

Entwurf und Vorversuche für ein Hochtemperatur - Zweiplatten Gerät (HT-GHP) zur Messung der Wärmeleitfähigkeit von Dämmstoffen bis 1000 °C



Förderprojekt: THEA-CHAR
FKZ: 03EN4002C

Dr. Andreas Kloss

Bernhard Berkmüller, Michael Schöwel, Dmyitro Melnichenko, Benedikt Empl

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



Übersicht

- Motivation
- Aufgaben / Fragen für ein 1000 °C Gerät
- Einzelkomponenten
 - Warmplatte
 - Heizung
 - Temperaturmessung
 - Innere Haube
 - Regelung / Steuerung
- Was noch zu tun ist

Motivation



Stationäre Messung der Wärmeleitfähigkeit: Zweiplattenapparat (GHP)

bis 450 °C: kommerziell verfügbar (z.B. Netzsch, Linseis,...)

bis 800 °C: nur in wenigen Instituten (FIW, CAE ZeroCarbon ZAE Bayern,...)

über 800 °C: nur dynamische Verfahren

Neue Hochtemperaturanwendungen:

Hochtemperatur-Brennstoffzellen

HT-Industrieprozesse

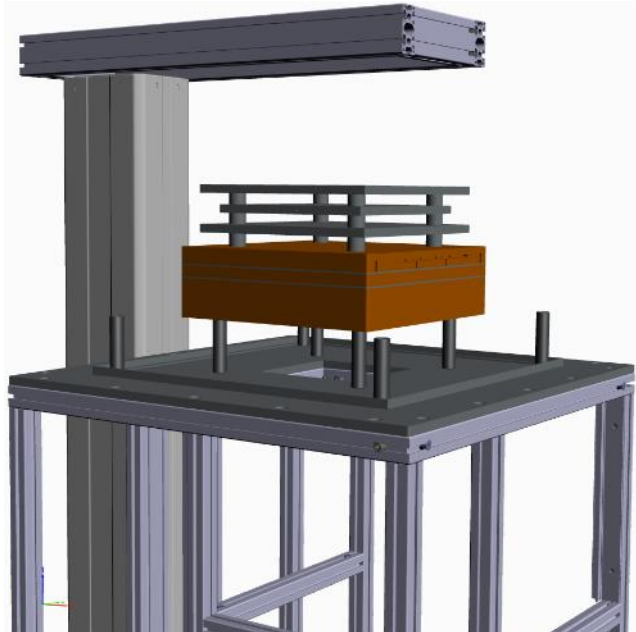
Luft- und Raumfahrt

Automobilindustrie (Akkumulatoren, Motoren)

Neue Dämmstoffe:

Aerogele

Aufgaben / Fragen für ein 1000 °C Gerät



- Aufbau: horizontale Platten, 2 Hauben (thermisch, Schutzgas)
- Grenzwerte: 100...1000 °C; 300 x 300 x 15...25 mm³
- Material: Messplatten; Heizung; Thermoelemente; Haube
- Steuerung: Heizungsregler, Messwertaufnahme, Schutzgassteuerung
- Bedienung: Probeneinbau, Messprogramm

→ Modellierung / Simulation

Warmplatte

Anforderungen:

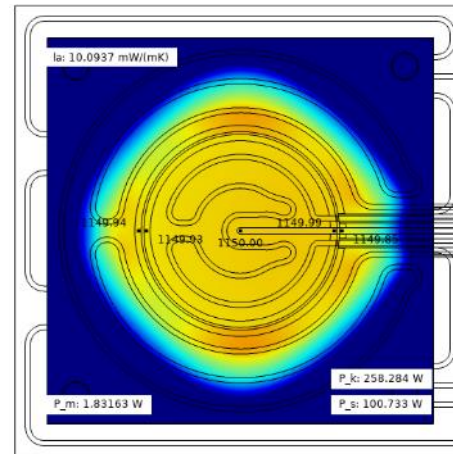
- temperaturstabil bis 1100 °C
- elektrisch nichtleitend (Heizung & TE)
- mechanisch stabil
- geometrisch exakt (< 100 µm)
- gut wärmeleitend (> 50 W m⁻¹ K⁻¹)

→ bearbeitbare Keramik (< 850 °C)
in Schutzgas (< 1300 °C)

