

**ENERGIE.
ZUKUNFT.
ZAE.**

Ringvergleich Temperaturleitfähigkeit PCM mit Flashmethoden

Michael Brütting
Annegret Göbel
Frank Hemberger



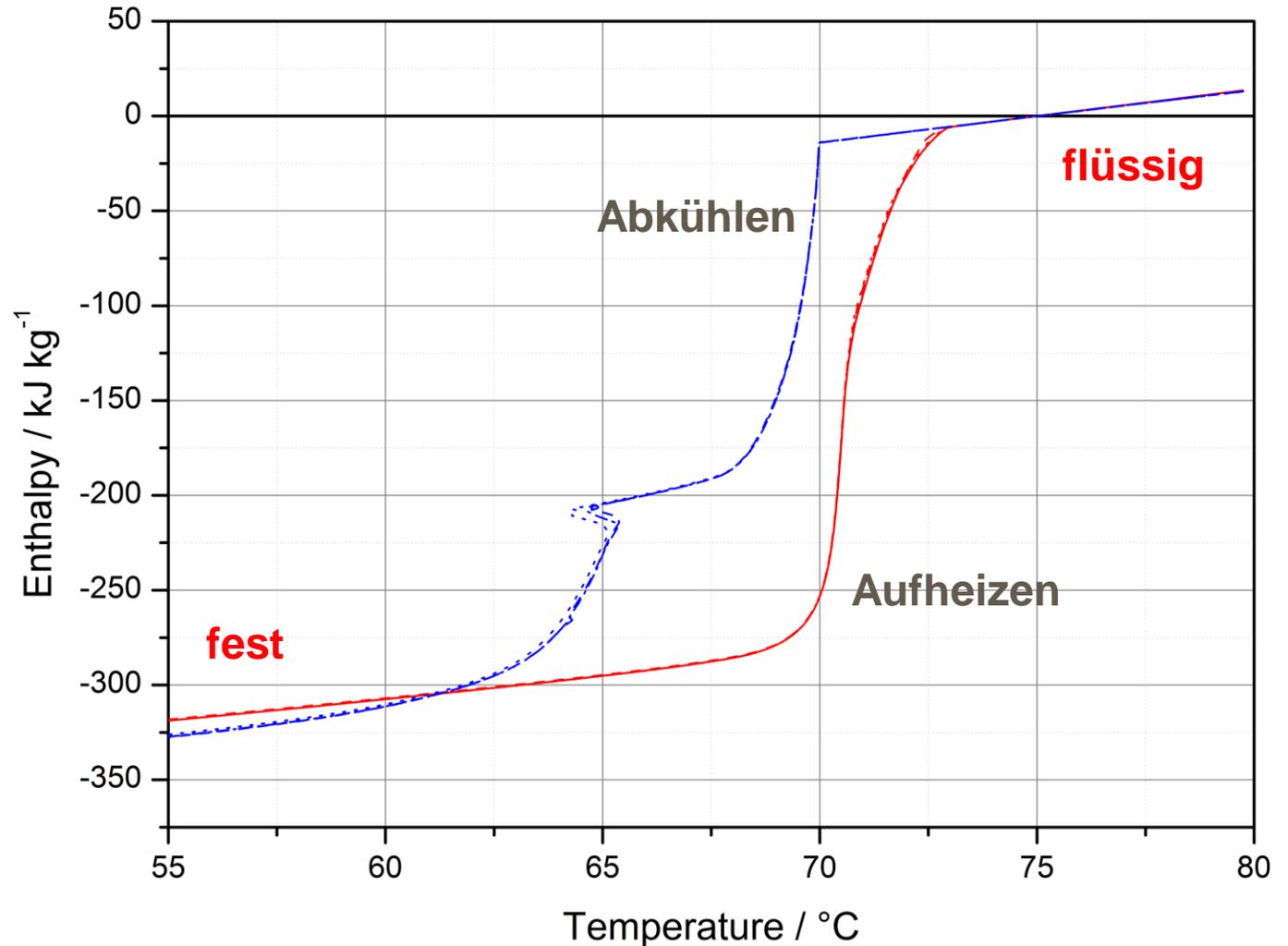
Wärmespeicherung im Phasenwechsel mit PCM (Phase Change Material)

Grafik: Paraffin **RT70HC** von Rubitherm

Wärmeinhalt
Enthalpie

Wärmetransport
Wärmeleitfähigkeit bzw.
Temperaturleitfähigkeit

➤ **Wichtig für Systemauslegung**



Inhalt

- Motivation
- Teilnehmer am Ringvergleich
- Messmethode / Probenpräparation / Messanlagen
- Messrunde 1
- Messrunde 2
- Zusammenfassung

