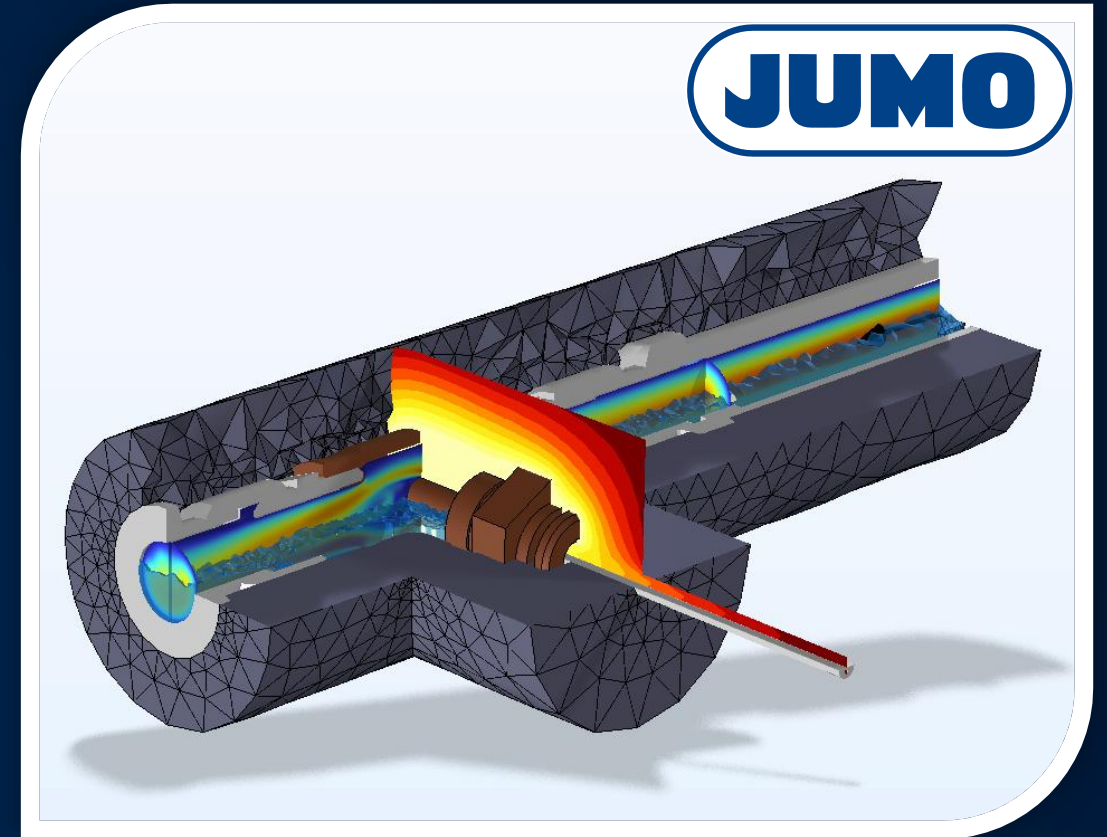


Innovative Ansätze zur Verbesserung der Genauigkeit thermischer Energienmessung durch Simulation und Analyse der Einbaustellen

Tobias Lapp
Global Development Research & Testing
Think Tank

2025-09-18 | Seeon



1. Einleitung

Hintergrund:

- Temperaturmessung von Einstecktemperatur-Fühlern mit Tauchhülsen in Wasser-führenden Rohrsystemen (Bereich „Wärmemengenzähler“)
- Verwendung von kurzen Einstecktemperatur-Fühlern in Tauchhülsen problematisch
- Ende der Duldung dieser kurzen „Bestandstauchhülsen“ 2026
- Quantifizierung der Einflussfaktoren auf Wärmeableitung
-> Mögliche Korrektur von Messungen mit Bestandstauchhülsen

Aufgabenstellung:

Finite-Elemente Analyse (FEA) bzw. Simulation für die Einflussgrößen auf die Wärmeableitung

