

Center for Applied Energy Research



09.04.2025

AKT - Ringvergleich Wärmetransportmöglichkeiten

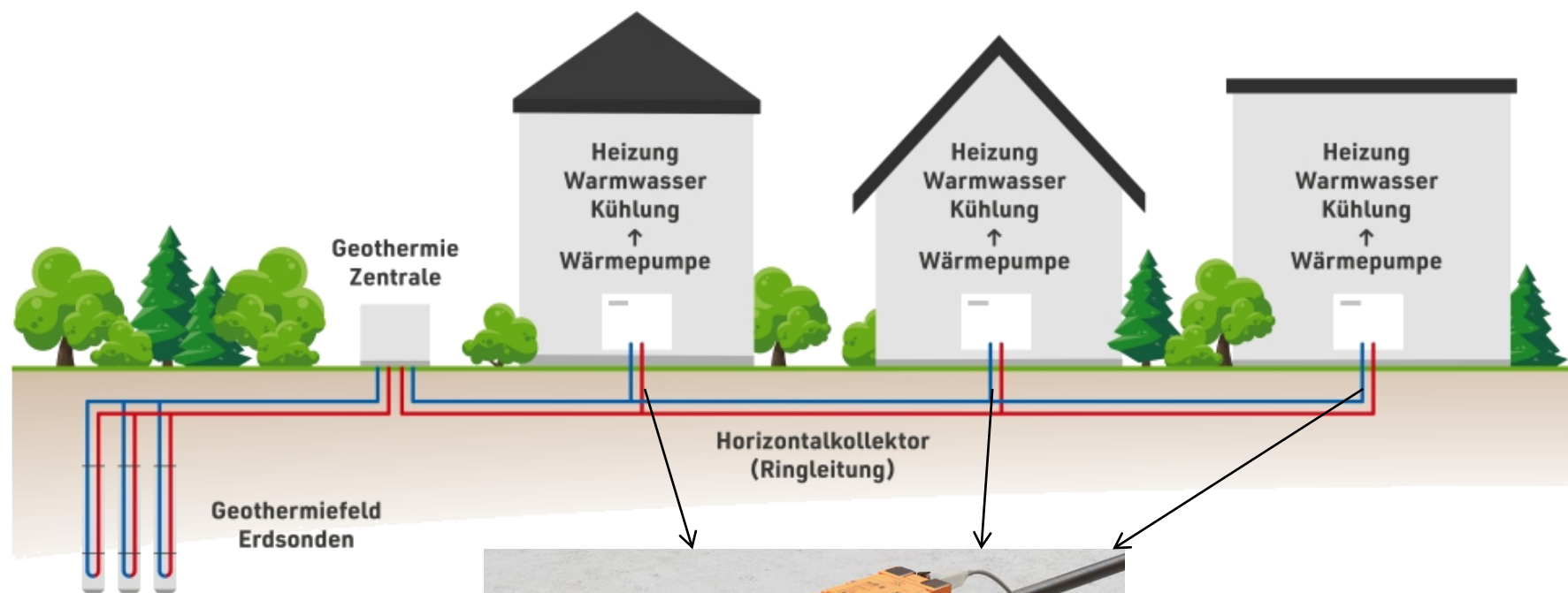
Ringvergleich:

Spezifische Wärmekapazität von Wärmeträgerflüssigkeiten

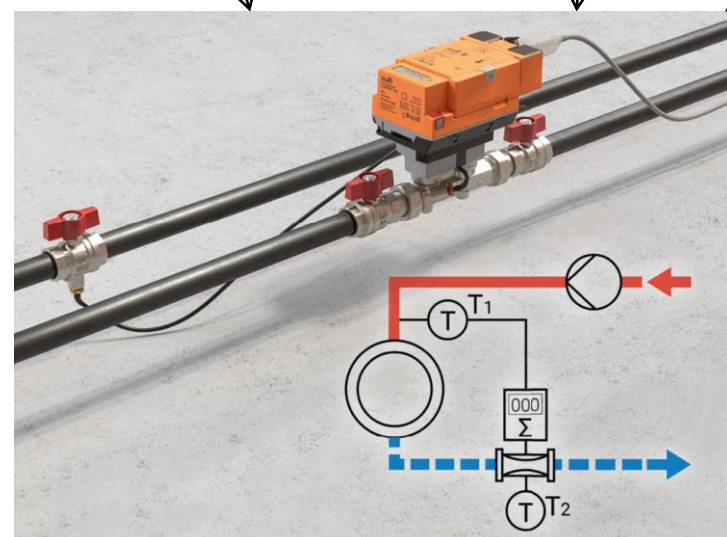
Sitzung des Arbeitskreises Thermophysik

Berlin, 09.04.2025

Michael Brütting, Hans-Peter Ebert



<https://saerve-online.de/kalte-nahwaerme/>



$$Q = \int c_p(T, x) \cdot \varrho(T, x) \cdot \dot{V} \cdot (T_2 - T_1) dt$$

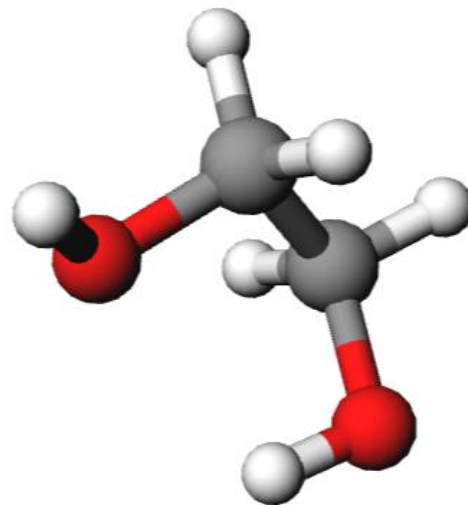
$$u(c_p) < \pm 2\%$$

Wärmeträgerflüssigkeiten

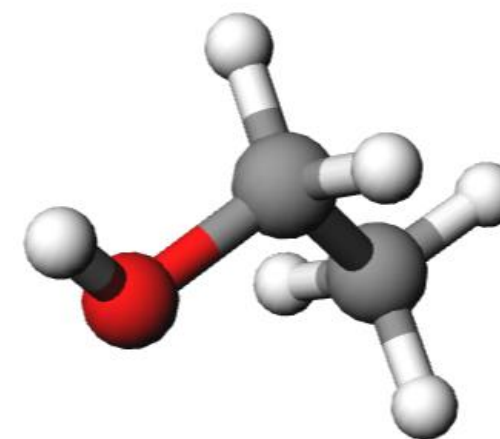
Wasser



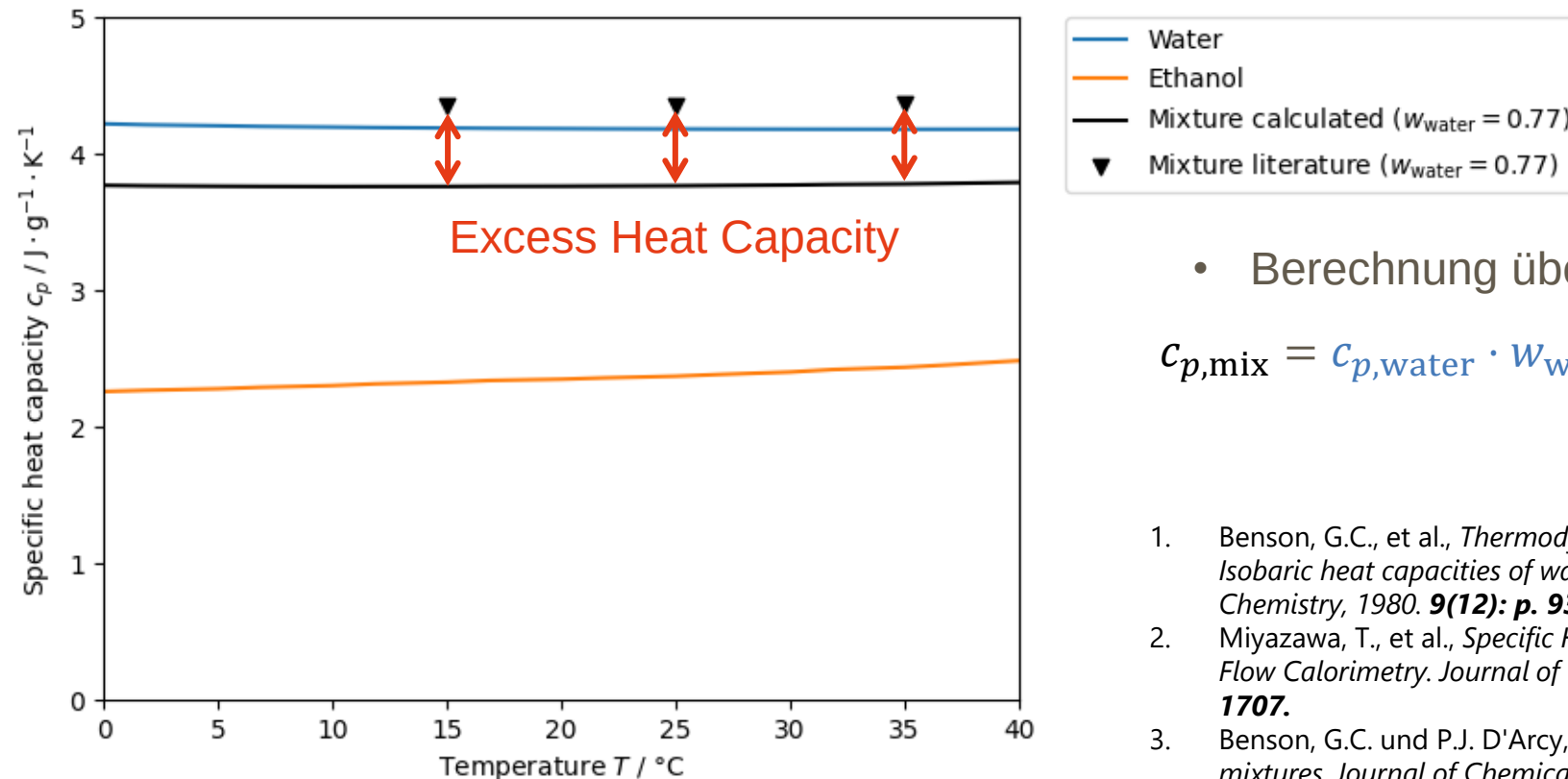
(Mono-)Ethylenglycol
-Wasser



Ethanol-Wasser



Flüssigkeitsgemische



- Berechnung über Massenanteile w :

$$c_{p,\text{mix}} = c_{p,\text{water}} \cdot w_{\text{water}} + c_{p,\text{ethanol}} \cdot w_{\text{ethanol}}$$

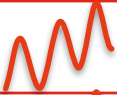
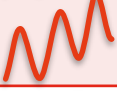
- Benson, G.C., et al., *Thermodynamics of aqueous mixtures of nonelectrolytes II. Isobaric heat capacities of water-n-alcohol mixtures at 25°C*. *Journal of Solution Chemistry*, 1980. **9(12)**: p. 931-938.
- Miyazawa, T., et al., *Specific Heat Capacity at Constant Pressure of Ethanol by Flow Calorimetry*. *Journal of Chemical & Engineering Data*, 2012. **57(6)**: p. 1700-1707.
- Benson, G.C. und P.J. D'Arcy, *Excess isobaric heat capacities of water-n-alcohol mixtures*. *Journal of Chemical and Engineering Data*, 1982. **27(4)**: p. 439-442.
- Wagner, W. und A. Pruß, *The IAPWS Formulation 1995 for the Thermodynamic Properties of Ordinary Water Substance for General and Scientific Use*. *Journal of Physical and Chemical Reference Data*, 2002. **31(2)**: p. 387-535.

Proben

Fluid	Hersteller	Spezifikation	Untersuchter Temperaturbereich / °C
Wasser	aqua concept GmbH	fully demineralized water	5 to 95
Ethanol-Wasser Gemisch	aqua concept GmbH	23 % / 77 % (mass fraction)	-10 to 30
Monoethylene-glycol-Wasser Gemisch	Clariant International Ltd.	43 % / 57 % (mass fraction)	-10 to 95

Teilnehmer

- Acqua concept Gesellschaft für Wasserbehandlung GmbH, Gräfelfing / Deutschland
- Austrian Institute of Technology GmbH (AIT), Wien / Österreich
- Belimo Automation AG, Hinwil / Schweiz
- Center for Applied Energy Research e.V. (CAE), Würzburg / Deutschland
- Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Institute of Lightweight Systems, Braunschweig / Deutschland
- Institut für Luft- und Kältetechnik gGmbH (ILK Dresden), Dresden / Deutschland
- Netzsch-Gerätebau GmbH, Selb / Deutschland
- (Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig / Deutschland)

Messmethode			Probenvolumen	Messgerät	Probenbehälter
DSC konstante Heizrate			35 µl	NETZSCH DSC 204 F1 Phoenix	Aluminium
DSC konstante Heizrate			35 µl	NETZSCH DSC 204 F1 Phoenix	Aluminium
DSC konstante Heizrate			850 µl	Setaram calorimeter, MicroDSC7 Evo-1A.	Hastelloy C276
DSC temperaturmoduliert			40 µl	TA Instruments Q2000	Aluminium
DSC temperaturmoduliert			40 µl	Mettler Toledo DSC2/700	Aluminium
DSC stufenweises Heizen			850 µl	Setaram calorimeter, MicroDSC7 Evo	Hastelloy C276
Dynamische Hitzdrahtmethode nach ASTM D7896-14			>15000 µl	Kommerziell	not relevant

