

**ENERGIE.  
ZUKUNFT.  
ZAE.**

# Ringvergleich Temperaturleitfähigkeit PCM mit Flashmethoden

Michael Brütting  
Annegret Göbel  
Frank Hemberger



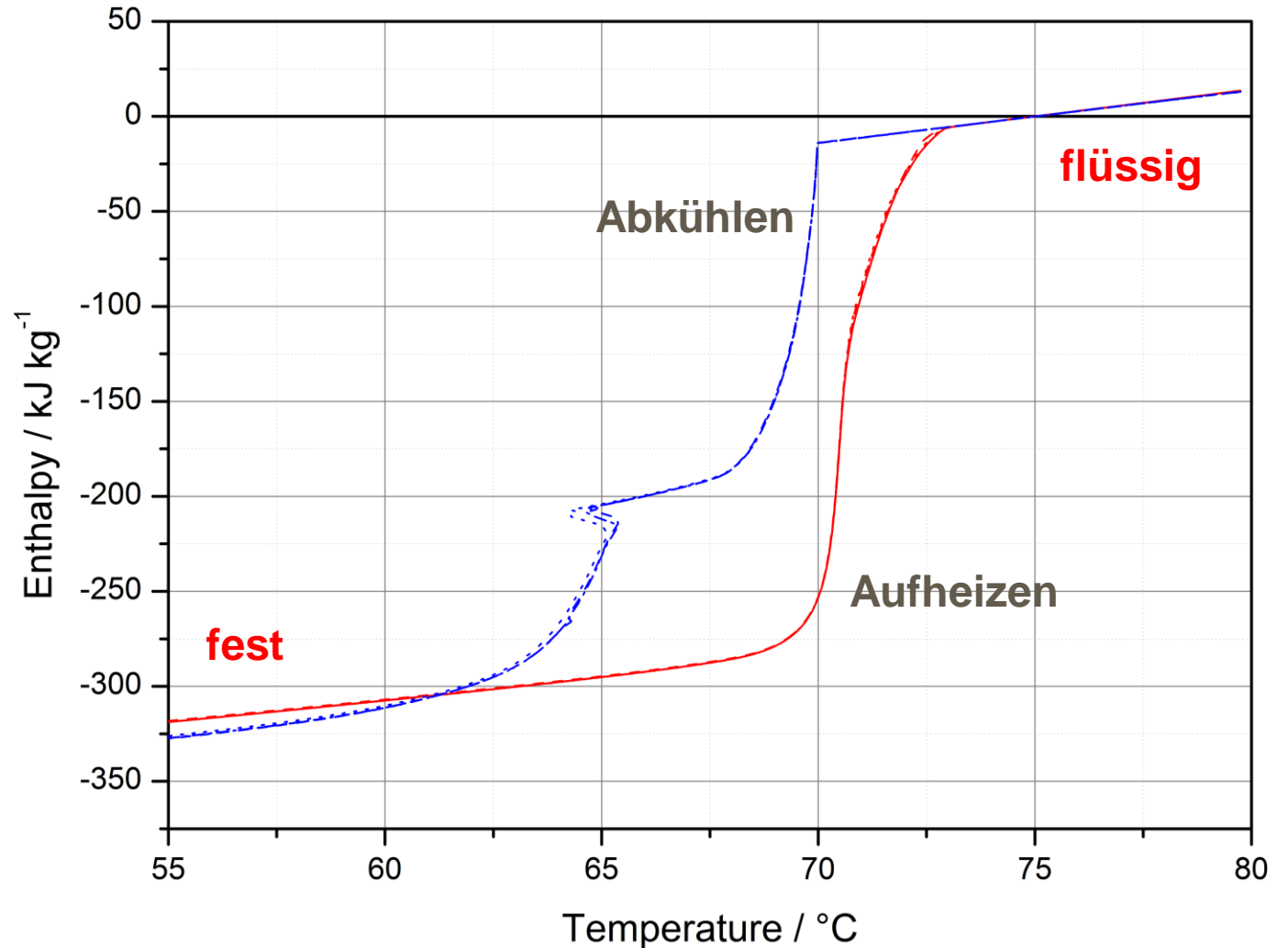
# Wärmespeicherung im Phasenwechsel mit PCM (Phase Change Material)

Grafik: Paraffin **RT70HC** von Rubitherm

Wärmeinhalt  
Enthalpie

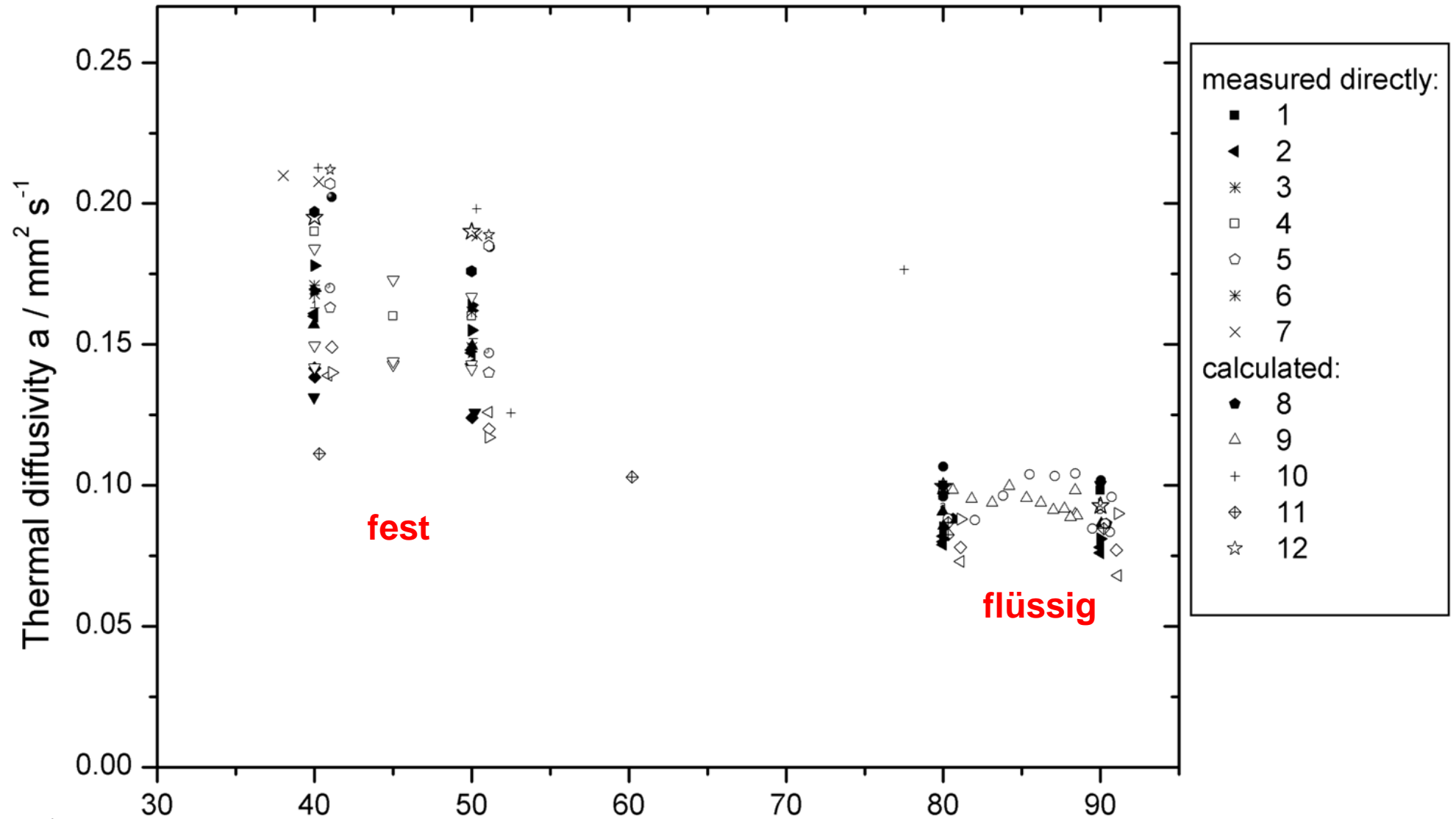
Wärmetransport  
Wärmeleitfähigkeit bzw.  
Temperaturleitfähigkeit

