



Bestimmung der spezifischen Wärmekapazität auf der Basis von Laserflashmessungen

G. Barth



- Motivation / Ziel
- Messverfahren zur Bestimmung der spezifischen Wärmekapazität
- Einsatz der Laserflashapparatur
- Durchgeführte Messungen
- Zusammenfassung



Wozu werden thermophysikalische Daten benötigt?

Voraussetzung für die mathematische Modellierung von Wärmetransportprozessen

- Wärmeleitfähigkeit
- Temperaturleitfähigkeit
- spez. Wärmekapazität
- Reaktionsenthalpien
-

Kennzeichnung / Zertifizierung Entwicklung von Materialien

- Wärmeleitfähigkeit (Wärmedämmstoffe)
- Wärmeleitfähigkeit (Bau- und Konstruktionsmaterialien)
- Temperaturleitfähigkeit
- spez. Wärmekapazität
- Dichte

Optimierung von technischen Systemen

- thermische Ankopplung von geothermischen Sonden an das Gebirge
- thermisches Verhalten von Schichtsystem (Gießereitechnik, chem. Apparate)



Ausstattung des Hochtemperaturlabors zur Messung thermophysikalischer Eigenschaften I

Art und Funktion	Bezeichnung	Hersteller	Temperatur °C	Messbereich W/(m K)
Plattenapparatur feste Stoffe stationär	PMA 1	teilweise Eigenbau	-20 bis 50	0,03 bis 2
	PMA 2	Eigenentwicklung und -bau	300 bis 1450	0,025 bis 2
	PMA 3	Universität Erlangen	20 bis 500	0,05 bis 45
	PMA 4	Eigenentwicklung und -bau	300 bis 1650	0,025 bis 2



Ausstattung des Hochtemperaturlabors zur Messung thermophysikalischer Eigenschaften II

Art und Funktion	Bezeichnung	Hersteller	Temperatur °C	Messbereich W/(m K)
Rohrapparatur stationär	RA 1/2 feste Stoffe	Eigenentwicklung und -bau	400 bis 1450	0,025 bis 3
	RA 3 Schüttstoffe durchströmt	Eigenentwicklung und -bau	100 bis 1200	0,03 bis 10
	RA 4 Schüttstoffe Insitu Verdichtung	Eigenentwicklung und -bau	100 bis 1200	0,03 bis 10



Ausstattung des Hochtemperaturlabors zur Messung thermophysikalischer Eigenschaften III

Art und Funktion	Bezeichnung	Hersteller	Temperatur °C	Messbereich
Simultanapparatur (quasi-stationär)	SIMUL feste Stoffe	Eigenentwicklung und -bau	100 bis 1750	0,01 bis 200 W/(m K)
Laserflashapparatur (transient)	LFA 427 feste Stoffe und Schmelzen	Netzsch-Gerätebau Selb	100 bis 1200	0,03 bis 10 cm ² /s
Hochtemperatur- kalorimeter	Multi-HTC 96 feste Stoffe Schmelzen	Setaram Caluire Frankreich	100 bis 1600	
Dilatometer DIL 204 C	feste Stoffe	Netzsch-Gerätebau Selb	-180 bis 1600	



Auswahl des Messverfahren wird geprägt durch

- **Messaufgabe an sich,**
- **der zur Verfügung stehenden Materialmenge**
- **besonders durch die Herstellbarkeit der erforderlichen Probekörper**

