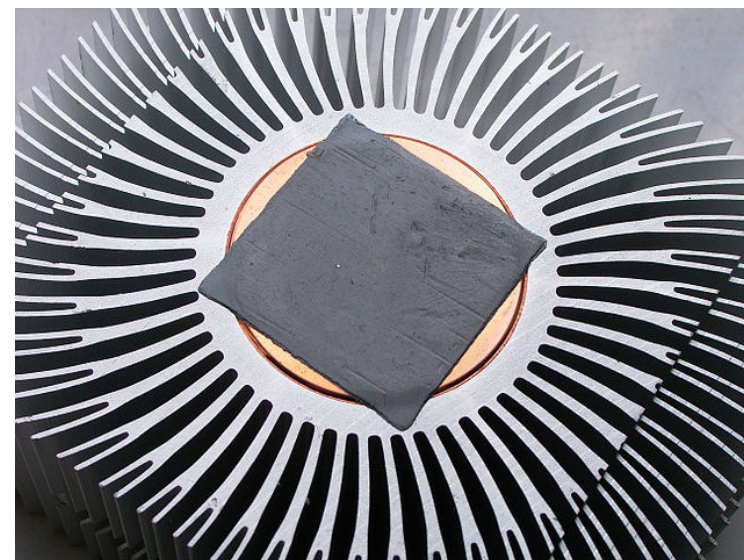


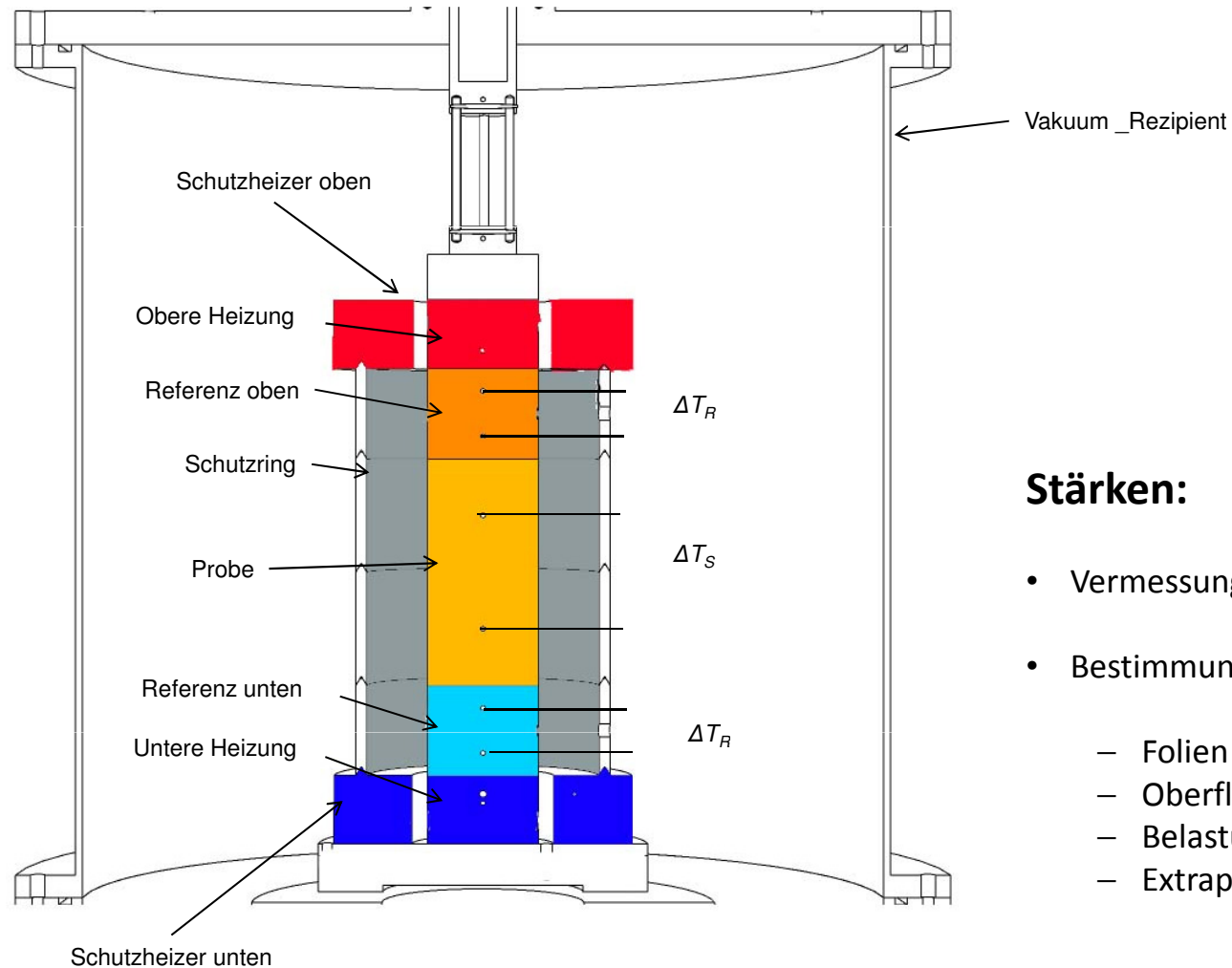
Bild: Rainer Knäpper, License: [artlibre](https://artlibre.org/)

# Vergleichsverfahren



ZAE BAYERN

Bayerisches Zentrum  
für Angewandte  
Energieforschung



$$\lambda_S(T) = \lambda_R(T) \cdot \frac{\Delta T_R}{\Delta T_S} \cdot \frac{d_S}{d_R}$$

## Stärken:

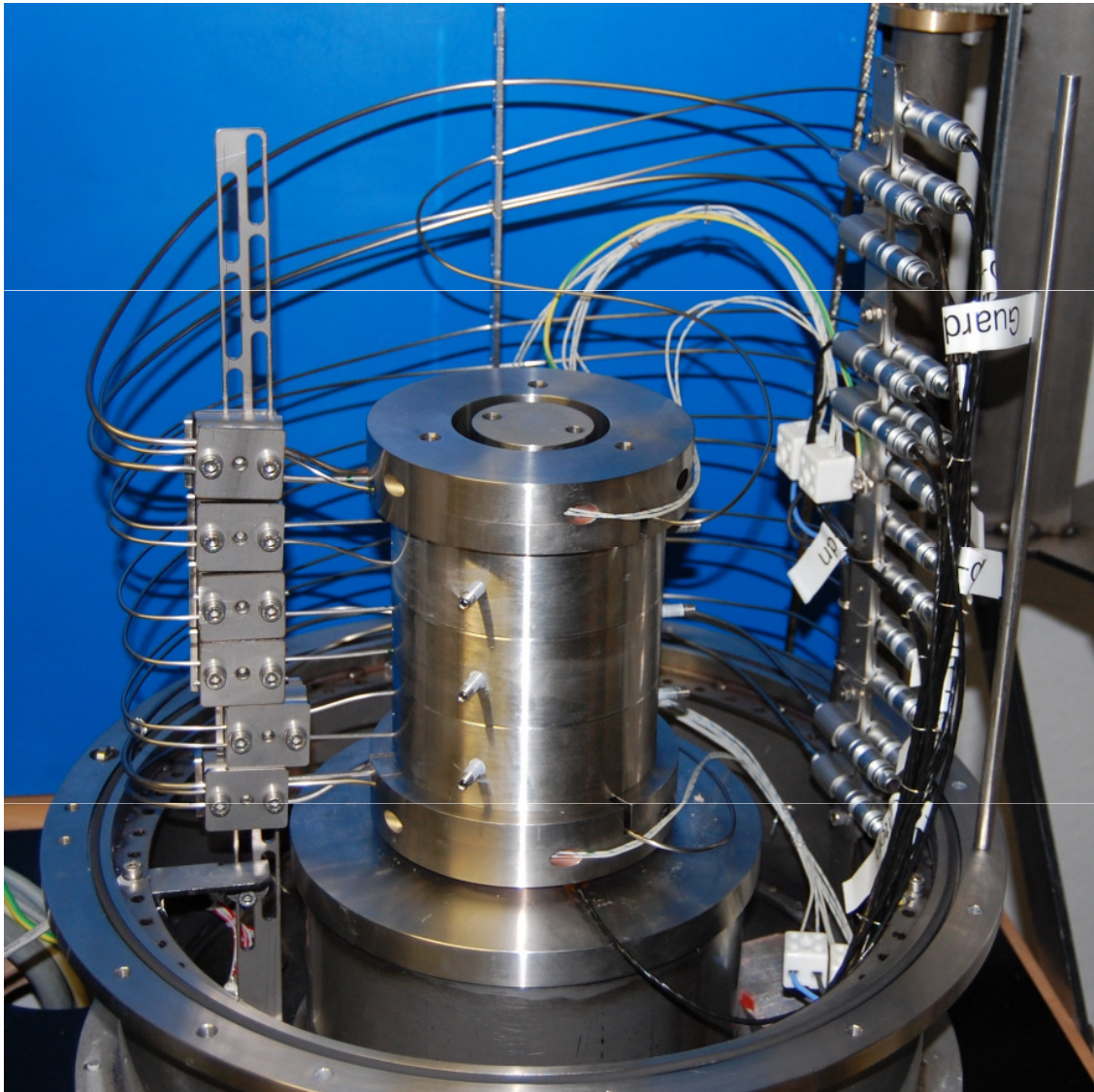
- Vermessung von inhomogenen Proben
- Bestimmung von thermischen Kontaktwiderständen
  - Folien
  - Oberflächen Rauigkeit
  - Belastungsdruckabhängig
  - Extrapolation der Oberflächentemperaturen