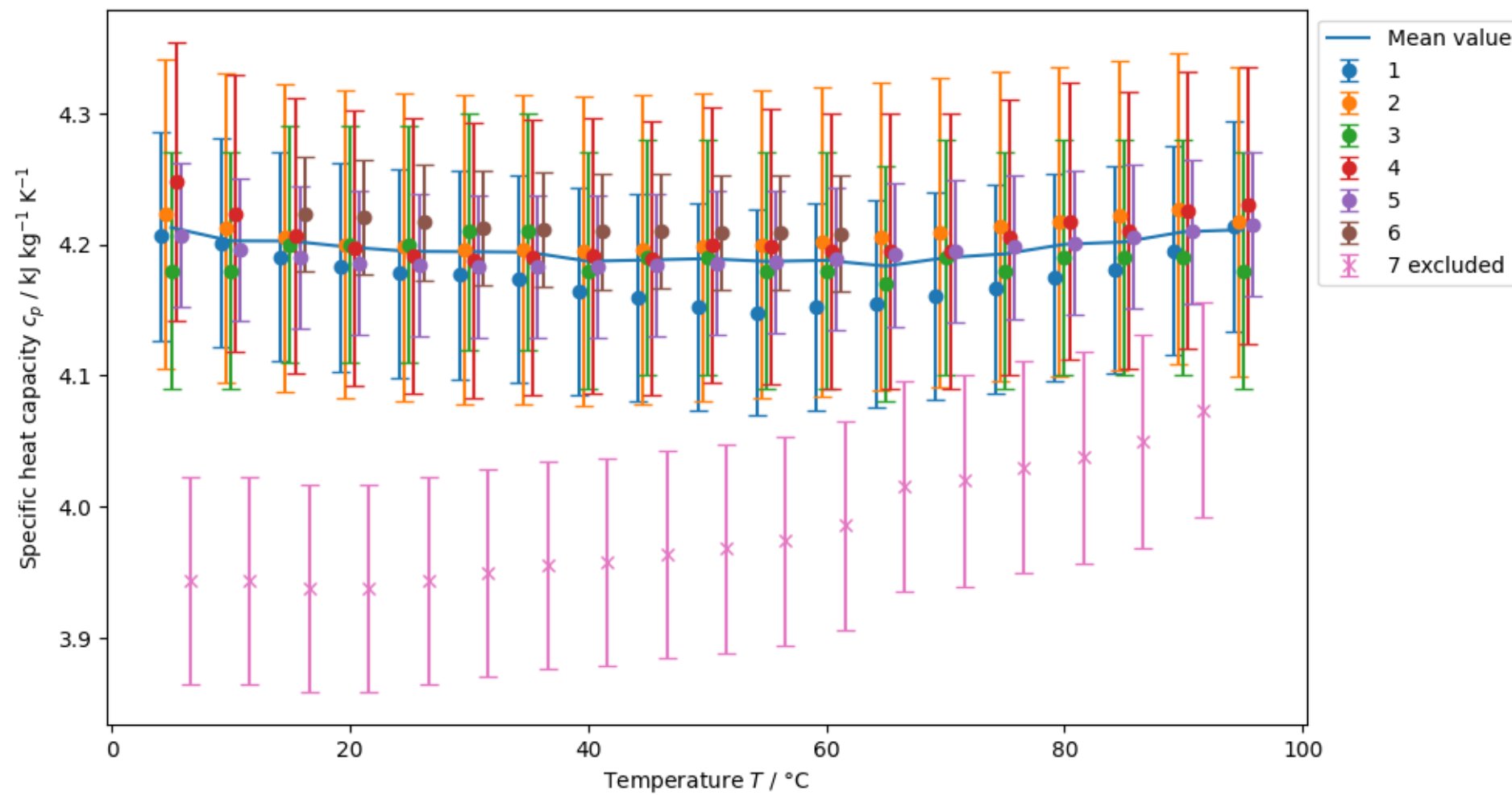
Durchführung + Auswertung

- Angabe der Messwerte in **5 K Schritten**
- Vorgabe: **Unsicherheiten** für die Messergebnisse nach **GUM**
- Aus den Ergebnisse wurde für jeden Temperaturpunkt der **arithmetische Mittelwert** und die zugehörige **Unsicherheit** berechnet.
- Damit wurde die **normalisierte Fehlerfunktion** für jeden Messpunkt berechnet:

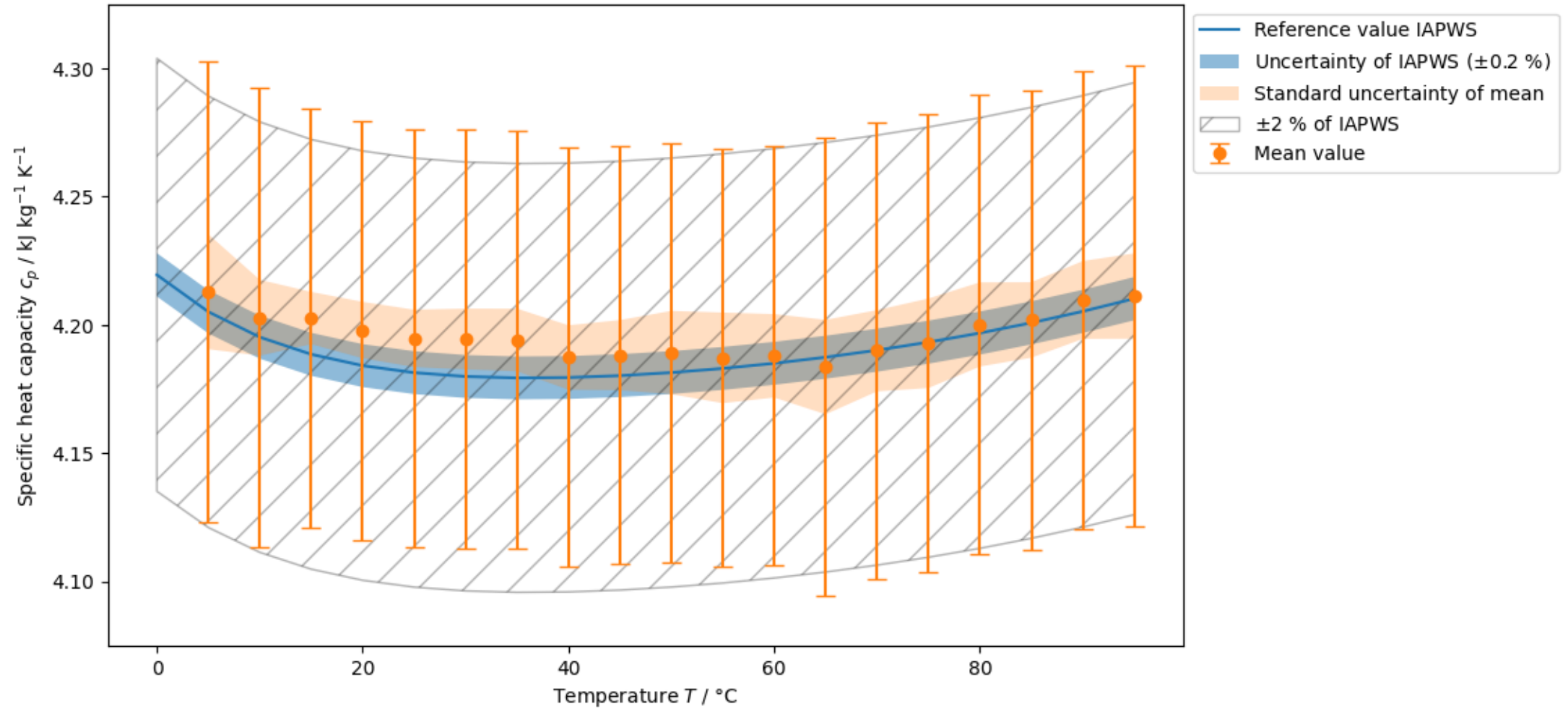
$$E_n = \frac{x_{lab} - x_{mean}}{\sqrt{(U_{lab}^2 + U_{mean}^2)}} = \frac{\text{Abweichung vom Mittelwert}}{\text{Unsicherheit der Abweichung}},$$