z.B. Materialien mit zu erwartender erhöhter Wärmeleitfähigkeit

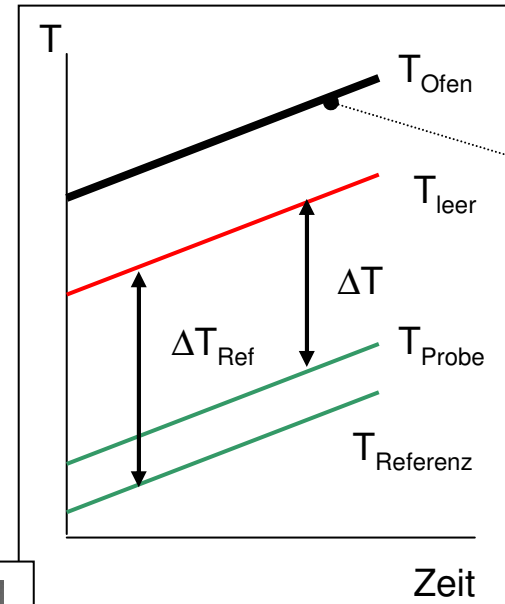
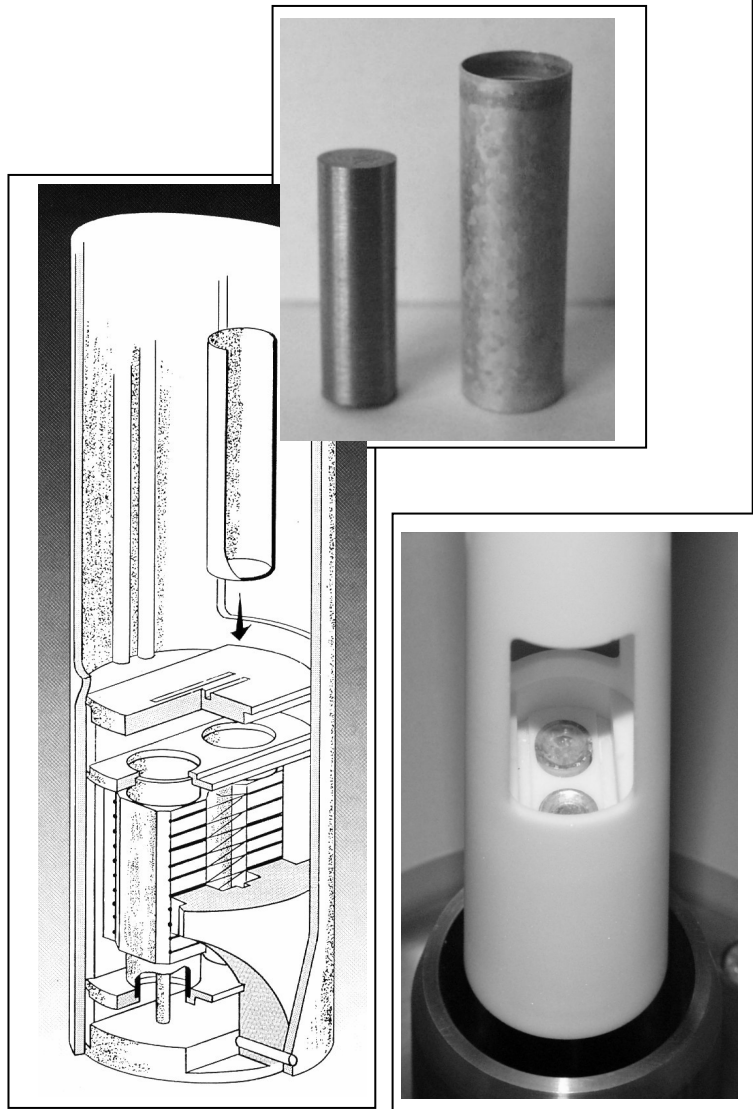
- **Wärmeleitfähigkeit nicht unmittelbar messbar, jedoch die Temperaturleitfähigkeit**
- **Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit erfolgt nach**

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

- **die spezifische Wärmekapazität als auch die Dichte müssen ermittelt werden!**
- **prinzipiell einsetzbar Multi-HTC 96 oder DSC 404**