# Stabapparatur



**ZAE BAYERN**

Bayerisches Zentrum  
für Angewandte  
Energieforschung



## Eckdaten

$-190^{\circ}\text{C} < T < 500^{\circ}\text{C}$

$0.0002 \text{ m}^2\text{K/W} < R_{\text{Th}} < 0.02 \text{ m}^2\text{K/W}$

$0.1 \text{ bar} < p_{\text{ext}} < 5.0 \text{ bar}$

Stackdurchmesser 30 mm oder 50 mm

Schutzheizung (Höhe anpassbar)

## Referenzmaterialien

Mechanische Bearbeitbarkeit

Temperatur und Belastungsdruck beständig

Wärmeleitfähigkeit



# Polyetheretherketon - PEEK

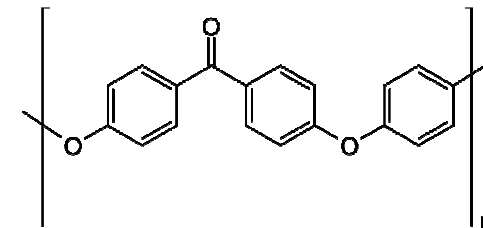
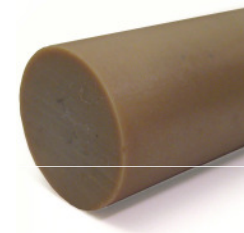


ZAE BAYERN

Bayerisches Zentrum  
für Angewandte  
Energieforschung

## Thermoplastischer Kunststoff

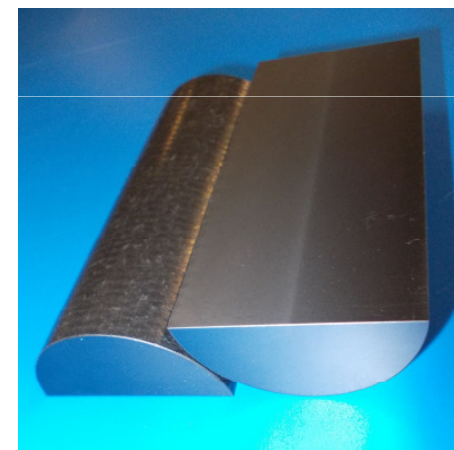
- Elektrisch isolierend
- Beständigkeit gegen Chemikalien und Dampf
- Schmelzpunkt oberhalb 300°C
- Glasübergang bei ca. 140°C
- Wärmeleitfähigkeit  $0.25 \text{ W(m}\cdot\text{K)}^{-1}$
- Dichte  $1320 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$
- Mechanische Bearbeitbarkeit
- Physikalische Eigenschaften durch Füllstoffe modifizierbar



PEEK - Monomereinheit

## Gewählter Werkstoff: PEEK - PVX

- PEEK mit Zusätzen von je 10% Kohlefasern, PTFE und Grafit
- Wärmeleitfähigkeit  $0.82 \text{ W(m}\cdot\text{K)}^{-1}$
- Spezifische Wärmekapazität  $1.1 \text{ J(g}\cdot\text{K)}^{-1}$
- Dichte  $1440 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$
- Dauereinsatztemperatur 260°C

