

Ringversuch: Spezifische Wärmekapazität und Temperaturleitfähigkeit

Erhard Kaschnitz

Österreichisches Gießerei-Institut
Leoben

Ausschreibung beim letzten Arbeitskreis 2023 in Karlsruhe

Gefordert waren:
**Spezifische Wärmekapazität,
Temperaturleitfähigkeit** und die
erweiterte Messunsicherheit bei
Temperaturen von
20°C, 100°C, 300°C und 500°C

Durchführung dauerte ca. 8 Monate –
Daten aller Teilnehmer erhalten



Österreichisches Gießerei-Institut
Parkstraße 21, 8700 Leoben, Austria
Tel.: +43 3942/431010
office@ogi.at, www.ogi.at

Arbeitskreis Thermophysik in der GEFTA
Herrn Dr. Hans-Peter Ebert
CAE
Magdalene-Schoch-Str. 3
97074 Würzburg
DEUTSCHLAND

Unser Zeichen: Ka / DW 35
Leoben, den 24. April 2023

RINGVERSUCH zur Temperaturleitfähigkeit und spezifischen Wärmekapazität

Liebe Mitglieder des Arbeitskreises Thermophysik,

das Österreichische Gießerei-Institut in Leoben erlaubt sich, zu einem Ringversuch „Temperaturleitfähigkeit“ und „spezifische Wärmekapazität“ einzuladen. Es soll ein anonymer Ringversuch sein, bei dem Probenmaterial den Teilnehmern zur Verfügung gestellt wird. Der zu untersuchende Temperaturbereich ist eingeschränkt, um Einflüsse der Umgebung und Abhängigkeiten vom Aufheizprozess zu minimieren. Außerdem soll, nach einer langen COVID-Durststrecke, der Ringversuch einigemaßen rasch durchgeführt und ausgewertet werden (im Jahr 2023).

Das Probenmaterial ist ein Edelstahl (rund, Durchmesser 22 mm, Länge nach Bedarf), und es ist im vorgesehenen Temperaturbereich stabil. Es sollen die Ergebnisse der Temperaturleitfähigkeit und der spezifischen Wärmekapazität der teilnehmenden Labore bei den Temperaturen von (genau) 20°C, 100°C, 300°C und 500°C verglichen werden. Eine Angabe der (erweiterten) Messunsicherheit ist zur Auswertung unverzichtbar.

Jedes teilnehmende Labor bekommt nach Abschluss des Ringversuchs eine anonymisierte Auswertung der gesammelten Ergebnisse mit Bekanntgabe der eigenen Teilnehmeridentität. Eine Vorstellung der (anonymisierten) Ergebnisse beim Arbeitskreis Thermophysik ist vorgesehen, eine Zeitschriftenpublikation ist nicht ein Ziel dieses Ringversuchs.

Bei Interesse (und weiteren Fragen) bitte ich um Kontaktaufnahme unter meiner E-Mail-Adresse: erhard.kaschnitz@ogi.at.

Mit freundlichen Grüßen

Dr. Erhard Kaschnitz

Verein für praktische Gießereiforschung
Österreichisches Gießerei-Institut
Vorstandsvorsitz:
DI Maximilian Klotzer
Geschäftsführung
Univ.-Prof. DI Dr. Peter Schumacher
DI Christa Zengeler

Bankverbindung: UniCredit Bank Austria AG
IBAN: AT 61 1100 0309 1735 7906
BIC: BKJAAT3333
UID-Nr.: ATU29759305
ZVR-Zahl: 283242682



Arbeitskreis Thermophysik, Würzburg, 20./21. März 2024



Ringversuchsprobenmaterial ist eine Nickelbasis-Superlegierung

Teilnehmer:

- AIT Austrian Institute of Technology GmbH, Wien
- Center for Applied Energy Research e.V., Würzburg
- Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme, Dresden
- Linseis Meßgeräte GmbH, Selb
- NETZSCH-Gerätebau GmbH, Selb
- Österreichisches Gießerei-Institut, Leoben (**Pilot**)
- Robert Bosch GmbH, Stuttgart
- Technische Universität Bergakademie Freiberg, (Wärmetechnik u. Thermodynamik)

Die Reihenfolge der Laborbezeichnungen (1 bis 8) wurde durch Vertauschung **anonymisiert**

Erste Frage: wie kommen wir zu einem Referenzwert?

1. Arithmetisches Mittel: gute Näherung für normalverteilte Messwerte
2. Bewerteter Mittelwert:

$$x_{Mittel} = \frac{\sum_{i=1}^N \frac{x_i}{u^2(x_i)}}{\sum_{i=1}^N \frac{1}{u^2(x_i)}}$$

3. Median: in der Praxis eine gute Schätzung, - vernünftige Teilnehmerzahl notwendig

Zweite Frage: wie gut ist der Referenzwert?

1. Arithmetisches Mittel der Messunsicherheiten der Teilnehmer
2. Median der Messunsicherheiten der Teilnehmer
3. Einfache Standardabweichungen der Messdaten der Teilnehmer

Dritte Frage: wie gut sind die gemessenen Daten?

„Eingangsprüfung“ der gemessenen Werte.

Berechnung der normierten Abweichung (En-Wert)
für alle Teilnehmer untereinander:

$$En_{lab1,lab2} = \left| \frac{x_{lab1} - x_{lab2}}{\sqrt{u^2(x_{lab1}) + u^2(x_{lab2})}} \right| \leq 2$$

wenn u die einfache Messunsicherheit ist.