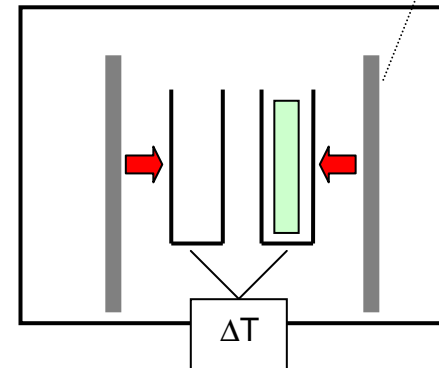


Arbeitsprinzip des Hochtemperaturkalorimeters

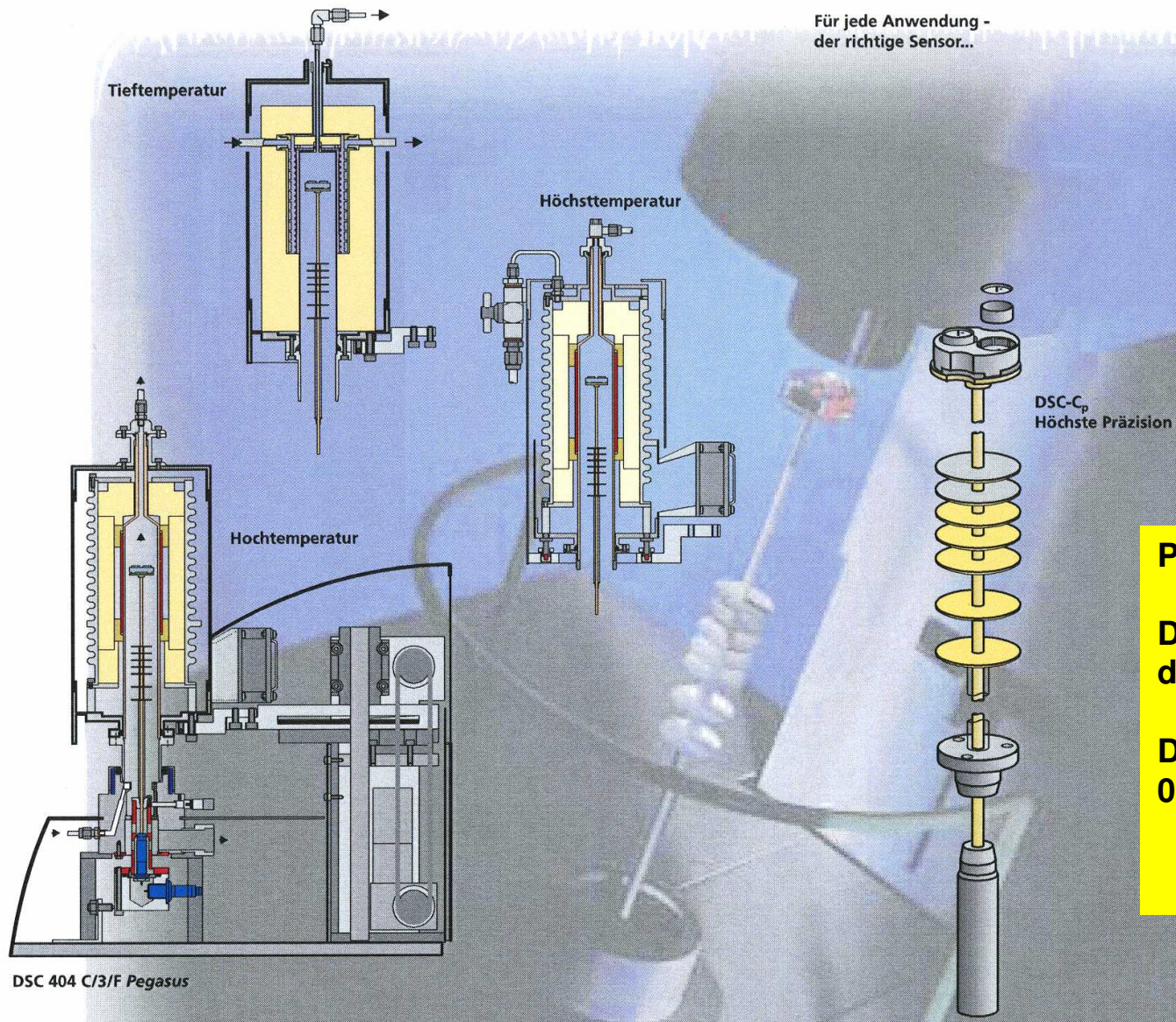


Probekörper
d = 4,9 mm
L = 16 mm
bzw.
Pulver (150 μm)