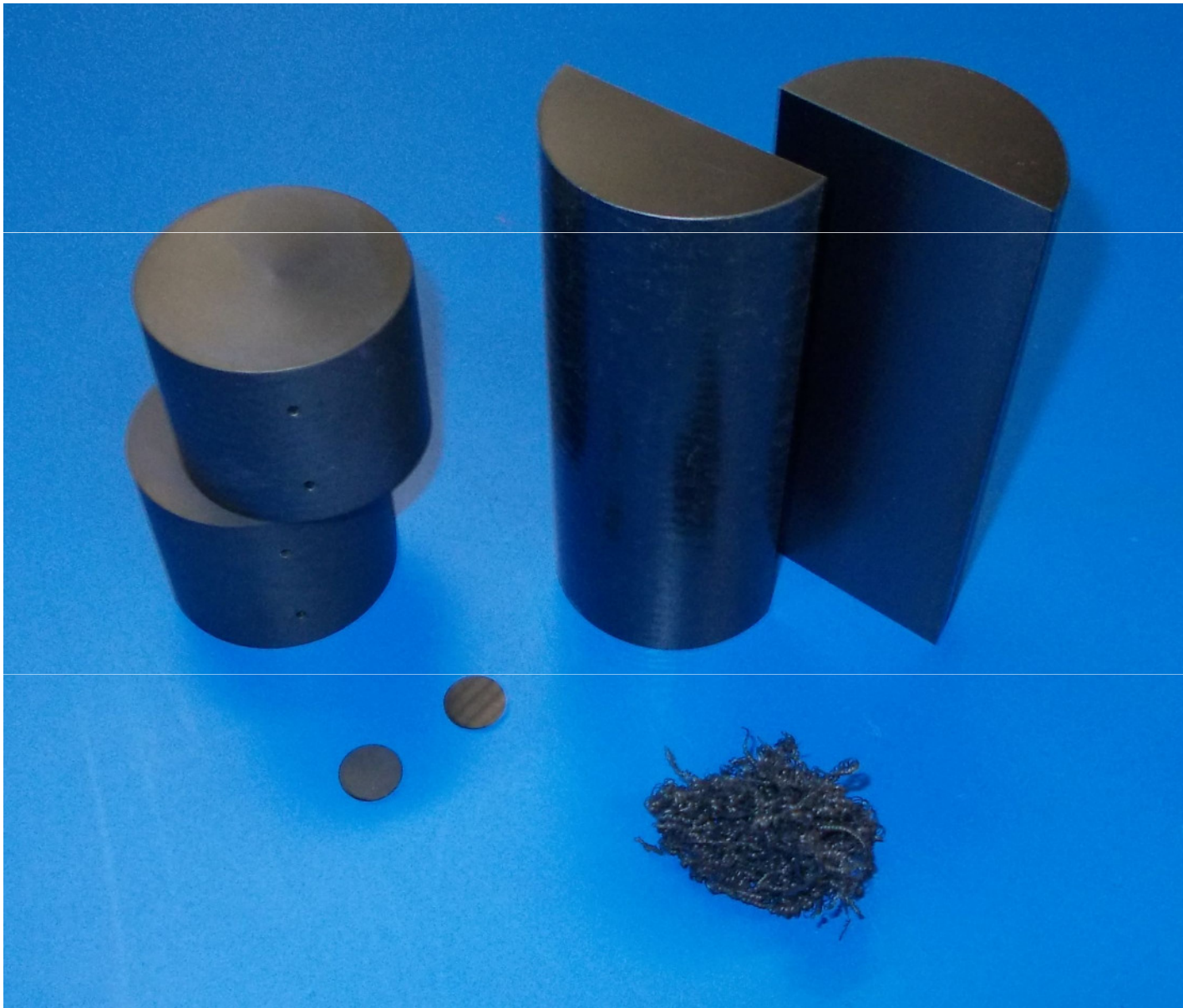


# Probekörper



**ZAE BAYERN**

Bayerisches Zentrum  
für Angewandte  
Energieforschung



Referenzkörper,  
Durchmesser 50 mm

Probenhälften  
für das Hitzdrahtverfahren

Proben  
für das Laserflashverfahren

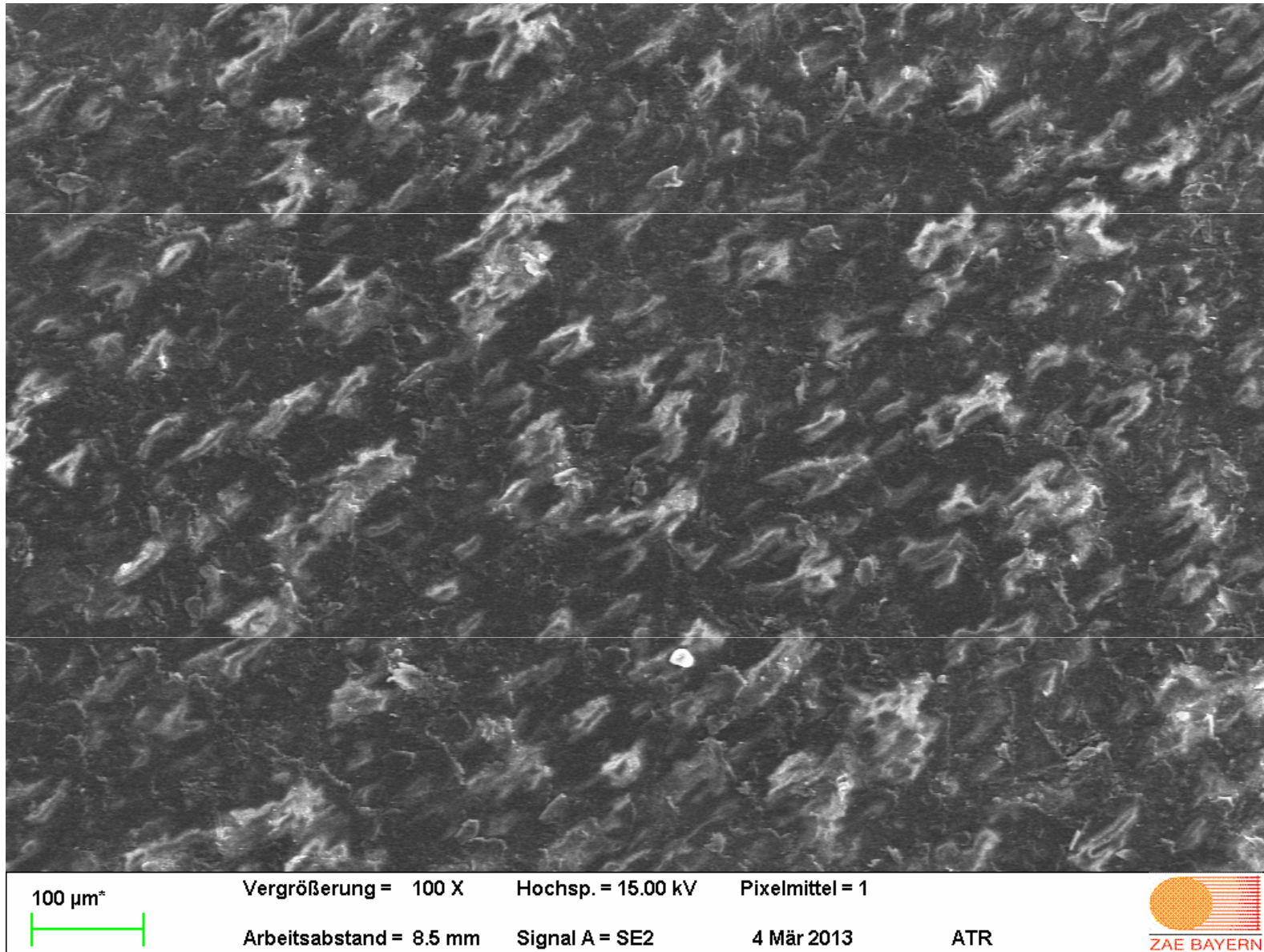
Bearbeitungsrückstände,  
Späne

# PEEK PVX - Probenoberfläche



ZAE BAYERN

Bayerisches Zentrum  
für Angewandte  
Energieforschung



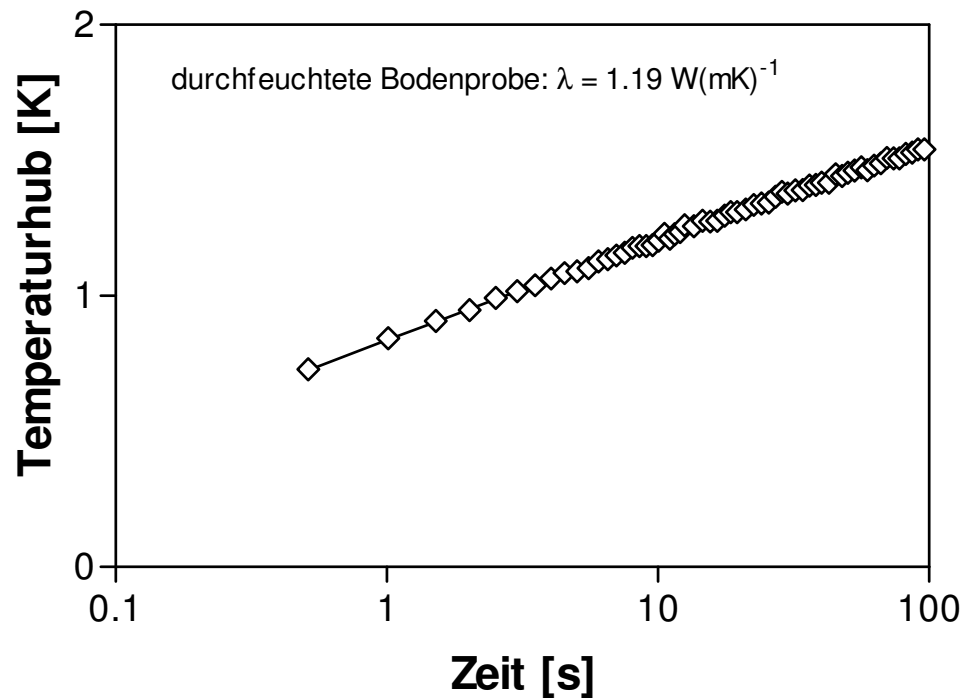
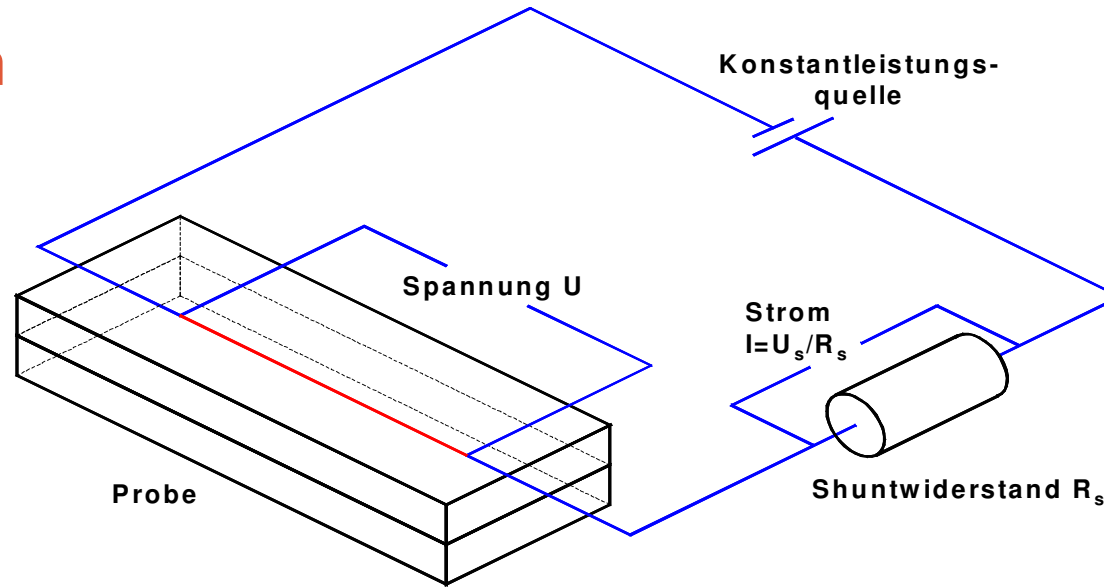


# Hitzdrahtverfahren



ZAE BAYERN

Bayerisches Zentrum  
für Angewandte  
Energieforschung



Langzeitnäherung: 
$$\Delta T(t) \approx \frac{q}{4\pi\lambda} \ln \frac{4at}{r^2 C}$$

Mit:  $q$  Längenbezogener Leistung,  $\lambda$  Wärmeleitfähigkeit,  $a$  Temperaturleitfähigkeit,  $r$  Drahtradius und  $C = e\gamma, \approx 1.781\dots$  (Eulerkonstante  $\gamma = 0.5772$ )