Ringvergleich Temperaturleitfähigkeit, 5 Teilnehmer

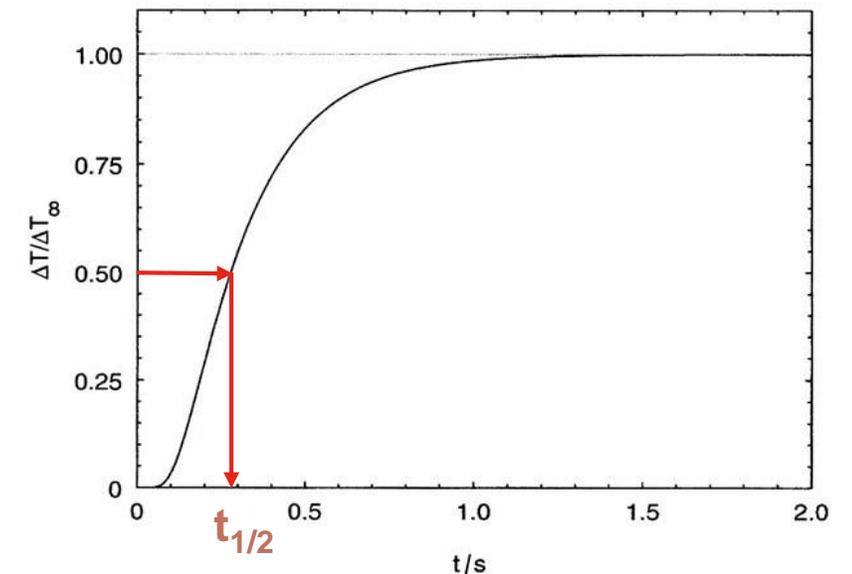
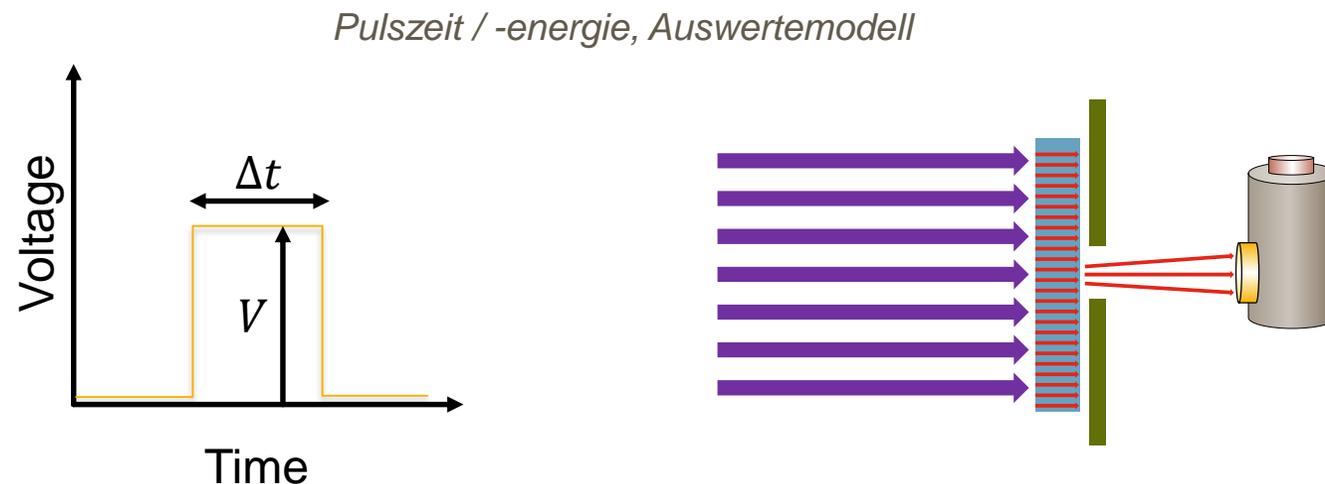
IEA SHC Task 58 ECES Annex 33

- AIT (Austrian Institute of Technology)
- UBT (Universität Bayreuth)
- ISE (Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme)
- UZAR (University of Zaragoza)
- ZAE Bayern (Bayerisches Zentrum für Angewandte Energieforschung e.V.)

Pilotlabor: ZAE Bayern

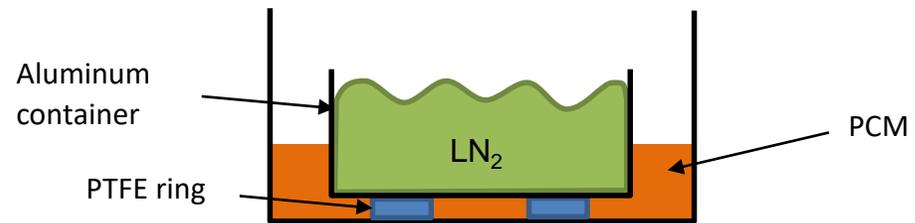
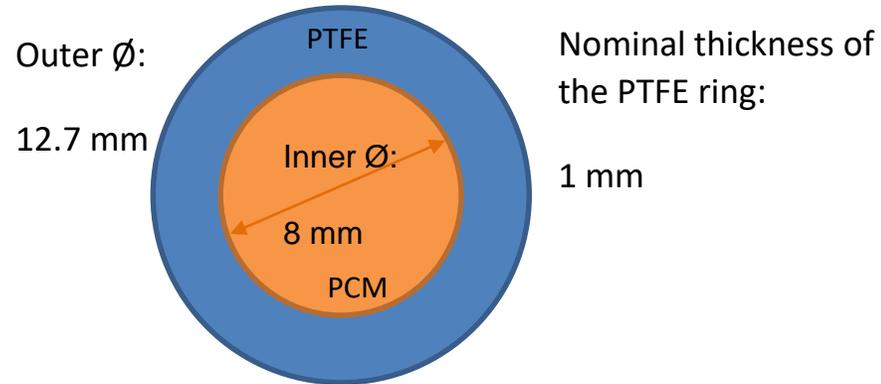
Erste Messrunde

- Ziel: Ausschalten bzw. Kontrolle möglichst vieler (aller?) Einflussfaktoren auf das Messergebnis:
 - Beschränkung auf direkte Bestimmung der Temperaturleitfähigkeit
 - Beschränkung auf feste Phase: Möglichkeit der Kontrollmessung
 - Vergleichbare Probenherstellung, incl. Dickenmessung und Graphitbeschichtung
- Pilotlabor:
 - Probenpräparation, 15 Proben - 3 pro Teilnehmer
 - Kontrollmessung bei 25 °C vor und nach den Untersuchungen der Teilnehmer
- Teilnehmer
 - Bestimmung der Temperaturleitfähigkeit bei 40 und 50 °C
 - Selbstständige Wahl der Mess- und Auswerteparameter:



Materialien und Methoden

Probenmaterial **RT70HC** von Rubitherm



Probenpräparation mit zwei Kühlraten beim Erstarren des flüssigen Paraffins

- 2 K/h – niedrige Kühlrate in der Klimakammer
- LN₂ – hohe Kühlrate



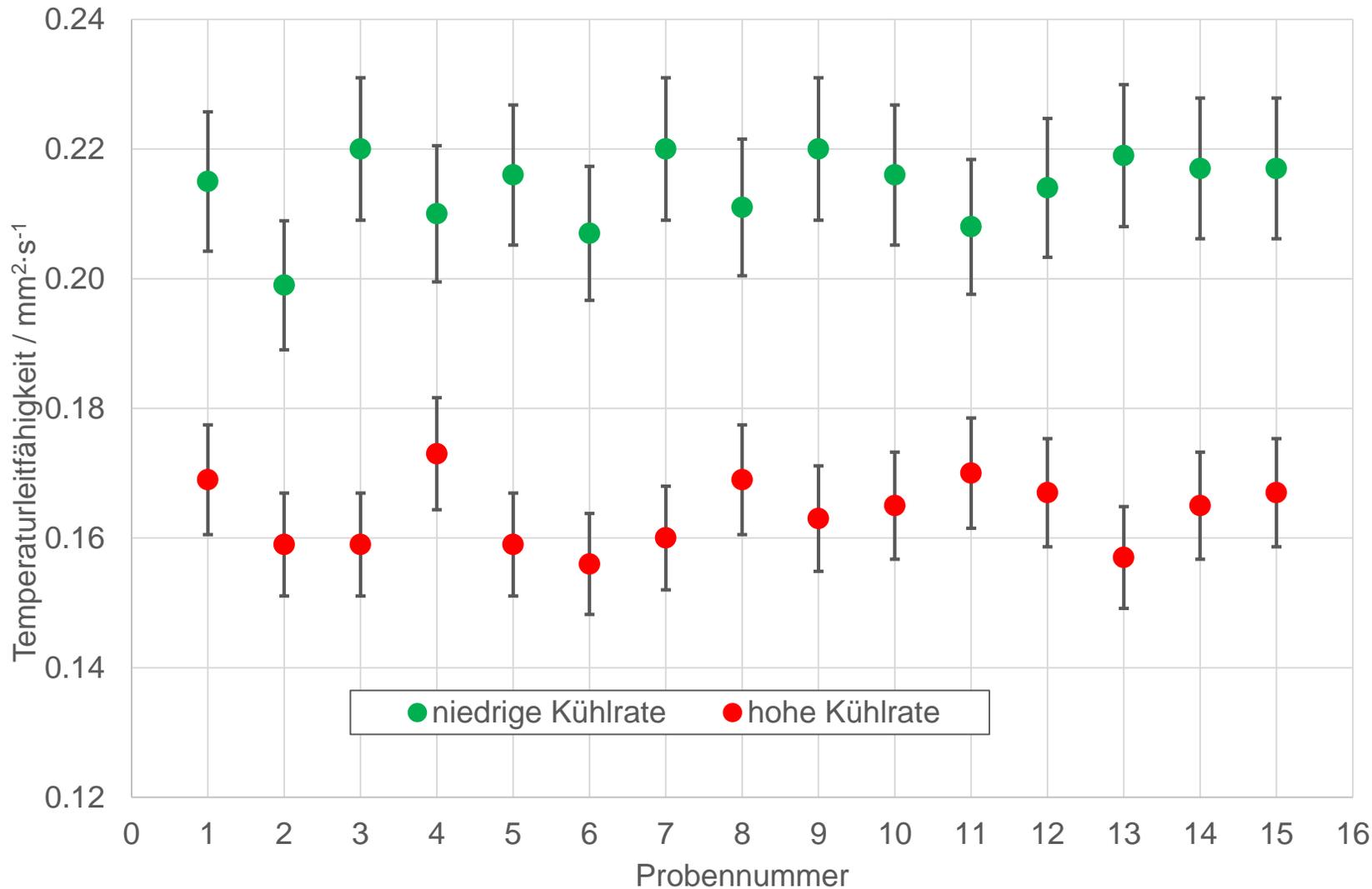
LN₂

2 K/h

Erste Runde: Anlagentypen, Mess- und Auswerteparameter

Teilnehmer	Gerät	Lichtquelle	Detektor	Auswertemodell	Blendendurchmesser	Blendentyp	Pulslänge / ms	Spannung / V
#1	Netzsch LFA 467	Xenon	MCT	Cowan + Pulskorrektur	6.00	Zoomoptik	0.30	230
#2	Netzsch LFA 447	Xenon	InSb	Strahlung + Pulskorrektur	5.43	Blende	0.18	270
#3	Netzsch LFA 457	Laser	InSb	Cowan + Pulskorrektur	?	?	0.50	1538
#4	Netzsch LFA 447	Xenon	InSb	Strahlung + Pulskorrektur	6.00	Blende	0.31	304
#5	Netzsch LFA 467	Xenon	MCT	Strahlung + Pulskorrektur	4.00	Zoomoptik	0.30	230

Temperaturleitfähigkeit bei 25 °C nach der Probenpräparation



Präparation von 15 Proben
je Kühlrate

Bestimmung der
Temperaturleitfähigkeit durch
das Pilotlabor

Standardabweichung bei
beiden Kühlraten ca. 3%

Hohe Kühlrate reduziert die
Temperaturleitfähigkeit im
Mittel um ca. 23 %

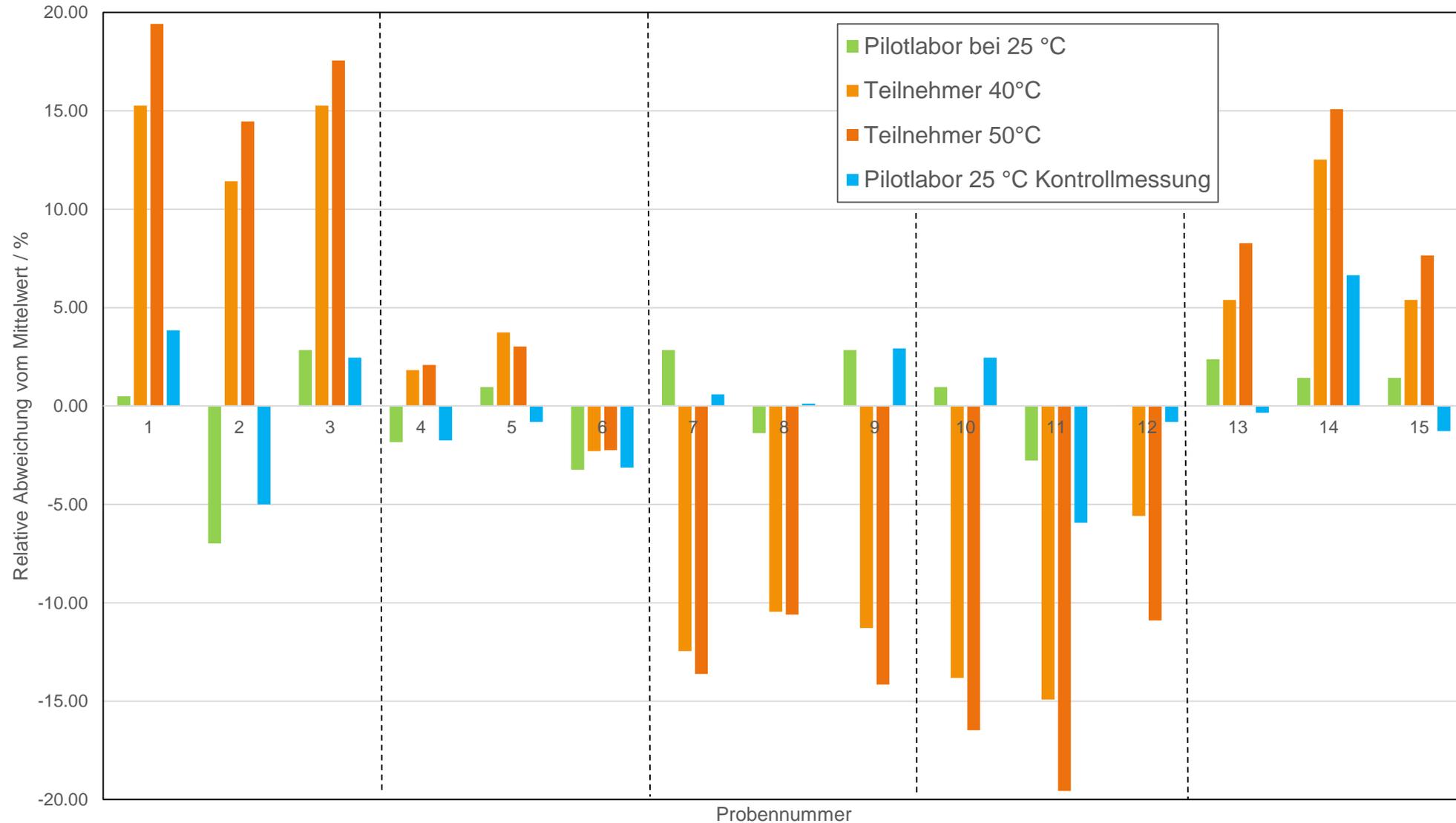
Erste Runde: Messergebnisse, 2 x 15 Proben