$$c_p = c_{p,Ref} \frac{m_{Ref}}{m} \frac{\Delta T_{Ref}}{\Delta T}$$



Arbeitsprinzip DSC 404



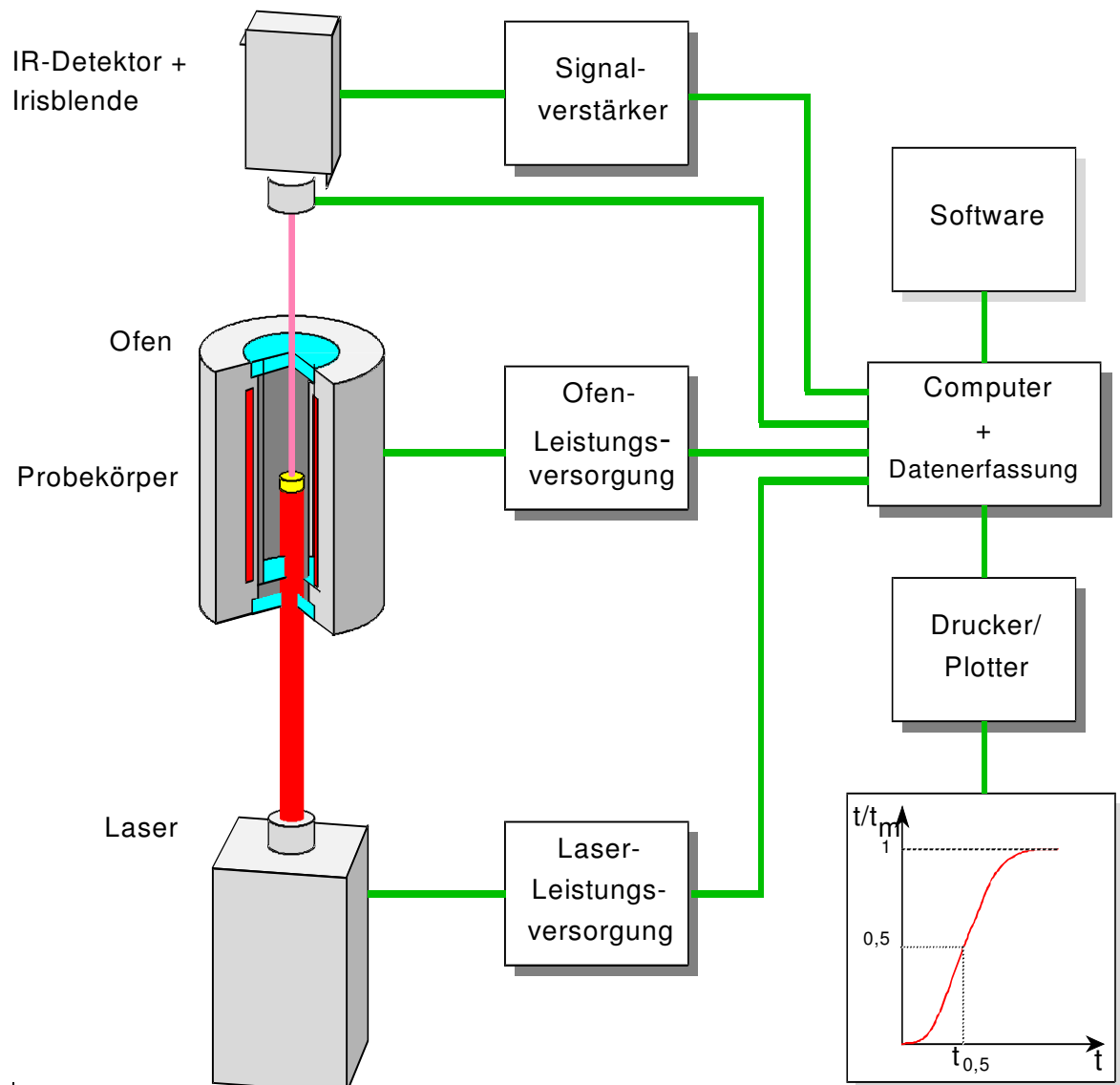
DSC 404 C/3/F Pegasus



Schema der Laser-Flash-Anlage

Erforderliche Probekörper für
Multi-HTC 96 bzw.
DSC 404 erfordern hohe Präzision
bei der Probenpräparation

Erforderliche Probekörper für LFA
Durchmesser 12,6 mm
Dicke $1,5 < s < 4$ mm



Gleichung zur Berechnung der spezifischen Wärmekapazität (LFA)

$$c_{p,Probe} = \frac{T_{Referenz,\infty}}{T_{Probe,\infty}} \cdot \frac{Q_{Probe}}{Q_{Referenz}} \cdot \frac{V_{Probe}}{V_{Referenz}} \cdot \frac{\rho_{Referenz} \cdot D_{Referenz}}{\rho_{Probe} \cdot D_{Probe}} \cdot \frac{d_{Blende,Probe}^2}{d_{Referenz,Probe}^2} \cdot c_{p,Referenz} (T)$$