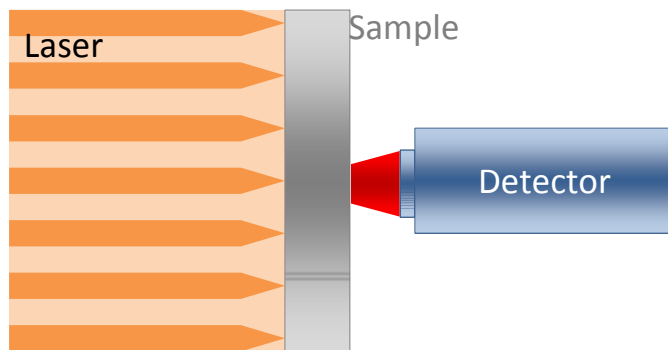
# Laserflashverfahren



ZAE BAYERN

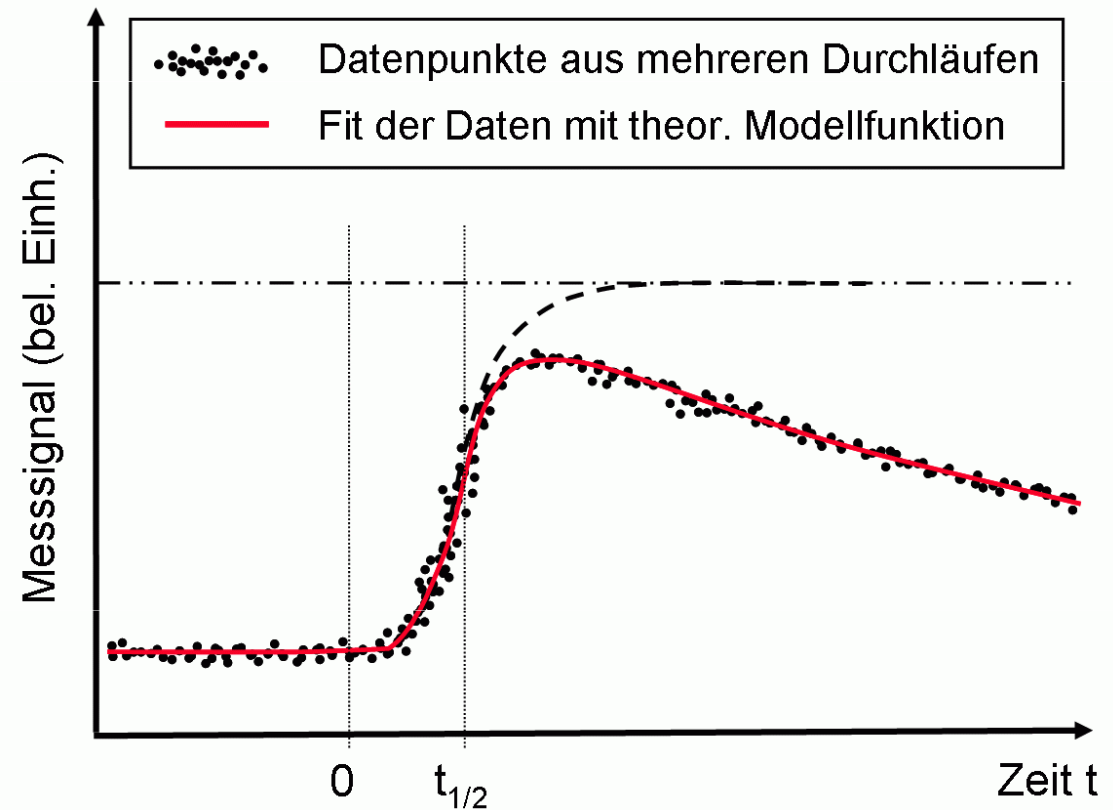
Bayerisches Zentrum  
für Angewandte  
Energieforschung

Bestimmungsgröße:  
Temperaturleitfähigkeit  $a$



Bei bekannter spezifischer Wärmekapazität und Dichte kann die Wärmeleitfähigkeit der Probe bestimmt werden:

$$\lambda = a \cdot \rho \cdot c_p$$

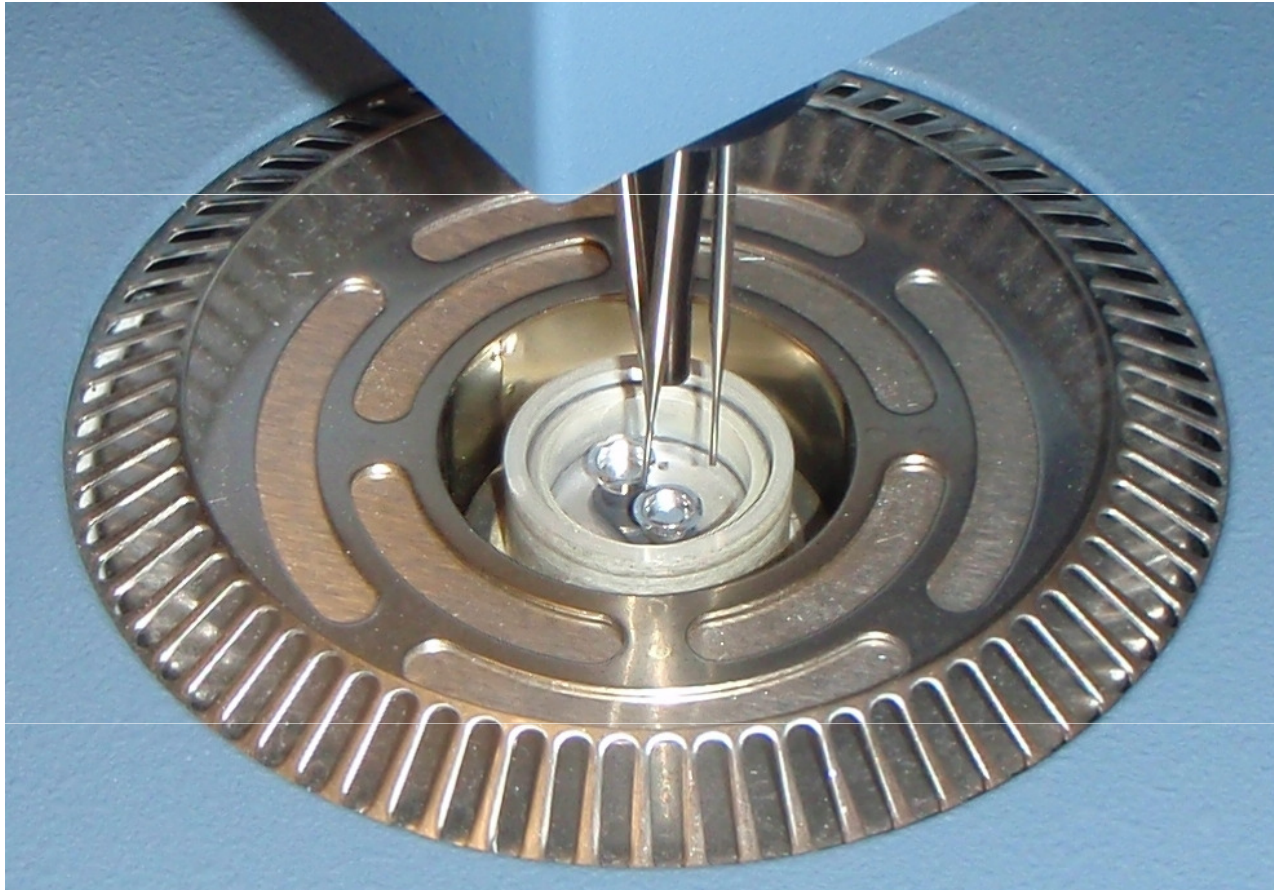


# DSC (Differential Scanning Calorimetry)



**ZAE BAYERN**

Bayerisches Zentrum  
für Angewandte  
Energieforschung



- lineare Heizraten
  - moduliertes Heizen
  - quasi stationäre Messungen
- 
- Umwandlungstemperaturen
  - Enthalpie
  - Spezifische Wärmekapazität