Proben mit <u>niedriger</u> Kühlrate	Mittlere Temperaturleitfähigkeit ± Standardabweichung / mm ² ·s ⁻¹		
	25 °C	40 °C	50 °C
Pilotlabor	0.214 ± 0.006 (2.8 %)		
Teilnehmer		0.182 ± 0.020 (11.0%)	0.162 ± 0.022 (13.6 %)
Pilotlabor, Nachmessung	0.215 ± 0.007 (3.3 %)		

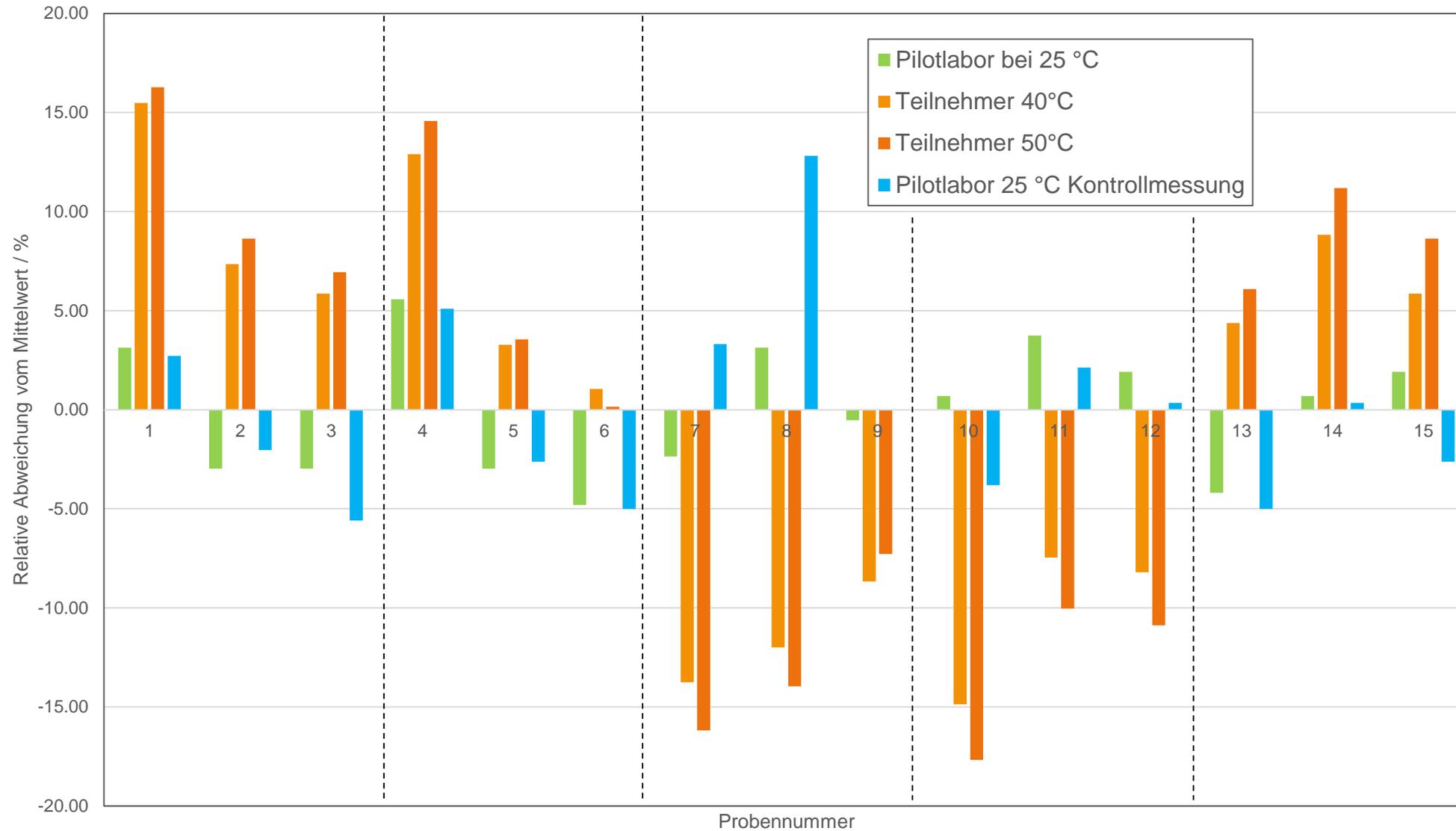
Proben mit <u>hoher</u> Kühlrate	Mittlere Temperaturleitfähigkeit ± Standardabweichung / mm ² ·s ⁻¹		
	25 °C	40 °C	50 °C
Pilotlabor	0.164 ± 0.005 (3.0 %)		
Teilnehmer		0.135 ± 0.014 (10.4 %)	0.118 ± 0.014 (11.9 %)
Pilotlabor, Nachmessung	0.168 ± 0.008 (4.8 %)		