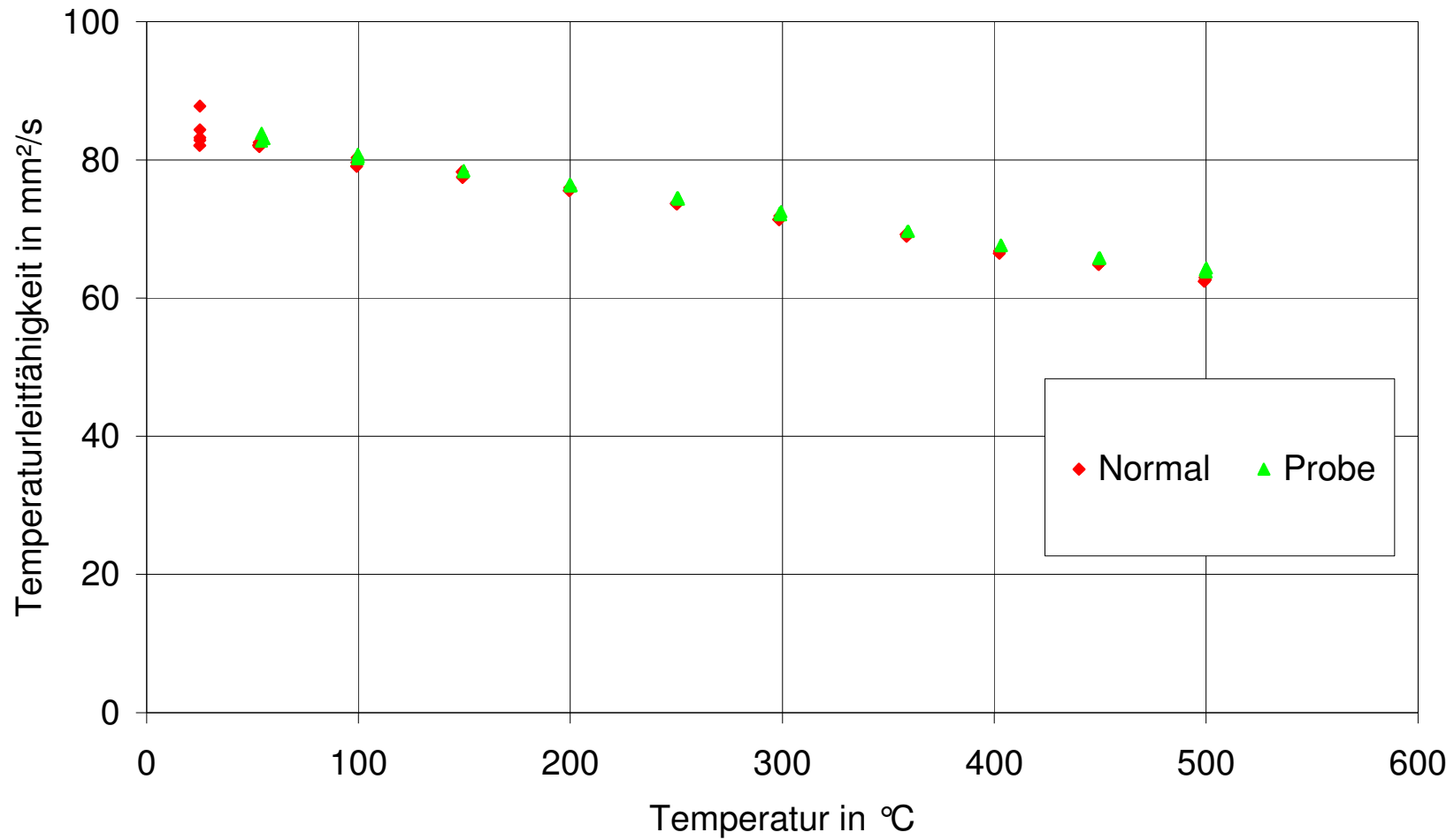
$c_{p, Probe}$	- spezifische Wärmekapazität der Probe	
$c_{p, Referenz}$	- spezifische Wärmekapazität des Referenzmaterialies	
$T_{Referenz, \infty}$	- Temperaturhub im adiabatischen Fall nach unendlicher Zeit	
$T_{Probe, \infty}$	- Temperaturhub im adiabatischen Fall nach unendlicher Zeit	
Q_{Probe}	- Auf die Probe eingestrahlte Laserenergie	
$Q_{Referenz}$	- Auf die Referenzprobe eingestrahlte Laserenergie	
V_{Probe}	- Verstärkungsfaktor der Probenmessung	