Wärmekapazität: En-Werte bei 20°C

Labor	1	2	3	4	5	6	7	8
1	x							
2	x	x						
3	x	2,45	x					
4	x	0,19	-2,43	x				
5	x	-0,24	-2,60	-0,50	x			
6	x	-0,64	-2,77	-1,05	-0,46	x		
7	x	-1,37	-3,05	-1,66	-1,30	-1,09	x	
8	x	-0,22	-2,64	-0,58	0,07	0,76	1,49	x

Wärmekapazität: En-Werte bei 100°C

Labor	1	2	3	4	5	6	7	8
1	x							
2	x	x						
3	x	1,85	x					
4	x	0,09	-1,85	x				
5	x	-0,42	-2,06	-0,60	x			
6	x	-0,46	-2,08	-0,69	0,01	x		
7	x	-1,38	-2,47	-1,58	-1,15	-1,24	x	
8	x	-0,22	-2,01	-0,44	0,38	0,51	1,54	x

Wärmekapazität: En-Werte bei 300°C

Labor	1	2	3	4	5	6	7	8
1	x							
2	0,71	x						
3	1,26	0,96	x					
4	0,47	-0,34	-1,11	x				
5	-0,18	-1,04	-1,38	-0,82	x			
6	0,31	-0,59	-1,20	-0,27	0,67	x		
7	-0,92	-1,60	-1,70	-1,46	-0,88	-1,38	x	
8	0,92	0,09	-0,95	0,56	1,47	0,97	1,90	x

Wärmekapazität: En-Werte bei 500°C

Labor	1	2	3	4	5	6	7	8
1	x							
2	x	x						
3	0,46	x	x					
4	-0,27	x	-0,58	x				
5	-0,88	x	-0,82	-0,75	x			
6	-0,34	x	-0,60	-0,05	0,80	x		
7	-1,22	x	-1,04	-1,13	-0,60	-1,17	x	
8	1,06	x	0,00	1,52	2,15	1,71	2,19	x

Die Werte des Teilnehmers Nr. 3 bei 20°C und 100°C, der Wert des Teilnehmers Nr. 8 bei 500°C werden aus der Bestimmung der Mittelwerte und Standardabweichungen ausgeschlossen.

Referenzwert - Wärmekapazität

Temperatur	Arithmetisches Mittel	Gewichtetes Mittel	Median
°C	J/kgK	J/kgK	J/kgK
20	425	423	422
100	445	443	443
300	473	475	475
500	500	502	500

Referenzwert

- Arithmetisches, gewichtetes Mittel und Median liegen relativ nahe beieinander
- Die Messunsicherheiten sind je nach Temperatur bis zu einem Faktor 6 verschieden
- Die geringen Abweichungen des gewichteten Mittels deuten auf keine zu starke Übergewichtung von Teilnehmern mit zu kleinen (angegebenen) Messunsicherheiten hin
- Im weiteren wird das **gewichtete Mittel** als Referenzwert verwendet

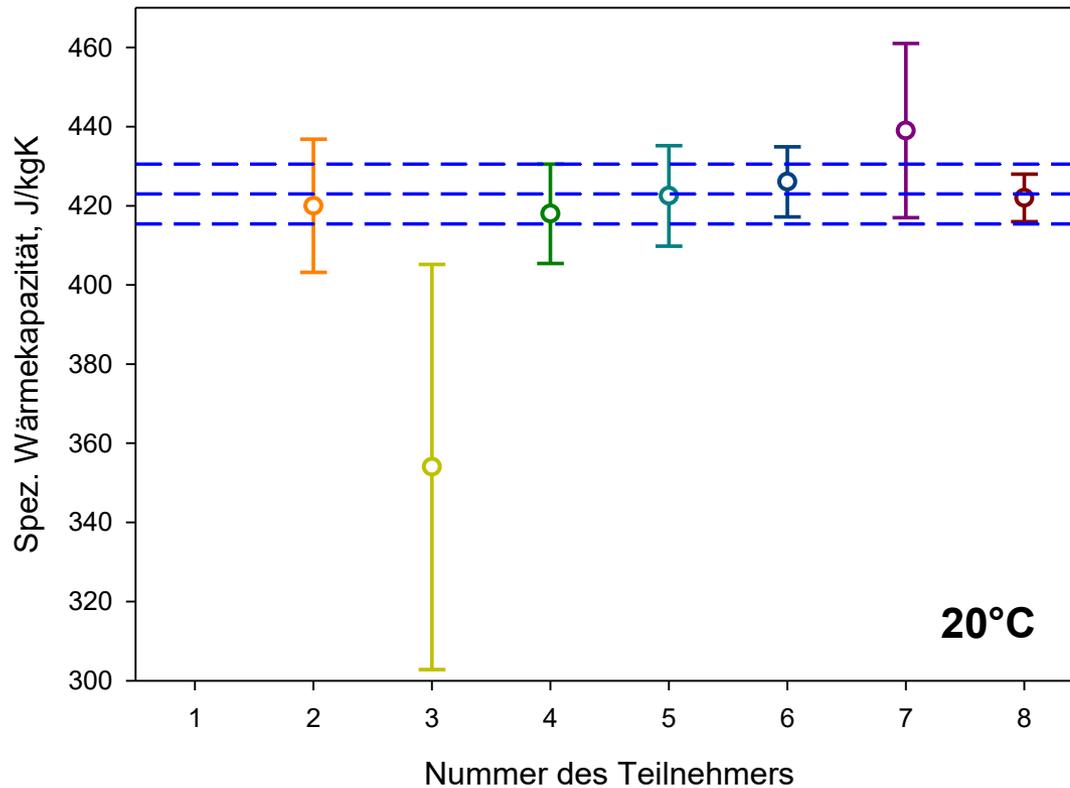
Qualität des Referenzwerts - Wärmekapazität

Temperatur	Arithmetisches Mittel der einfachen Messunsicherheiten	Einfache Standardabweichung der Messdaten	Median der einfachen Messunsicherheiten
°C	J/kgK	J/kgK	J/kgK
20	13	8	13
100	13	8	13
300	16	9	17
500	25	12	18

