

# **Einsatz der Thermoanalytik in der Löttechnik**

S. Puidokas  
K. Bobzin, N. Bagcivan, N. Kopp

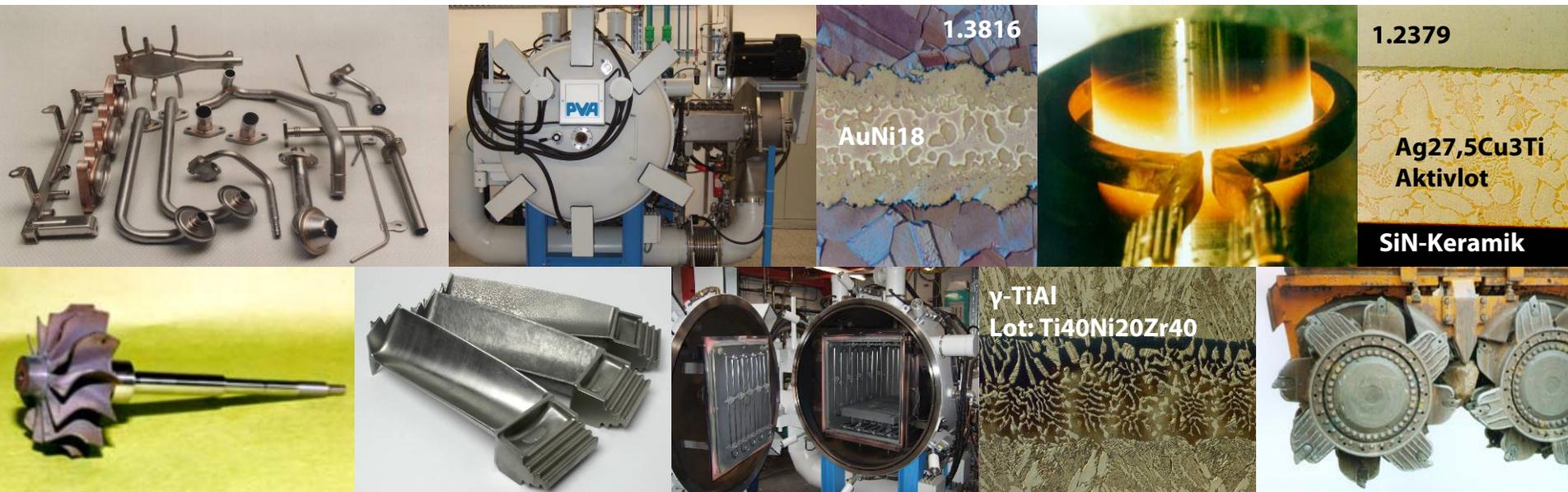
Sitzung des AK-Thermophysik in der GEFTA  
am 24. und 25. März 2011 in Berlin

**Löten:**

- thermisches Füge- oder Beschichtungsverfahren
- Schmelzen eines Lotes oder Diffusion an der Grenzfläche zum Grundwerkstoff
- Grundwerkstoffe schmelzen nicht auf

**Lot:**

- Zusatzwerkstoff zum Fügen oder Beschichten
- metallische Legierung oder reines Metall



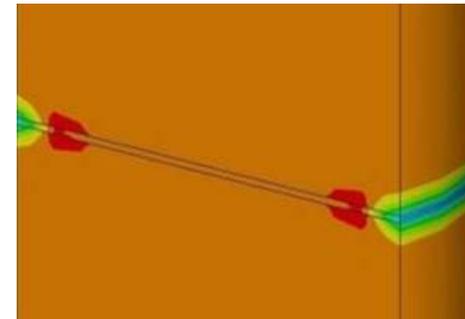
## Entwicklung und Optimierung von Loten und Prozessen

- DSC-Messungen zur Bestimmung der Schmelztemperaturen
  - Analyse der Reaktionen zwischen Lot und Grundwerkstoffen:
    - Nachbildung des Lötprozesses in der DSC-Messung
    - Basis für Prozessoptimierungen, Verständnis der Lot-Grundwerkstoff-Wechselwirkungen und Phasensfeldsimulationen
- ➔ Beispiel: Reactive Air Brazing – Löten von Keramik an Luft



## Vorhersage von Verzügen und thermomechanischen Eigenschaften Optimierung von Werkstoffauswahl und Fügestellendesign

- Bestimmung von Wärmeleitfähigkeiten und Wärmeausdehnungskoeffizienten von Lotwerkstoffen und zu lötenden Werkstoffen als Basis für die Simulation
- Berechnung der im Lötprozess auftretenden Dehnungen und Spannungen



## DSC/DTA-TGA und TMA

- Setaram SETSYS Evolution
- Zwei Einzelgeräte, jeweils aus einem Ofen und einem Messsystem:
  - DSC/DTA-TGA
  - Dilatometer (TMA)
- Messungen unter folgenden Atmosphären:  
Vakuum, Luft, Argon, oxidierende und reduzierende Gasgemische, feuchte Atmosphären

	<b>DSC/DTA-TGA</b>	<b>TMA</b>
Auflösung	0,03 µg	0,2 nm
Messbereich	± 200 mg	± 2 mm
Maximal Vakuum	10 <sup>-4</sup> mbar	10 <sup>-2</sup> mbar
Maximale Temperatur	1600 °C	1600 °C