➤ **Wichtig für Systemauslegung**



# Temperaturleitfähigkeit, verschiedene Labore, verschiedene Verfahren

RT70HC



# Inhalt

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

# Ringvergleich Temperaturleitfähigkeit, 5 Teilnehmer

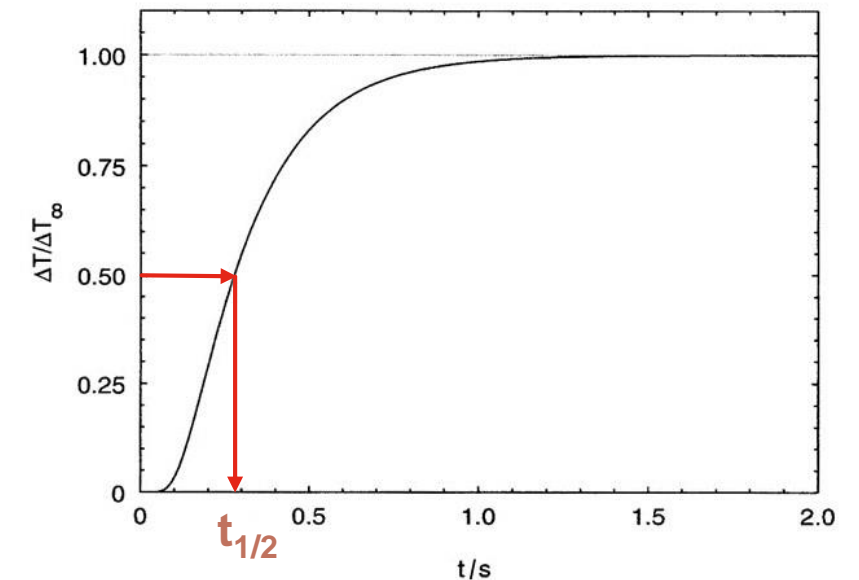
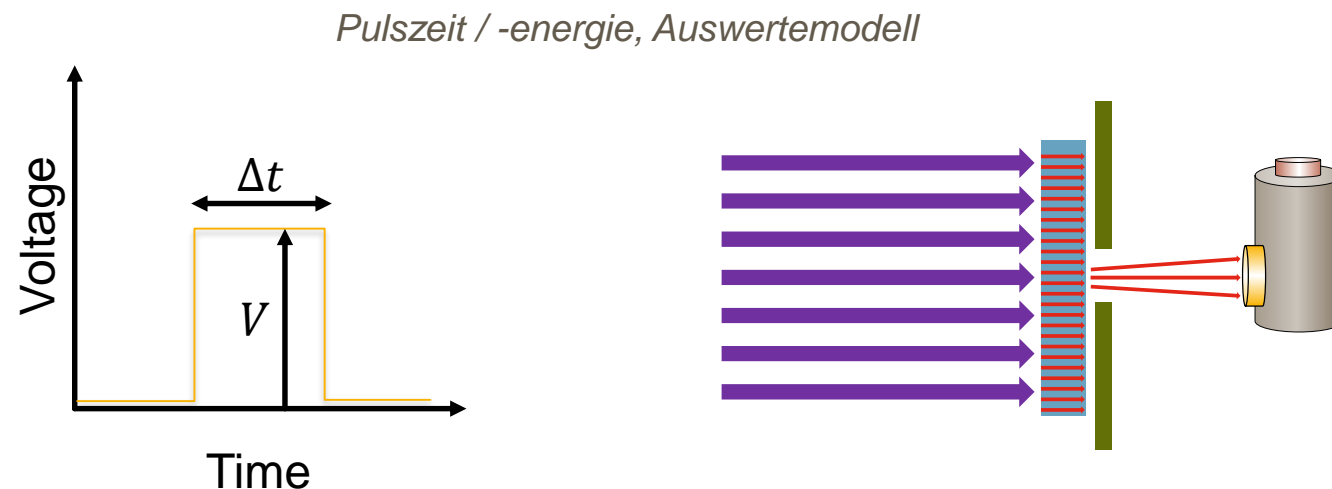
IEA SHC Task 58 ECES Annex 33

- 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

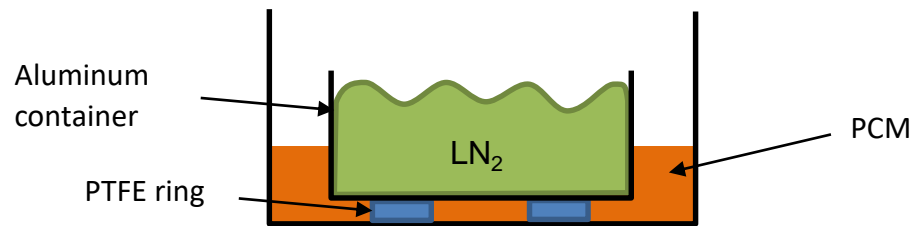
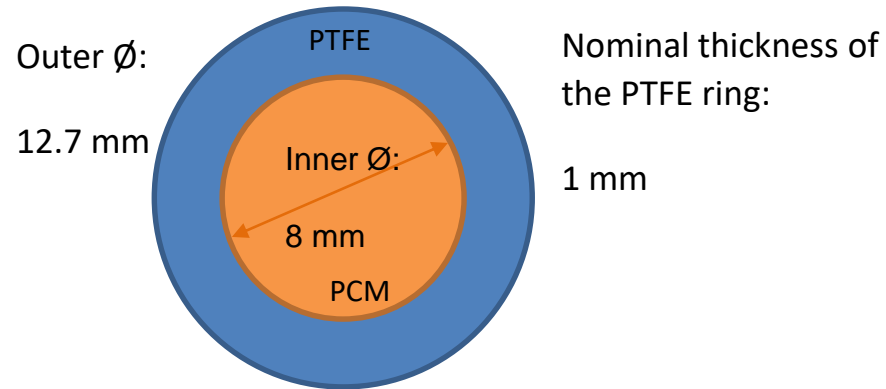
# Erste Messrunde

