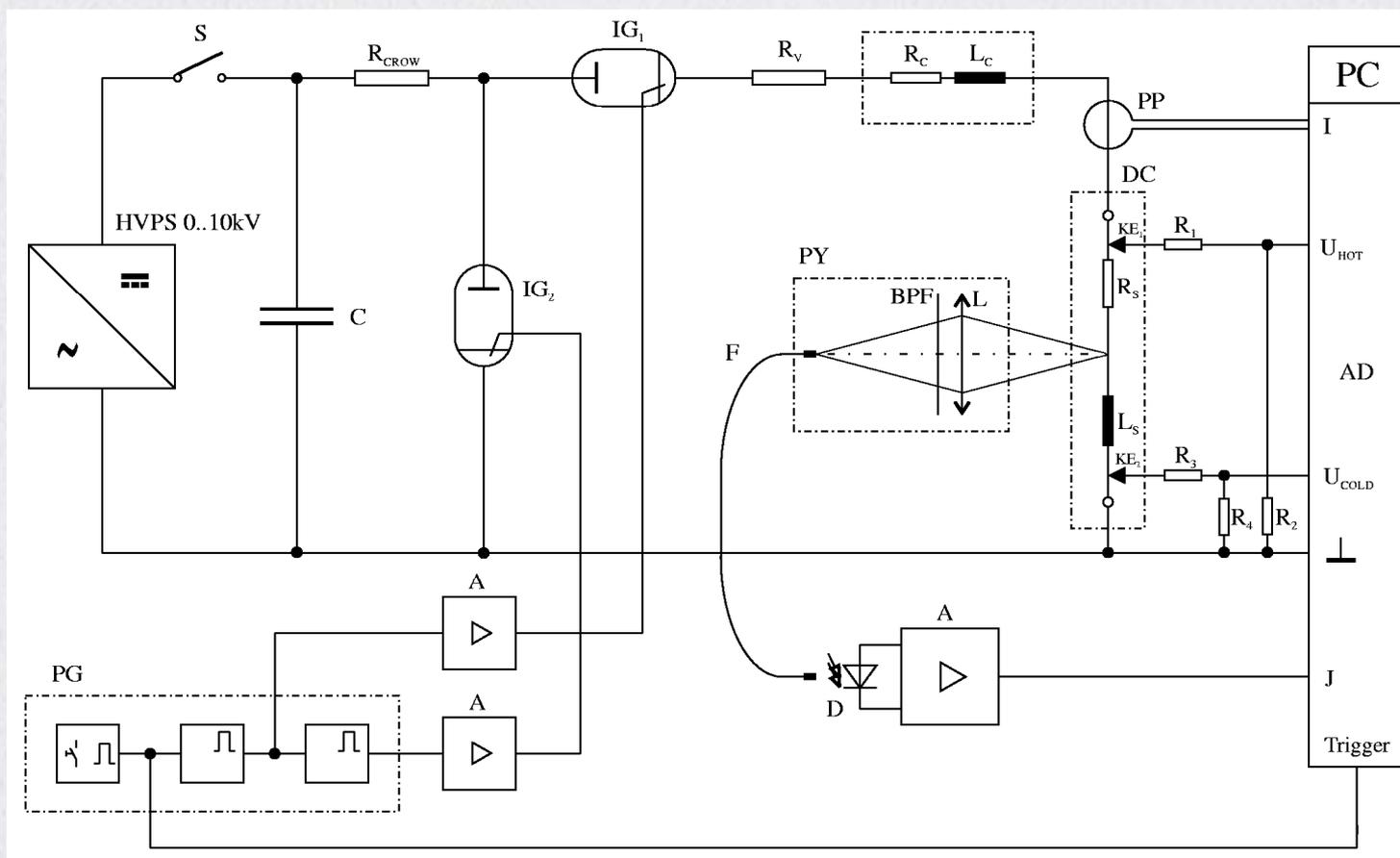


Ohmsche Pulsheizung

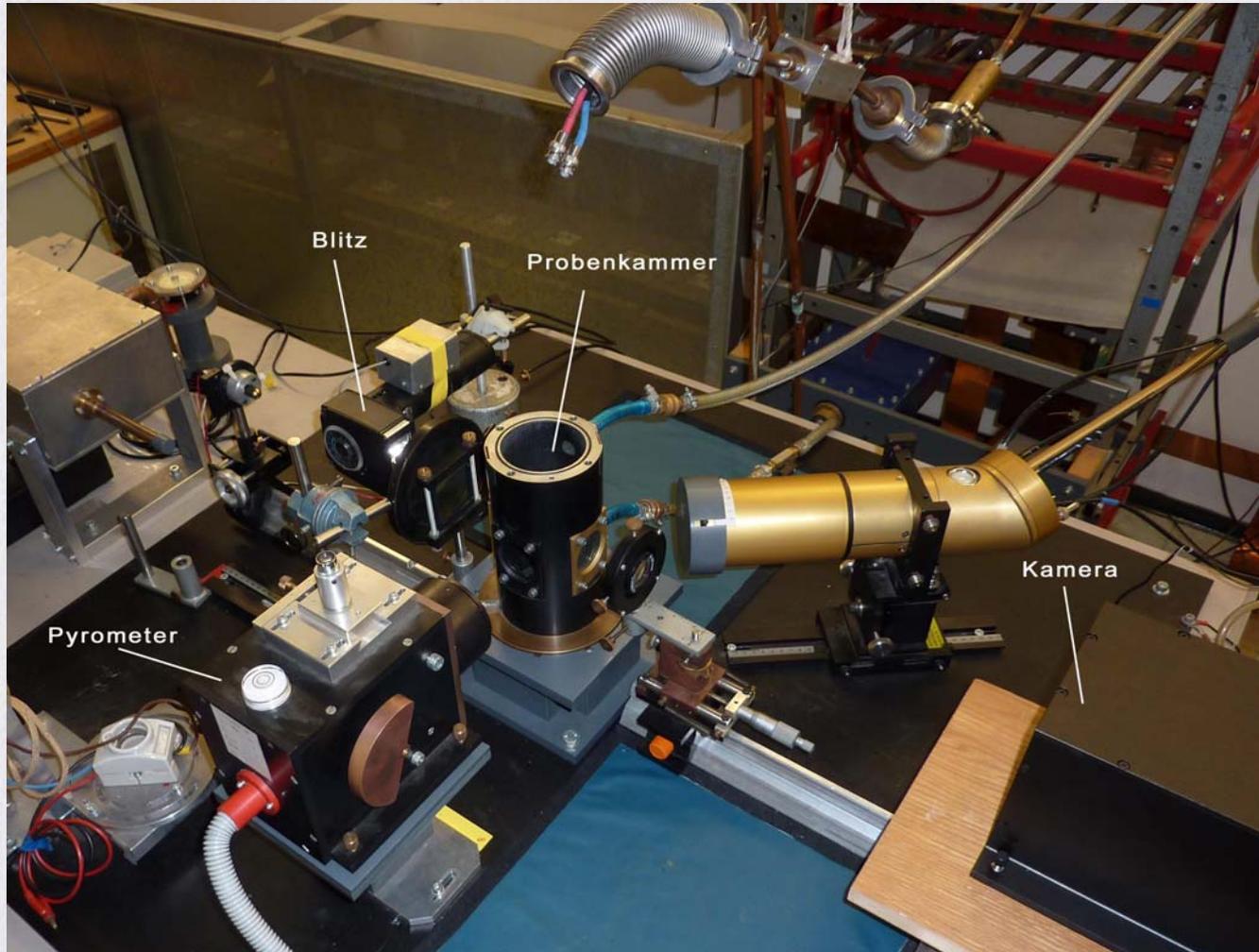
—

Bestimmung thermophysikalischer Daten
in μs -Experimenten am Beispiel Manganin

Schaltplan Pulsheizen



Aufbau Pulsheiz-Experiment



Manganin

Cu86Mn12Ni2

Präzisions-Widerstandslegierung → geringer Temperaturkoeffizient des elektrischen Widerstands von 10^{-5} K^{-1} im Bereich von 20-50°C

optimiert auf einen Anwendungsbereich bis 140°C