$V_{Referenz}$	- Verstärkungsfaktor der Referenzmessung	
$\rho_{Referenz}$	- Dichte der Referenzprobe	ρ_{Probe} - Dichte der Probe
$D_{Referenz}$	- Dicke der Referenzprobe	D_{Probe} - Dicke der Probe
$d_{Blende, Probe}^2$	- Quadrat des Lochblendendurchmessers - Probenmessung	
$d_{Blende, Probe}^2$	- Quadrat des Lochblendendurchmessers – Referenzmessung	

Durchgeführte Messungen

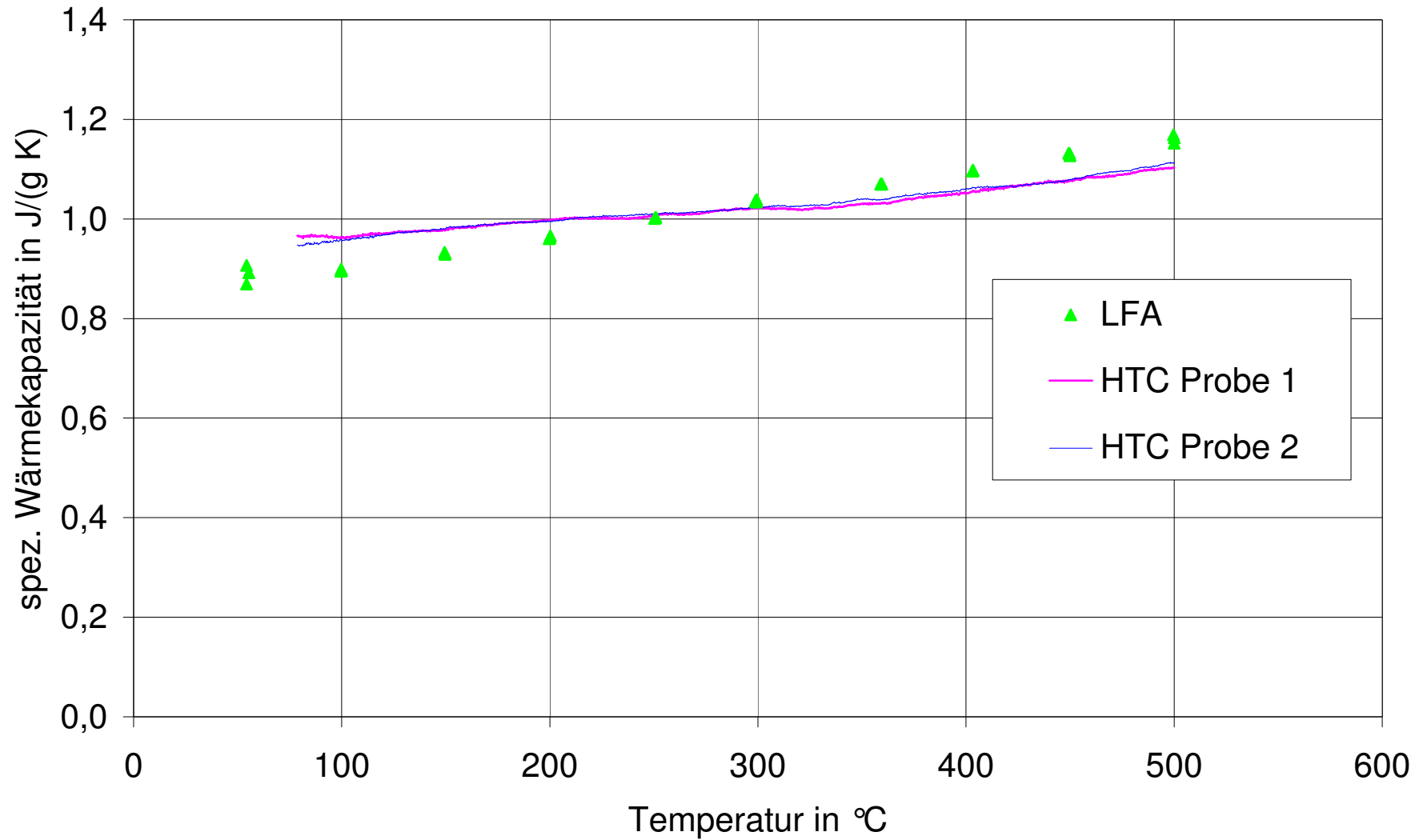
- ❖ **Reinaluminium**
- ❖ **Gusseisen**
- ❖ **Aluminiumlegierung**