- $E_n < 1$ 👍
- $E_n > 1$ Messpunkt wurde entfernt und E_n wurde neu berechnet

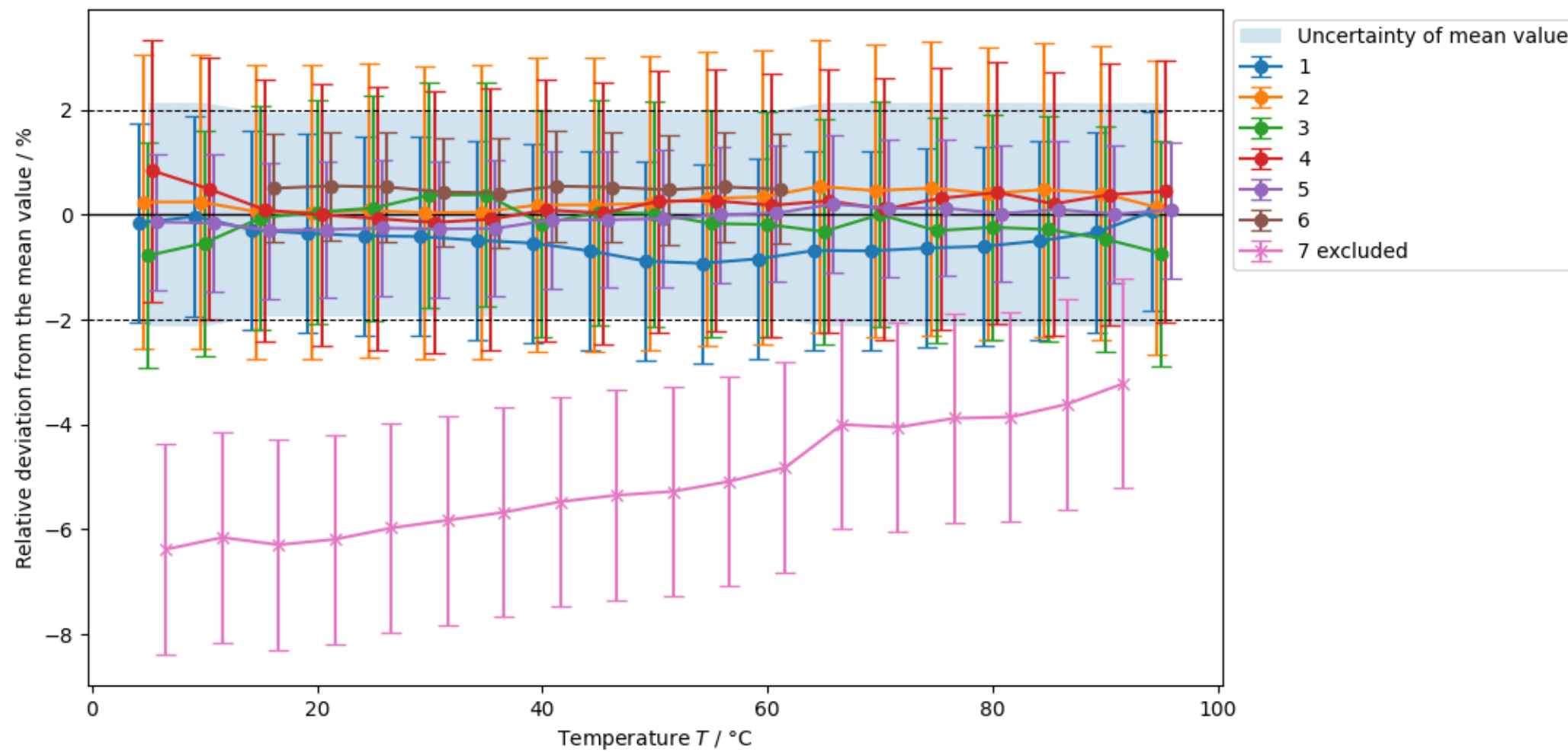
Ergebnisse: Wasser



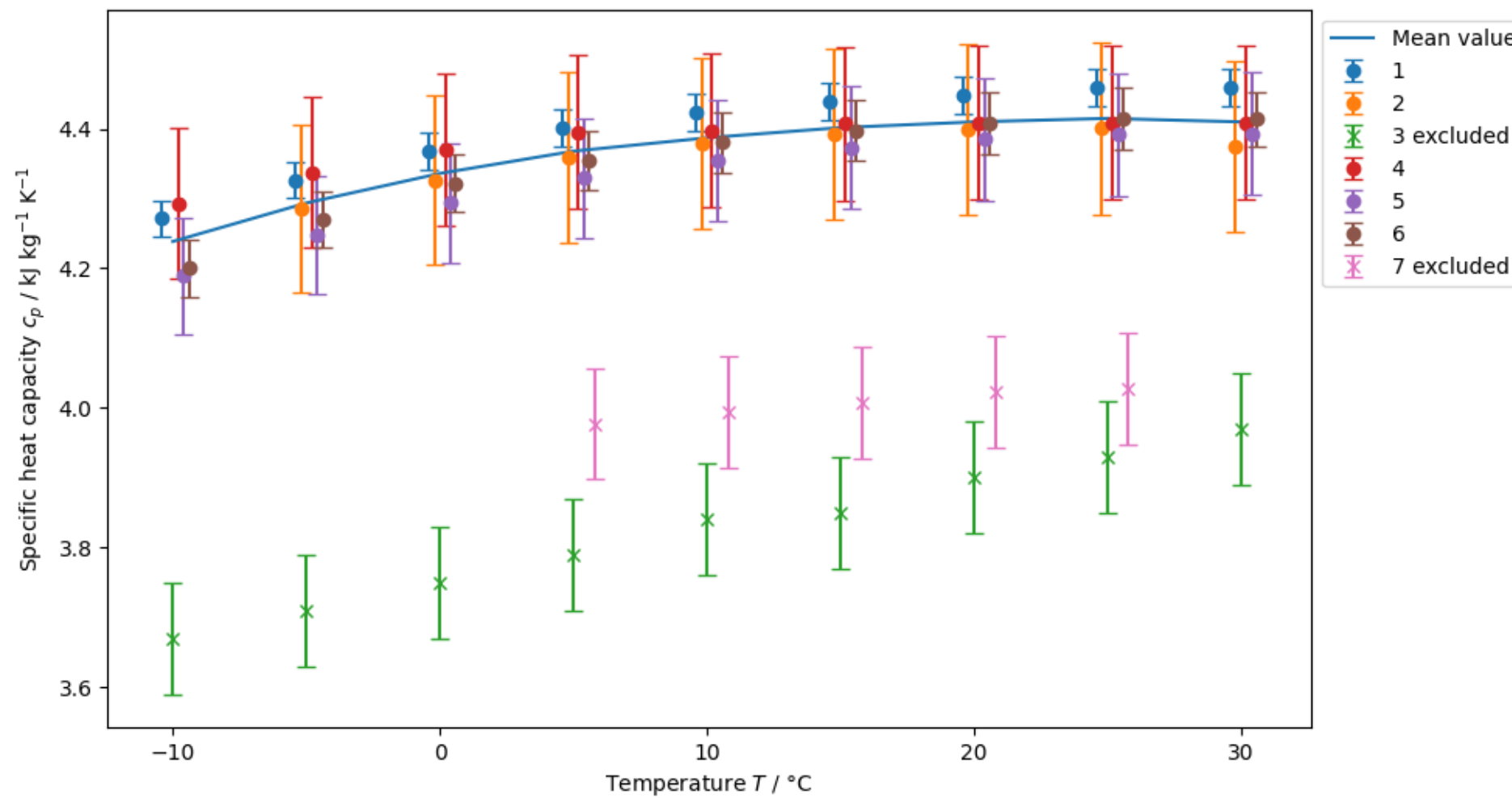
Referenzdaten Wasser: International Association of Properties for Water + Steam