- 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
- LN<sub>2</sub> – hohe Kühlrate



LN<sub>2</sub>

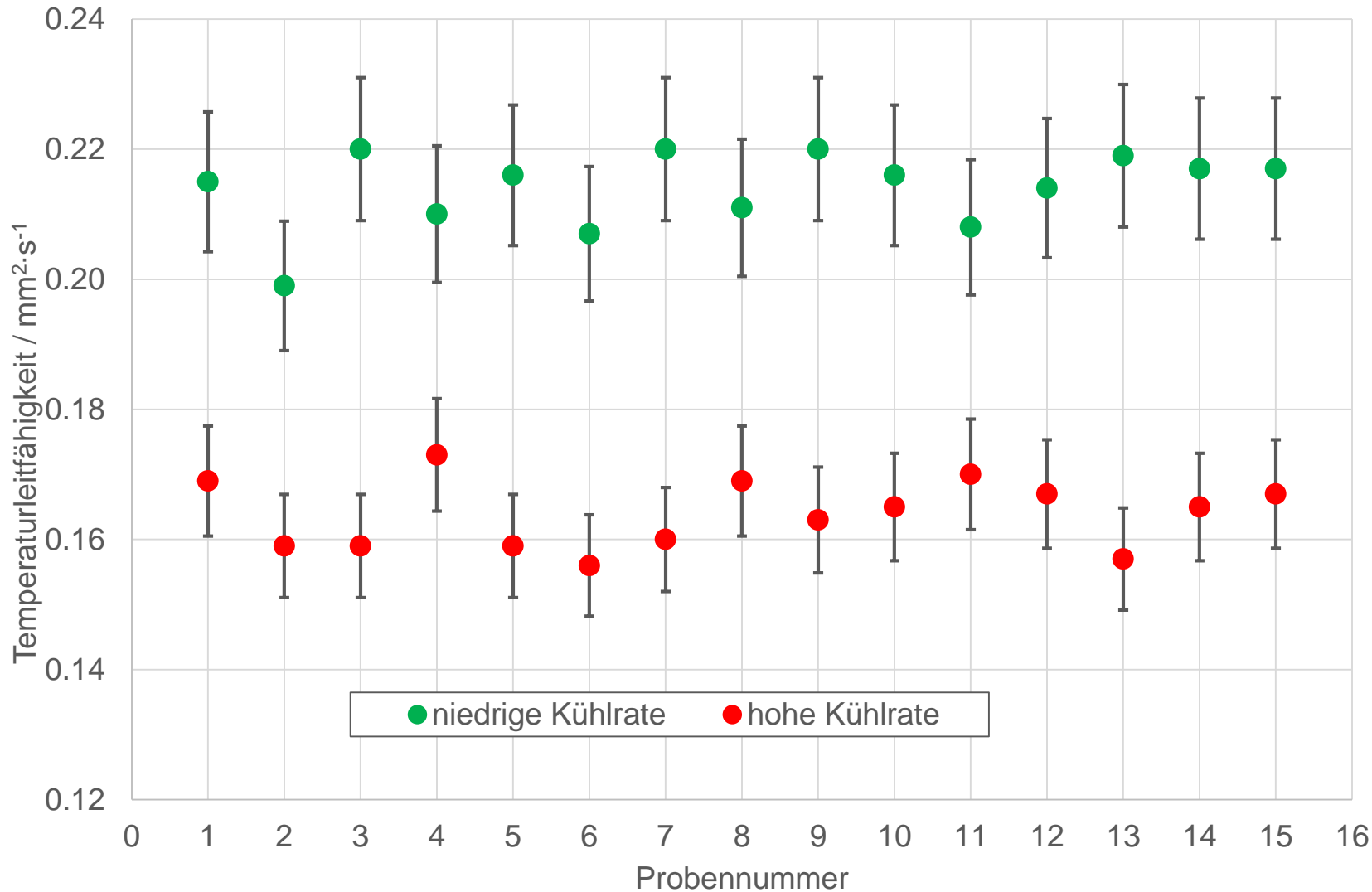
2 K/h

# 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 %

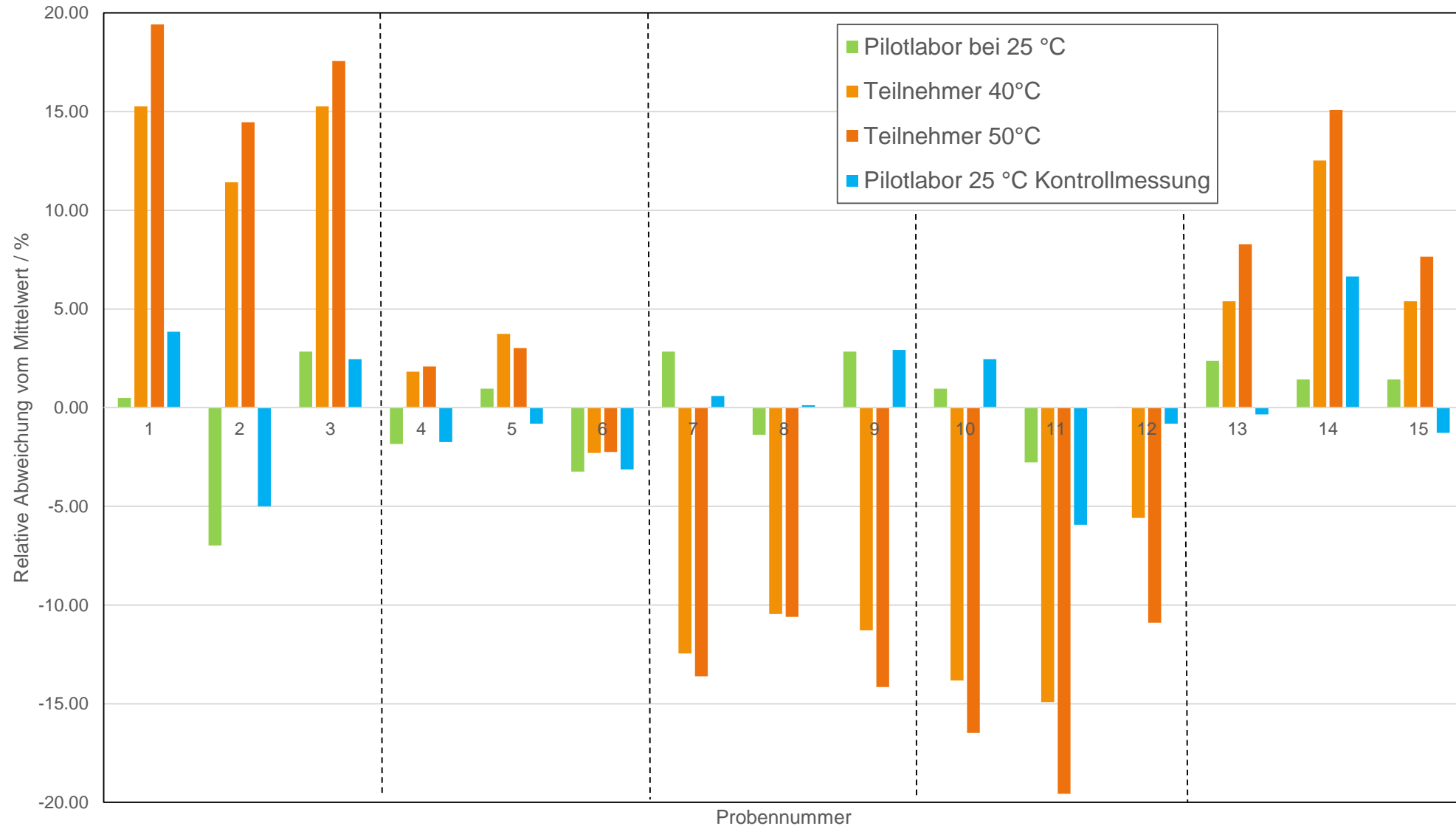
# Erste Runde: Messergebnisse, 2 x 15 Proben