Temperaturabhängigkeit der Temperaturleitfähigkeit **ca. -0.002 mm²·s⁻¹·K⁻¹**

Temperaturleitfähigkeit Proben mit niedriger Kühlrate



Temperaturleitfähigkeit Proben mit hoher Kühlrate

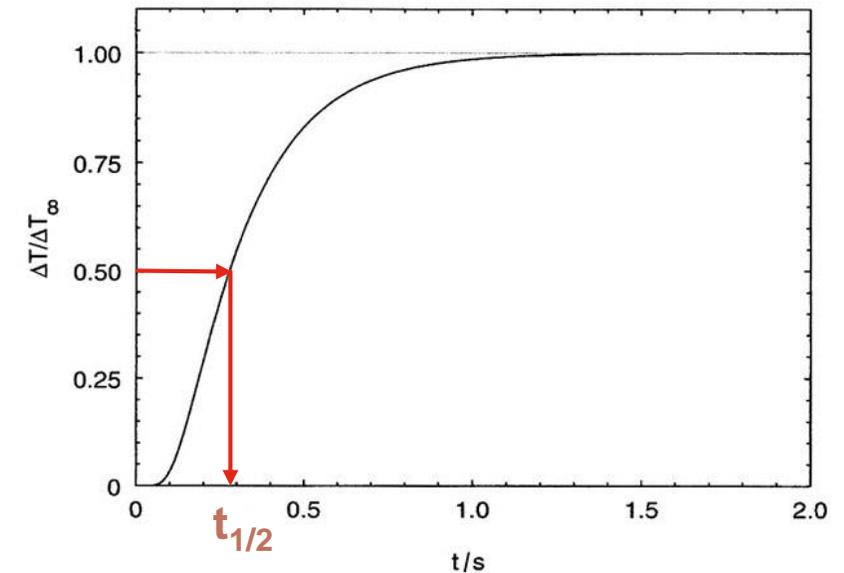
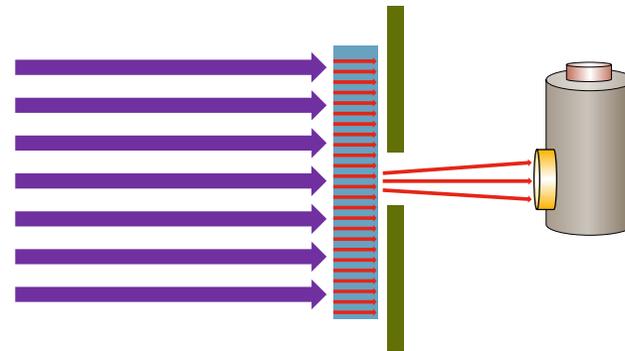
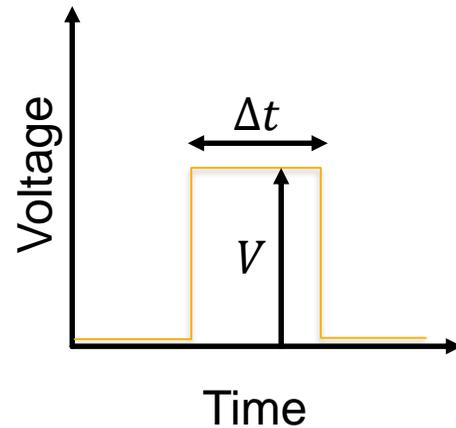


Erste Runde: Zusammenfassung

- Probenpräparation hat signifikanten Einfluss auf den Wärmetransport in Paraffinen
 - Unterschied von ca. 23 % in den Mittelwerten für die Temperaturleitfähigkeit zwischen hoher und niedriger Kühlrate bei der Probenpräparation
 - Die Messergebnisse zwischen den Teilnehmern unterscheiden sich bis zu 33%, bei identisch präparierten Proben
 - Die Temperaturleitfähigkeit bei den Proben die mit niedriger Kühlrate hergestellt wurden wird durch die Messung nicht irreversibel verändert
 - Vermutung: Bei der Probenherstellung mit hoher Kühlrate besteht die Möglichkeit der irreversiblen Veränderung durch den Energieeintrag beim Pulsverfahren
 - Vermutung: Eine scheinbar reduzierte Temperaturleitfähigkeit in der Messung wird durch die Temperaturabhängigkeit der Temperaturleitfähigkeit verursacht
- In der nächsten Runde wird der Einfluss der Pulsenergie auf das Messergebnis untersucht