## Wärmeleitfähigkeitsmessung

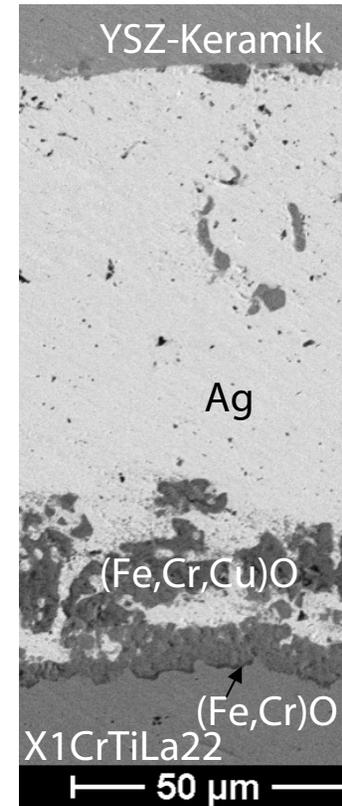
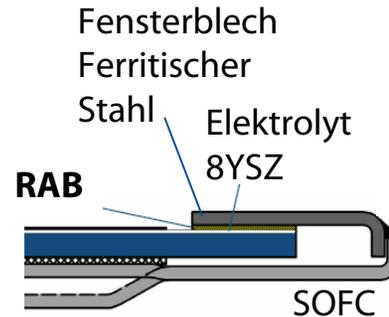
- Anter FLASHLINE™ 4010
- Messungen unter Vakuum, Argon oder Wasserstoff
- Mögliche Untersuchung von vier Proben gleichzeitig

Maximale Temperatur	1600 °C
Genauigkeit der Temperaturleitfähigkeit	<3 %
Genauigkeit der Wärmekapazität	<5 %
Maximal Vakuum	Mindestens $10^{-3}$ mbar
Messbereich der Temperaturleitfähigkeit	0,1 bis 1000 mm <sup>2</sup> /s
Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit	0,1 bis 2000 W/mK

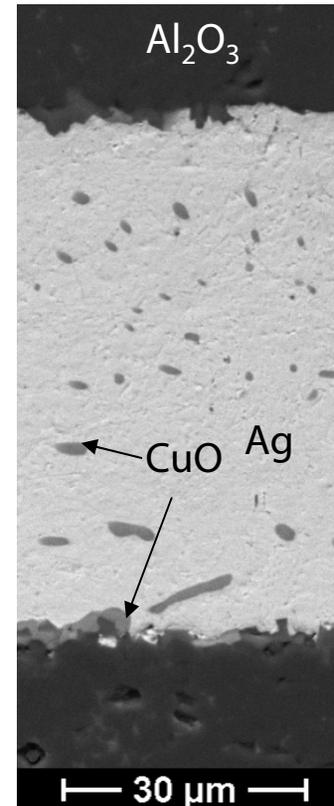


## Löten von Keramik an Luft

- Temperaturbereich um 1.000 °C
  - Lote auf AgCu(O)-Basis
  - Ähnliche Struktur von CuO und Keramik → Benetzung
  - Löslichkeit des CuO in der Ag-Schmelze → Verbindung zum metallischen Lot
  - Kostengünstiger, einfacher Prozess
  - Einsatz z. B. in SOFC-Brennstoffzellen
  
  - Fügen von Keramik-Metall-Mischverbunden möglich, jedoch unerwünschte Reaktion zwischen CuO und Stahl
    - spröde, dicke Mischoxidschichten
    - schlechte mechanische Eigenschaften und Alterungsbeständigkeit
- **Ziel Optimierung von Prozess und Loten zur Vermeidung der Reaktion zwischen Lot und Stahl**



3YSZ & X1CrTiLa22  
gelötet mit Ag8Cu  
bei 1150 °C



Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> gelötet  
mit Ag8Cu bei  
970 °C

DSC-Signal

Temperatur [°C]