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

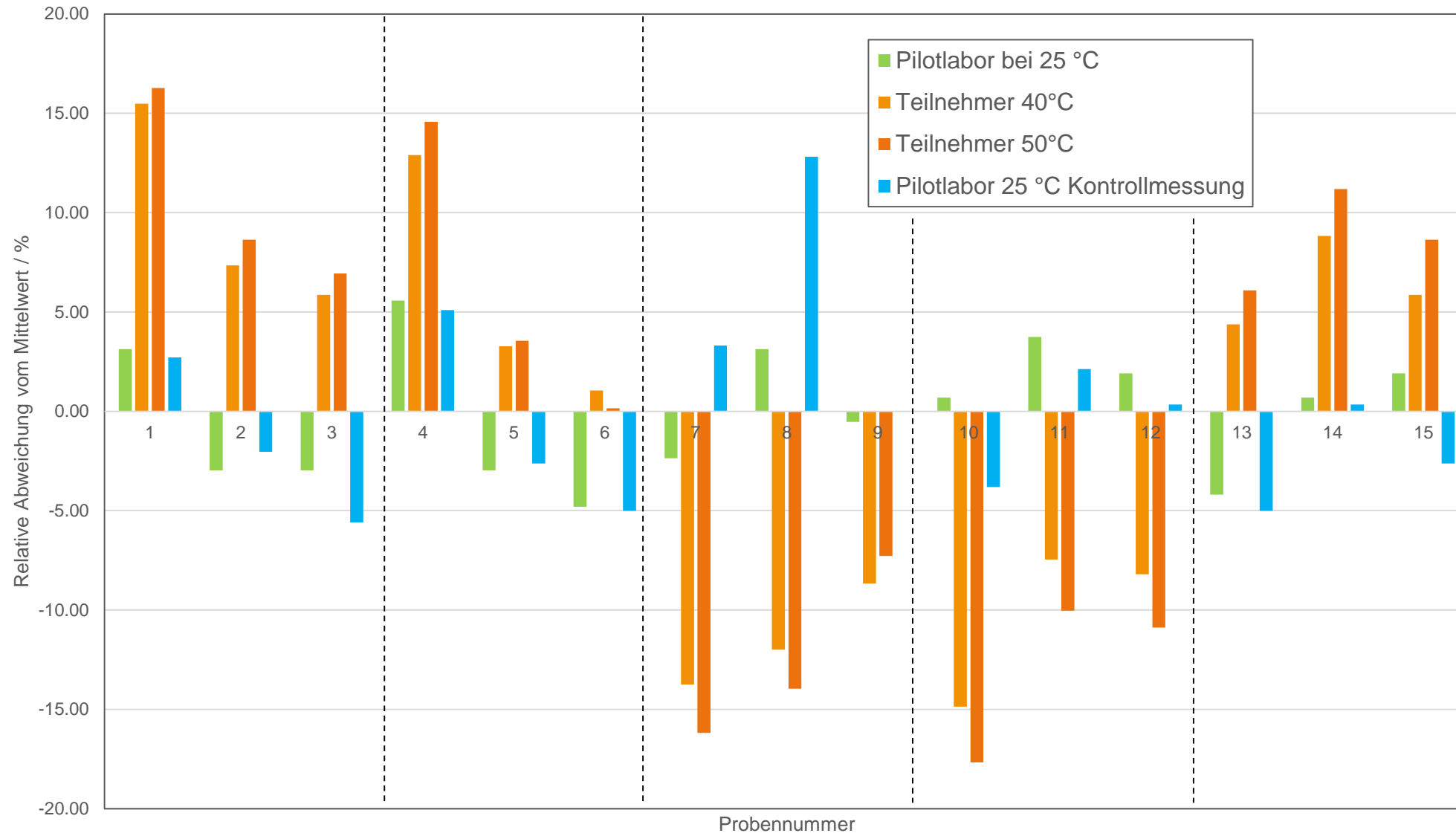
Proben mit <u>hoher</u> Kühlrate	Mittlere Temperaturleitfähigkeit ± Standardabweichung / mm <sup>2</sup> ·s <sup>-1</sup>		
	25 °C	40 °C	50 °C
Pilotlabor	<b>0.164 ± 0.005</b> (3.0 %)		
Teilnehmer		<b>0.135 ± 0.014</b> (10.4 %)	<b>0.118 ± 0.014</b> (11.9 %)
Pilotlabor, Nachmessung	<b>0.168 ± 0.008</b>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

Temperaturabhängigkeit der Temperaturleitfähigkeit **ca. -0.002 mm<sup>2</sup>·s<sup>-1</sup>·K<sup>-1</sup>**