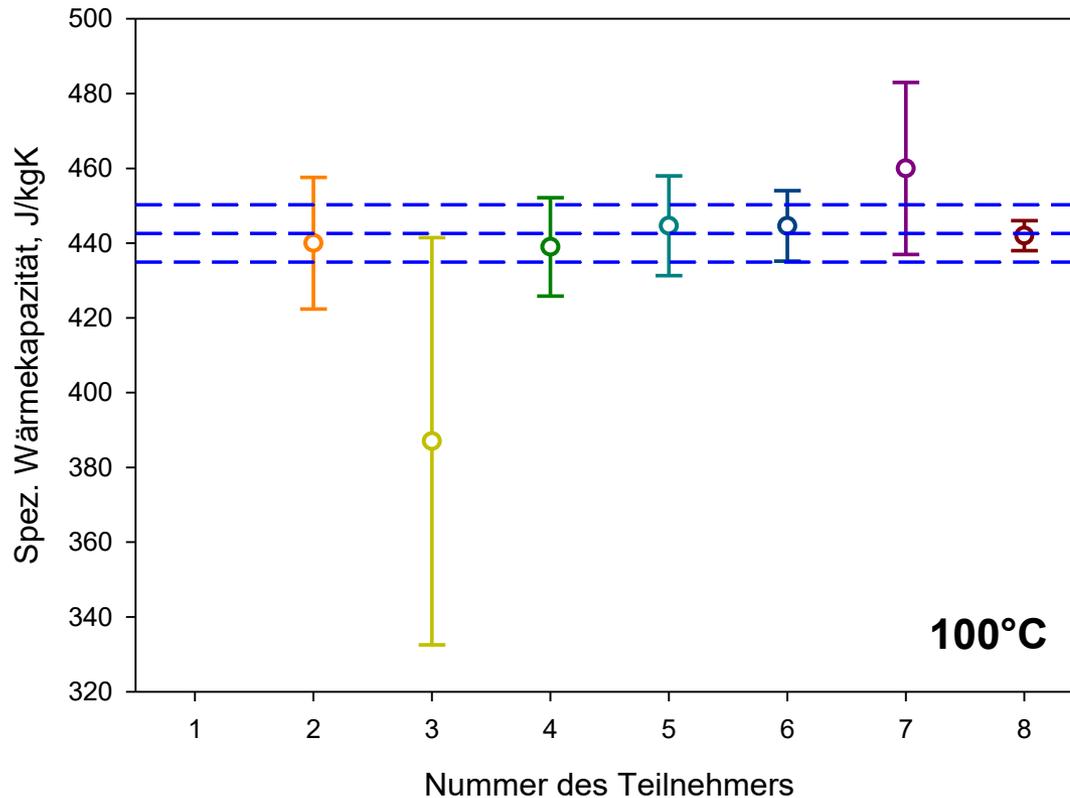
Qualität des Referenzwerts

- Arithmetisches Mittel und Median relativ nahe beieinander
- Die einfache Standardabweichung ist deutlich kleiner – das Datenfeld liegt relativ gut beieinander
- Im weiteren wird die **einfache Standardabweichung** als Qualität des Referenzwerts verwendet