900

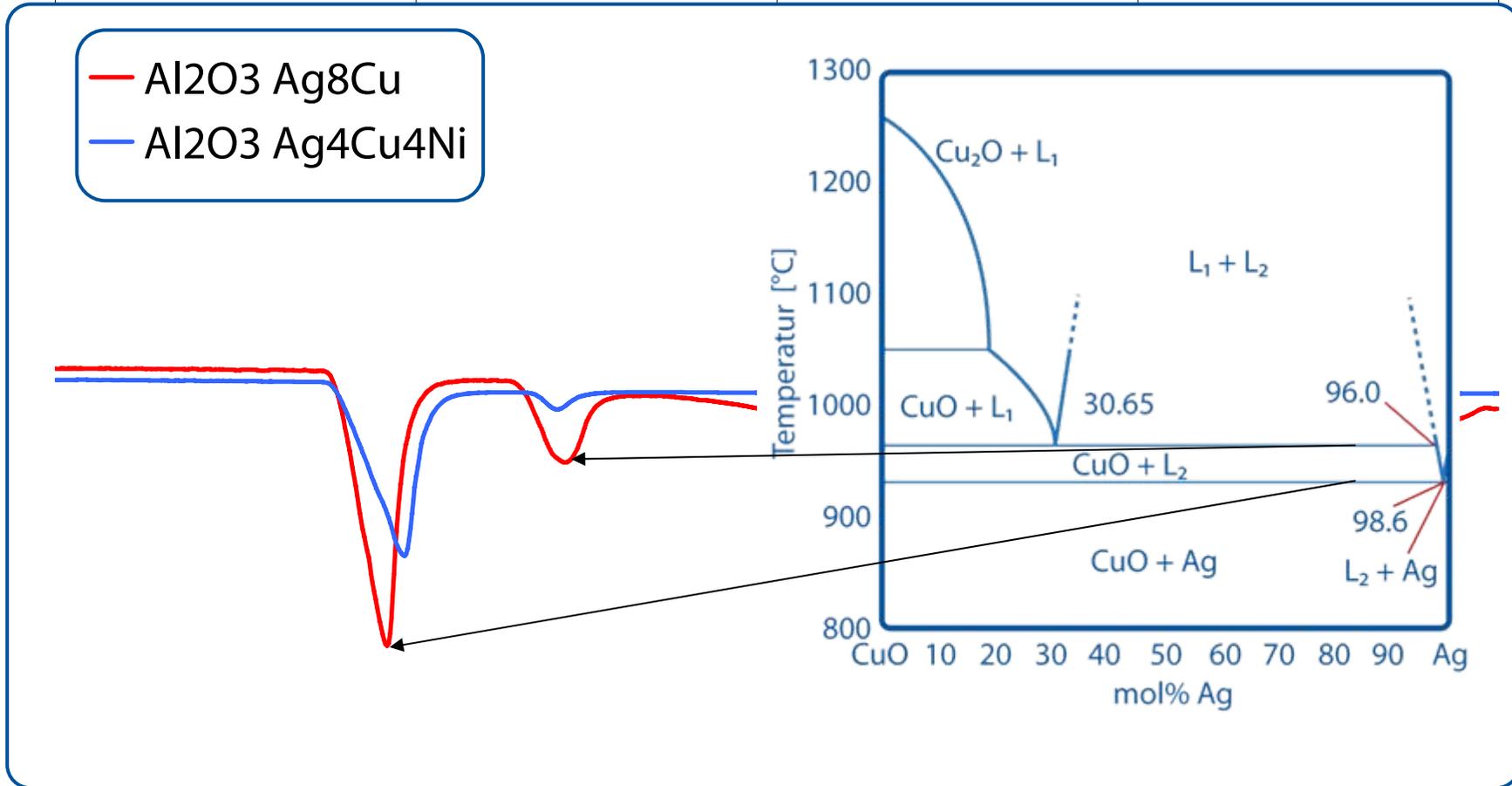
950

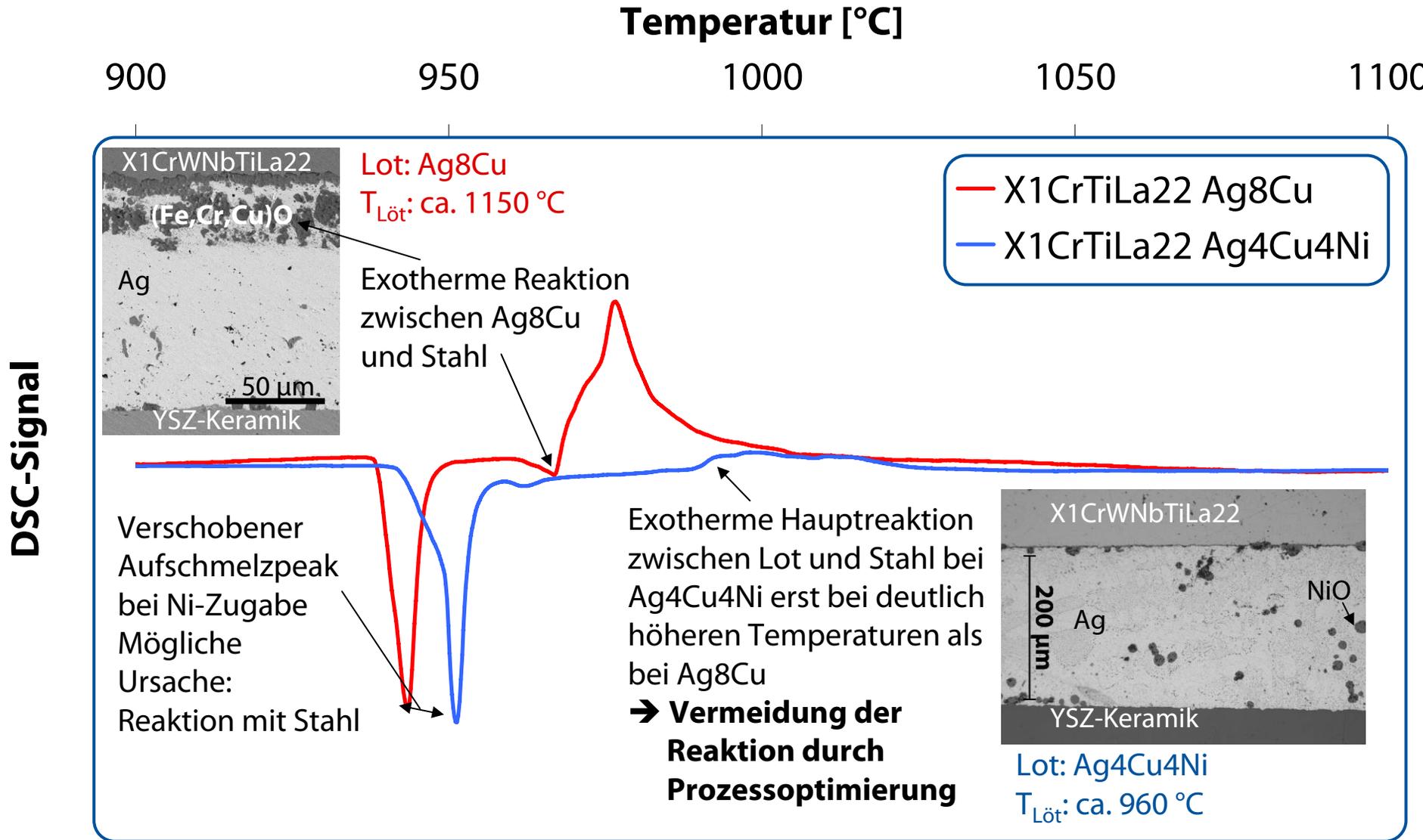
1000

1050

1100

- Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Ag<sub>8</sub>Cu
- Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Ag<sub>4</sub>Cu<sub>4</sub>Ni





## Auslegung von Lötverbindungen

## Auswahl geeigneter Werkstoffe und Geometrien

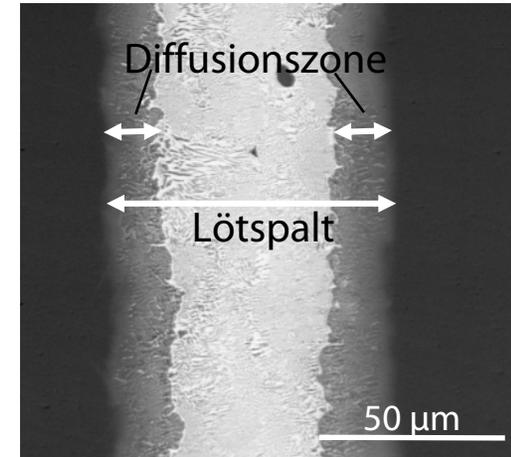
## Anwendungsbeispiele

- Sägeblätter: Hartmetall-Stahl 1.0715, gelötet mit Silberlot
- Turbinenkomponenten: Inconel 625 gelötet mit Au-Ni-Lot

## Ausbildung von thermisch induzierten Spannungen beim Abkühlen durch:

- Unterschiede in den thermischen und mechanischen Eigenschaften
- Lokale Temperaturunterschiede, insbesondere bei größeren Bauteilen