Klassischer Werkstoff zur Herstellung von Präzisions-, Standard- und Shunt-Widerständen.

Eigenschaften:
(lt. Hersteller)

Dichte: 8400 kg/m³

Schmelzpunkt: 960 °C

Probenmaterial

drahtförmige Probe 1 → Verkaufsmaterial
Durchmesser ca. 0,5 mm

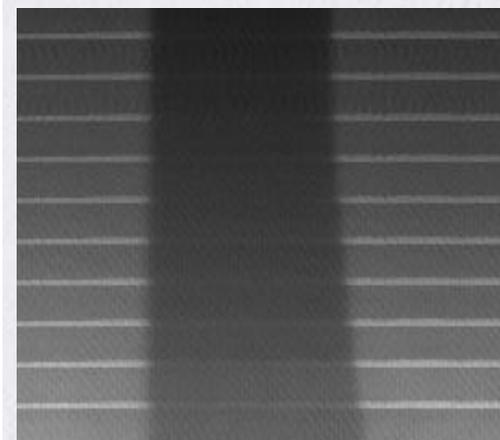
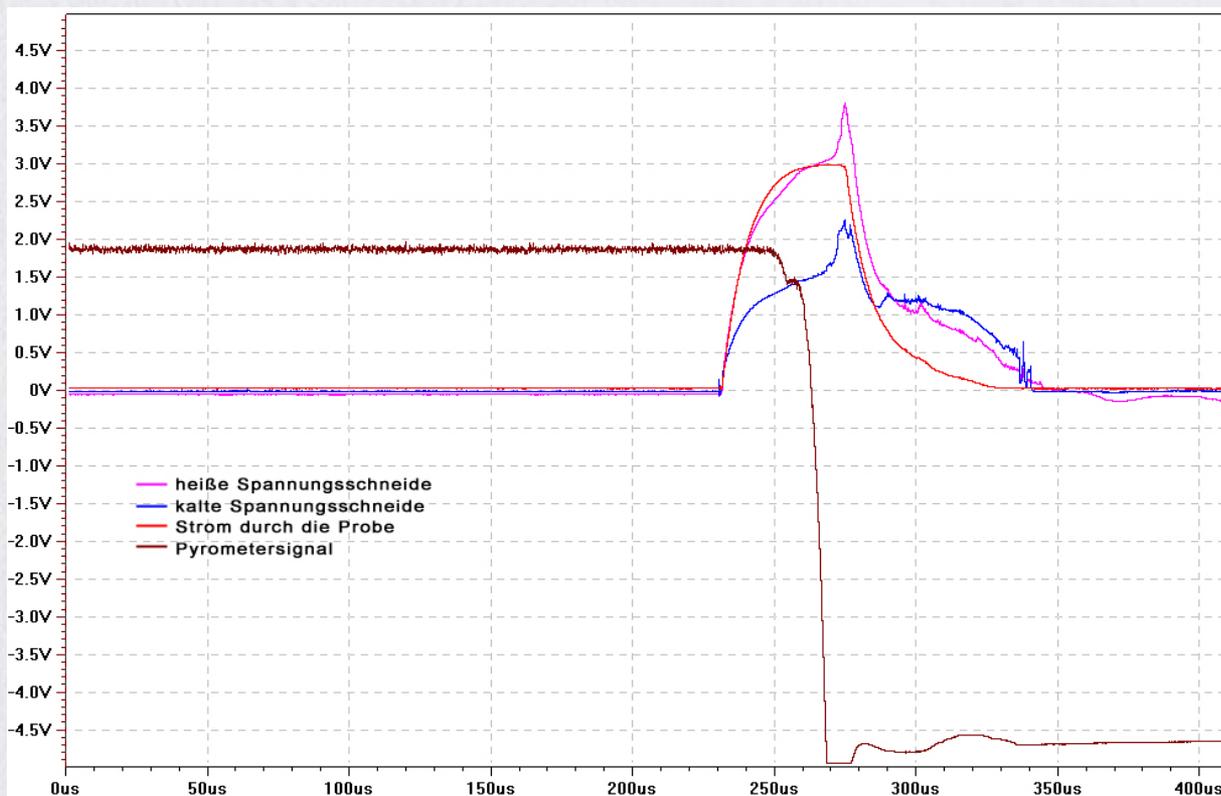
drahtförmige Probe 2 → Aus Manganinstab durch Ziehen hergestellte
drahtförmige Probe
Durchmesser ca. 0,5 mm