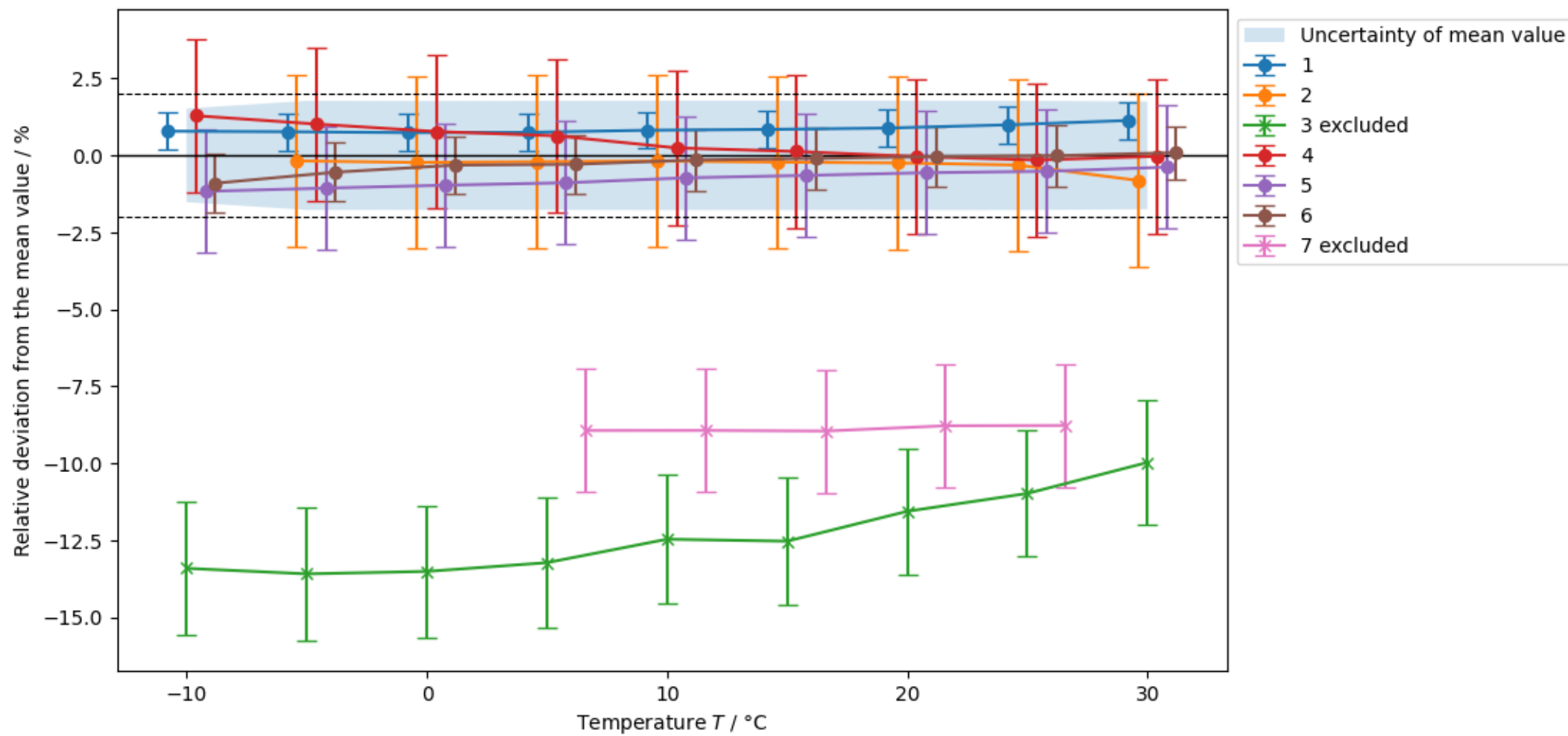
Ergebnisse: Abweichung Wasser



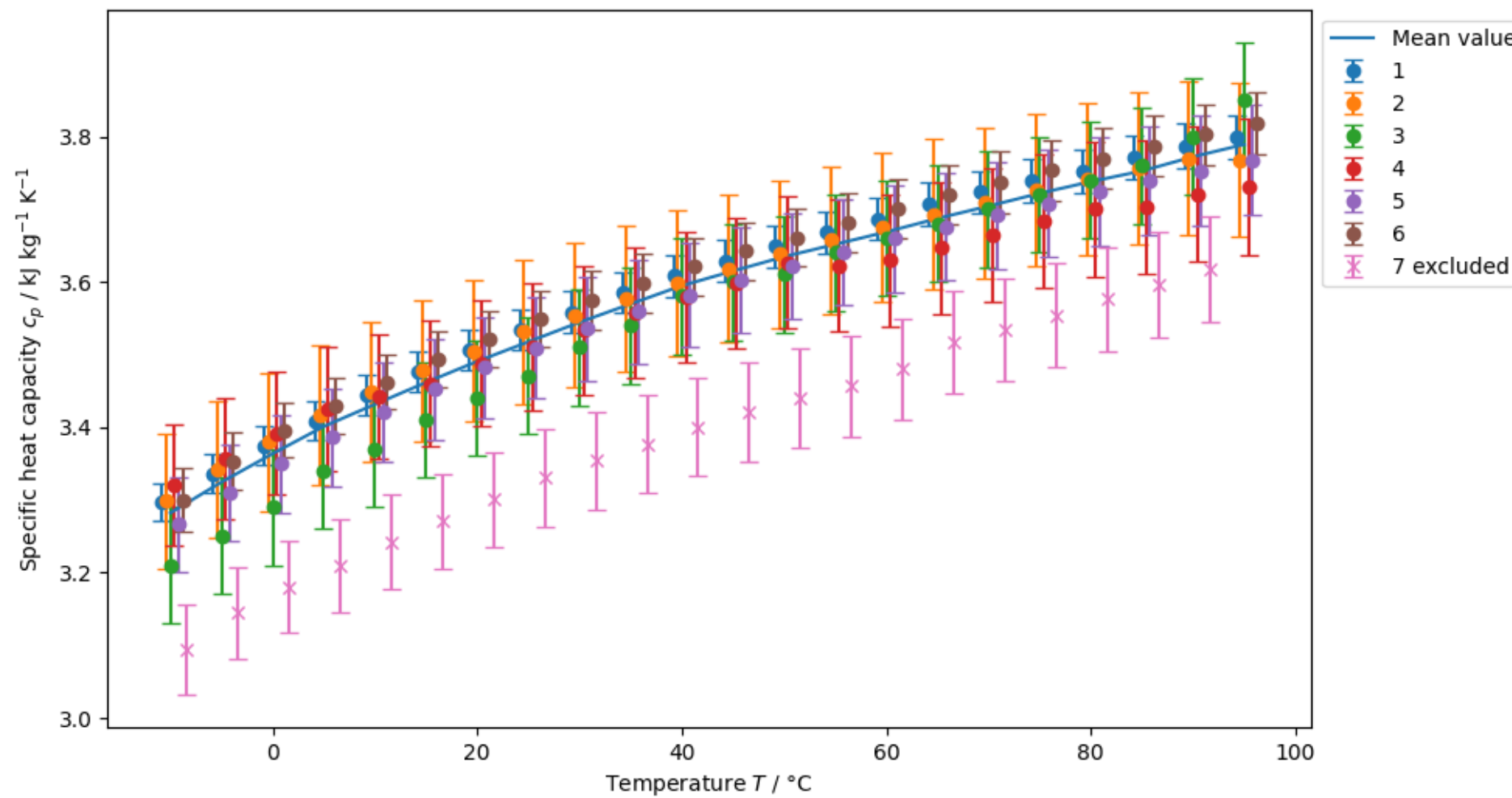
Ergebnisse: Ethanol-Wasser



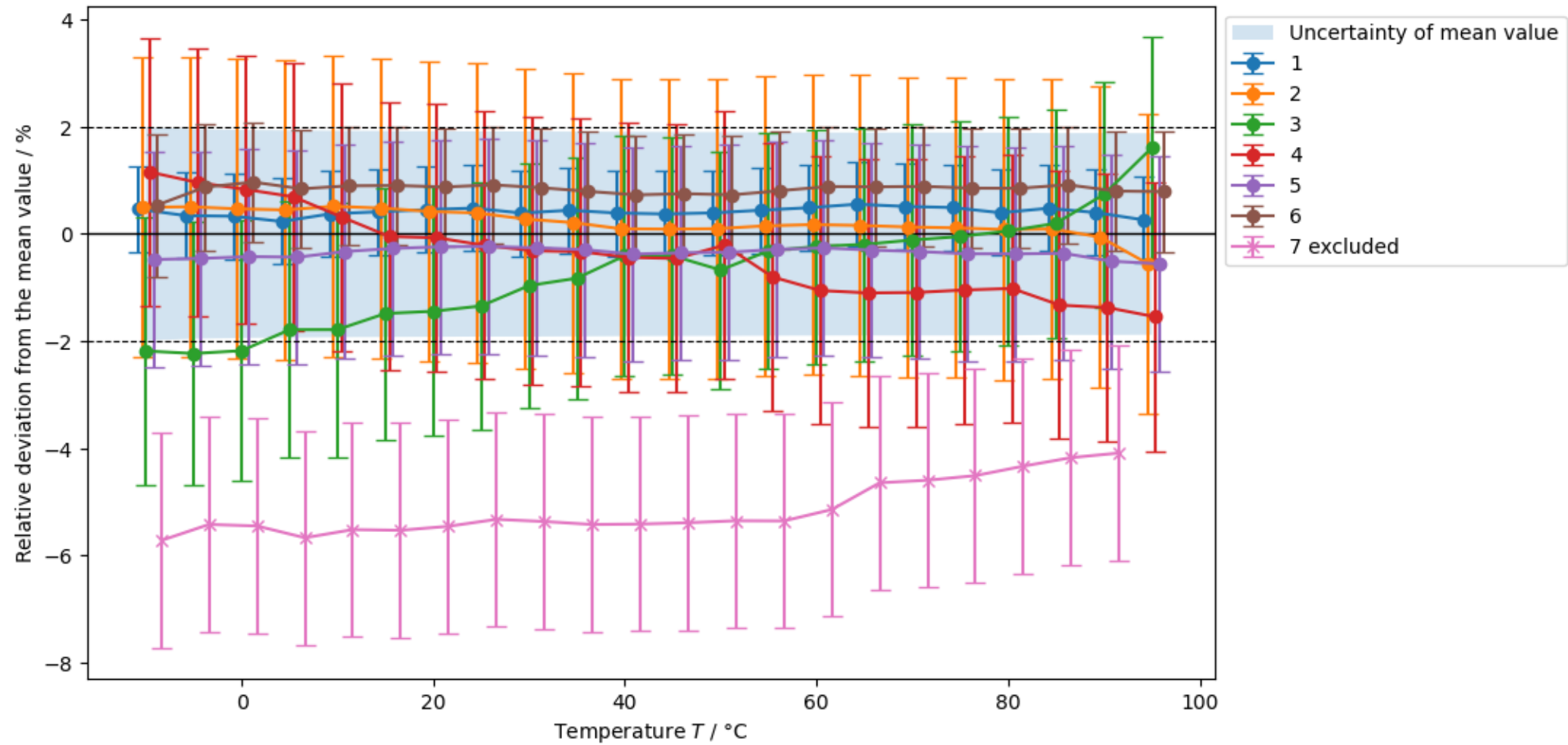
Ergebnisse: Abweichung Ethanol-Wasser



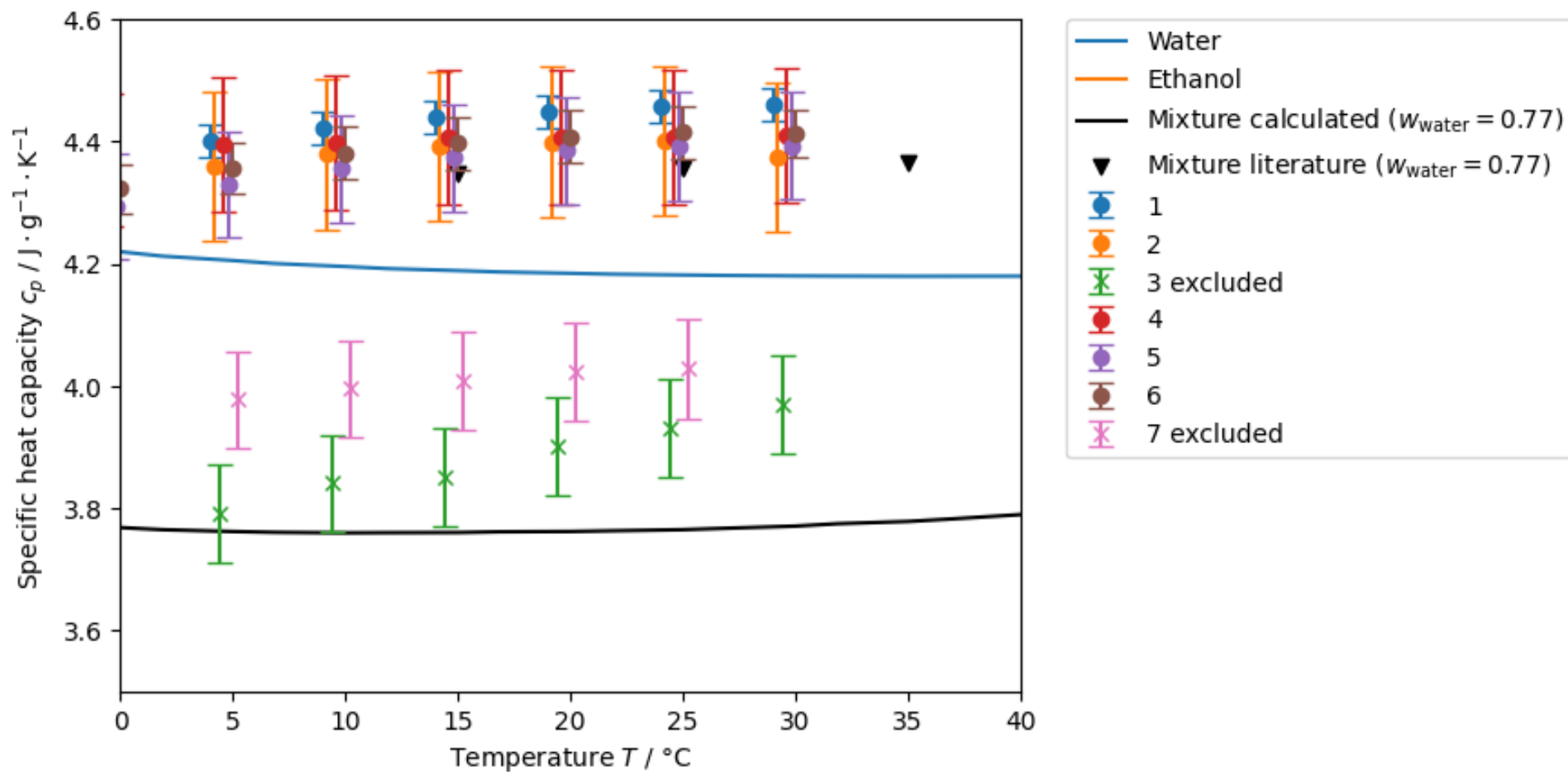
Ergebnisse: Monoethylenglykol-Wasser



Ergebnisse: Abweichung MEG-Wasser

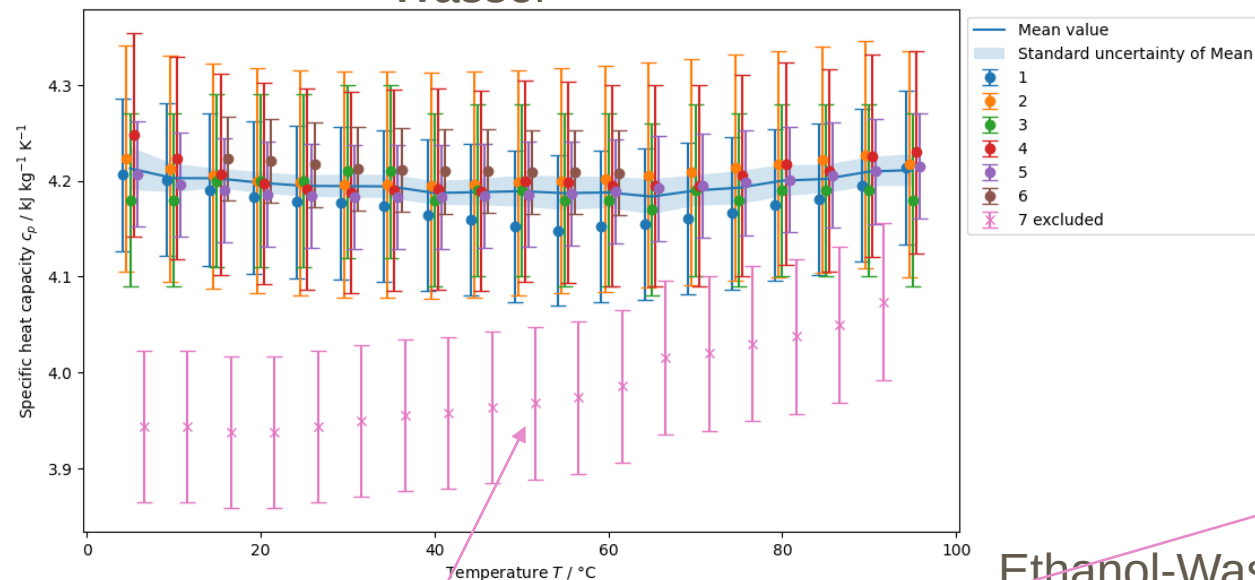


Ergebnisse: Ethanol-Wasser

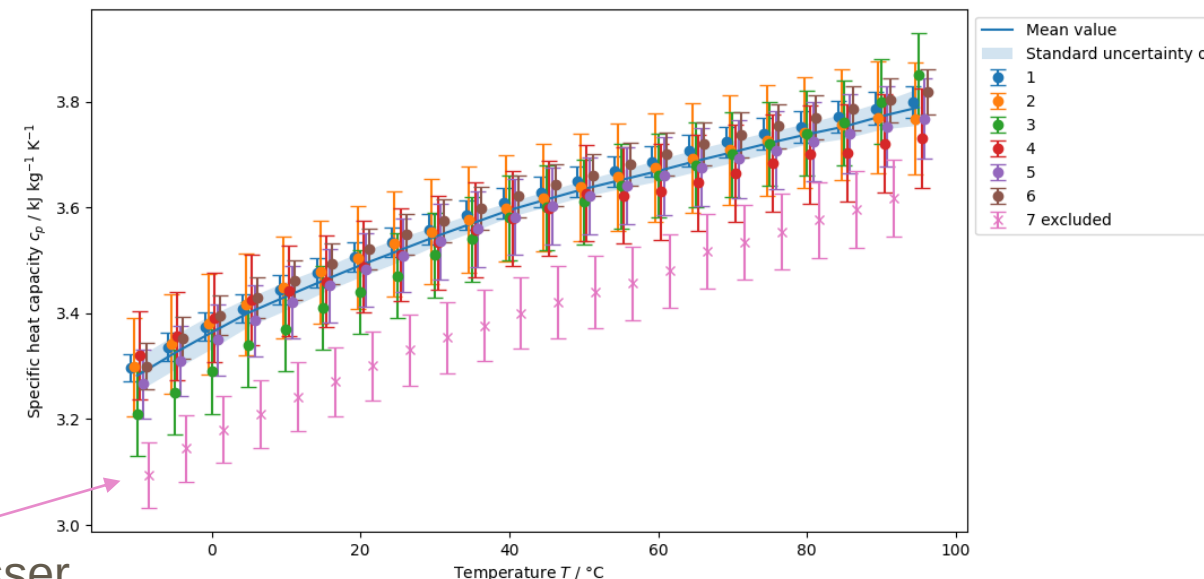


Angegebene Messunsicherheit / Standardunsicherheit