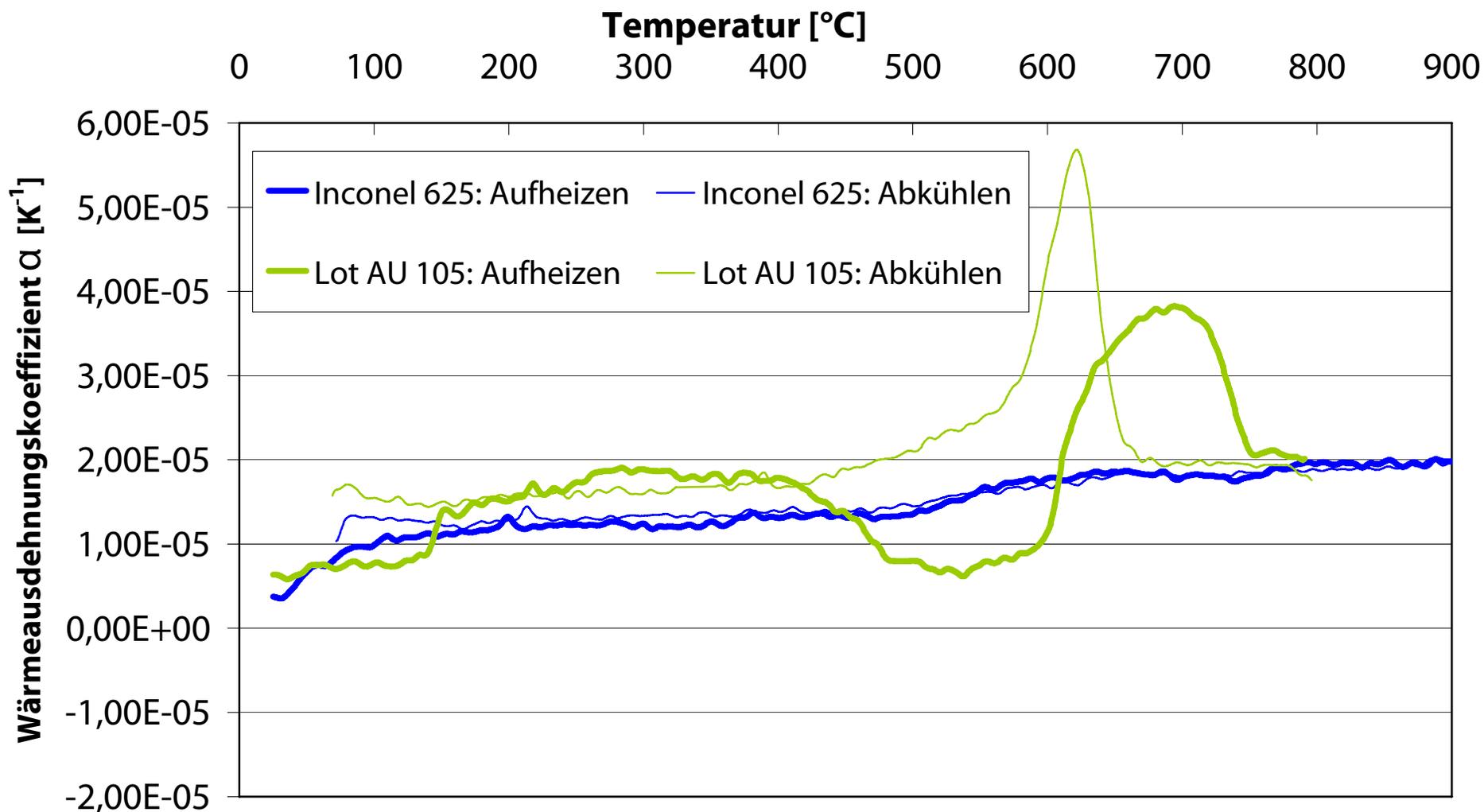
**IN 625 – AU 105**

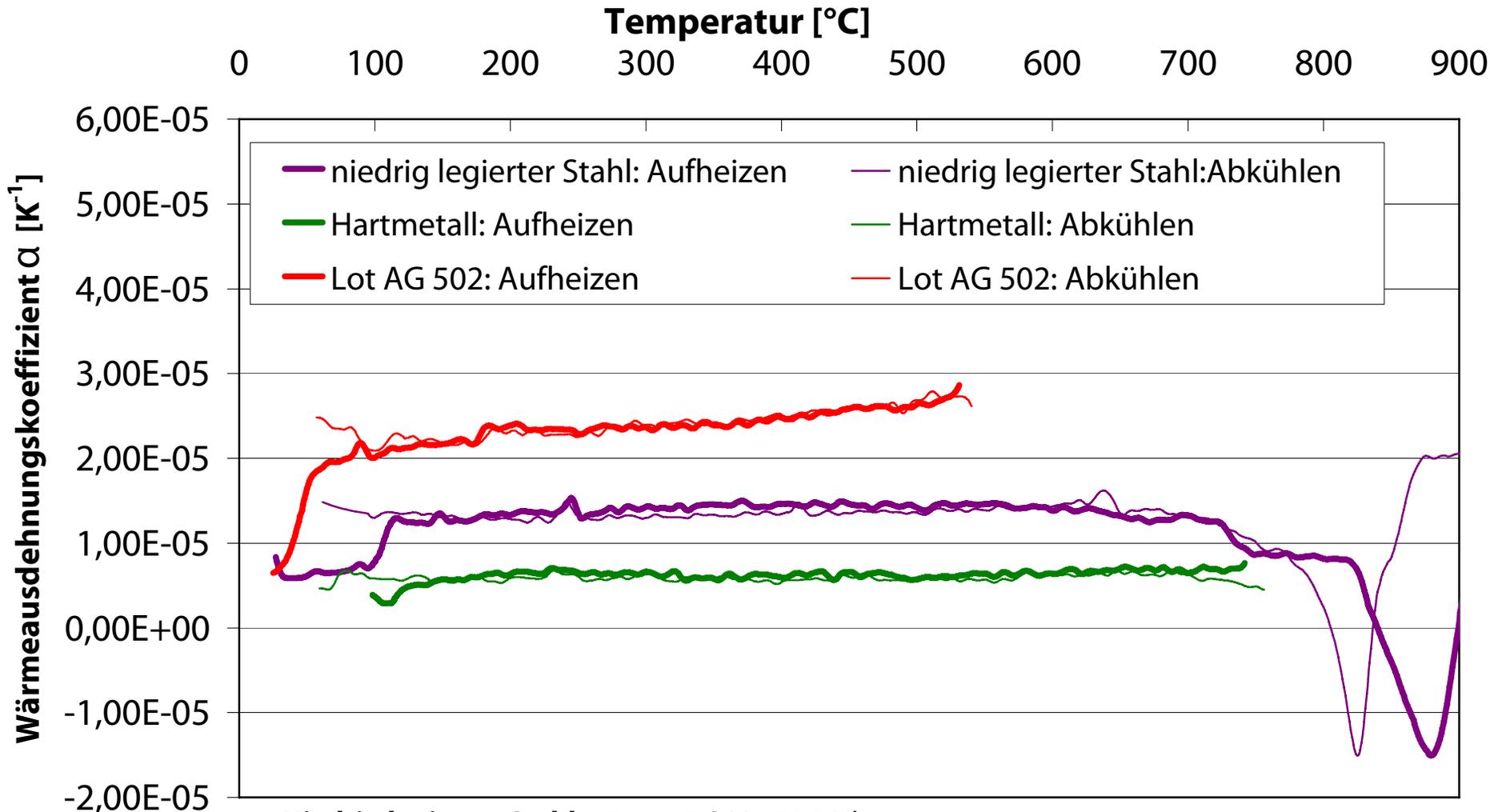


**Aber: Kenndaten zu Lotwerkstoffen in der Regel unbekannt  
Ermittlung von Wärmeausdehnungskoeffizienten, Wärmeleitfähigkeit,  
E-Modul, Fließkurven notwendig**