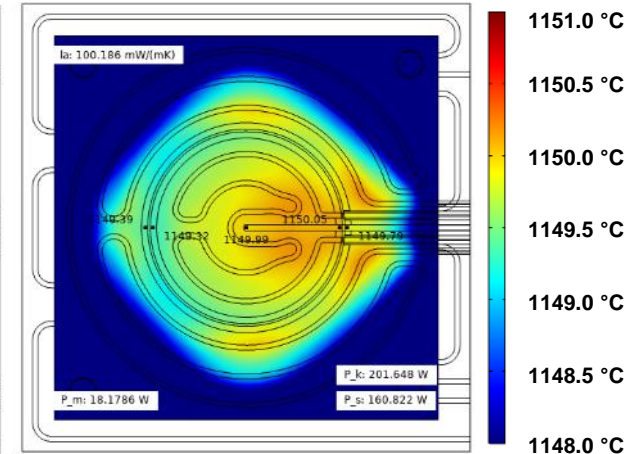
Design:

- isothermal (< 1 K @ 1000 °C)
- Abweichung der Leitfähigkeit (Simulation) < 3 %
im Messbereich (300...1000 °C; 0.01...0.1 Wm⁻¹K⁻¹, 10...30 mm)

d_spl = 20 mm
la_spl = 10 mWm⁻¹K⁻¹ → 10.09



d_spl = 20 mm
la_spl = 100 mWm⁻¹K⁻¹ → 100.19



Heizung

Anforderungen:

- temperaturstabil bis 1100 °C
- mechanisch flexibel
- ausdehnungstolerant (20...1000 °C)
- elektrisch leistungsangepasst (< 60 V, < 10 A)
- preislich möglich

→ Kanthalband (FeCrAl): 3.175 x 0.361 mm²
gekräuselt, Zuleitung verstärkt, Spannungssonde

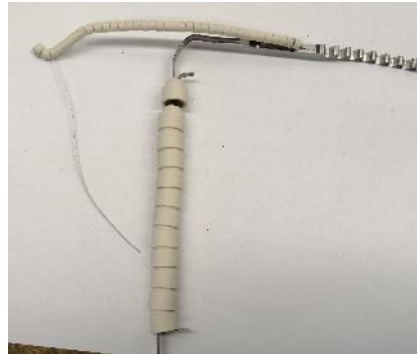
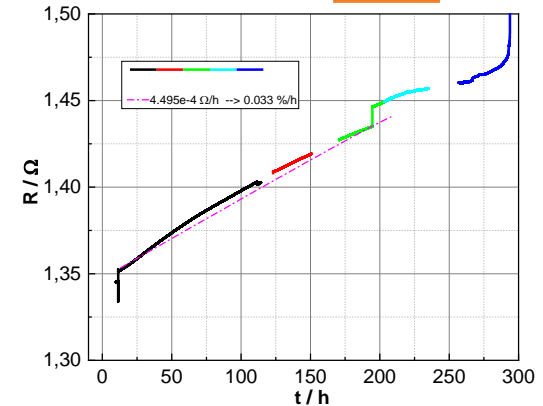
Lebensdauertest:

- Betrieb bei 1150 °C bis Ausfall

→ Ausfall nach 280 h

→ stetiges R-Wachstum

→ @ 1050 °C, N₂: T_{life} > 500 h

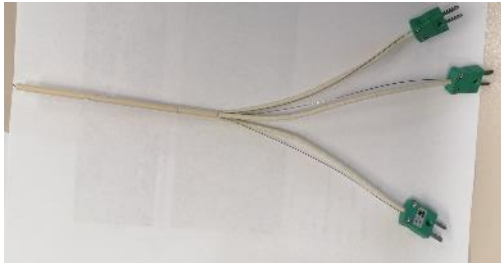


Temperaturmessung

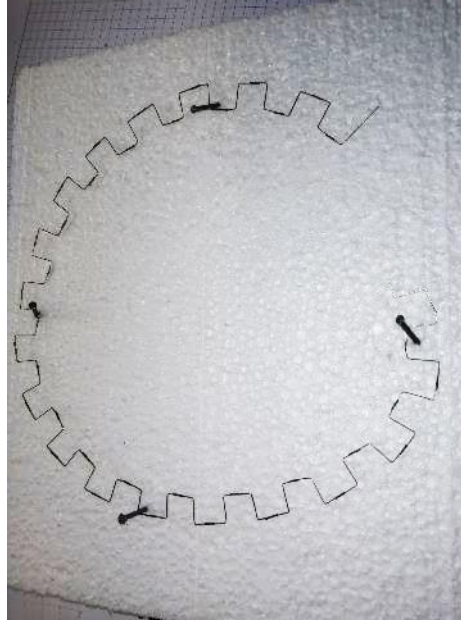
Anforderungen:

- Messung bis 1100 °C
- mechanisch flexibel
- austauschbar
- passiv (kein Leistungseintrag)
- Mehrfachelement (3x), TE-Kette (20x)
- fertigbar

→ Thermoelemente Typ K (Test), Typ S (final)
Mehrfachelemente in Keramikröhrchen
Isothermalblock

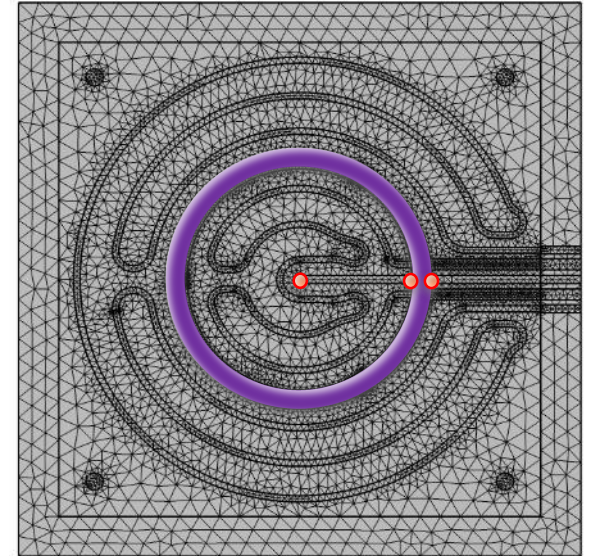


3-fach Thermoelement



Thermoelement-Kette

Messstellen in der Warmplatte



Innere Haube

Anforderungen:

- temperaturstabil innen bis 1000 °C
- temperaturgeregelt
- wohldefinierter Wärmeabfluss
- Außentemperatur < 150 °C

Materialtests:

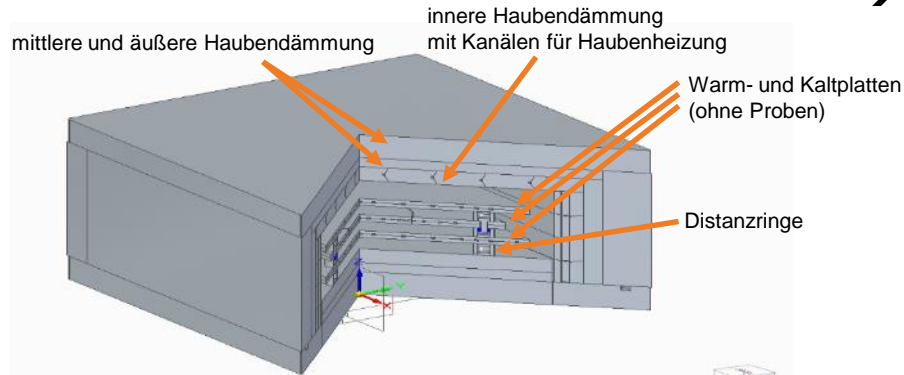
→ 30 mm Vermiculite mit Heizkanälen → stabil > 300h @ 1150 °C