# Temperaturleitfähigkeit Proben mit niedriger Kühlrate



# Temperaturleitfähigkeit Proben mit hoher Kühlrate

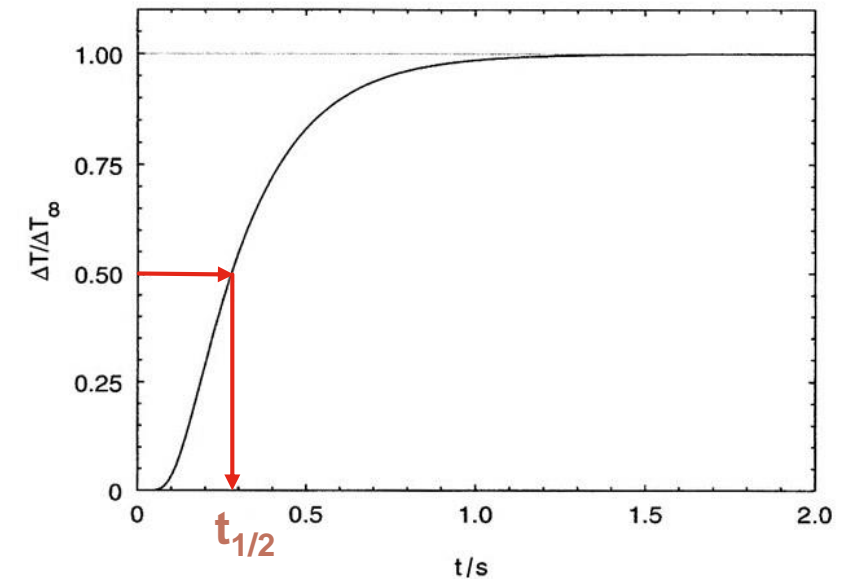
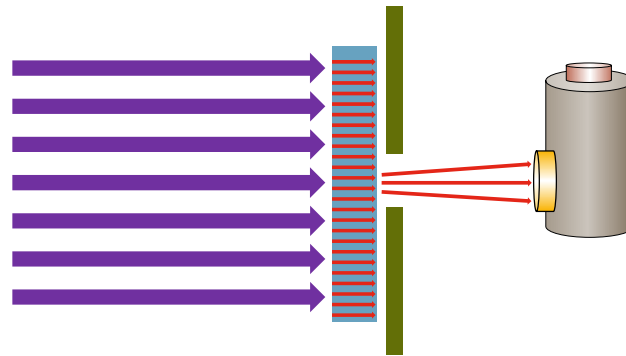
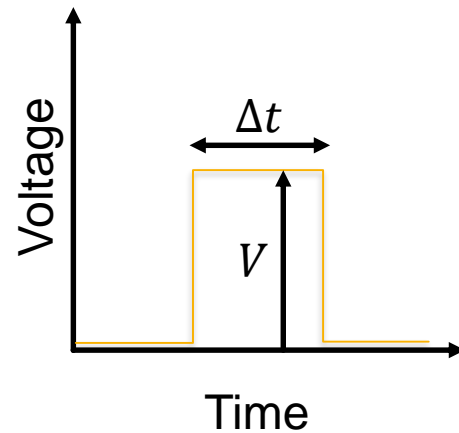


# Erste Runde: Zusammenfassung

- 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

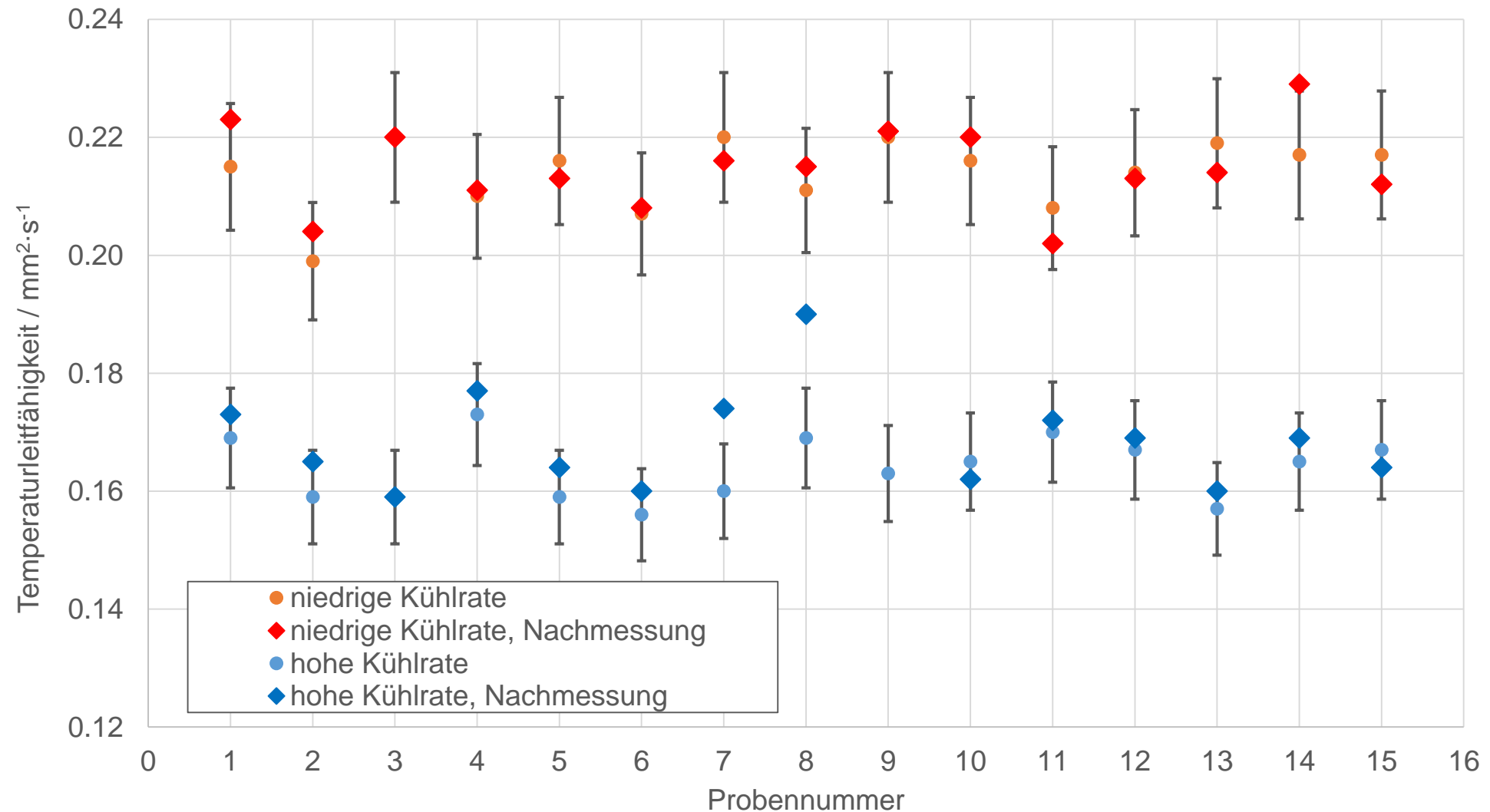
## Zweite Messrunde

- 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.