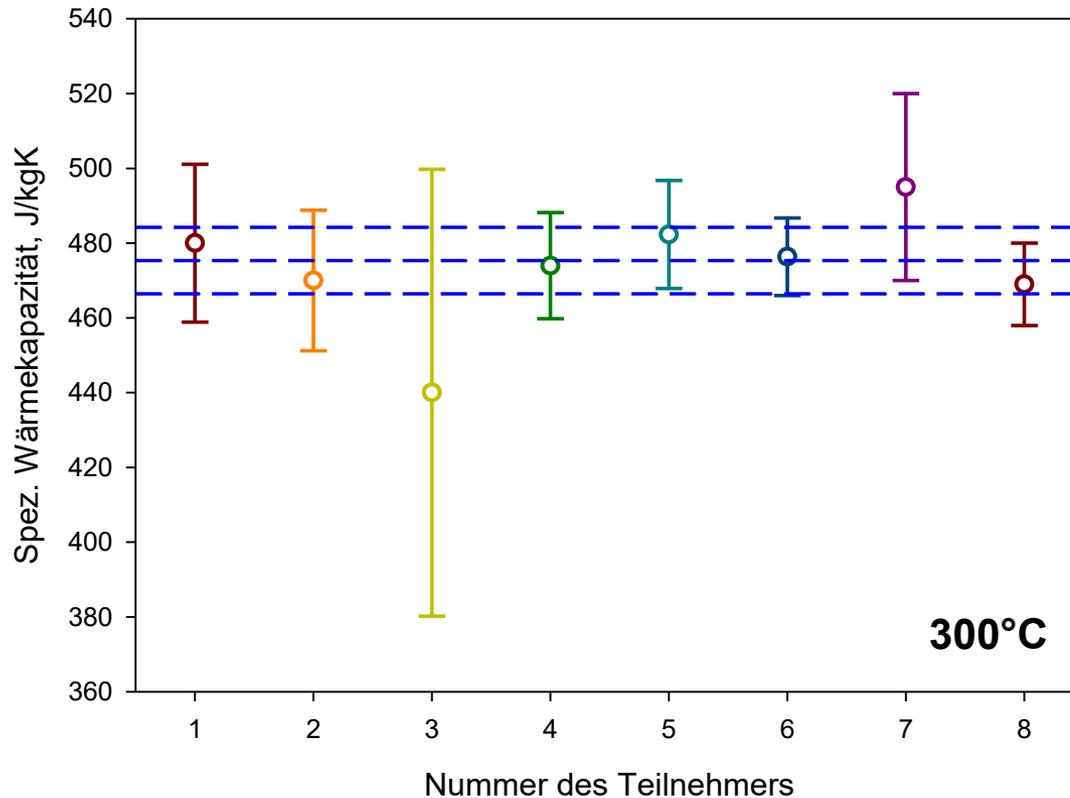
Ergebnisse - Wärmekapazität



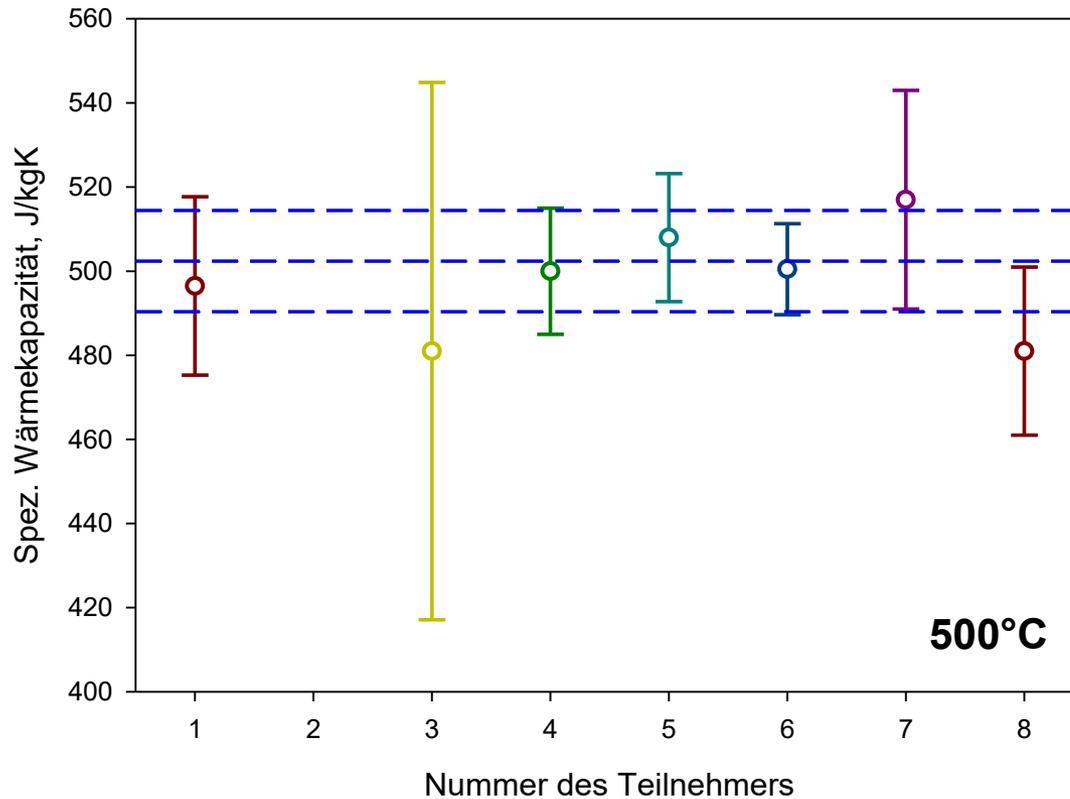
Ergebnisse - Wärmekapazität



Ergebnisse - Wärmekapazität



Ergebnisse - Wärmekapazität



Wärmekapazität: En-Werte der Teilnehmer

Temp eratur [°C]	1	2	3	4	5	6	7	8
20		-0,26	-2,58	-0,51	-0,05	0,35	1,20	-0,12
100		-0,22	-1,96	-0,36	0,20	0,22	1,26	-0,08
300	0,34	-0,41	-1,13	-0,12	0,61	0,10	1,28	-0,61
500	-0,37		-0,63	-0,17	0,39	-0,15	0,82	-1,37

Temperaturleitfähigkeit: En-Werte bei 20°C

Labor	1	2	3	4	5	6	7	8
1	x							
2	x	x						
3	x	1,54	x					
4	x	-0,16	-1,70	x				
5	x	-0,23	-2,13	-0,04	x			
6	x	1,18	-0,78	1,38	2,08	x		
7	x	0,70	-0,83	0,86	1,09	-0,29	x	
8	x	0,42	-1,18	0,58	0,76	-0,72	-0,31	x

Temperaturleitfähigkeit: En-Werte bei 100°C

Labor	1	2	3	4	5	6	7	8
1	x							
2	x	x						
3	x	2,53	x					
4	x	-0,93	-3,45	x				
5	x	-0,28	-3,43	0,84	x			
6	x	0,75	-2,54	1,91	1,52	x		
7	x	0,56	-1,96	1,49	0,97	-0,04	x	
8	x	0,11	-3,03	1,23	0,54	-0,93	-0,57	x

Temperaturleitfähigkeit: En-Werte bei 300°C

Labor	1	2	3	4	5	6	7	8
1	x							
2	-0,42	x						
3	0,03	0,40	x					
4	-2,35	-1,73	-2,12	x				
5	-1,38	-0,68	-1,17	1,40	x			
6	-0,34	0,20	-0,30	2,35	1,31	x		
7	0,12	0,47	0,08	2,18	1,25	0,40	x	
8	-2,06	-1,24	-1,73	0,87	-0,75	-2,14	-1,80	x

Temperaturleitfähigkeit: En-Werte bei 500°C

Labor	1	2	3	4	5	6	7	8
1	x							
2	x	x						
3	0,62	x	x					
4	-2,31	x	-2,49	x				
5	-1,77	x	-2,00	1,04	x			
6	-0,68	x	-1,18	2,03	1,39	x		
7	0,20	x	-0,34	2,12	1,54	0,70	x	
8	-1,45	x	-1,74	1,40	0,46	-0,98	-1,27	x

Der Wert des Teilnehmers Nr. 5 bei 20°C, der Wert des Teilnehmers Nr. 3 bei 100°C, die Werte der Teilnehmer Nr. 1, 4, 6 und 8 bei 300°C, die Werte der Teilnehmer Nr. 3 und 4 bei 500°C werden aus der Bestimmung der Mittelwerte und Standardabweichungen ausgeschlossen.