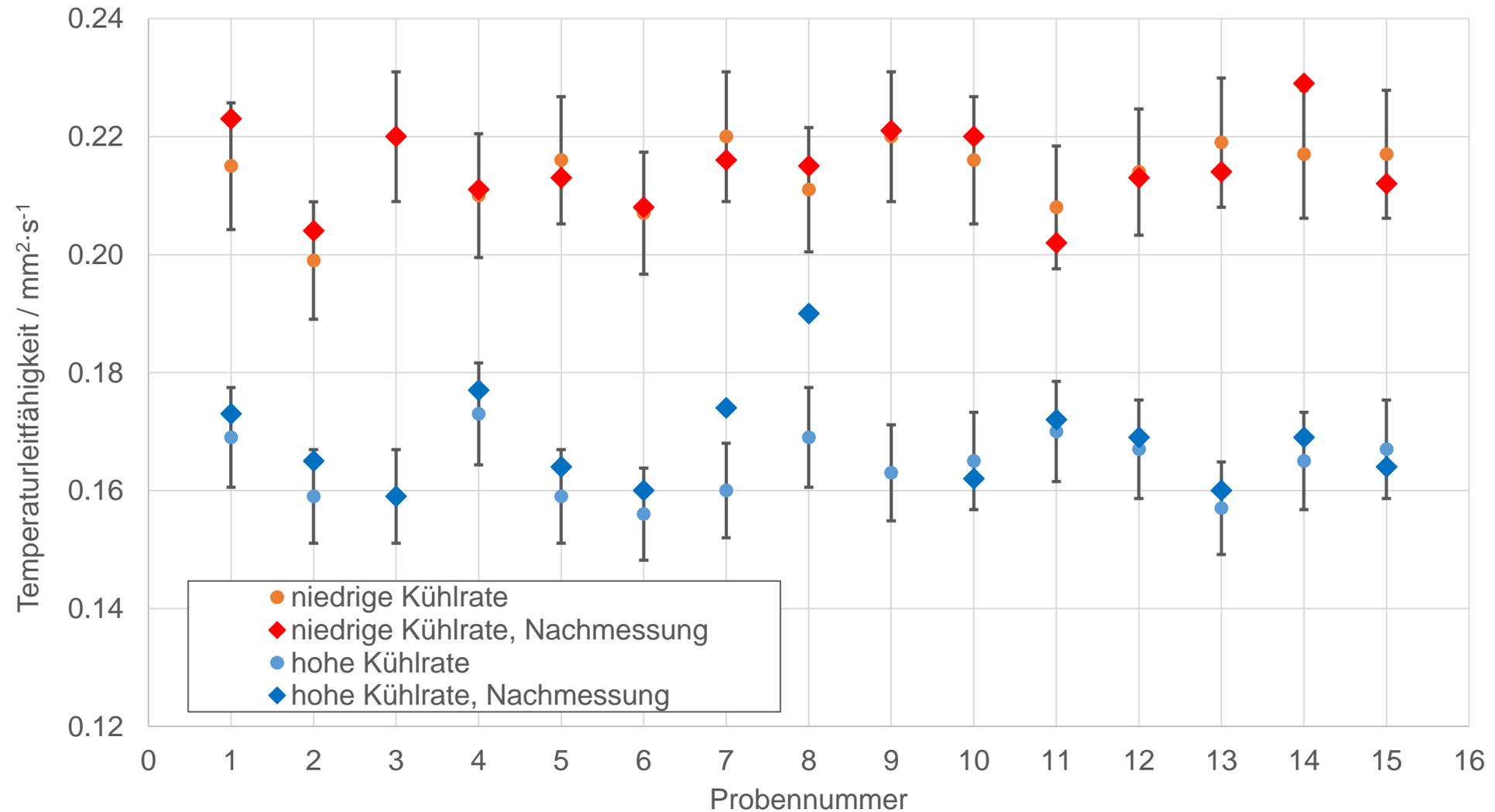
Zweite Messrunde

- Proben aus der ersten Messrunde, aber neu verteilt
- Bestimmung der Temperaturleitfähigkeit bei 25, 40 und 50 °C
- Messungen in Abhängigkeit der Pulsenergie, jeweils 50, 75, 100 und 125 % der Pulsenergie, welche die Software des Geräteherstellers für die Messaufgabe vorschlägt.

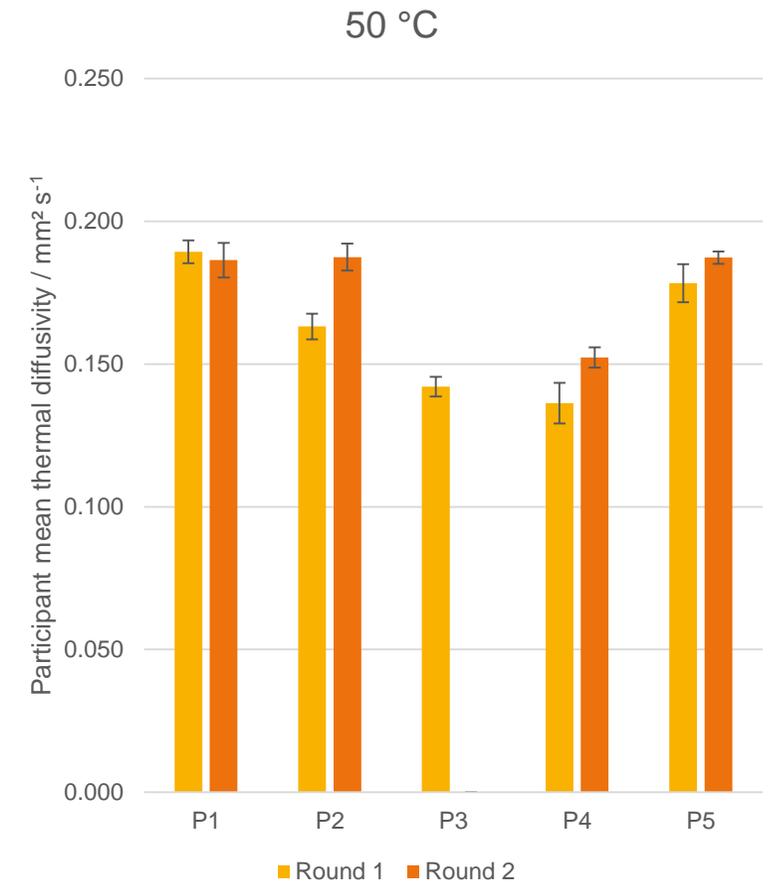
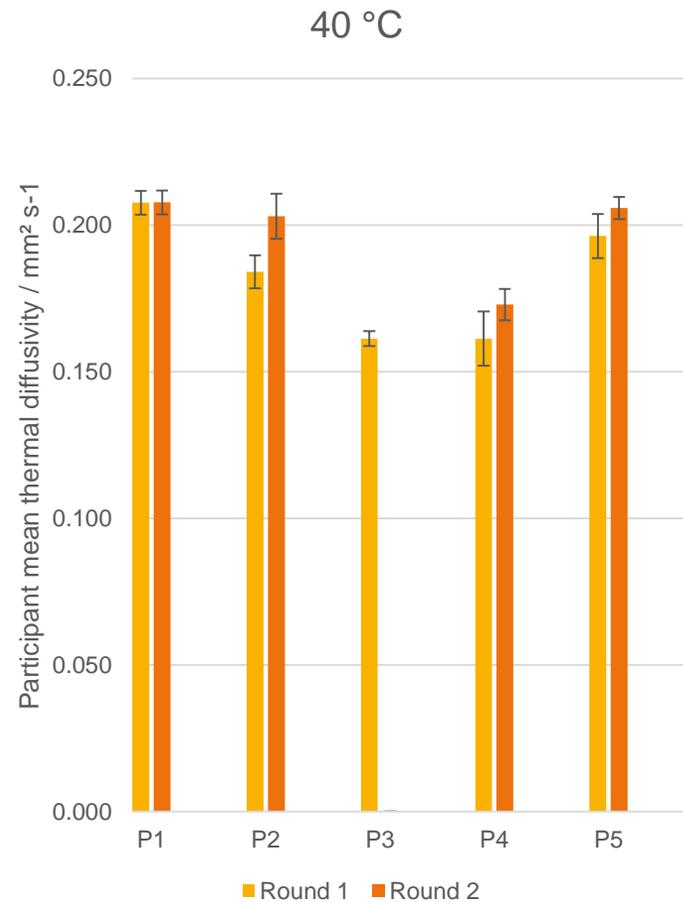
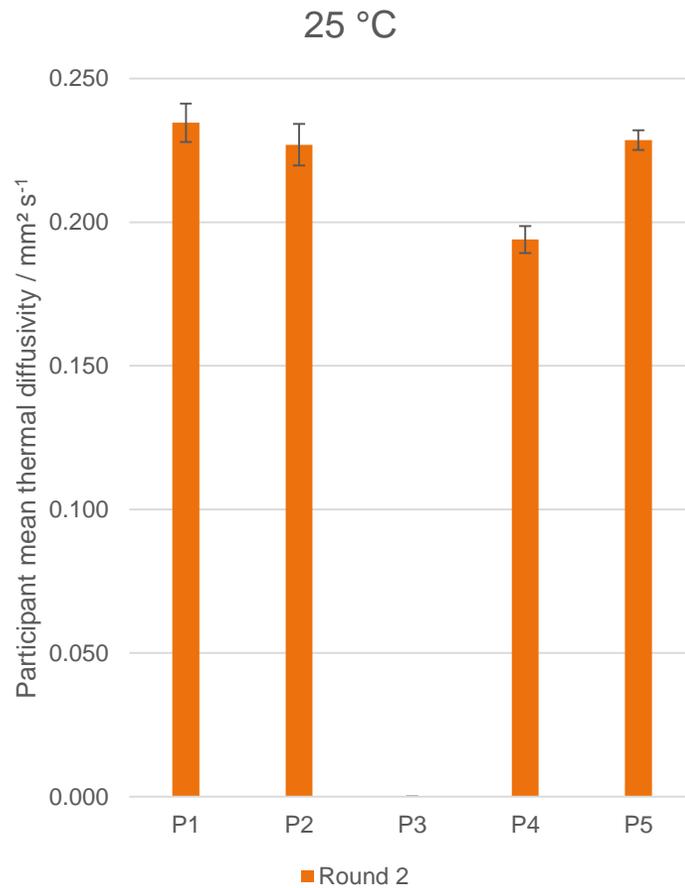