zylinderförmige Proben des durch Ziehen hergestellten Materials
Durchmesser ca. 5 mm, Höhe ca. 2 mm

Experiment in 40 μs

Messung von:

Strom, Spannung, Strahlung, Ausdehnung



DSC – Differential Scanning Calorimetry

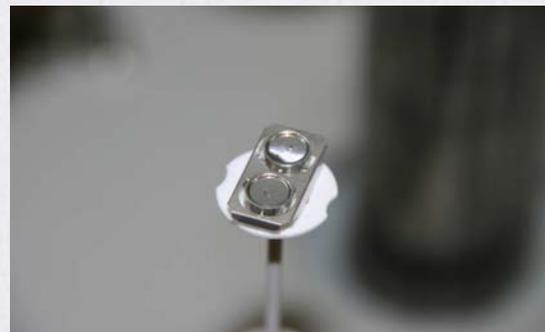
Dynamische Wärmestromdifferenzkalorimetrie:



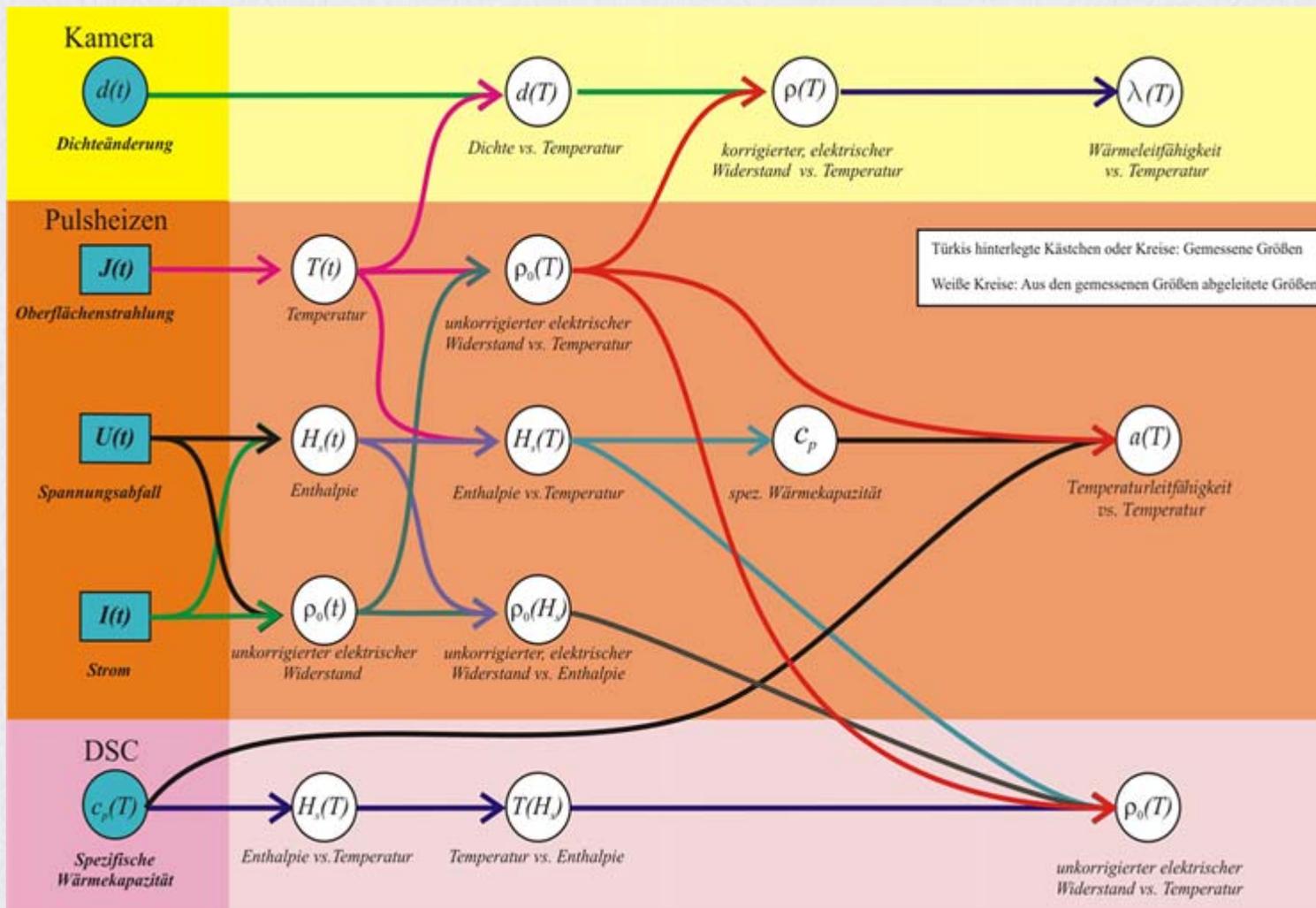
Bestimmung von spezifischer Wärmekapazität und Temperatur während kontrolliertem Aufheizen und Abkühlen