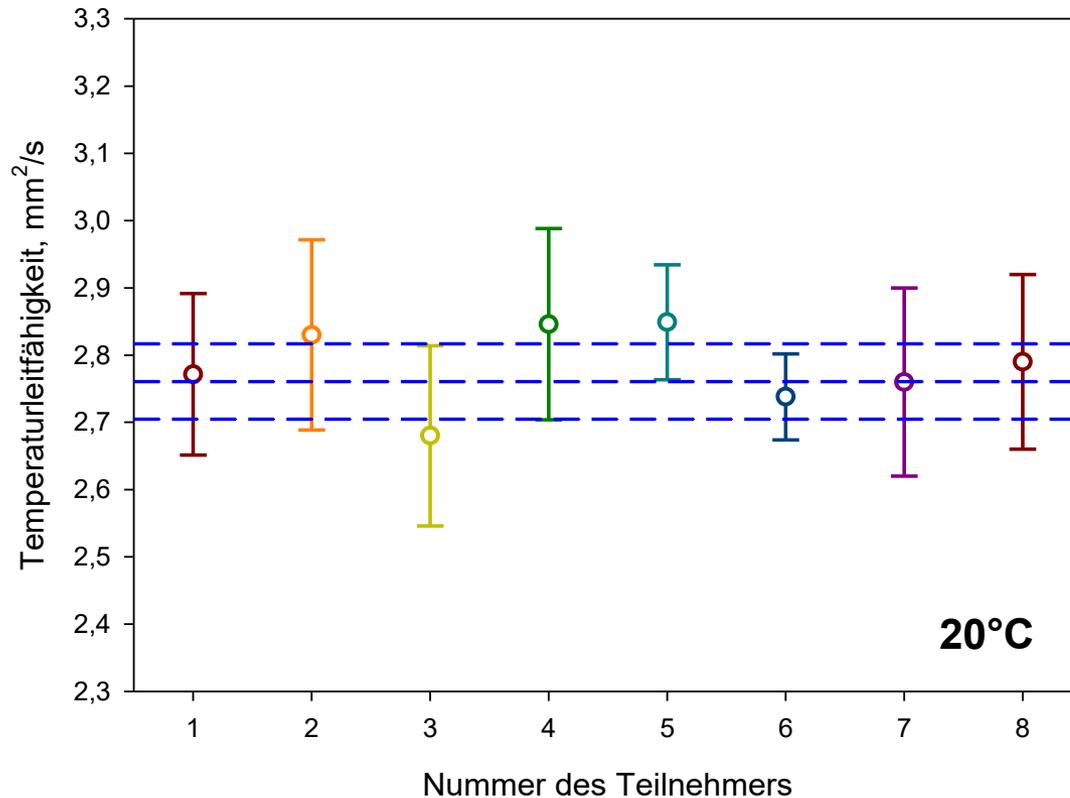
Referenzwert - Temperaturleitfähigkeit

Temperatur	Arithmetisches Mittel	Gewichtetes Mittel	Median
°C	mm ² /s	mm ² /s	mm ² /s
20	2,77	2,76	2,77
100	3,02	3,00	3,02
300	3,58	3,60	3,57
500	4,17	4,18	4,16

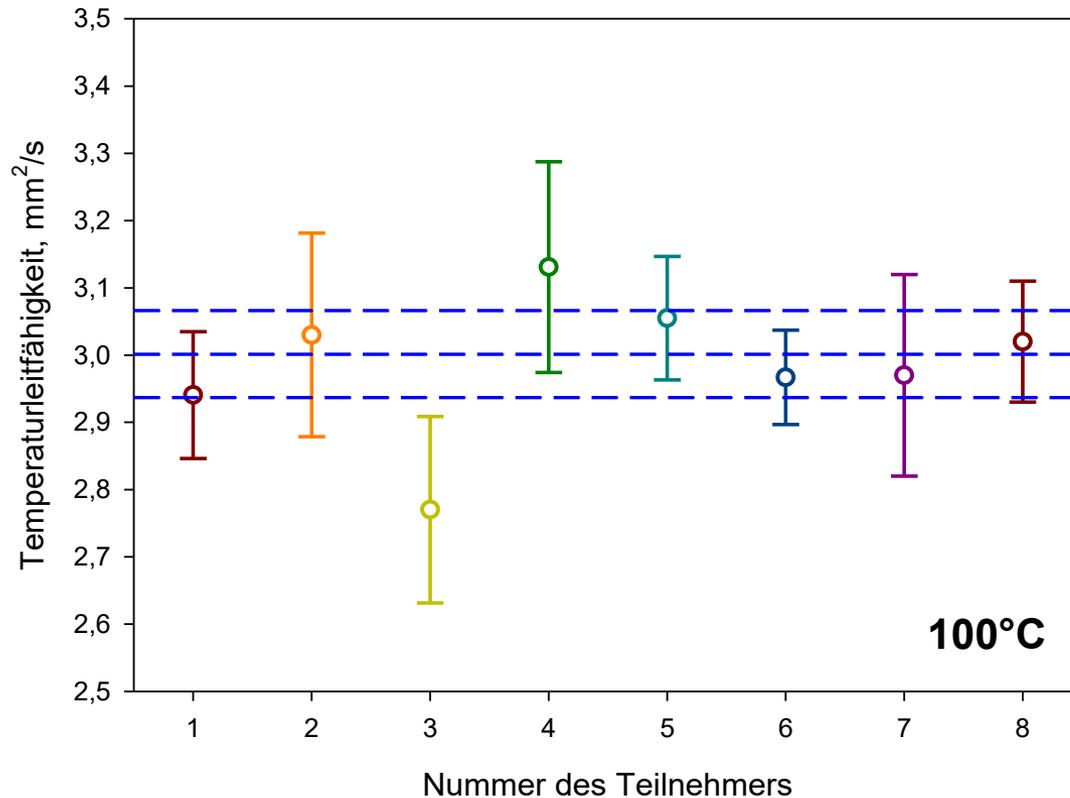
Qualität des Referenzwerts - Temperaturleitfähigkeit

Temperatur	Arithmetisches Mittel der einfachen Messunsicherheiten	Einfache Standardabweichung der Messdaten	Median der einfachen Messunsicherheiten
°C	mm ² /s	mm ² /s	mm ² /s
20	0,06	0,06	0,07
100	0,06	0,06	0,05
300	0,08	0,06	0,09
500	0,07	0,08	0,06