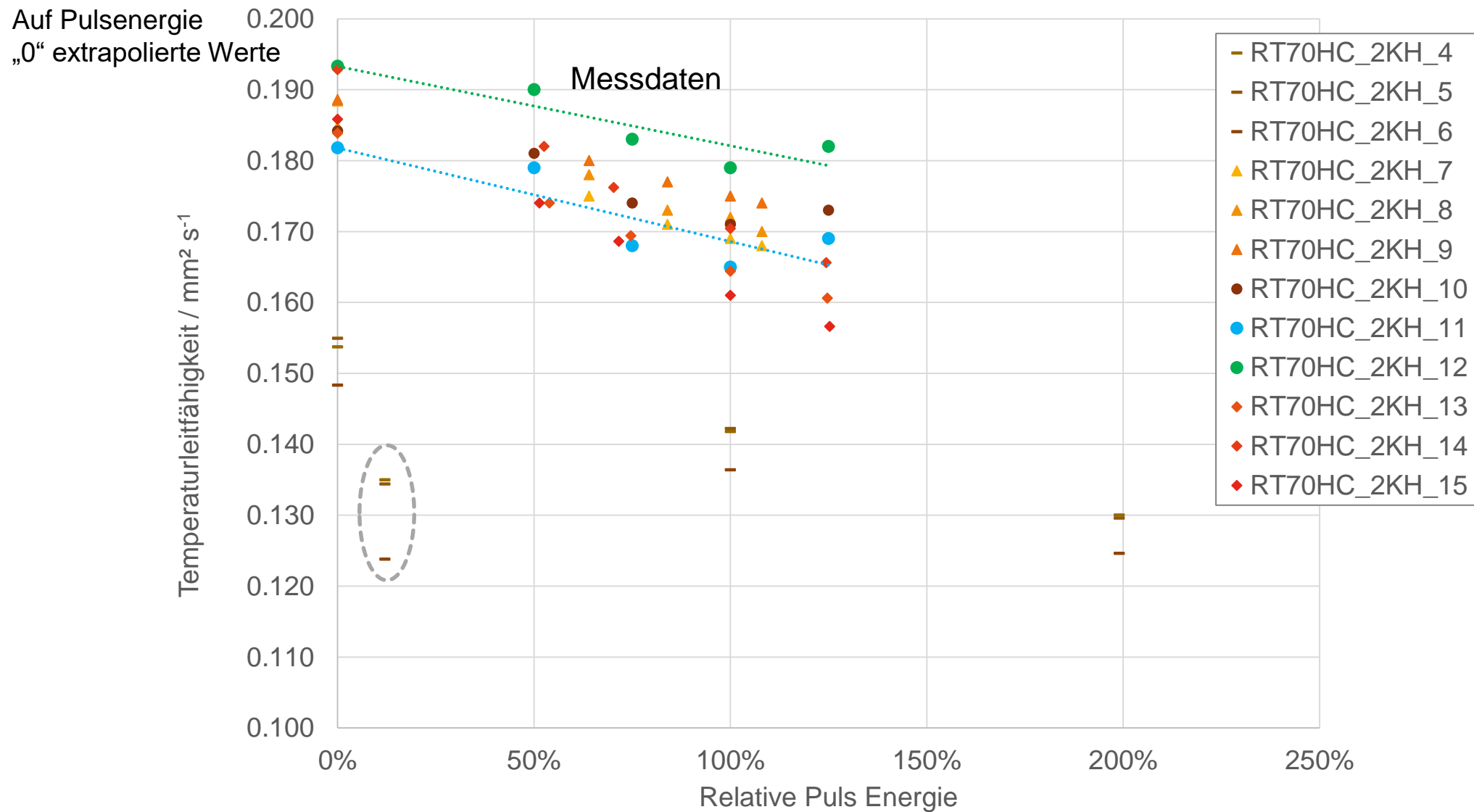
# Zweite Runde: Messergebnisse

## Ergebnisse der Nachmessungen durch das Pilotlabor



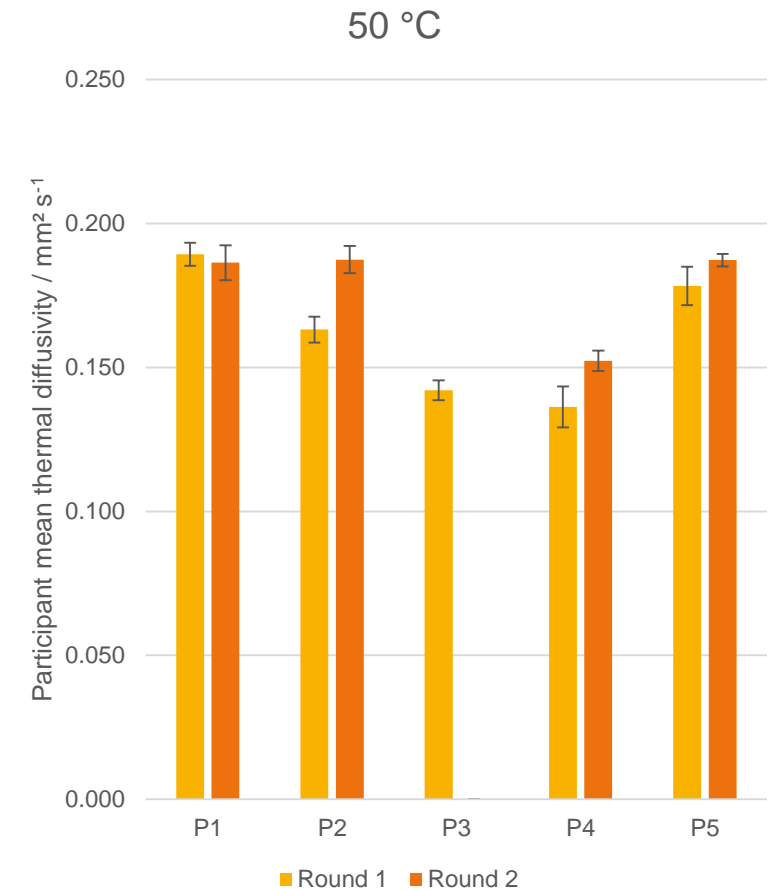
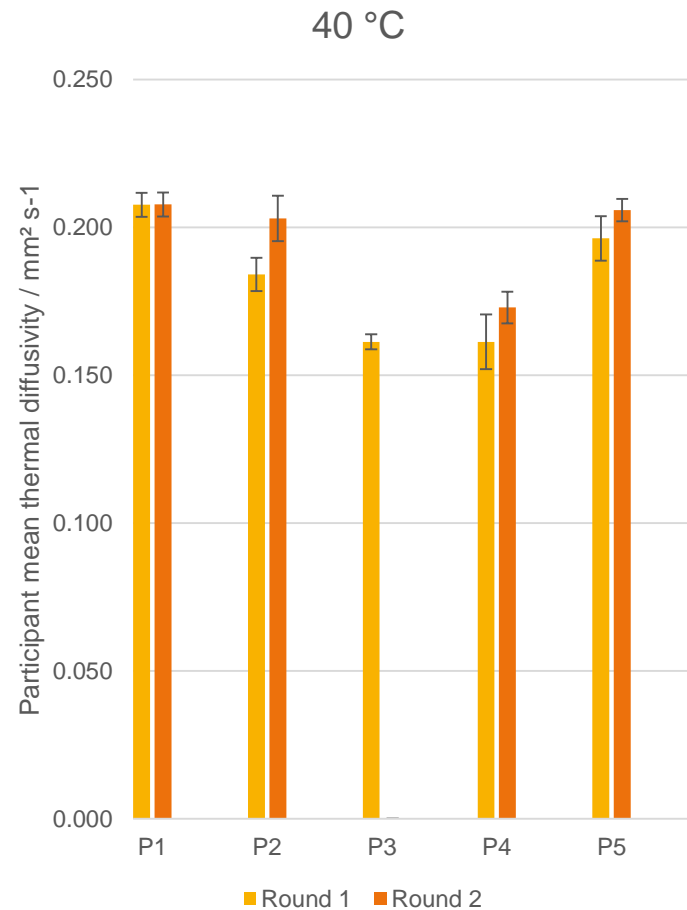
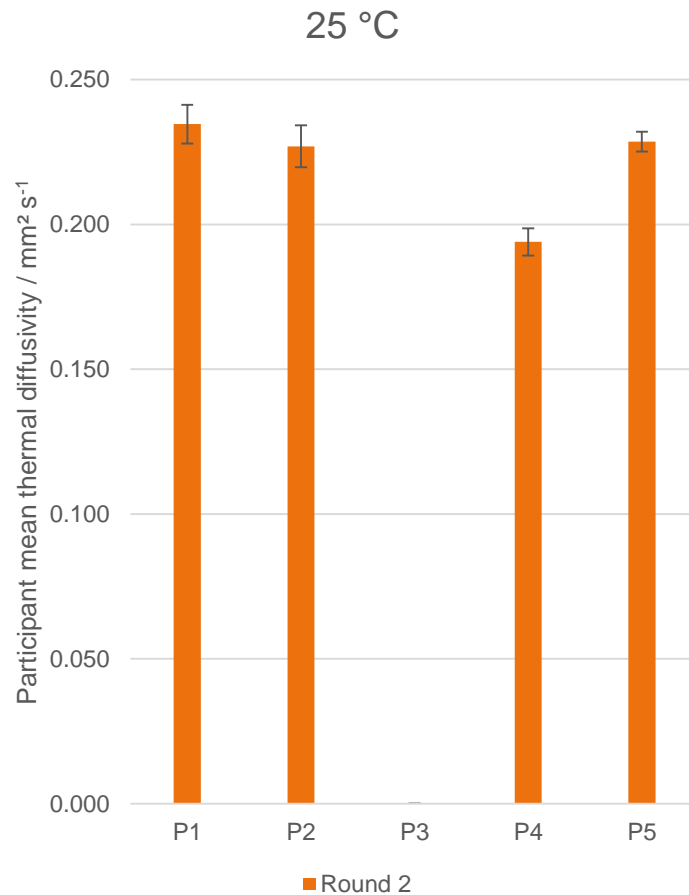
# Zweite Runde: Messergebnisse