$$c_{p,P} = \frac{m_S}{m_P} \cdot \frac{\Phi_P - \Phi_{\text{leer}}}{\Phi_S - \Phi_{\text{leer}}} \cdot c_{p,S}$$

Schmelzbereich: 1196,3 K – 1291,0 K



Messgrößen



Temperatur

Planck'sches – Gesetz:

$$L_{\lambda,S}(\lambda, T) = \frac{c_1}{\lambda^5 \cdot \pi} \cdot \frac{1}{e^{\frac{c_2}{\lambda \cdot T}} - 1} \quad \varepsilon(\lambda) = \frac{L_\lambda}{L_{\lambda,S}}$$

Pyrometer Signal:

$$S = G \cdot L(\lambda, T) \cdot \varepsilon(\lambda, T) \cdot \tau(\lambda, T) \cdot E(\lambda, T) \cdot \Delta\lambda$$

Kalibrierung am Schmelzplateau:

$$S = K \cdot \varepsilon \cdot \left(e^{\frac{c_2}{\lambda \cdot T}} - 1 \right)^{-1}$$

$$\frac{S(T)}{S(T_m)} \xrightarrow{\varepsilon(T) = \varepsilon(T_m)} T = \frac{c_2}{\lambda \cdot \ln \left[\frac{S(T_m)}{S(T)} \cdot \left(e^{\frac{c_2}{\lambda \cdot T_m}} - 1 \right) + 1 \right]}$$

spezifische Enthalpie – Pulsheizen:

$$H_s(t)_{298} = H(t) - H_{298\text{K},1\text{bar}} = \frac{1}{m_0} \int_0^t U(t') \cdot I(t') \cdot dt'$$

spezifische Wärmekapazität:

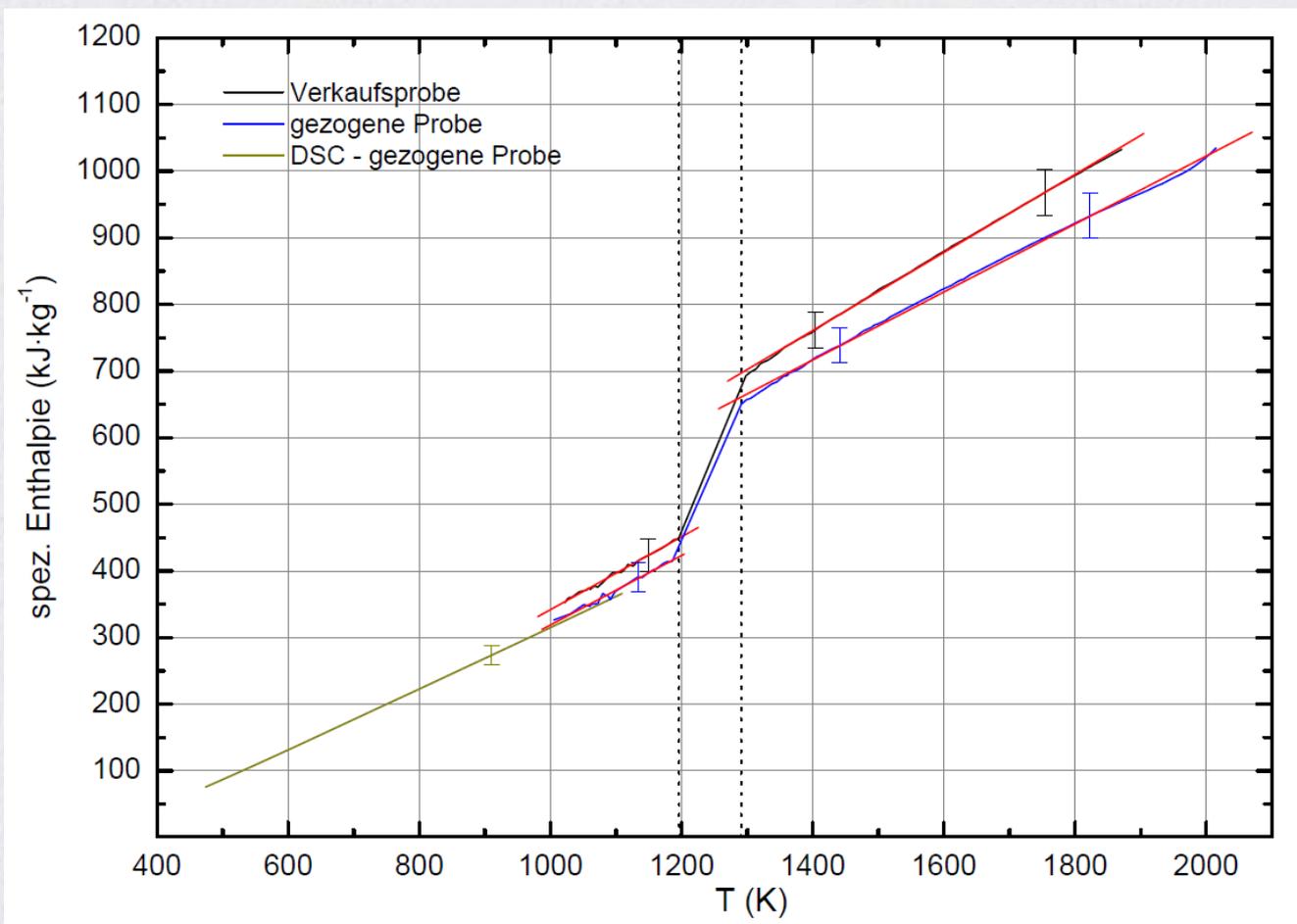
$$c_p = \left(\frac{\partial H}{\partial T} \right)_p$$