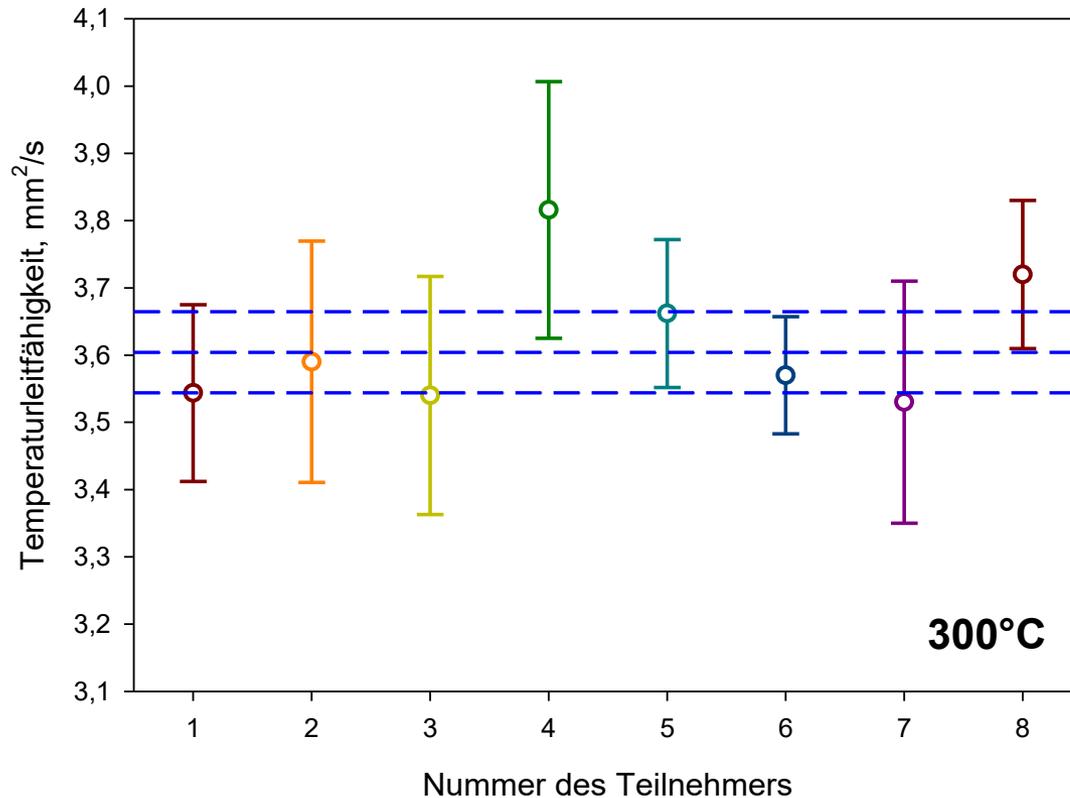
Ergebnisse - Temperaturleitfähigkeit



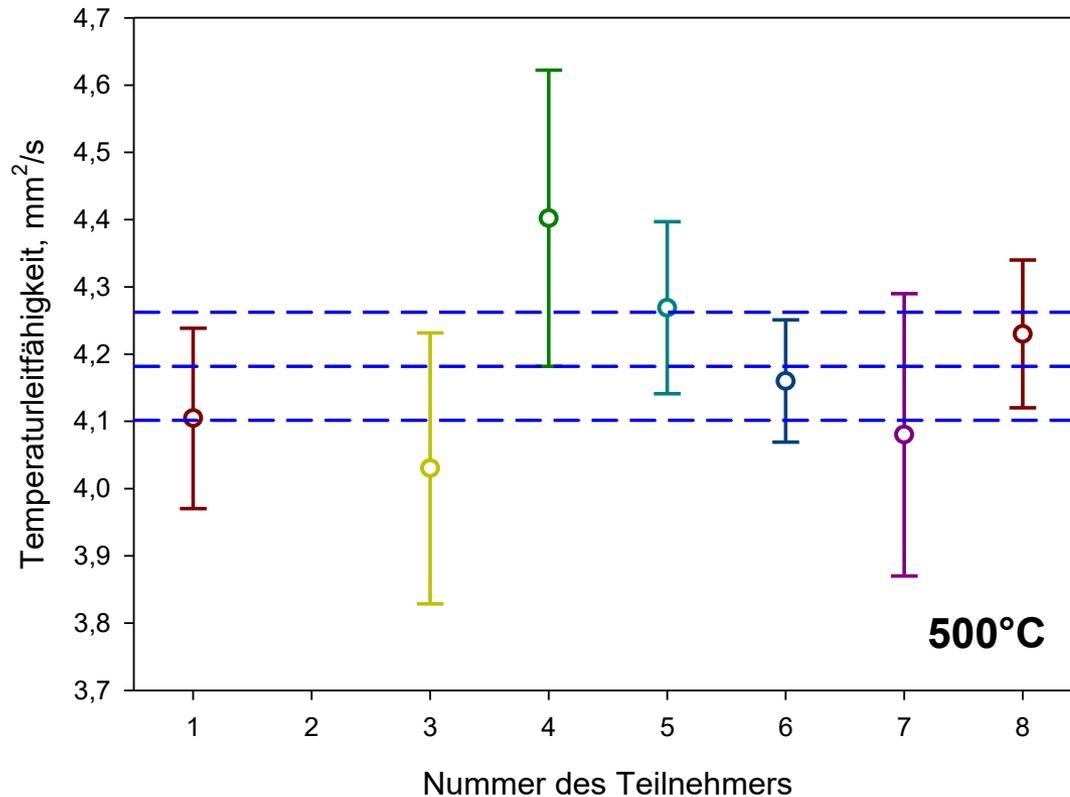
Ergebnisse - Temperaturleitfähigkeit



Ergebnisse - Temperaturleitfähigkeit



Ergebnisse - Temperaturleitfähigkeit



Temperaturleitfähigkeit: En-Werte der Teilnehmer

Temperatur [°C]	1	2	3	4	5	6	7	8
20	0,13	0,77	-0,93	0,94	1,25	-0,35	-0,01	0,34
100	-0,76	0,29	-2,44	1,28	0,67	-0,47	-0,32	0,24
300	-0,68	-0,13	-0,60	1,88	0,71	-0,46	-0,69	1,42
500	-0,74		-1,18	1,61	0,85	-0,24	-0,77	0,49