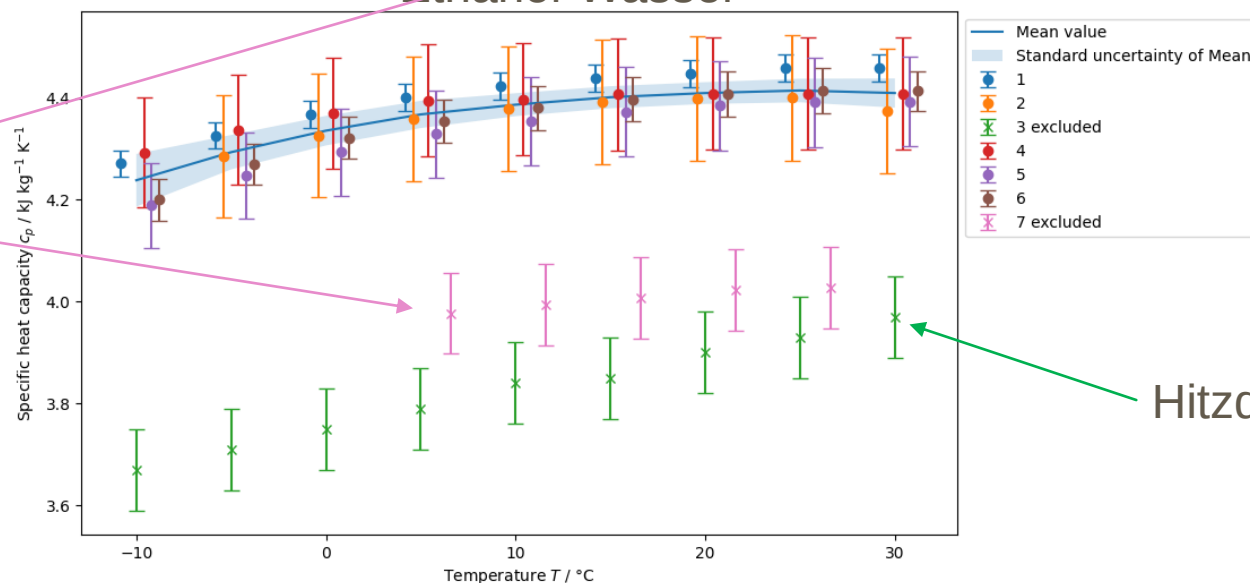
Wasser



MEG-Wasser



Ethanol-Wasser



Kalibration?

Hitzdrahtmethode

Lessons learned

- Unsicherheit $< \pm 2\%$ wird erreicht.
- Sicherstellen einer korrekten Kalibration des Kalorimeters
Die Kalibrierung des Kalorimeters muss sorgfältig und korrekt durchgeführt werden, um die Zuverlässigkeit der Messungen zu gewährleisten.
- Sicherstellen eines dichten Verschlusses der Probenbehälter:
Die Tiegel müssen dicht verschlossen sein, um ein Verdampfen der Wärmeübertragungsflüssigkeiten während der Messungen zu verhindern.
- Optimales Füllen der Probenbehälter
Die Tiegel sollten so vollständig wie möglich gefüllt werden, um die Verdunstung innerhalb des Tiegels zu minimieren.
- Konsistente Ergebnisse der DSC Methoden
Differential Scanning Calorimetry (DSC)-Methoden liefern konsistente und reproduzierbare Ergebnisse für alle untersuchten Wärmeübertragungsflüssigkeiten, was die Zuverlässigkeit dieser Technik beweist.
- Abweichungen der Ergebnisse der dynamischen Hitzdrahtmethode:
Bei der indirekten Bestimmung über die dynamische Hitzdrahtmethode wurden im Vergleich zur DSC signifikante Abweichungen bei den Ergebnissen des Ethanol-Wasser-Gemisches festgestellt.

Vielen Dank für die Aufmerksamkeit



Michael Brütting

Center for Applied Energy Research e.V.
Magdalene-Schoch-Straße 3
97074 Würzburg

T + 49 (0) 931 70564-323

F + 49 (0) 931 70564-600

michael.bruetting@cae-zeroarbon.de

www.cae-zeroarbon.de