spezifische Enthalpie – Wärmestromdifferenzkalorimetrie-Messungen:

$$H_s(T)_{298} = \int_{298}^T c_p \cdot (T') dT' = \int_{T_{\min}}^T c_p \cdot (T') dT' + c_{p,T_{\min}} \cdot (T_{\min} - 298)$$

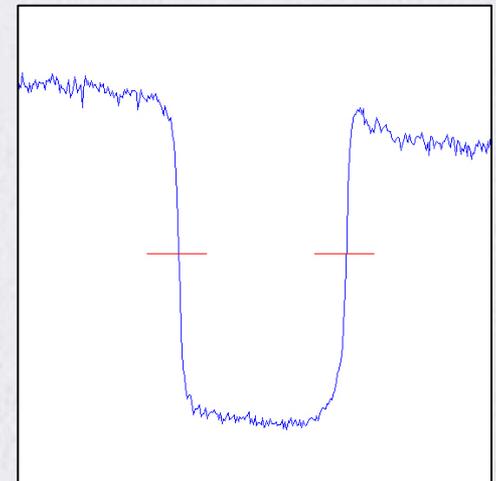
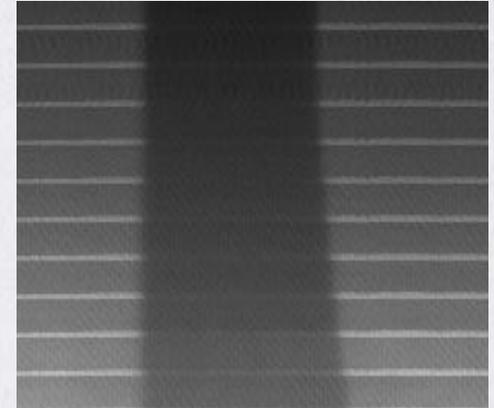
Enthalpie Probenvergleich

spezifische Enthalpie: Vergleich Verkaufsprobe und gezogene Probe:



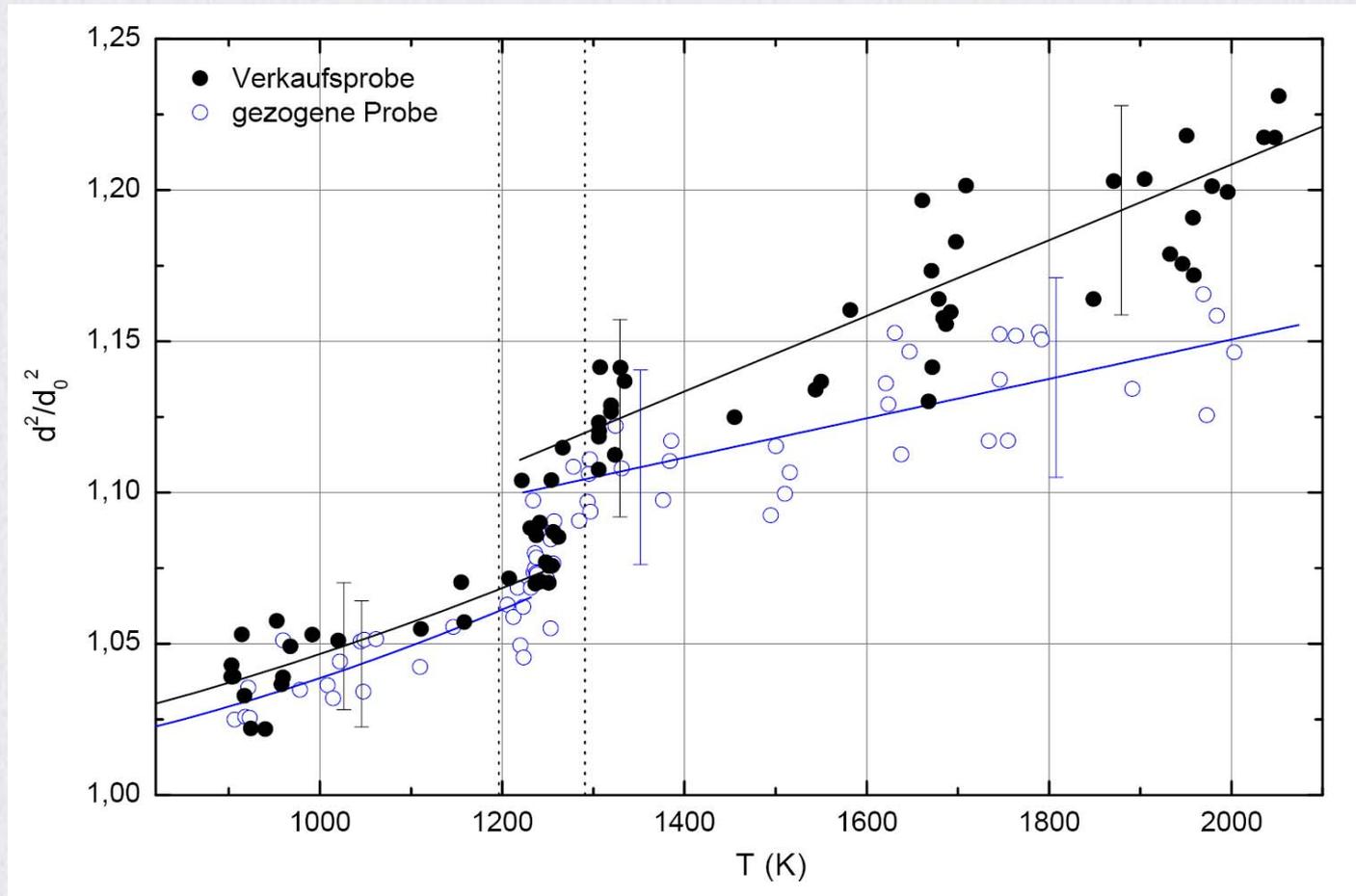
Ausdehnung

- Durchmesser d_0 der kalten Probe mittels Lasermikrometer
- Durchmesser d_0 der Probe zum Zeitpunkt t_0 mittels CCD-Kamera Aufnahme
- Durchmesser d der Probe zum Zeitpunkt t durch CCD-Kamera Aufnahme
- Zuordnung Temperatur T zu Zeitpunkt t durch synchrone Aufnahme von Bild- und Temperaturdaten
- Berechnung der relativen Volumenänderung d^3/d_0^3 der Probe in Abhängigkeit von der Temperatur



Ausdehnung Probenvergleich

Änderung des Drahtdurchmessers in Abhängigkeit von der Temperatur:



elektrischer Widerstand

spez. elektrischer Widerstand:

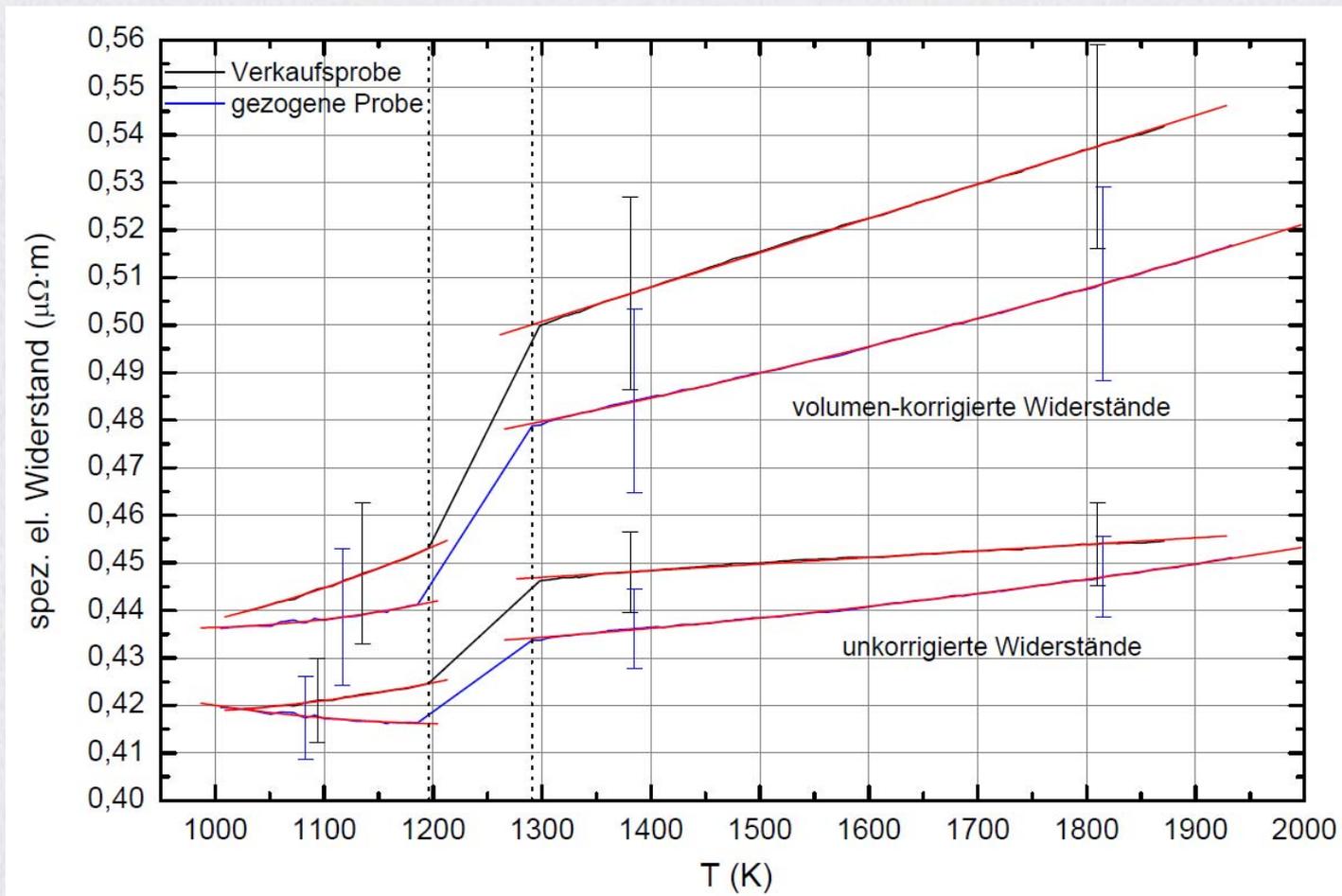
$$\rho(t) = \frac{U(t)}{I(t)} \cdot \left(\frac{d_0}{2} \right)^2 \cdot \frac{\pi}{l}$$