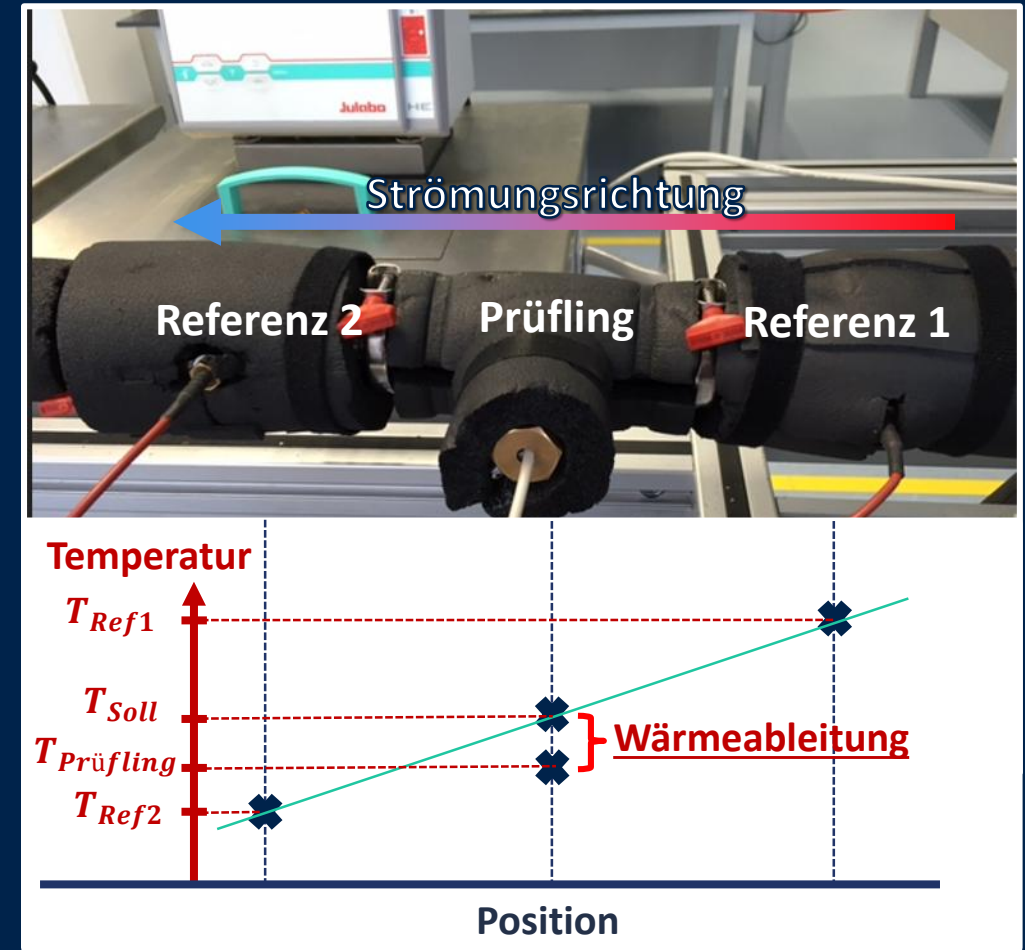
- **Durchfluss, Mediums-Temperatur** und **Tauchhülsenpassung**
- **Einbausituationen** für Simulation: Bestandstauchhülse mit Temperaturfühler

2. Aufbau Modell / Randbedingungen

- Dienstleistung Prüflabor bei JUMO um Anforderungen aus DIN EN 1434 an Temperaturmessung zu prüfen
- **Allgemein:** Rohrsystem mit definiertem Volumendurchfluss (Medium Wasser) und vorgegebener Temperatur
 - Temperaturmessung vor und hinter Prüfling

Bestimmung Wärmeableitung:

- Differenz Prüfling zu Mittelwert (aus T_{Ref1} und T_{Ref2})



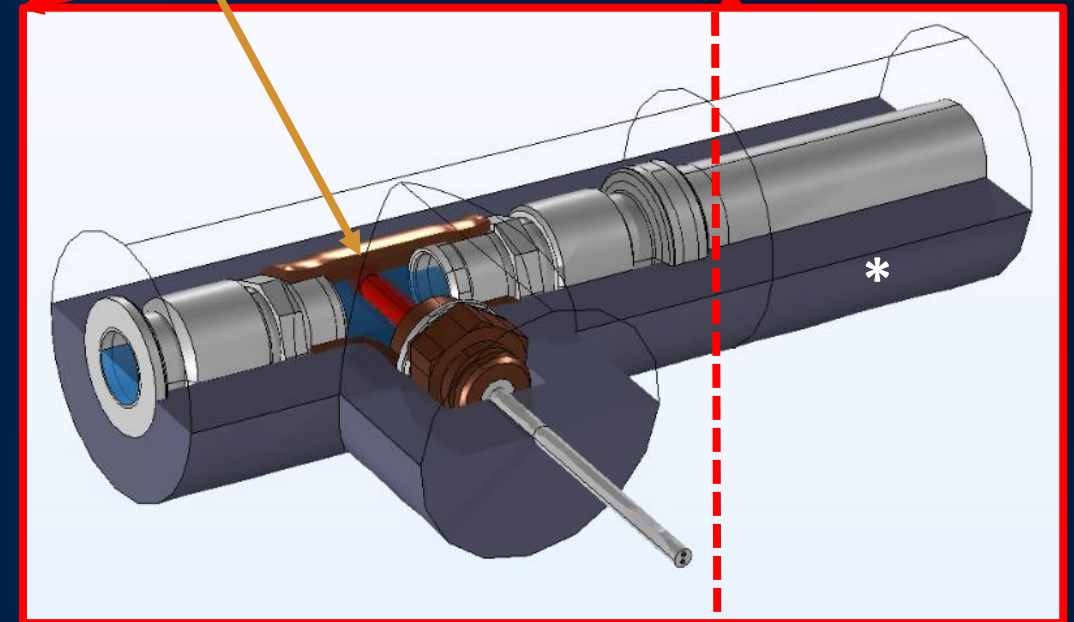
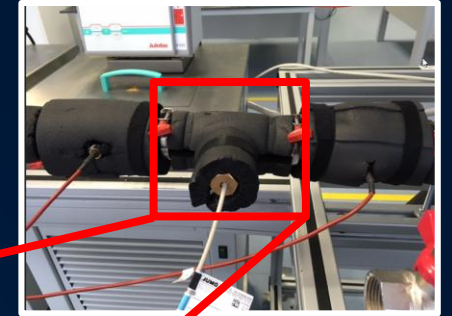
2. Aufbau Modell / Randbedingungen

Modell für Simulation:

- Nenndurchmesser DN 16
- Gesamtlänge Messstrecke L= 215 mm
- Thermische Dämmung 17 mm
- Ohne Referenzfühler
- Verlängerter Einlassbereich*

Bestimmung Wärmeableitung :

- Differenz Prüfling zu maximaler Temperatur im Querschnitt



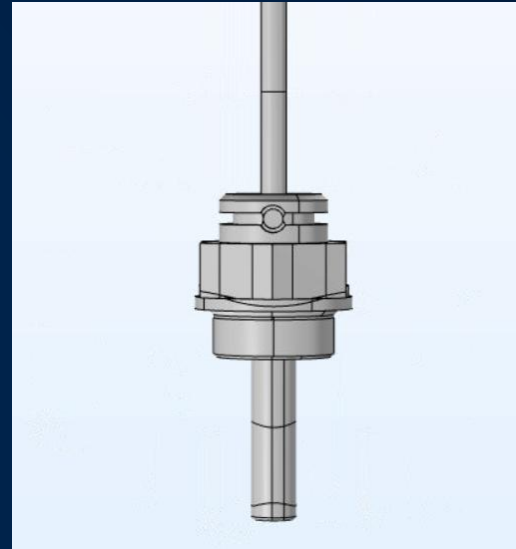
2. Aufbau Modell / Randbedingungen

Bestands-Tauchhülse „TH004“:

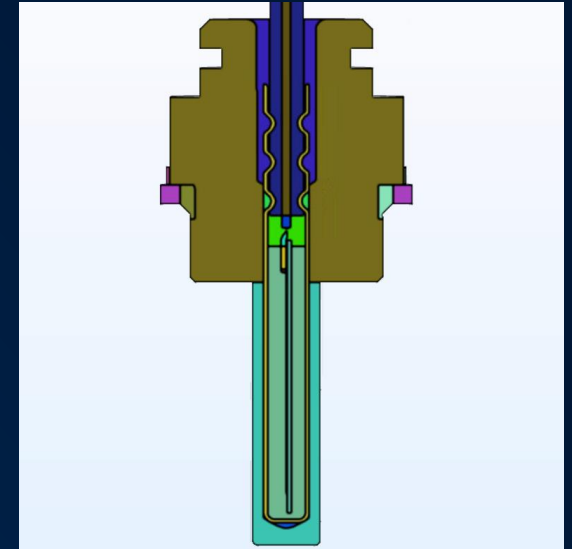
- Passung von Schutzrohr und Hülse
(min. 10 μm / max. 100 μm)
- Für Direktmessung ist Tauchhülse ohne Wand
angefertigt („Adapter“)



Simulationen für zwei Geometrien
(Direkteinbau und mit Tauchhülse)



Querschnitt



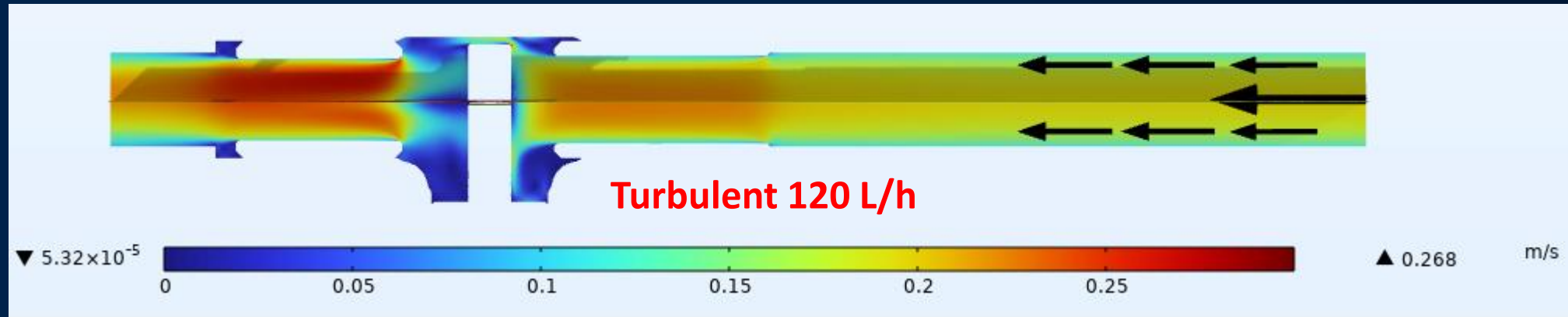
Simulation: „To do“- Liste

- I. **Simulation des Wärmeableitfehlers für genannte Kombinationen in Tauchhülse T004 mit T-Stück**
- II. **Simulation des Wärmeableitfehlers im „direkten Einbau“ (TH004 ohne Wand) mit T-Stück**
- III. **Validierung Simulation mit einzelnen Messergebnissen**
- IV. **Einflussfaktoren Medien-Temperatur [50, 65, 85] °C**
- V. **Einflussfaktoren Tauchhülsenpassung (min, max)**