**IN 625:** Ni Cr 22 Mo 9 Nb

**AU 105:** Gold-Nickel-Lot mit eutektischer Zusammensetzung, d.h. 82 Gew.-% Gold.

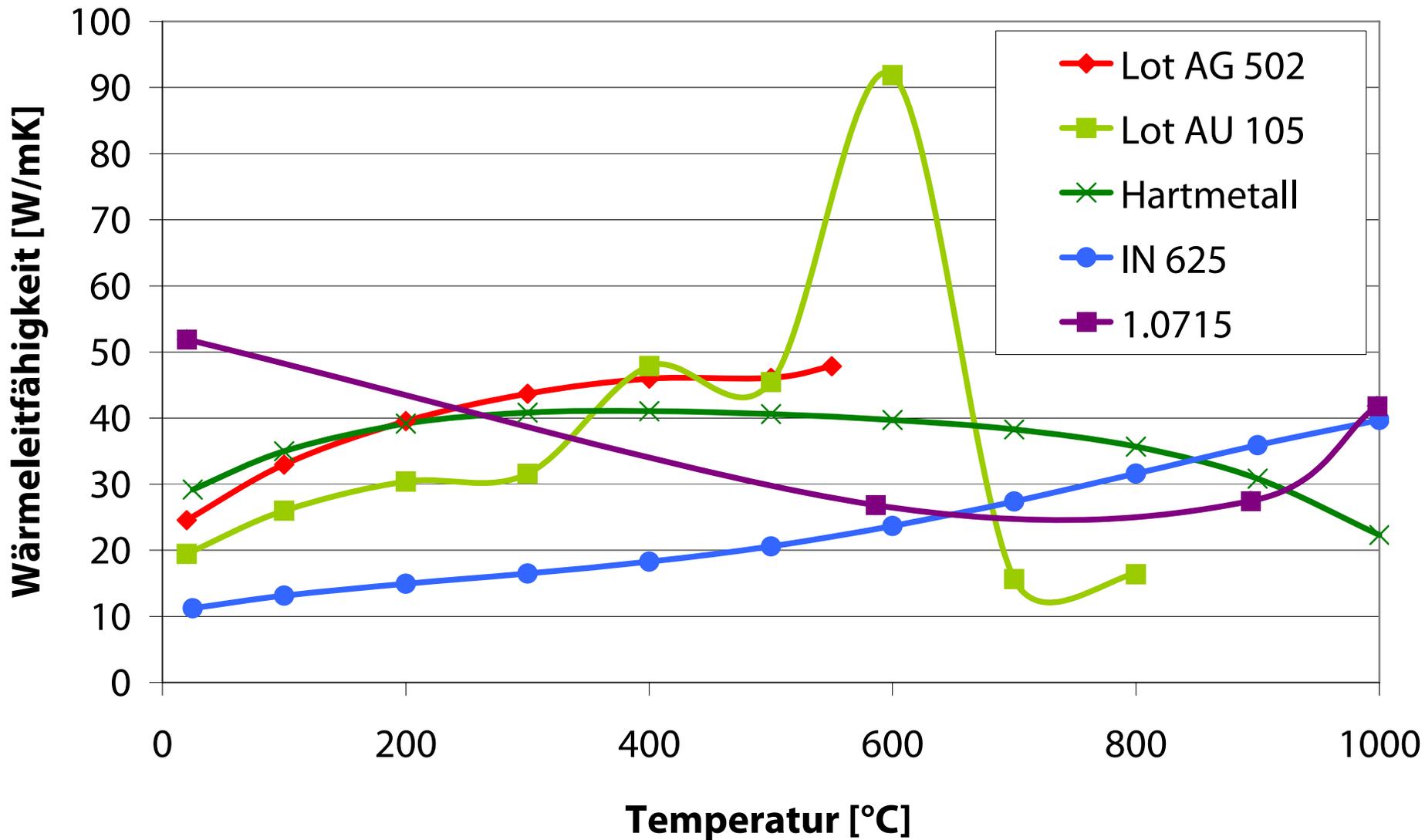