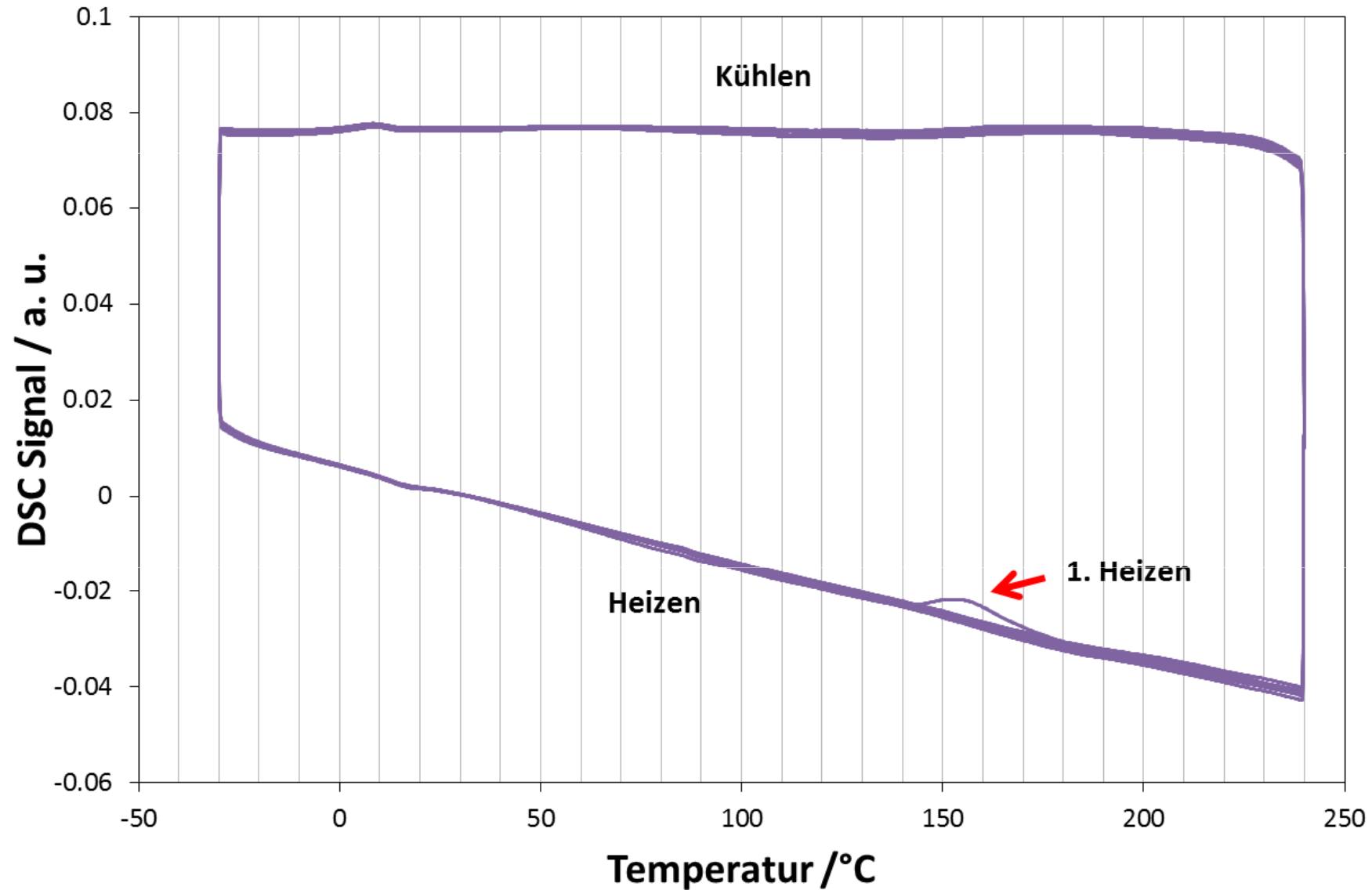
# PEEK PVX - Zyklusstabilität



ZAE BAYERN

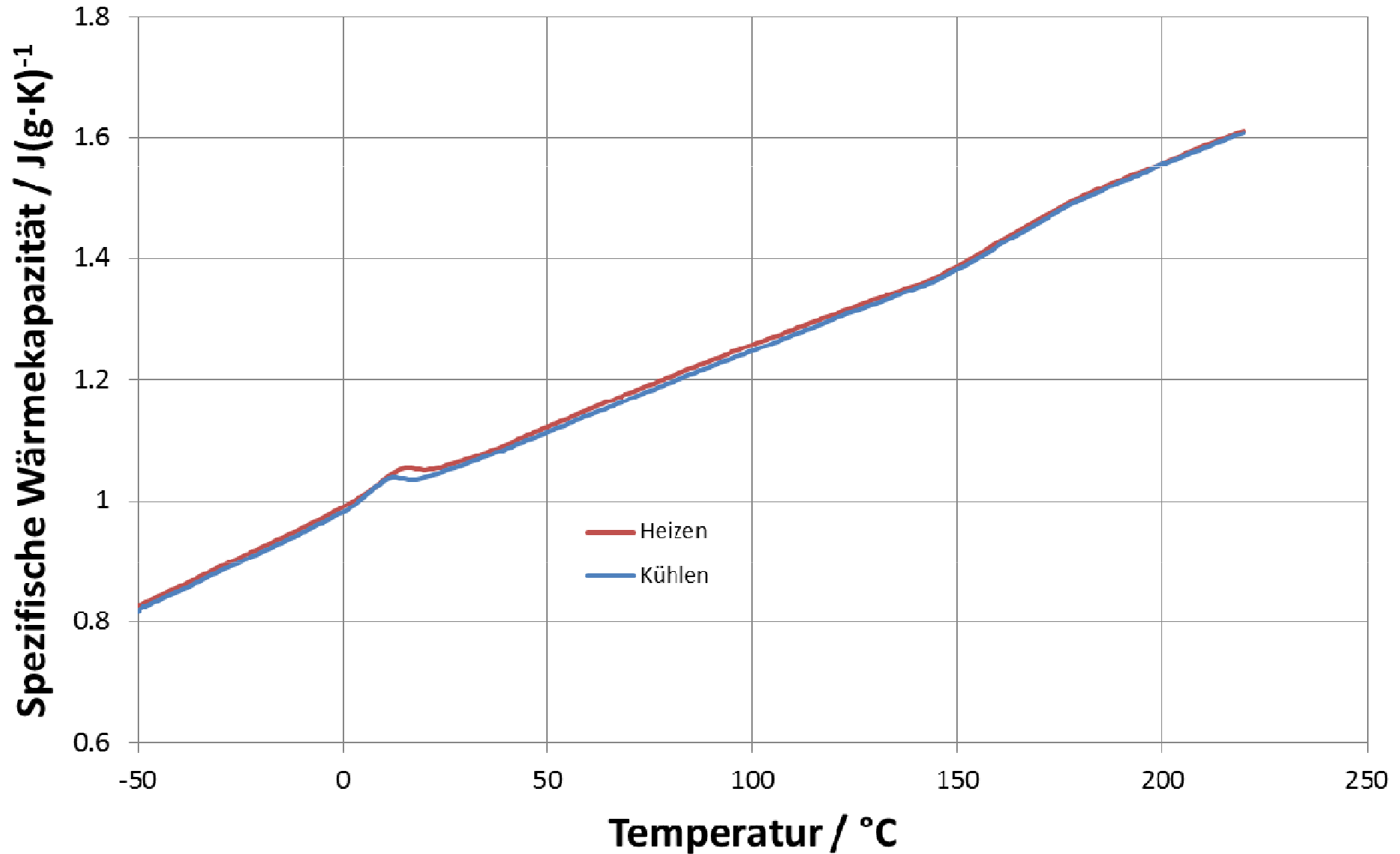
erisches Zentrum  
Angewandte  
ergieforschung