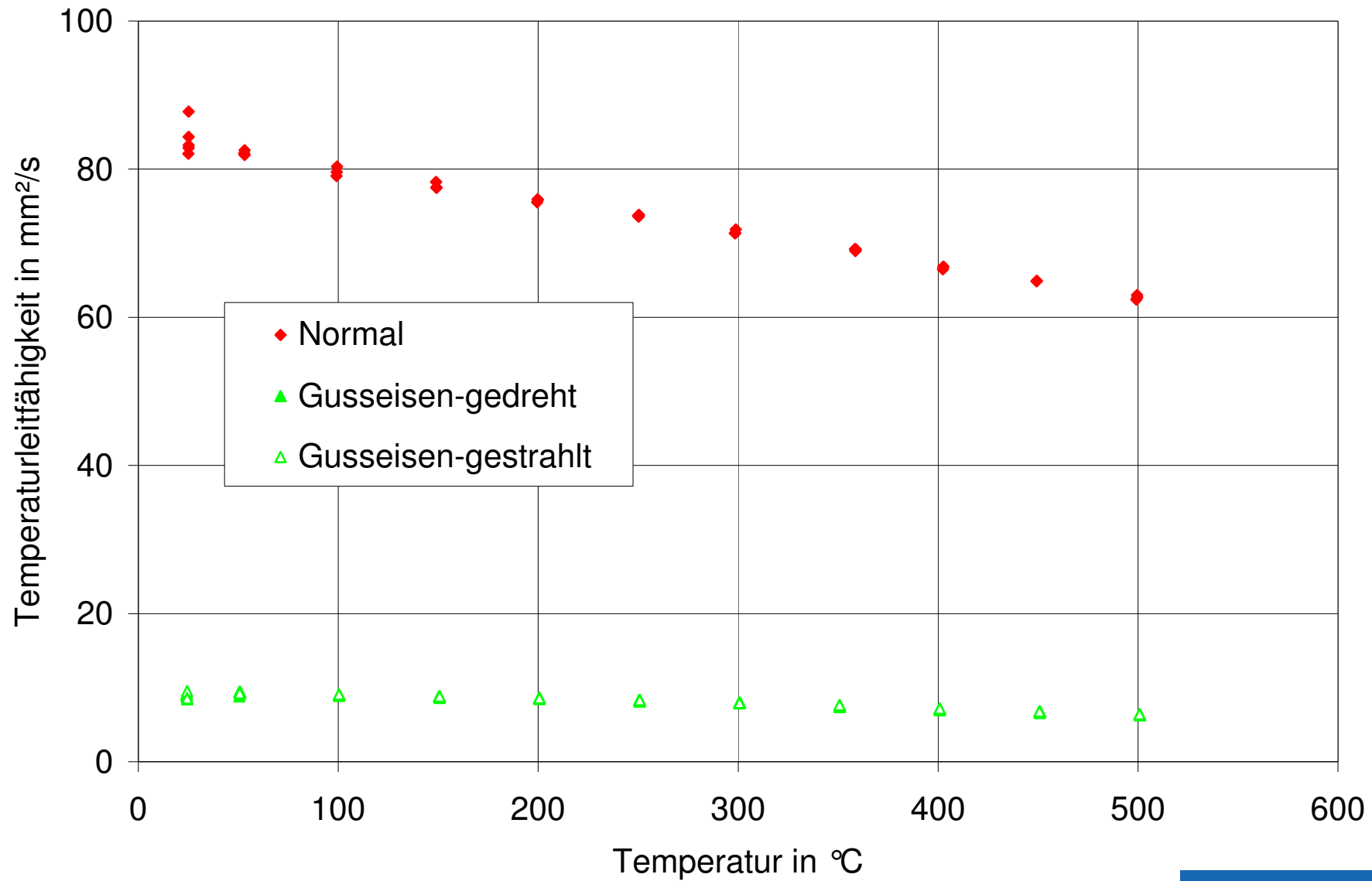
Temperaturleitfähigkeit Reinaluminium



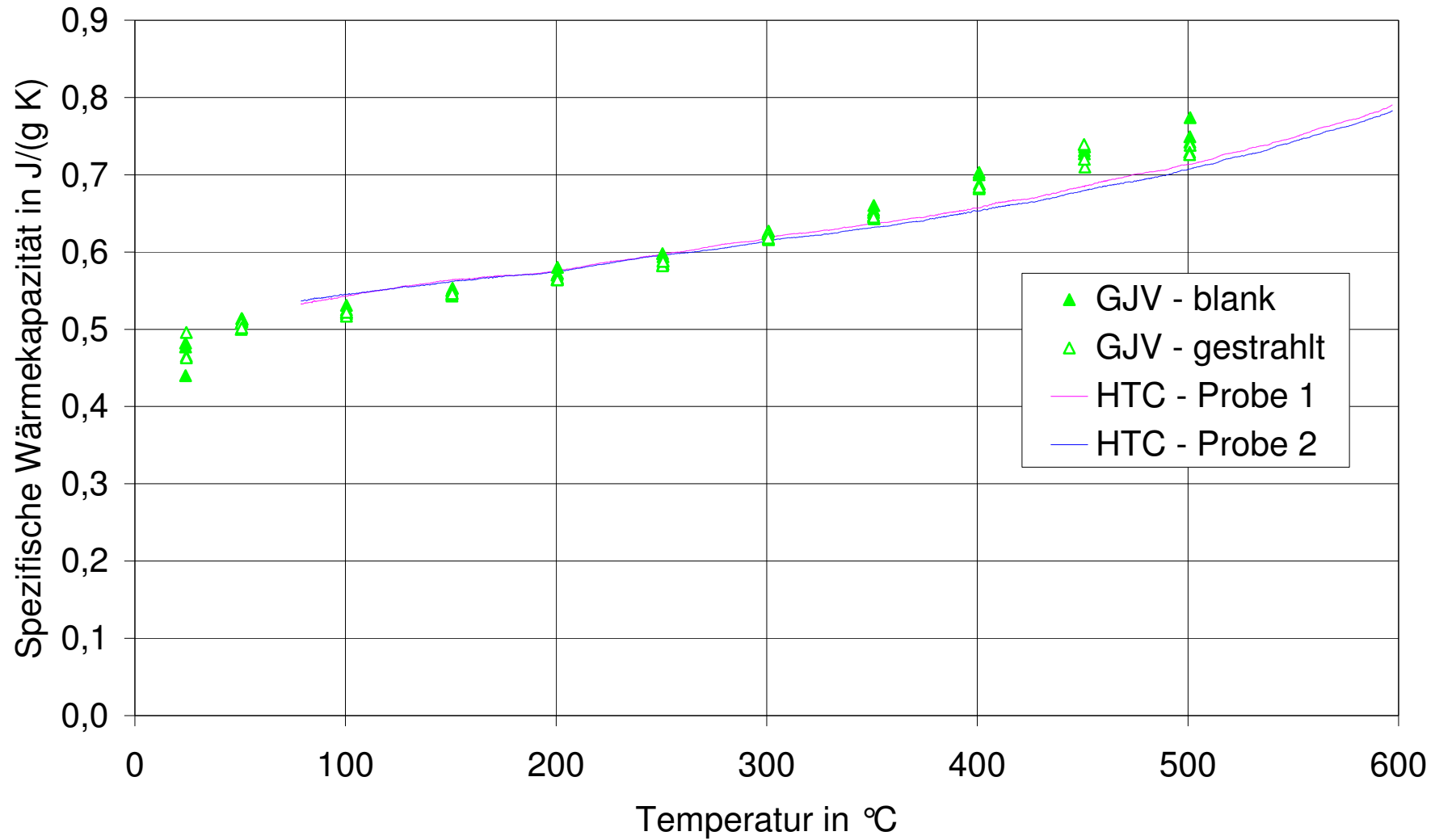
Spez. Wärmekapazität Reinaluminium



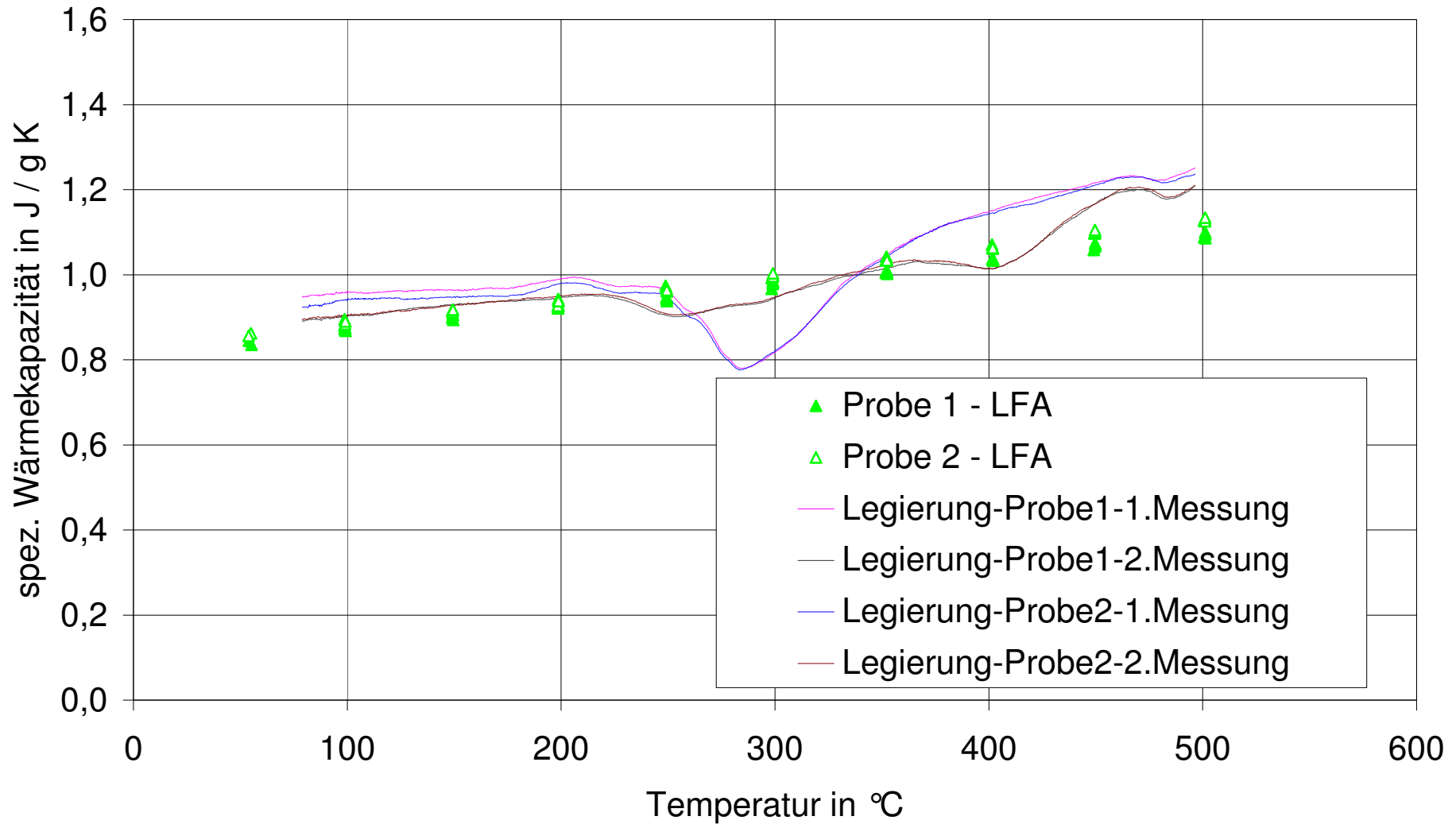
Vergleich Temperaturleitfähigkeit Aluminium - Gusseisen



Spez. Wärmekapazität Gusseisen



Spez. Wärmekapazität Aluminiumlegierung



Zusammenfassung

- 1. Die Messung der spezifischen Wärmekapazität mit der LFA ergab bei Reinaluminium und Gusseisen Abweichungen gegenüber der HTC-Messung im Bereich 4 bis 7%**
- 2. Bei Gusseisen wurde keine Abhängigkeit von der Oberflächenbeschaffenheit (gedreht bzw. gestrahlt) festgestellt. In beiden Fällen war die Oberfläche grafitiert.**
- 3. Bei während des Erwärmungsprozesses auftretenden Gefügeveränderungen können die Ergebnisse der ersten Erwärmung nicht erreicht werden.**