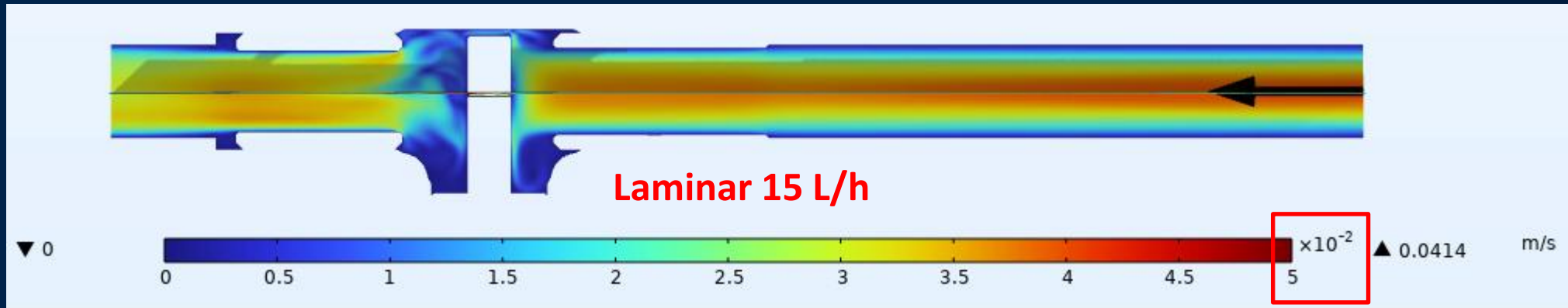
3. Simulation: Machbarkeit und Validierung

Ergebnisse für Beispiel „ 65°C max. Spalt in Tauchhülse TH004 , 120 L/h u. 15 L/h“

Stationäre Lösung Strömungsprofil (Querschnitt)

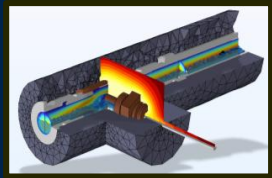


Hinweis: Skalierung verschieden !