5 Zyklen mit 4 K/min Heiz- bzw. Kühlrate





# PEEK PVX - Spezifische Wärmekapazität



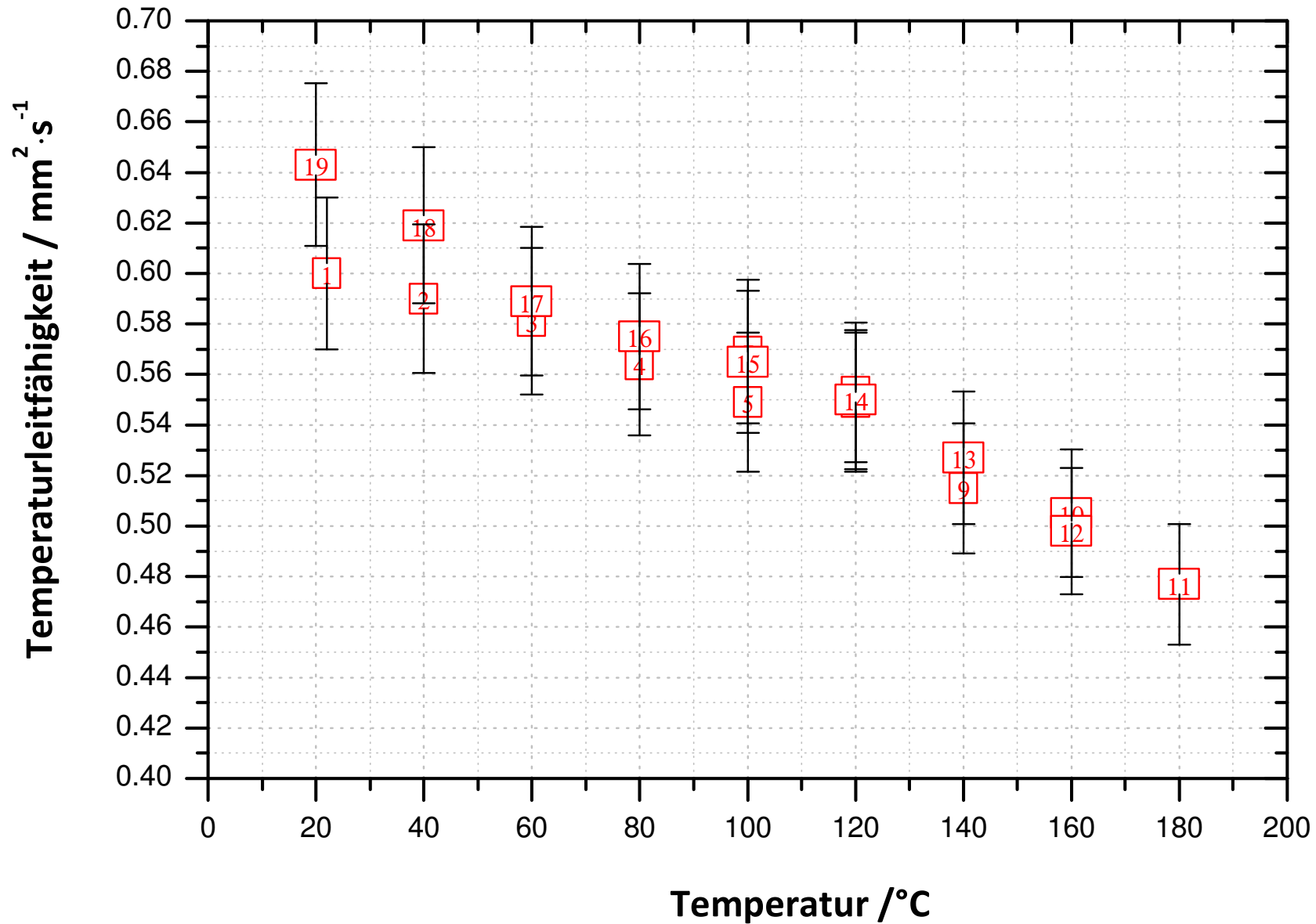
# PEEK PVX – Temperaturleitfähigkeit

## Laserflashmessung



ZAE BAYERN

Bayerisches Zentrum  
für Angewandte  
Energieforschung



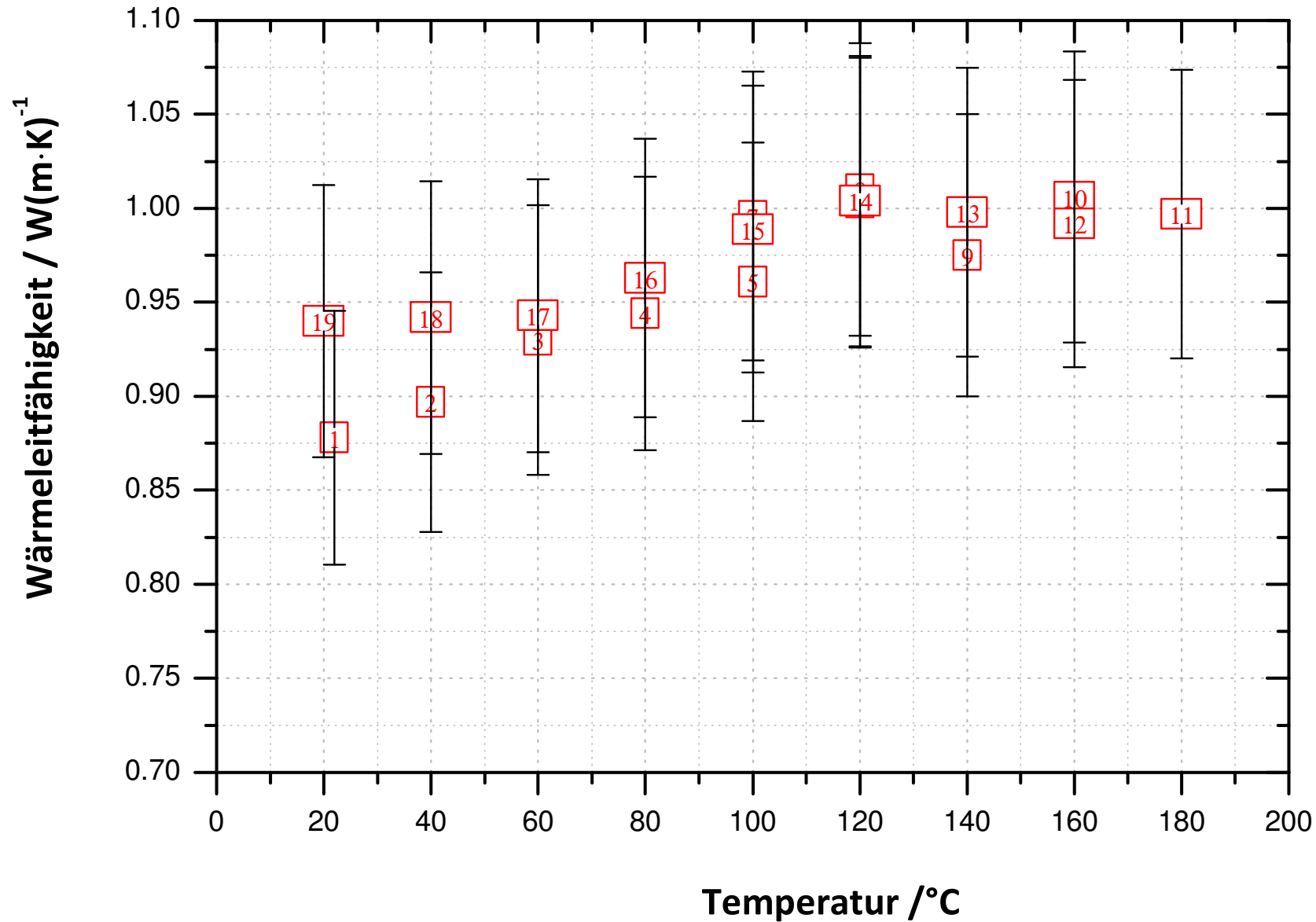
# PEEK PVX – Wärmeleitfähigkeit

## Berechnet aus Laserflashmessung und DSC



ZAE BAYERN

Bayerisches Zentrum  
für Angewandte  
Energieforschung



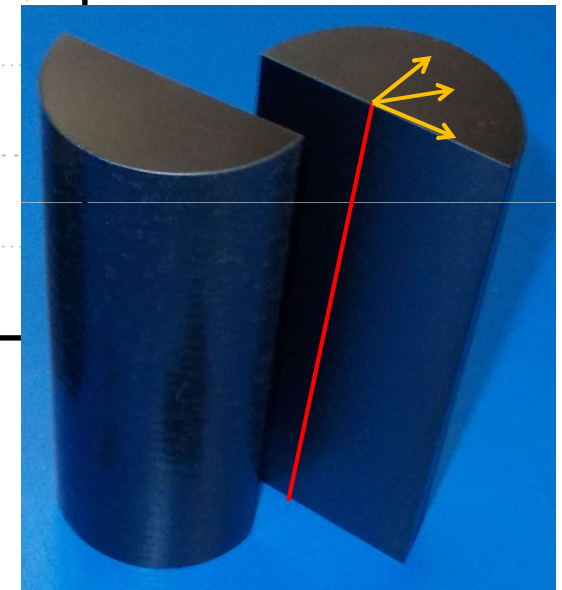
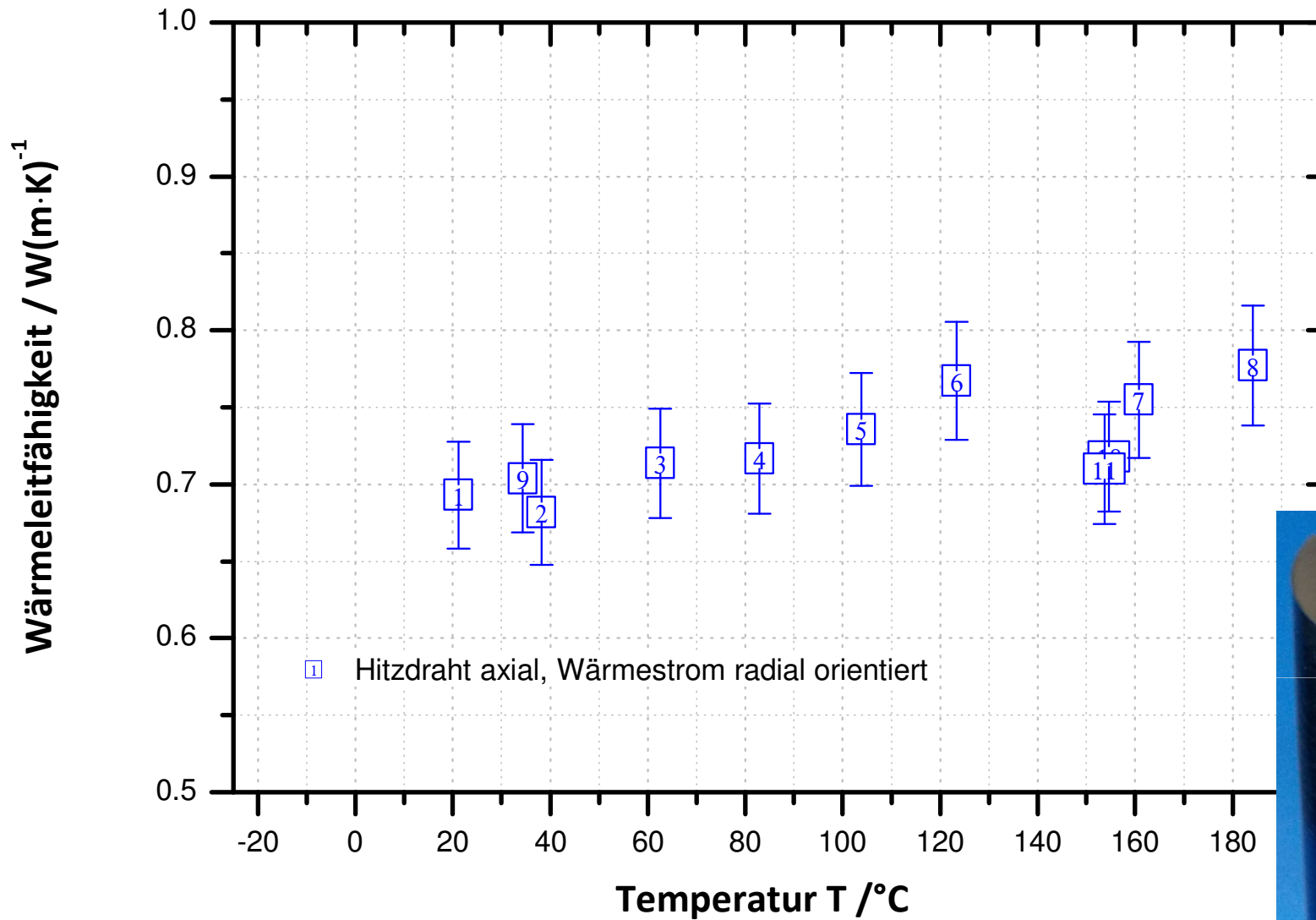
# PEEK PVX – Wärmeleitfähigkeit