Alter Ringversuch AK Thermophysik (Austenit 1.4970)

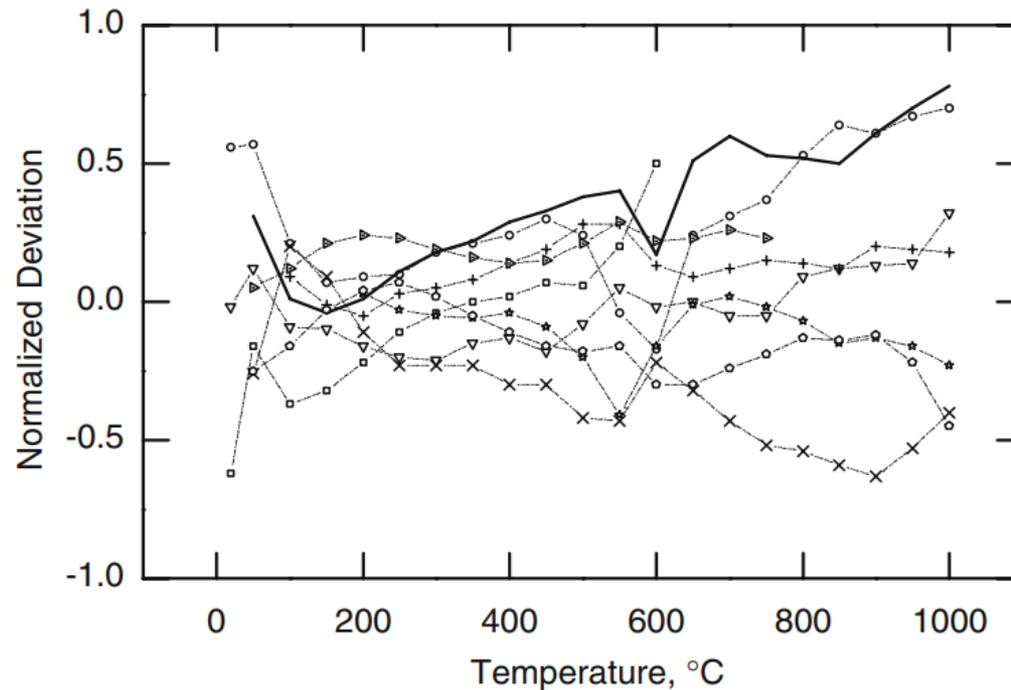


Fig. 4. Normalized deviation of the participating laboratories' specific heat capacity results and of the previous intercomparison test [2] from the mean value derived as a function of temperature.

International Journal of Thermophysics (2005) 26(3):855
<https://doi.org/10.1007/s10765-005-5582-6>

Alter Ringversuch AK Thermophysik (Austenit 1.4970)

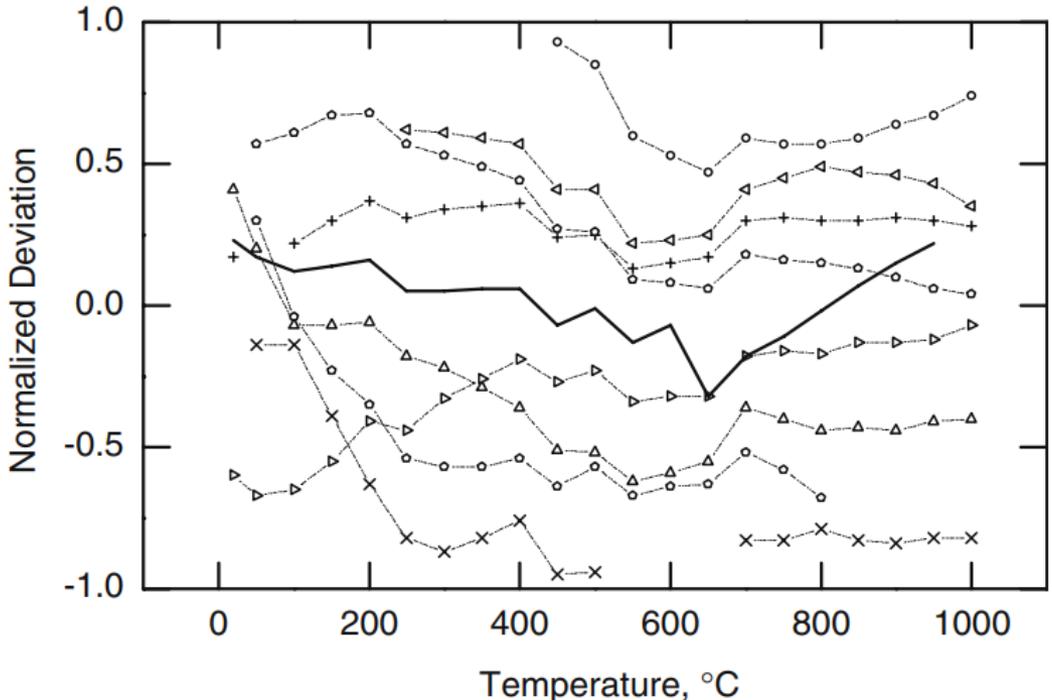


Fig. 6. Normalized deviation of the participating laboratories' thermal diffusivity results and of the previous intercomparison test [2] from the mean value derived as a function of temperature.