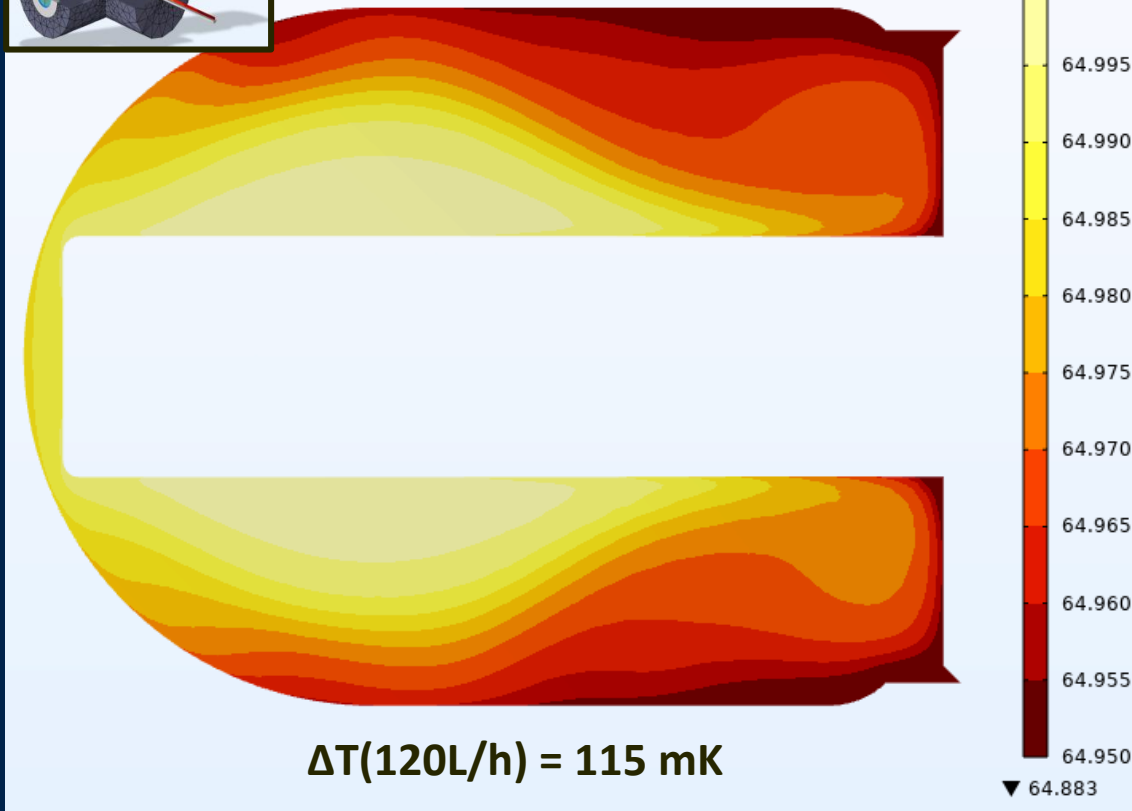


3. Simulation: Machbarkeit und Validierung

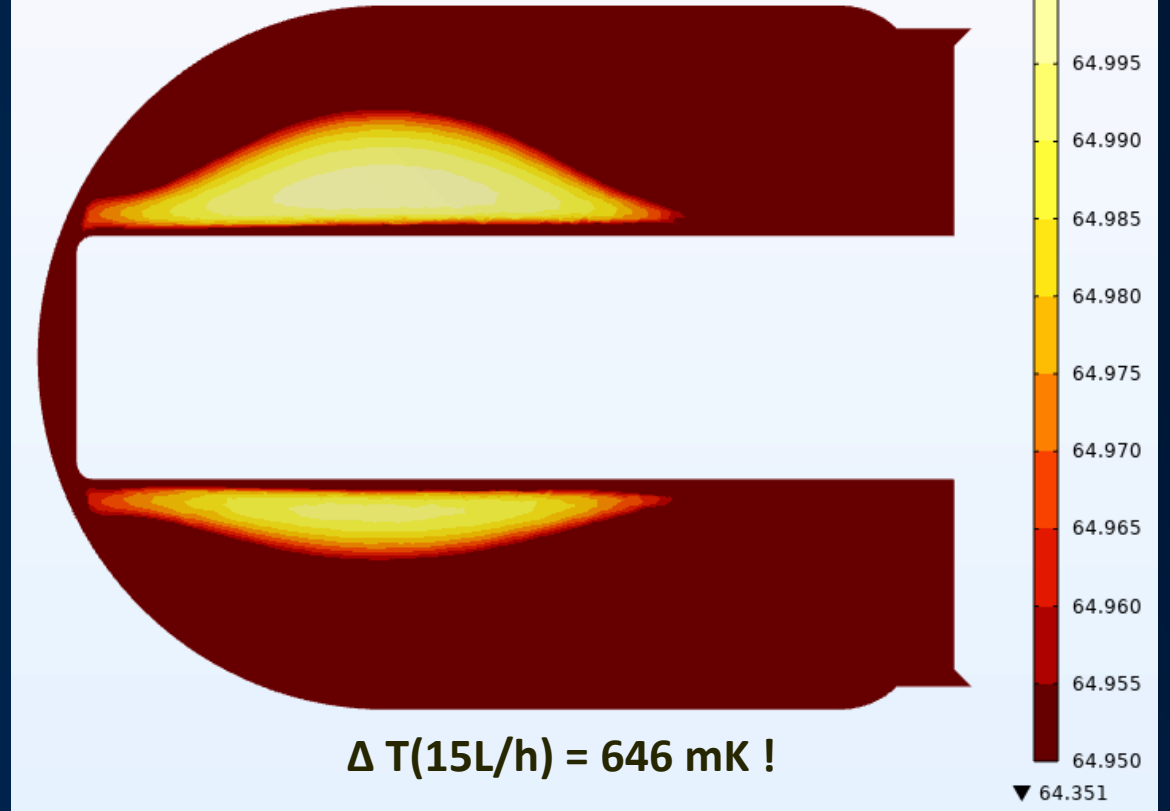
Ergebnisse Querschnitt Temperaturverteilung an Tauchhülse