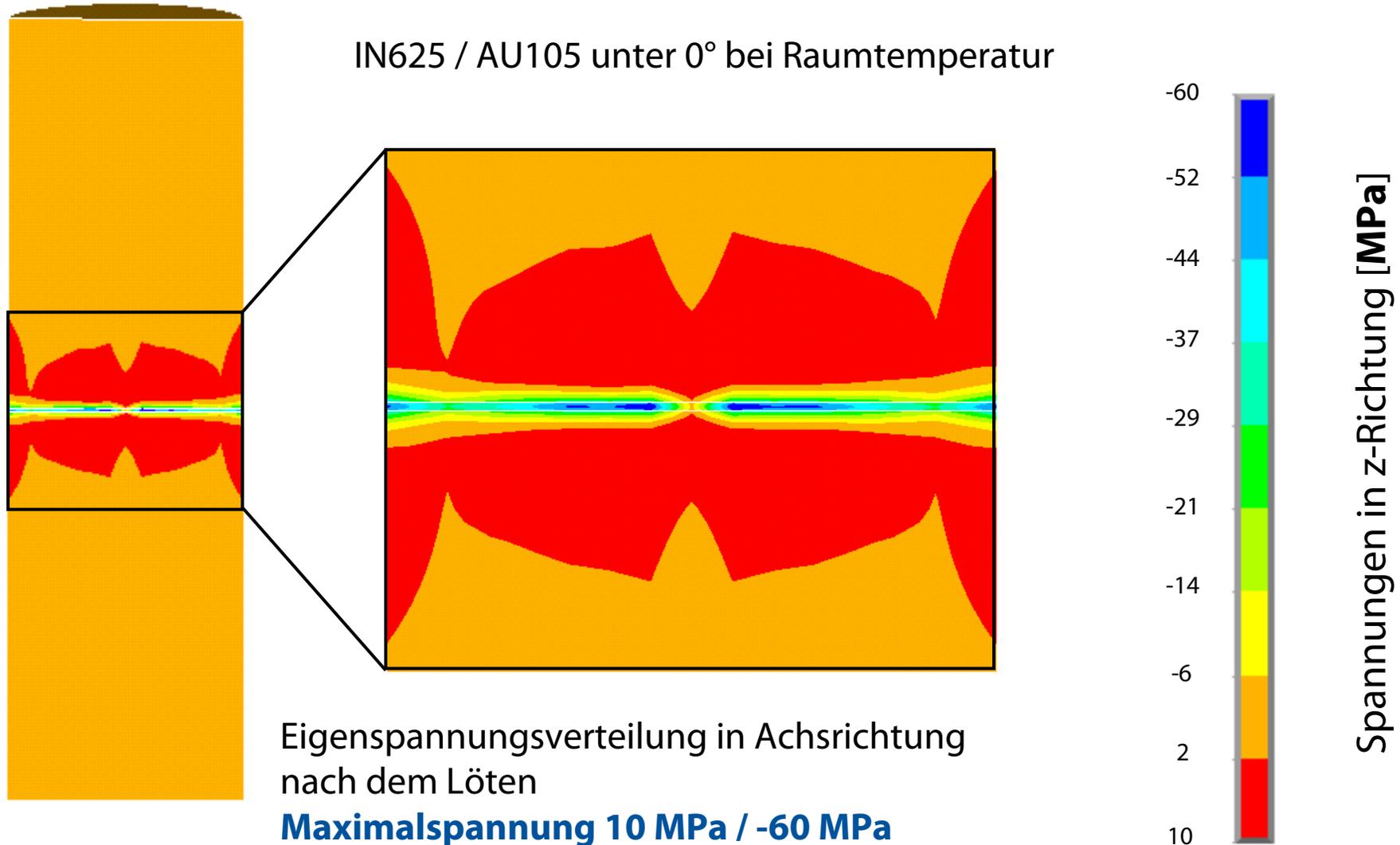


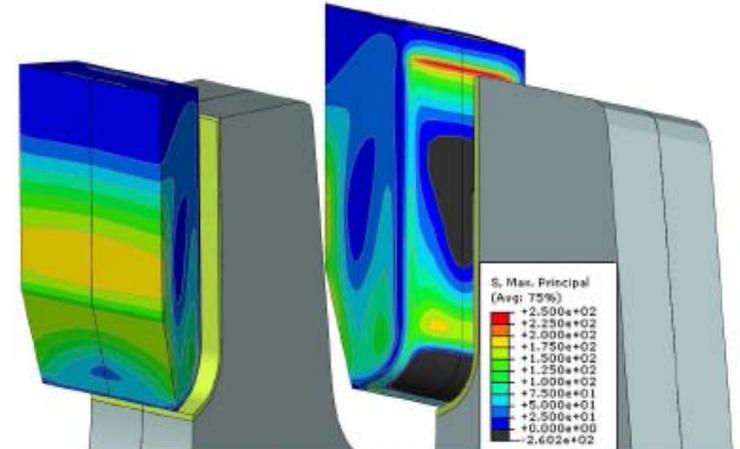
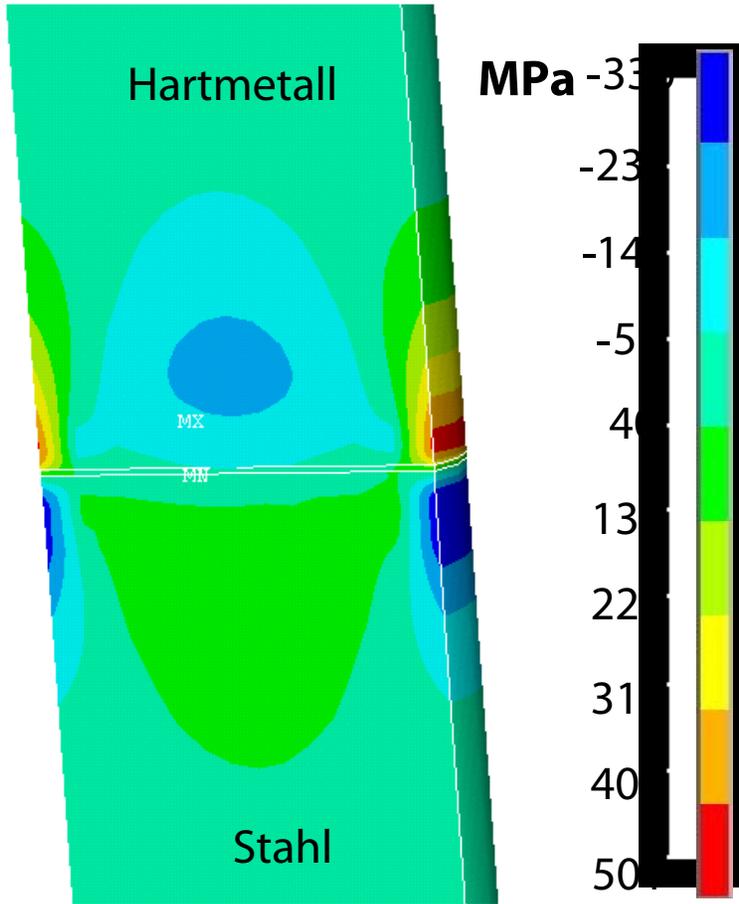
**Niedrig legierter Stahl 1.0715:** 9 S Mn 28 9 Nb