International Journal of Thermophysics (2005) 26(3):855
<https://doi.org/10.1007/s10765-005-5582-6>

Aktueller Ringversuch F – D – UK (C, Mo, W)

Table 4 Relative expanded uncertainty associated with thermal diffusivity measurements

Temp. (°C)	Relative expanded uncertainty ($k=2$) (%)												
	AGS	CEA	FHWS	LNE			NETZSCH	NPL			VINČA		
Material	All	All	All	IG210	W	Mo	All	IG210	W	Mo	IG210	W	Mo
20	4.0	5.0	5.0	3.2	3.5	3.5	3.0	5.0	4.0	6.8	4.8	1.8	1.6
50	4.0	5.0	5.0	3.2	3.5	3.5	3.0	5.0	5.0	4.4			
100	4.0	5.0	5.0	3.1	3.4	3.4	3.0	4.0	3.6	4.2		1.8	1.4
150	4.0	5.0	5.0	3.1	3.4	3.4	3.0	3.8	3.4	4.2			
200	4.0	5.0	5.0	3.1	3.4	3.4	3.0	3.8	3.4	4.4	3.2	2.0	1.6
250	4.0	5.0	5.0	3.0	3.3	3.3	3.0	3.6	3.4	4.4			
300	4.0	5.0	5.0	3.0	3.2	3.2	3.0	3.6	3.4	4.4		1.6	
400		5.0	5.0	3.0	3.2	3.2	3.0	3.6	3.4	4.2	1.4	1.4	1.4
600		5.0	5.0	3.0	3.3	3.3	3.0	3.6	3.6	3.8	1.8	1.6	1.2

LNE, VINCA: Eigenbau
Alle anderen: NETZSCH LFA 427

International Journal of Thermophysics (2023) 44:48
<https://doi.org/10.1007/s10765-023-03159-5>

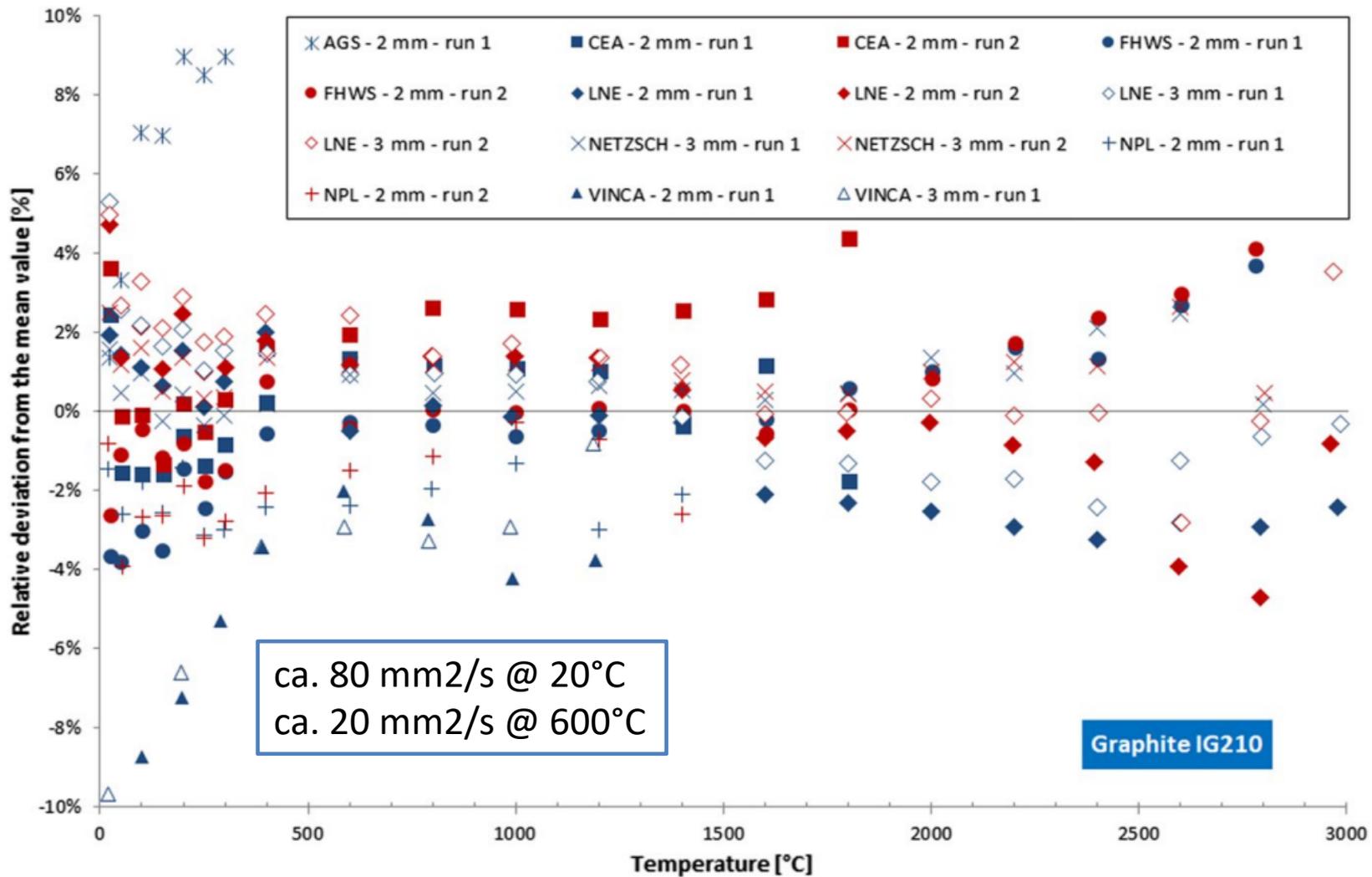


Fig. 4 Isotropic graphite IG210—relative deviations from the mean value (Color figure online)

International Journal of Thermophysics (2023) 44:48, <https://doi.org/10.1007/s10765-023-03159-5>

Schlussfolgerungen

- Ringvergleichsmessungen am Edelstahl Böhler L625 wurden von 8 Laboratorien durchgeführt.
- Der Ringversuch wurde rein formal, d.h. ohne Analyse der Messmethodik oder Messbedingungen durchgeführt.
- Der Ringversuch der **Wärmekapazitätsmessungen** ist (bis auf eine Ausnahme) ist äußerst zufriedenstellend ausgefallen.
- Der Ringversuch der **Temperaturleitfähigkeitsmessungen** zeigt ein breiteres Streuband, die Messwerte bzw. Messunsicherheiten **sollten teilweise hinterfragt werden.**