volumen-korr. spez. elektrischer
Widerstand:

$$\rho_{korr}(T) = \rho_0(T) \cdot \frac{d(T)^2}{d_0^2}$$

elektrischer Widerstand Probenvergleich

Temperaturabhängigkeit des spezifischen elektrischen Widerstands:



Wiedemann-Franz-Lorenz Gesetz:

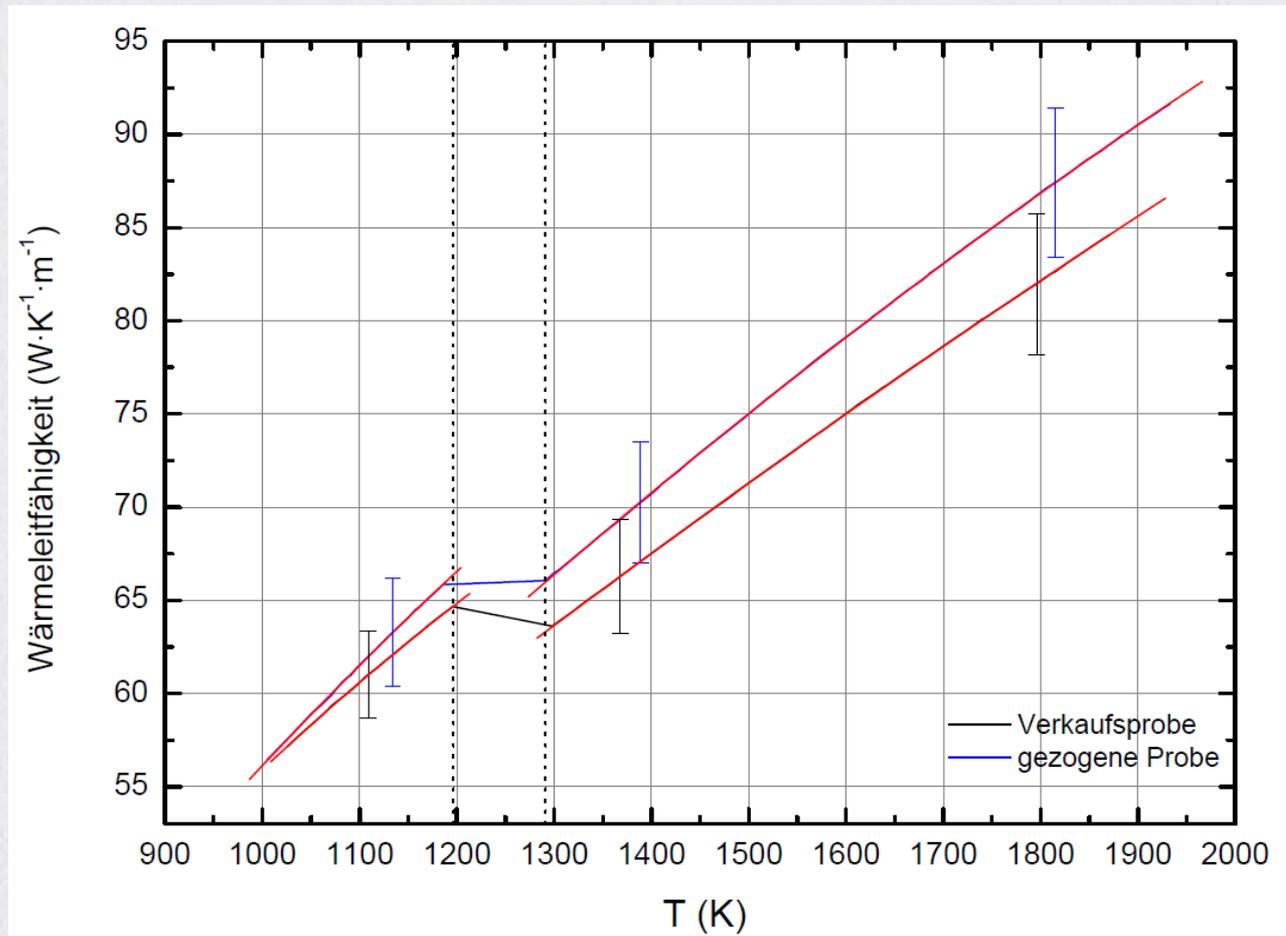
$$\frac{\lambda}{\sigma} = L \cdot T \quad \rightarrow \quad \lambda = \frac{L \cdot T}{\rho_{korr}}$$

Keine systematische Bestimmung der Lorenz-Zahl für Legierungen.