Turbulent 120 L/h

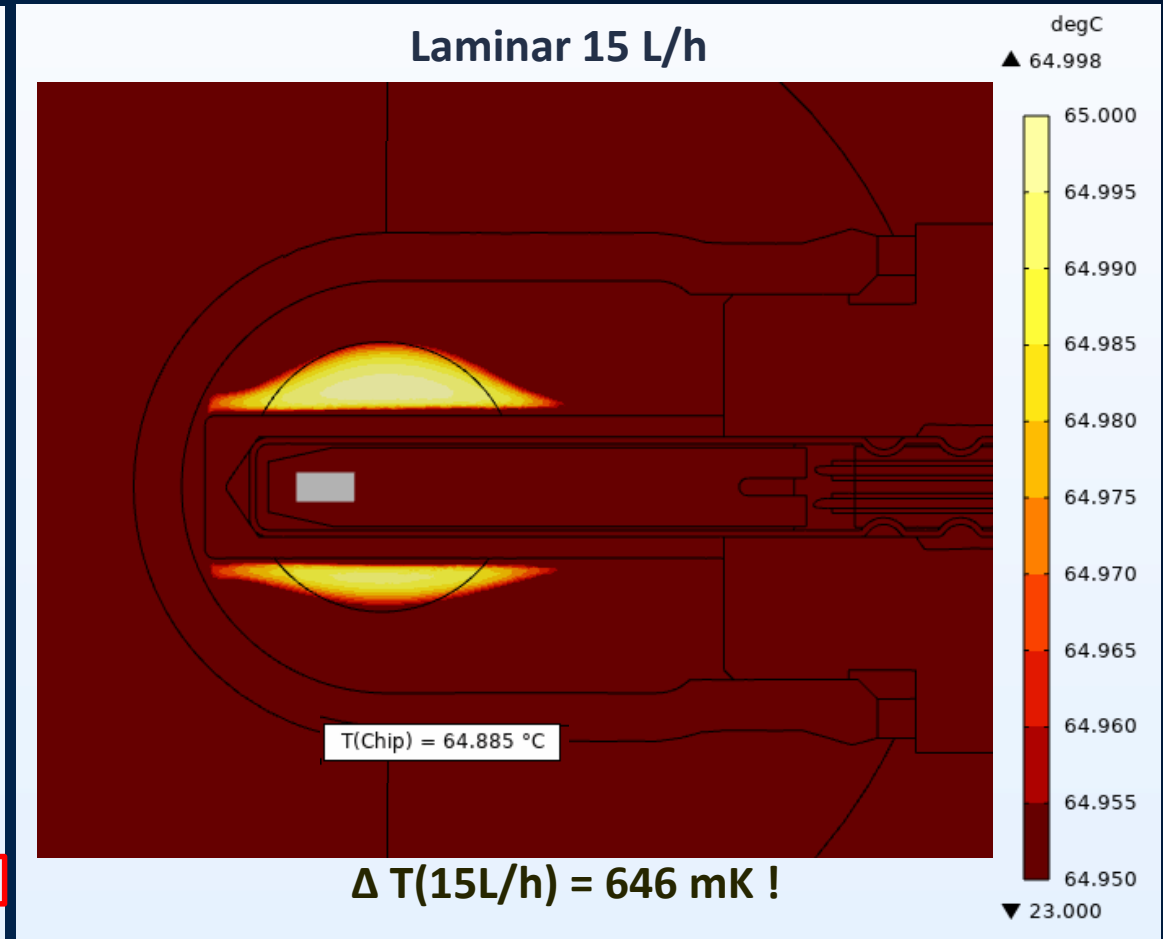
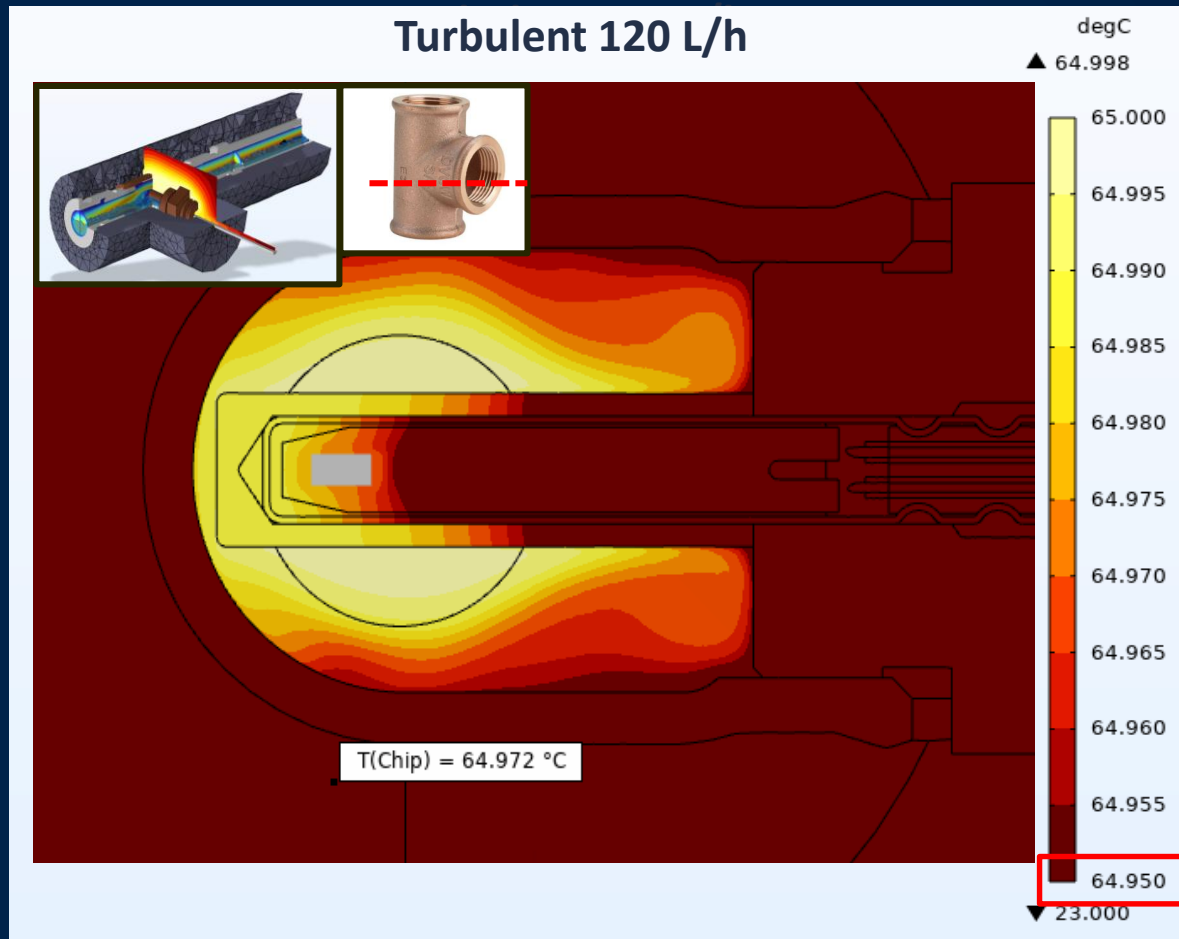


Laminar 15 L/h



Frage: Was ist die zu messende Temperatur des Mediums im T-Stück?

3. Simulation: Machbarkeit und Validierung Ergebnisse Querschnitt Temperaturverteilung an Tauchhülse



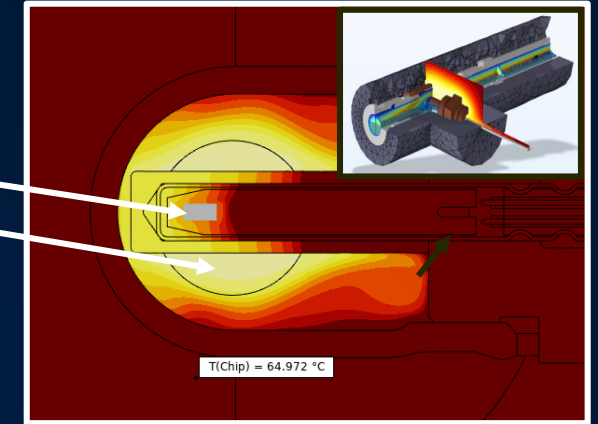
- Bei 15 L/h sind Tauchhülse und Fühler um mehr als 50 mK kühler als das Medium