## Hitzdrahtmessung



ZAE BAYERN

Bayerisches Zentrum  
für Angewandte  
Energieforschung





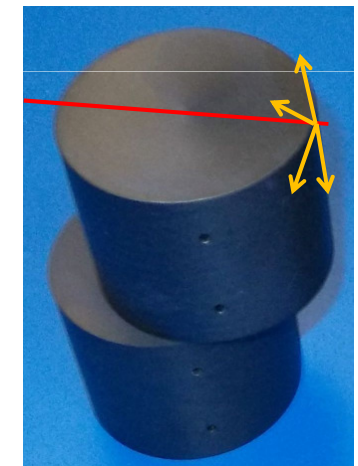
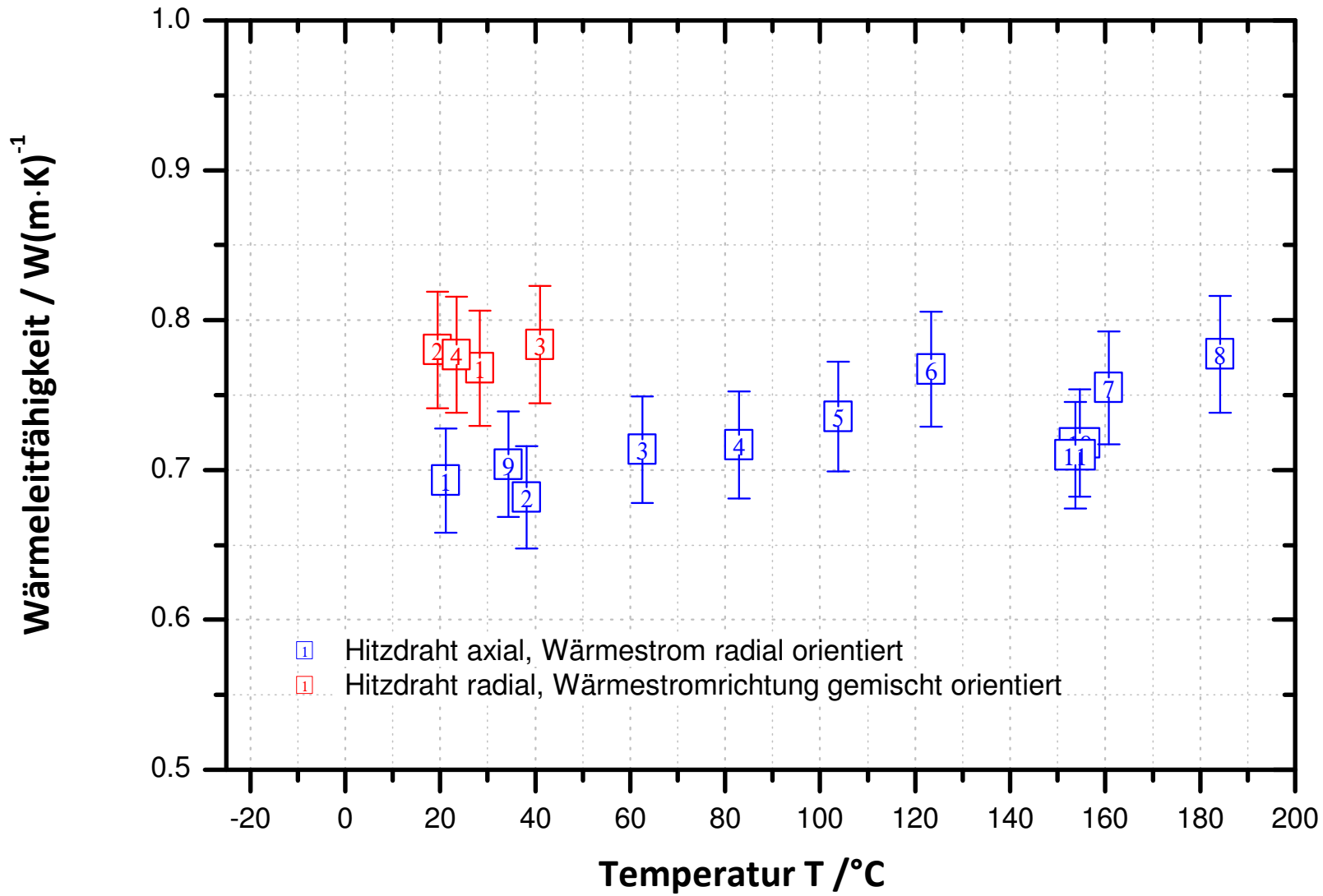
# PEEK PVX – Wärmeleitfähigkeit