## Temperaturleitfähigkeit Proben mit niedriger Kühlrate bei 50 °C

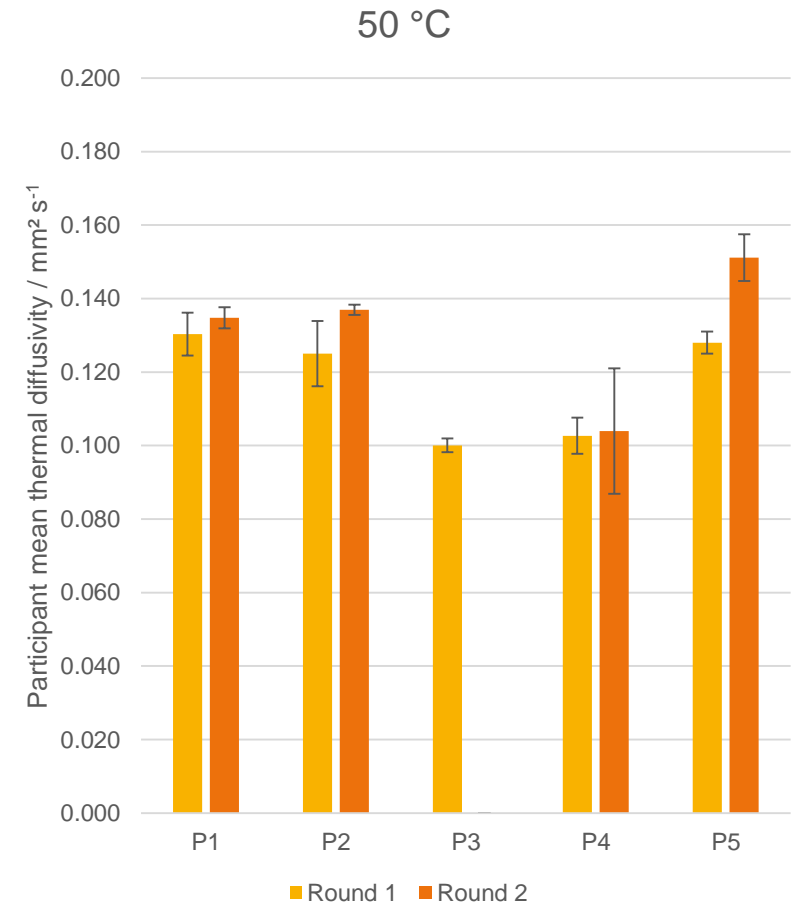
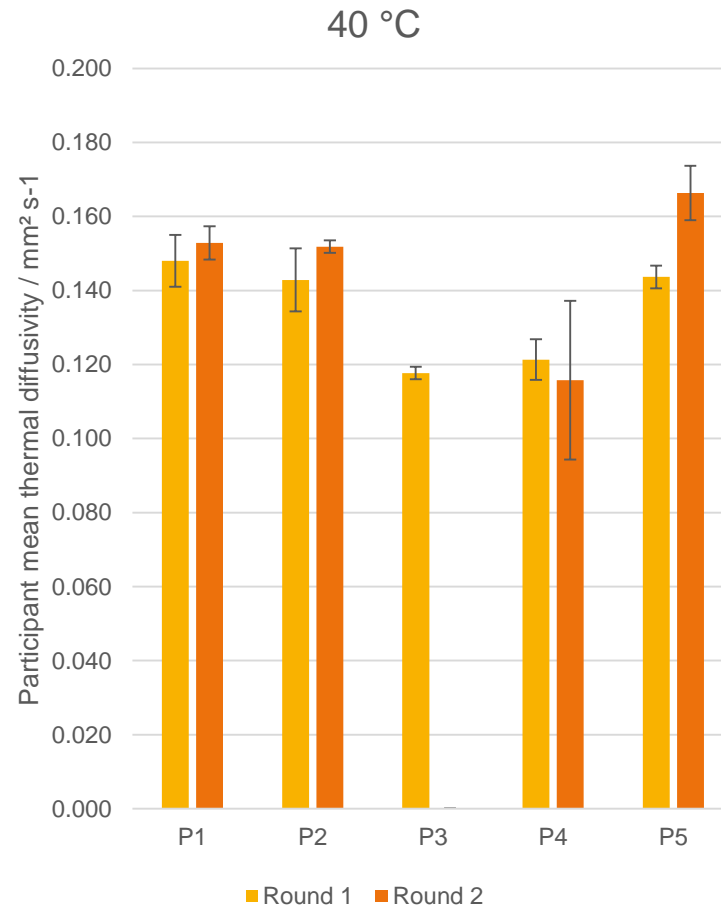
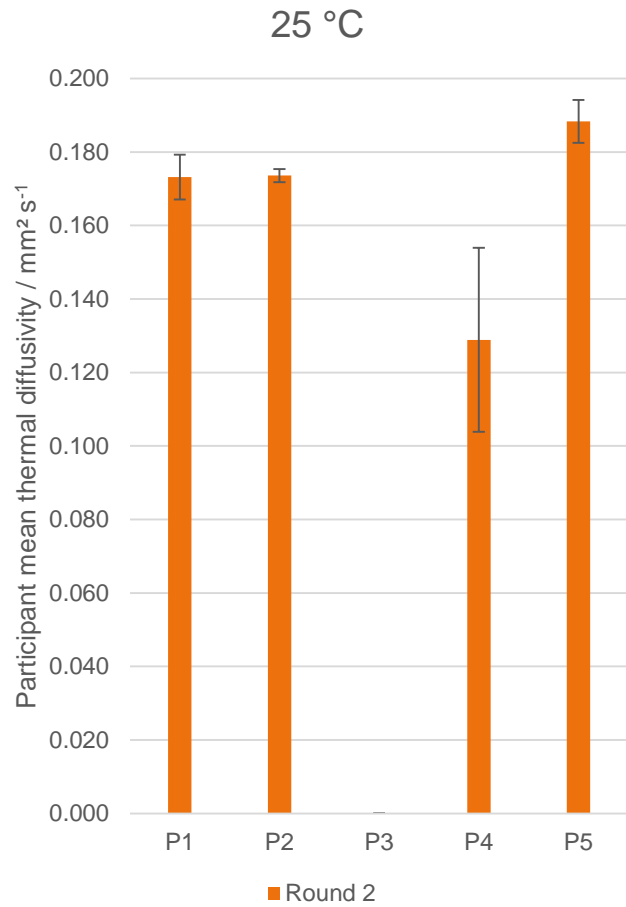