Zweite Runde: Messergebnisse

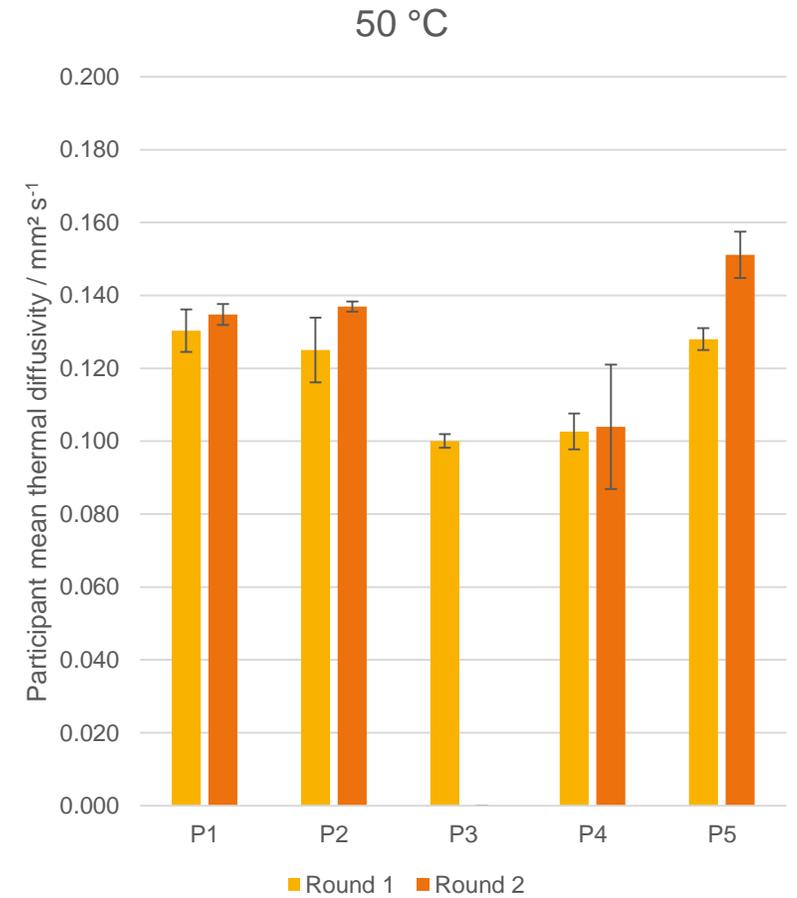
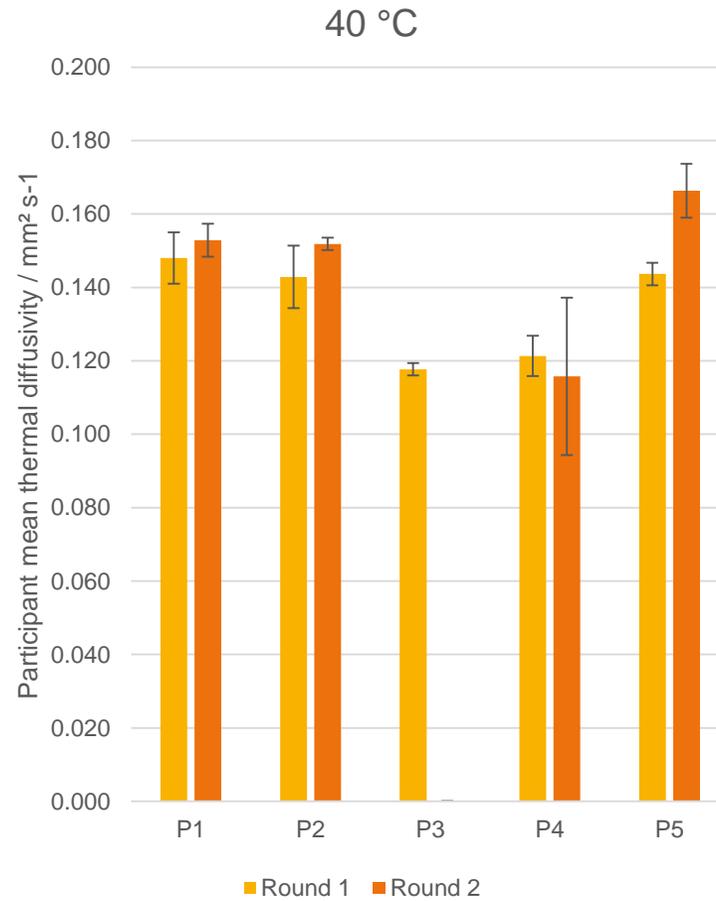
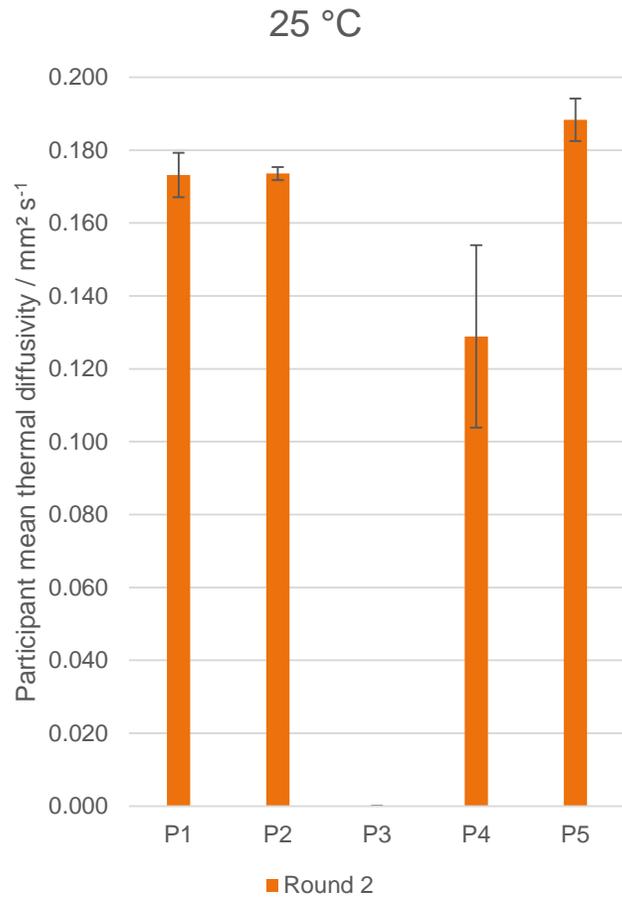
Ergebnisse der Nachmessungen durch das Pilotlabor