## Hitzdrahtmessung



ZAE BAYERN

Bayerisches Zentrum  
für Angewandte  
Energieforschung



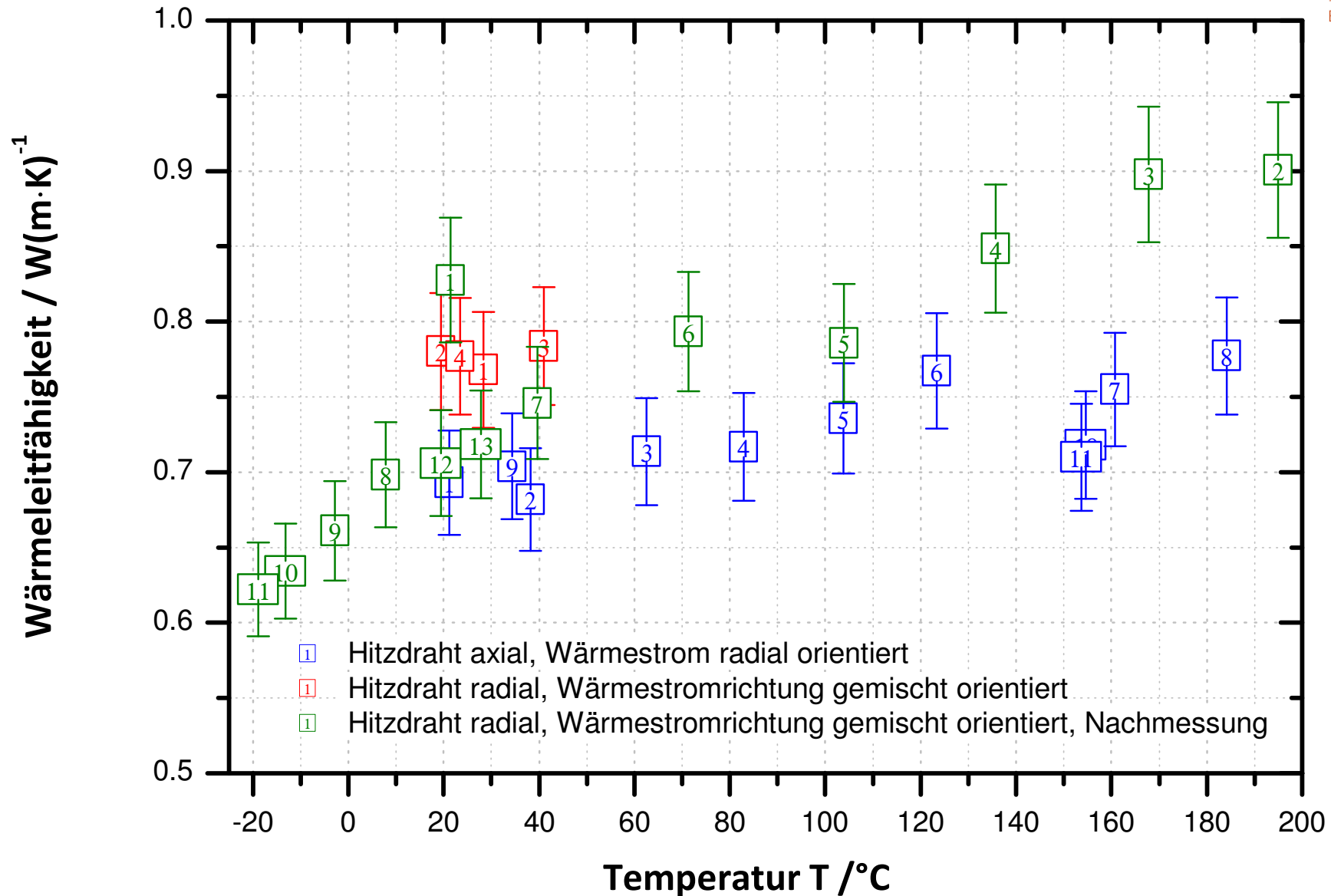
# PEEK PVX – Wärmeleitfähigkeit

## Hitzdrahtmessung



ZAE BAYERN

Bayerisches Zentrum  
für Angewandte  
Energieforschung



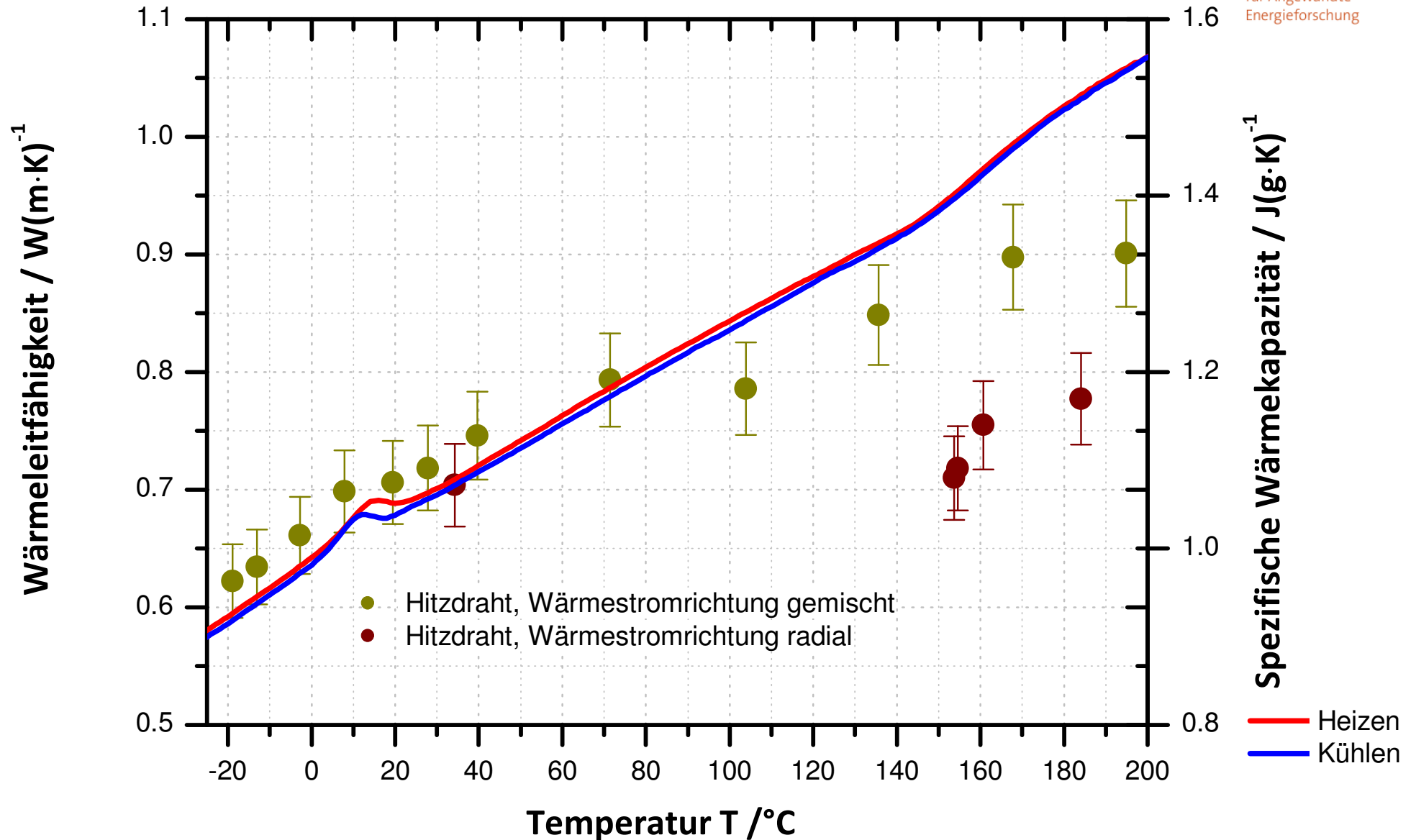
# PEEK PVX – Wärmeleitfähigkeit

## Messergebnisse im ausgeheizten Zustand im Vergleich



ZAE BAYERN

Bayerisches Zentrum  
für Angewandte  
Energieforschung



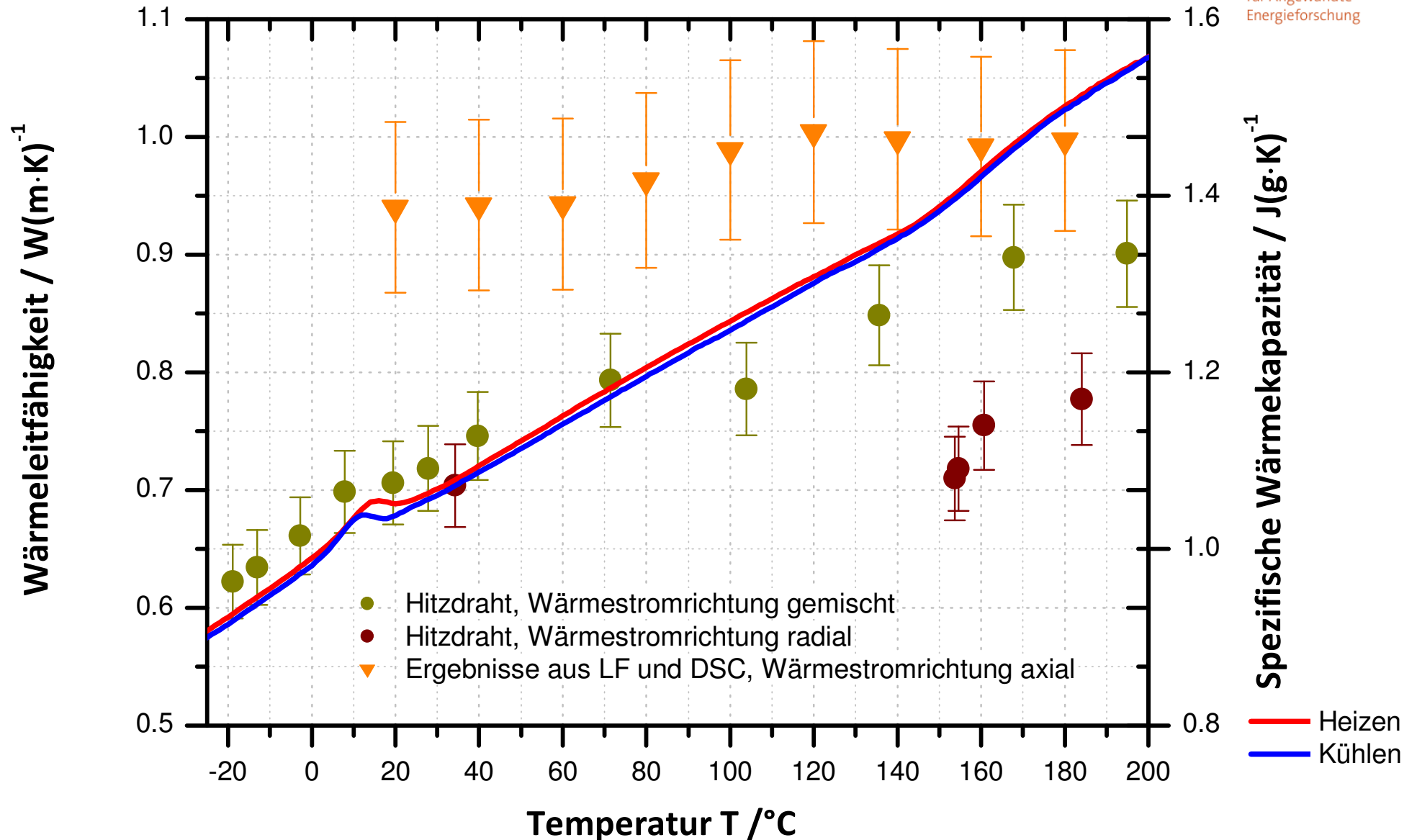
# PEEK PVX – Wärmeleitfähigkeit

## Messergebnisse im ausgeheizten Zustand im Vergleich



ZAE BAYERN

Bayerisches Zentrum  
für Angewandte  
Energieforschung





## **PEEK - PVX als Referenzmaterial für das Vergleichsverfahren**

- Wärmeleitfähigkeit zeigt signifikante Anisotropie
- Vor Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit muss das Material auf der vorgesehenen maximalen Einsatztemperatur ausgeheizt werden
- Zyklen-Stabilität im Temperaturbereich von -30 bis 240°C gegeben

**This work is public funded by  
Federal Ministry of Economics and Technology  
Support code: BMWi 0327863G**