**Hartmetall:** WC (Wolframkarbid) - Co 8% KG 0,2-0,5µm

**AG 502:** Cu16 Zn23 Mn7,5 Ni4,5 Ag Rest





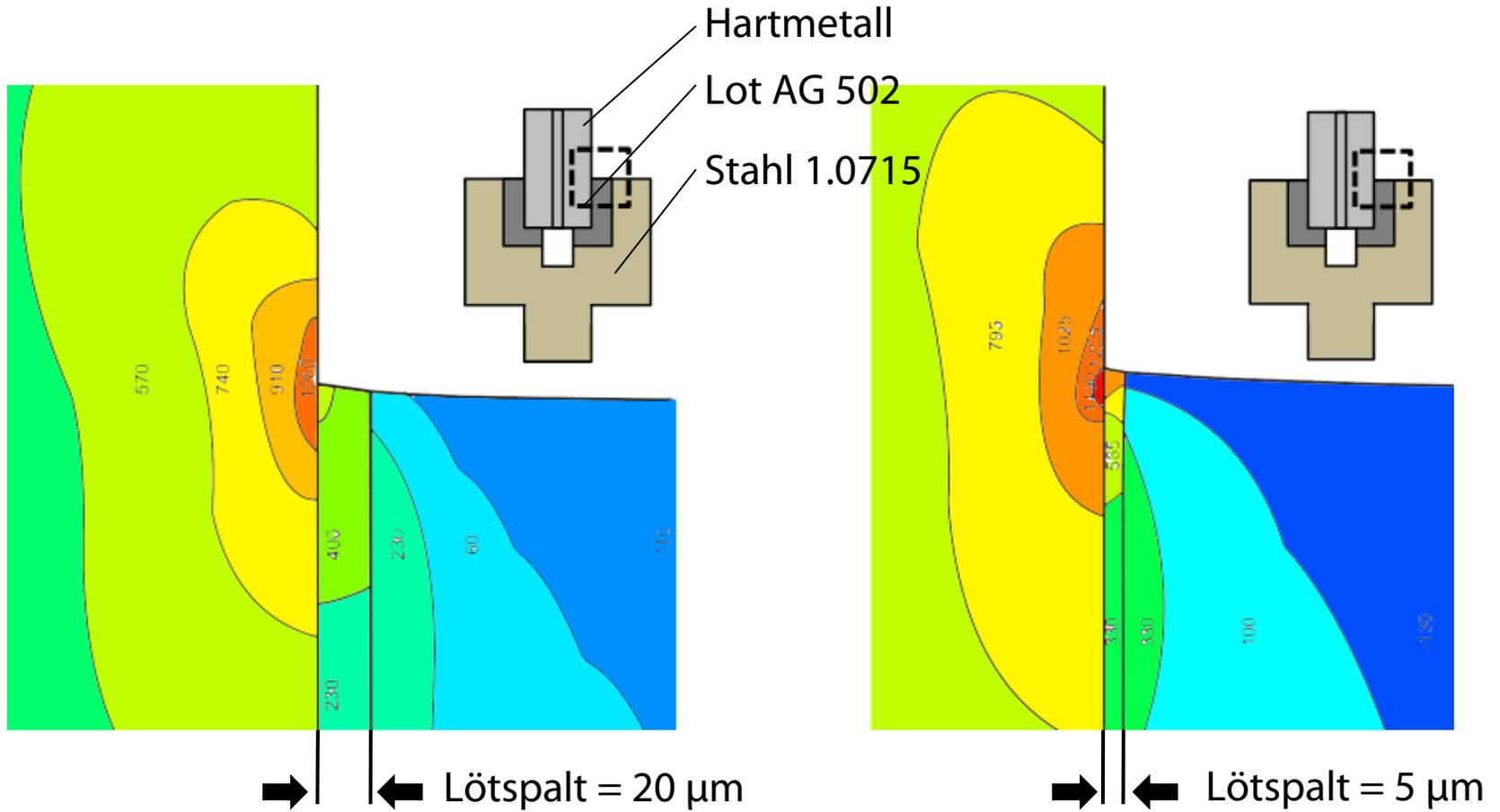


FEM-Bild: CERATIZIT Luxembourg S.à.r.l., Luxembourg

Optimierung der Lotbreite realer Bauteile bei CERATIZIT und Umicore/BrazeTec

Eigenstressverteilung in Achsrichtung nach dem Löten

**Maximalspannung 500 MPa / -330 MPa**



- Thermische Analyse als wichtiges Werkzeug der Löttechnik
- Erfolgreiche Untersuchung von Lötprozessen mit darauf aufbauender Prozessoptimierung
- Optimierung von Lötverbindungen durch Anpassung von Werkstoffauswahl und Geometrie bei Berücksichtigung der thermischen Eigenschaften
- Zunehmende Kombination der Thermoanalyse mit der Simulation