Zweite Runde: Messergebnisse Proben mit niedriger Kühlrate

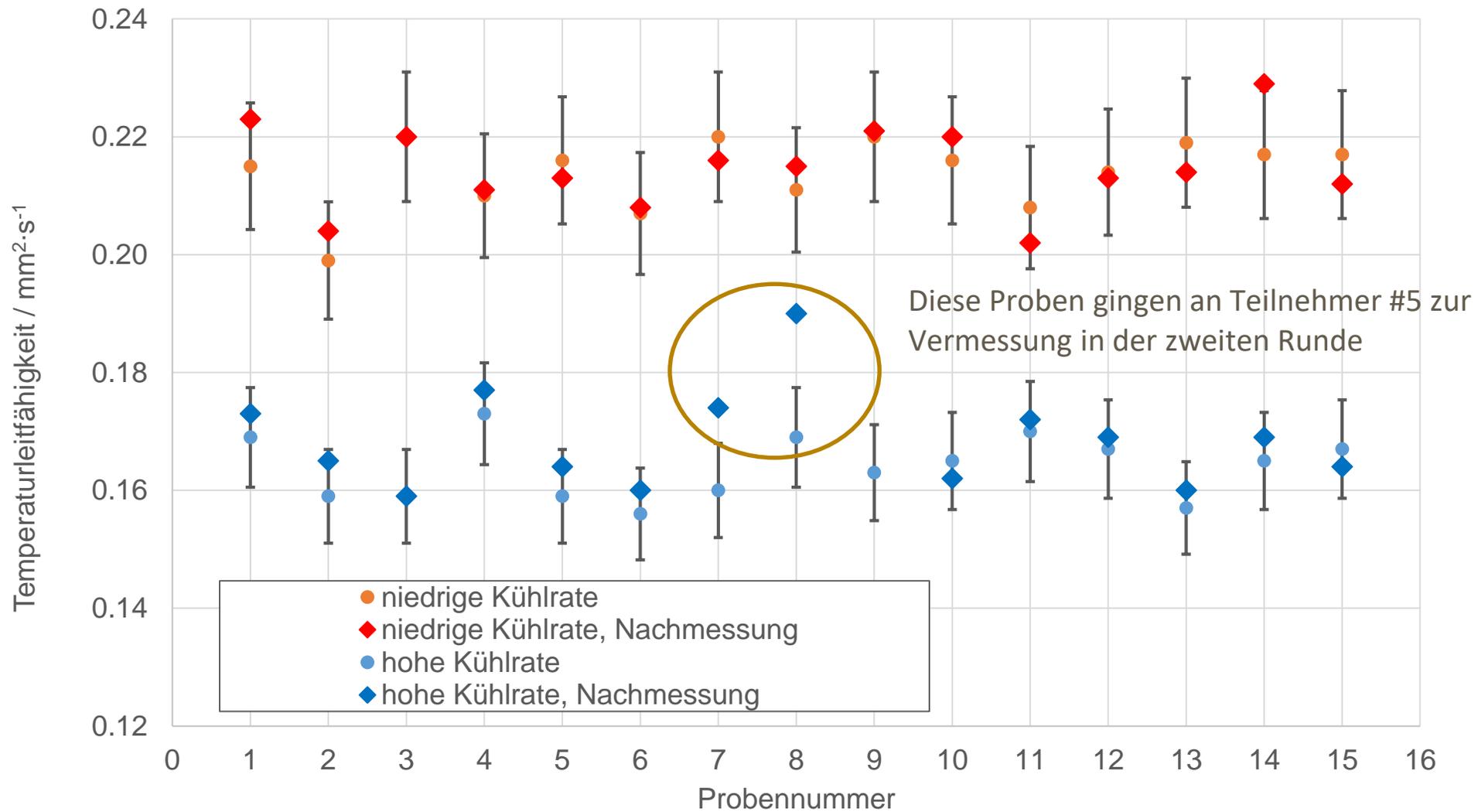


Zweite Runde: Messergebnisse Proben mit hoher Kühlrate



Zweite Runde: Messergebnisse

Ergebnisse der Nachmessungen durch das Pilotlabor



Zusammenfassung

- Reproduzierbarkeit des Messergebnisses ist besser als die Reproduzierbarkeit bei der Probenpräparation von 3% (bei gleicher Kühlrate)
- Probenpräparation hat signifikanten Einfluss auf den Wärmetransport in Paraffinen
 - Unterschied von ca. 23 % in den Mittelwerten für die Temperaturleitfähigkeit zwischen hoher und niedriger Kühlrate bei der Probenpräparation
- Die starke Temperaturabhängigkeit der Temperaturleitfähigkeit beeinflusst das Messergebnis
 - Berücksichtigung der Pulsenergie verbessert die Übereinstimmung bei den Ergebnissen bei drei Teilnehmern erheblich, Standardabweichung vergleichbar zur Kontrollmessung
- Die Temperaturleitfähigkeit der Proben die mit hoher Kühlrate hergestellt wurden, kann durch die Messung irreversibel erhöht werden
- Ausblick:
Dritte Runde mit Probenpräparation bei den Teilnehmern - abschließender Vergleich der Ergebnisse

Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!

Frank Hemberger

ZAE Bayern
Bayerisches Zentrum für Angewandte Energieforschung e. V.
Bereich: Energieeffizienz

Magdalene-Schoch-Str. 3
D-97074 Würzburg

Tel.: +49 931 70564-326
Fax: +49 931 70564-600

frank.hemberger@zae-bayern.de
<http://www.zae-bayern.de>