3. Simulation: Machbarkeit und Validierung

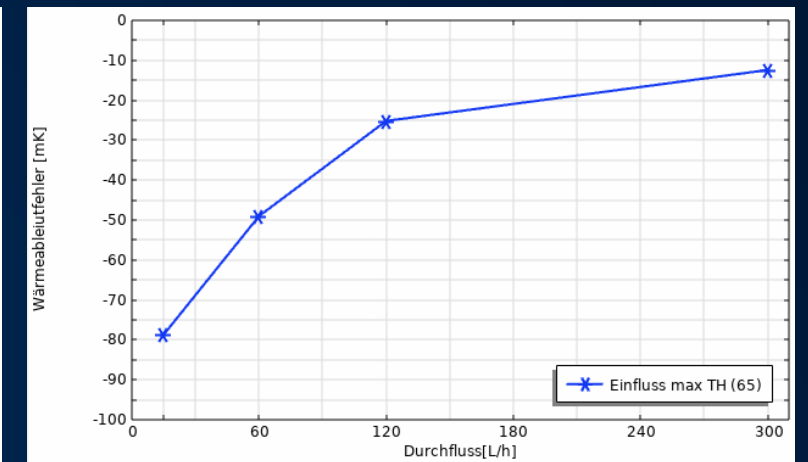
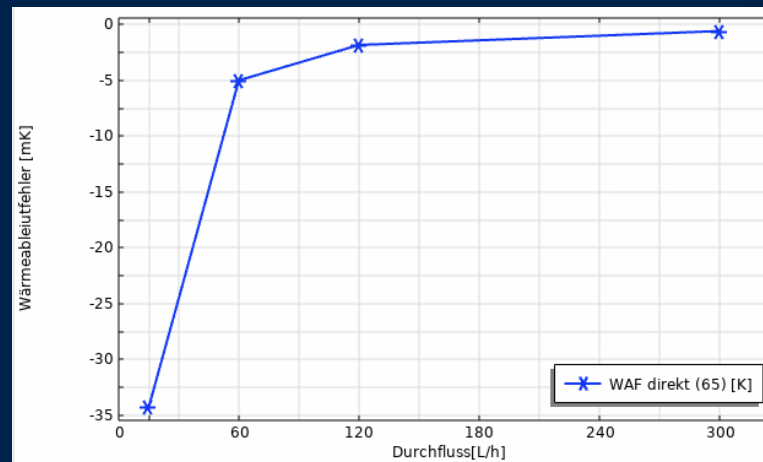
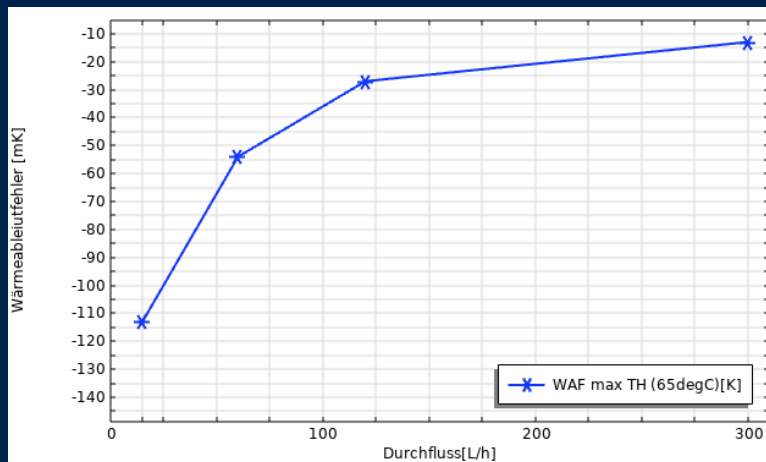
Simulierte Wärmeableitung

- Anderer Ansatz zur Bestimmung der Wärmeableitung in Simulation im Vergleich zur Labor-Messung

Differenz Prüfling
zu maximaler Temperatur
im Querschnitt



Wärmeableitung(Tauchhülle) - Wärmeableitung(direkt bzw. ohne Wand) = Einfluss Tauchhülle