→ + 20 mm Vermiculite

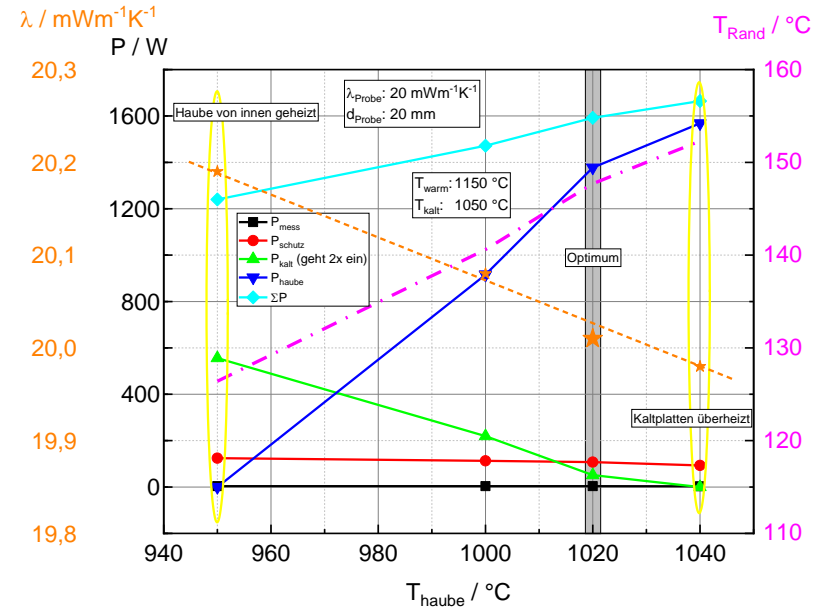
→ + 50 mm Kalziumsilikat

→ stabil T < 800 °C

→ tempern



Simulation für optimale Haubentemperatur



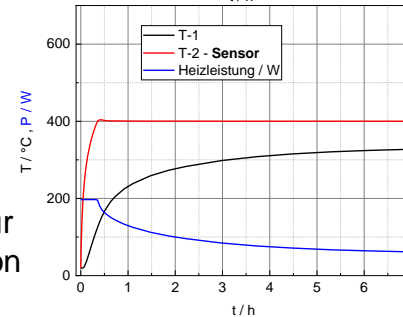
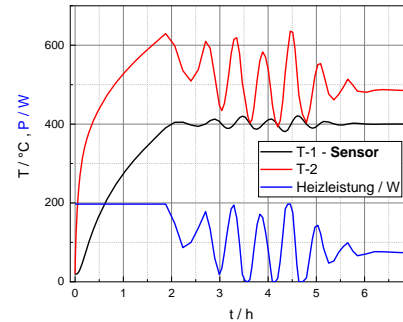
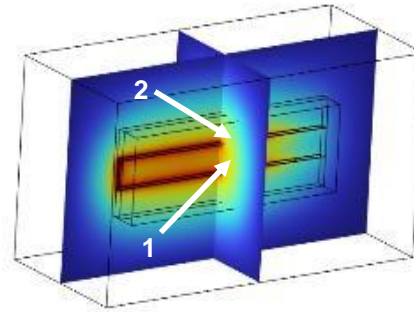
Regelung / Steuerung

Anforderungen:

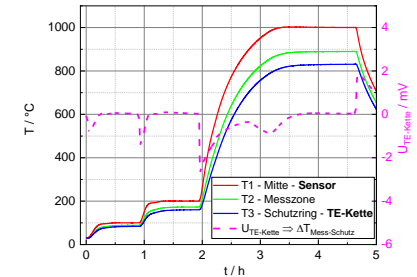
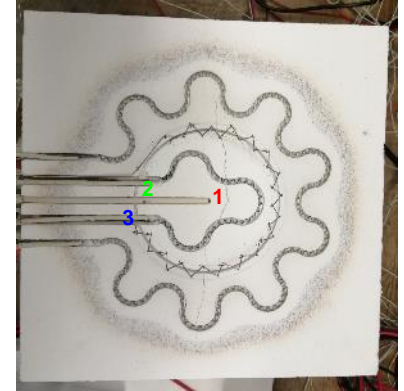
- Regelung auf Temperatur / Temperaturdifferenz
- sehr unterschiedliche thermische Massen
- teilweise gekoppelte Systeme
- geringes Überschwingen ($< 5K$)
- schnelles Erreichen der Zieltemperatur
- kein Schwingen
- final: 7 Regelkreise

- Vorschrift zur Charakterisierung der Regelstrecken
- keine reinen PID-Regler
- Parameternachführung
- sorgfältige Messpunktwahl
- Modellversuche / Simulation

Simulation für optimale Sensorposition



Modellversuch:
„Rose von Gräfelfing“
unsymmetrische Heizer



Was noch zu tun ist

- Finaler Aufbau von Warm- und Kaltplatten (mit Heizung & Sensorik)
- Aufbau innere Haube mit Heizung (& Sensorik)
- Aufbau äußere Haube mit Schutzgasbetrieb
- Aufbau Gesamtgerät
- Bestimmung der Regelparameter (7x)
- Erstellung einer „Bediensoftware“
- Anschlussmessung an FIW-Messung / Kalibrierkörper
- Fehlerbetrachtung / Dokumentation





Dr. Andreas Kloss

Forschungsinstitut für Wärmeschutz e.V. München
Lochhamer Schlag 4, D – 82166 Gräfelfing
Telefon +49 89 85800-75, Telefax -40
kloss@fiw-muenchen.de