# Zweite Runde: Messergebnisse Proben mit niedriger Kühlrate

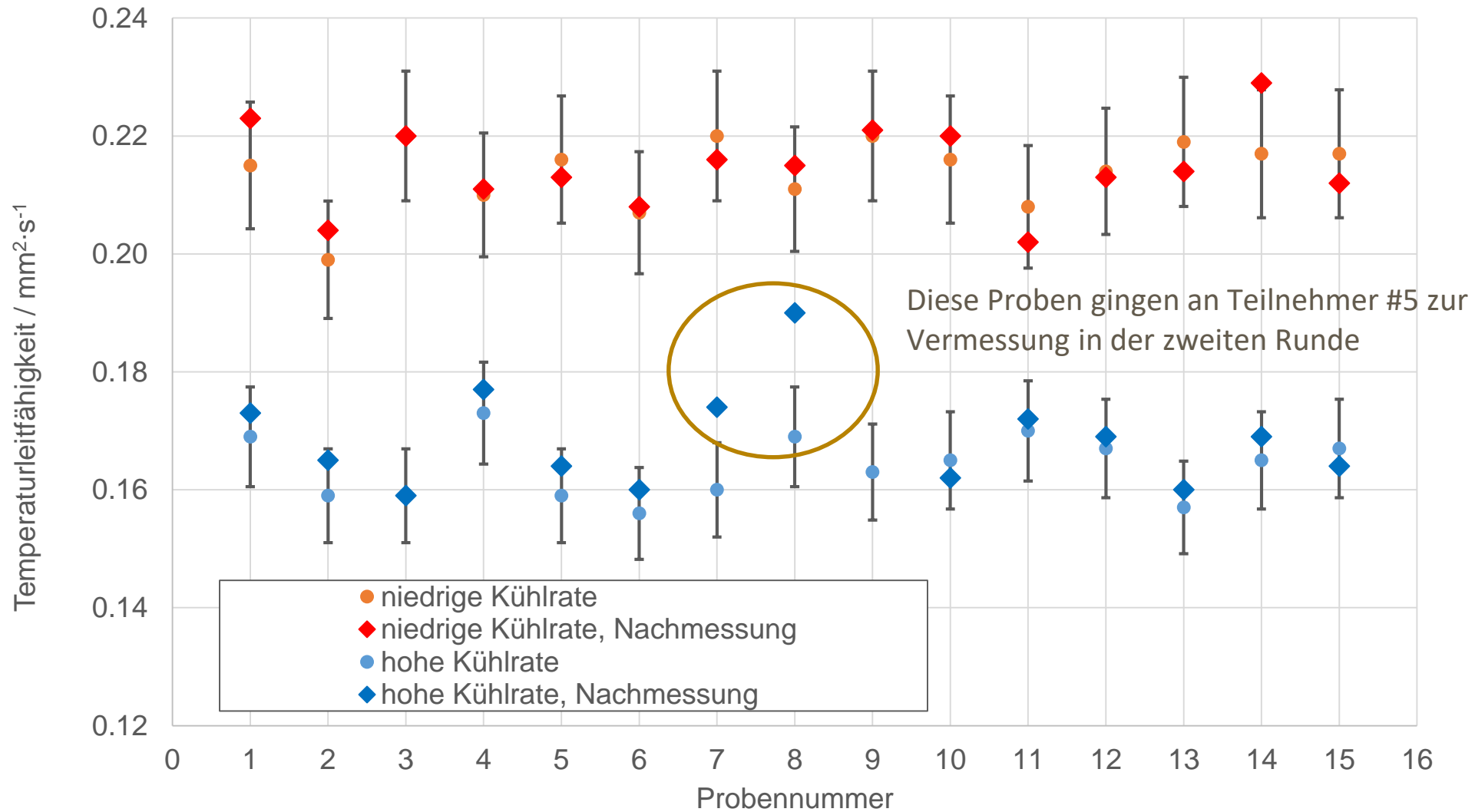


# Zweite Runde: Messergebnisse Proben mit hoher Kühlrate



# 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](mailto:frank.hemberger@zae-bayern.de)  
<http://www.zae-bayern.de>