Literaturwert: $L = 2,45 \times 10^{-8} \text{ V}^2/\text{K}^2$

Wärmeleitfähigkeit Probenvergleich

Vergleich Verkaufsprobe und gezogene Probe:



Temperaturleitfähigkeit

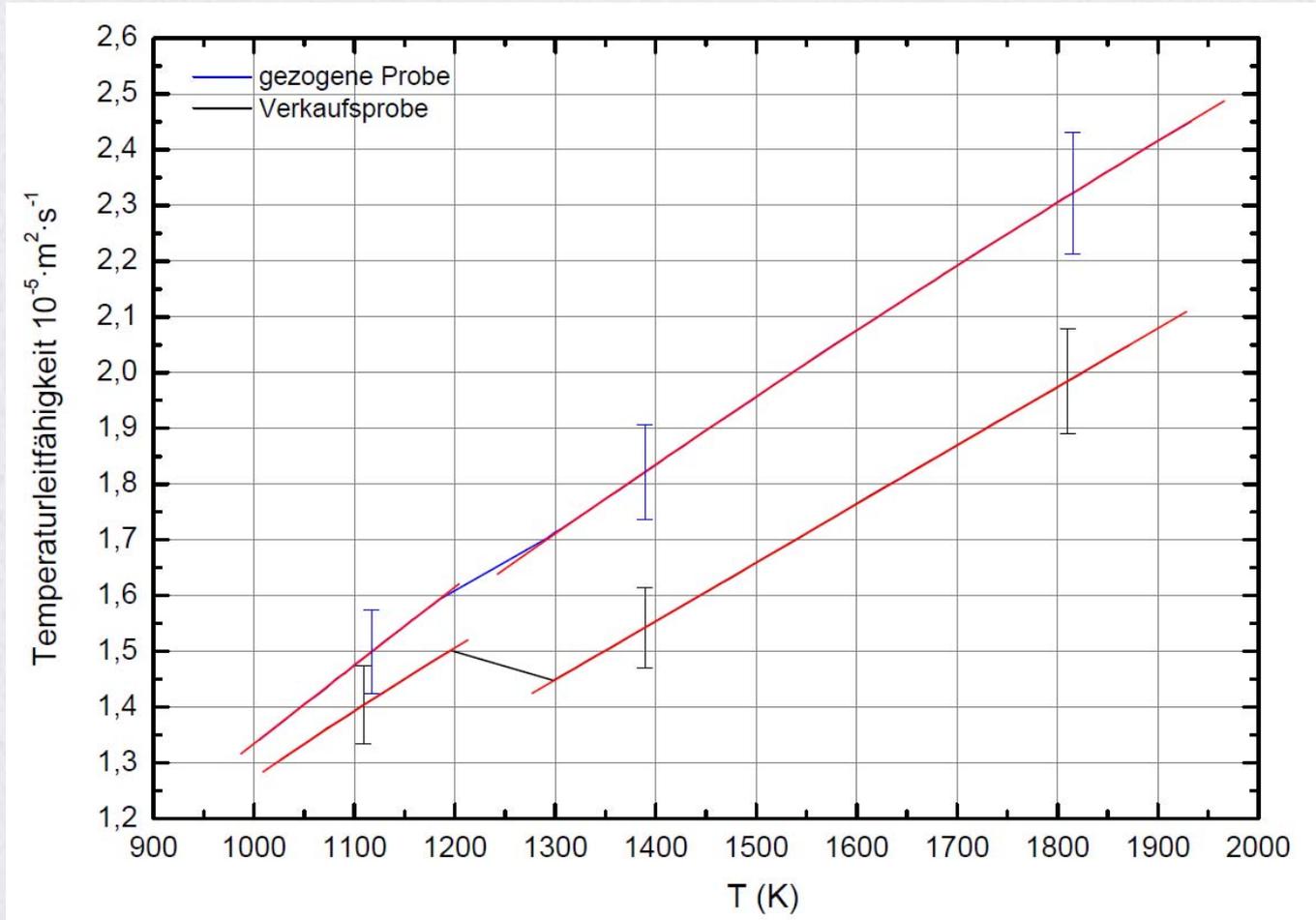
Temperaturleitfähigkeit a :

$$a(T) = \frac{\lambda}{c_p \cdot D} = \frac{L \cdot T}{c_p \cdot \rho_0 \cdot D_0}$$

→ keine Funktion der Volumenänderung

Temperaturleitfähigkeit Probenvergleich

Vergleich Verkaufsprobe und gezogene Probe:



Emissionskoeffizient

→ Näherung: $\varepsilon(T) = \varepsilon(T_m)$

$$T = \frac{c_2}{\lambda \cdot \ln \left[\frac{\varepsilon}{\varepsilon_m} \cdot \frac{S(T_m)}{S(T)} \cdot \left(e^{\frac{c_2}{\lambda \cdot T_m}} - 1 \right) + 1 \right]}$$

selbst starke Abweichungen von ε_m führen zu einem relativ kleinen Fehler

Messung des Emissionskoeffizienten:

μ sDOAP - μ s-Division of Amplitude Photopolarimeter

→ Ermittlung des Polarisationszustands von Licht mit hohen Abtastraten

Strukturanalyse der beiden Manganinproben → elektronenmikroskopische Untersuchung

Zusammenfassend:

Pulsheizen:

- synchrone Ermittlung thermophysikalischer Daten
- Abdeckung eines sehr großen Temperaturbereichs
- kurze Experimentdauer → keine Interaktion mit Umgebung

Danke für Ihre Aufmerksamkeit