Simulation: „To do“- Liste



I. Wärmeableitfehler für genannte Kombinationen in Tauchhülse T004 mit T-Stück



II. Wärmeableitfehler im „direkten Einbau“ (TH004 ohne Wand) mit T-Stück

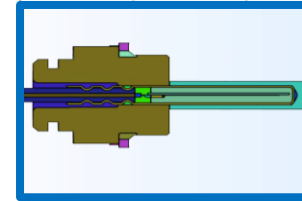
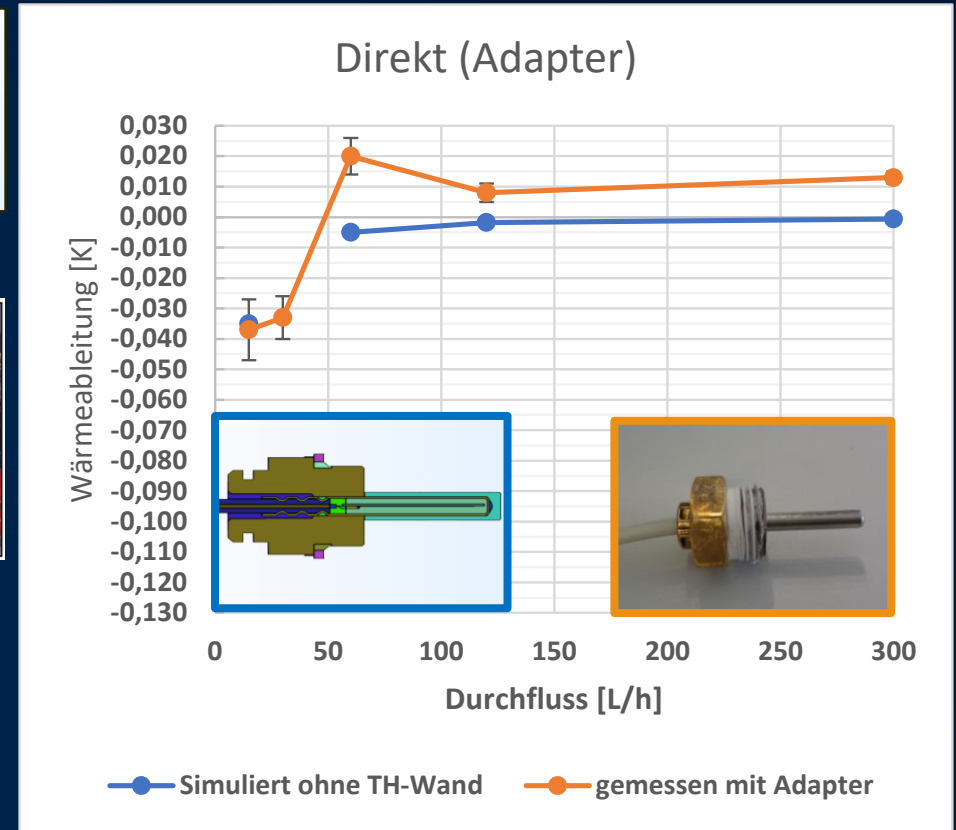
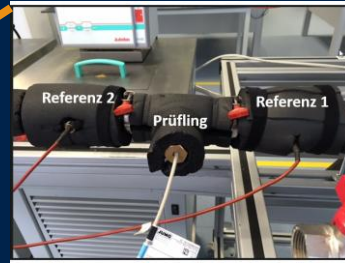
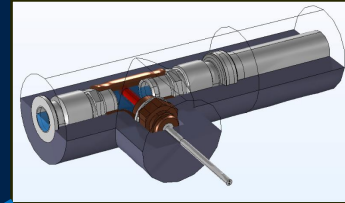
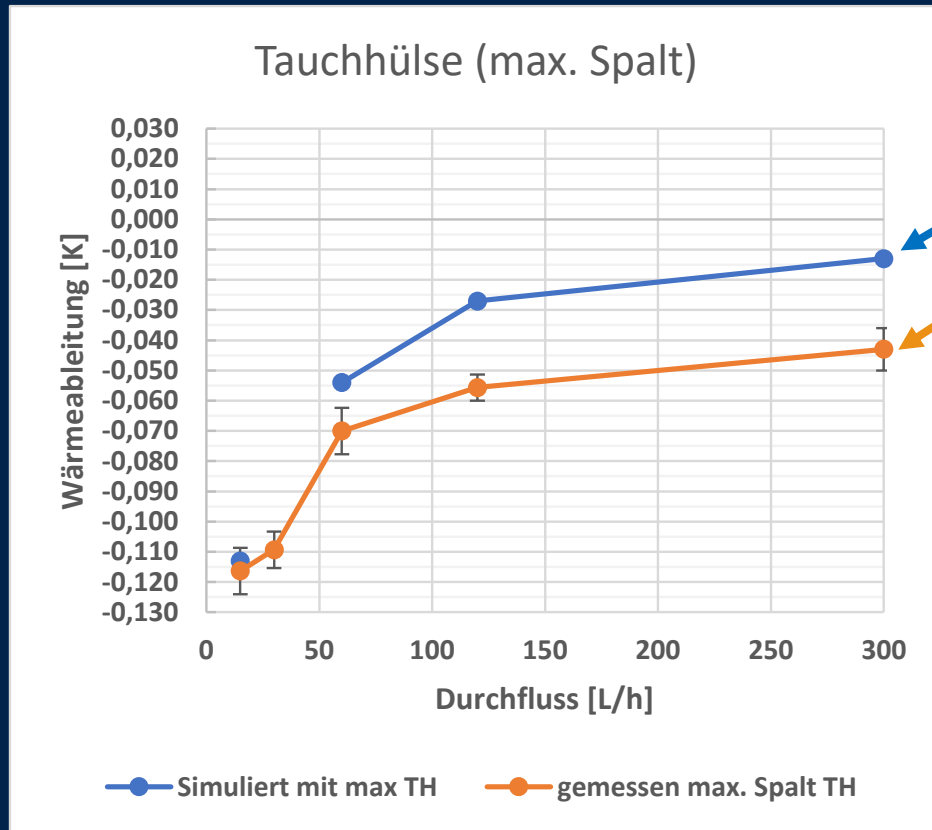
III. Validierung Simulation mit einzelnen Messergebnissen

IV. Einflussfaktoren Medien-Temperatur [50, 65, 85] °C

V. Einflussfaktoren Tauchhülsenpassung (min, max)

3. Simulation: Machbarkeit und Validierung

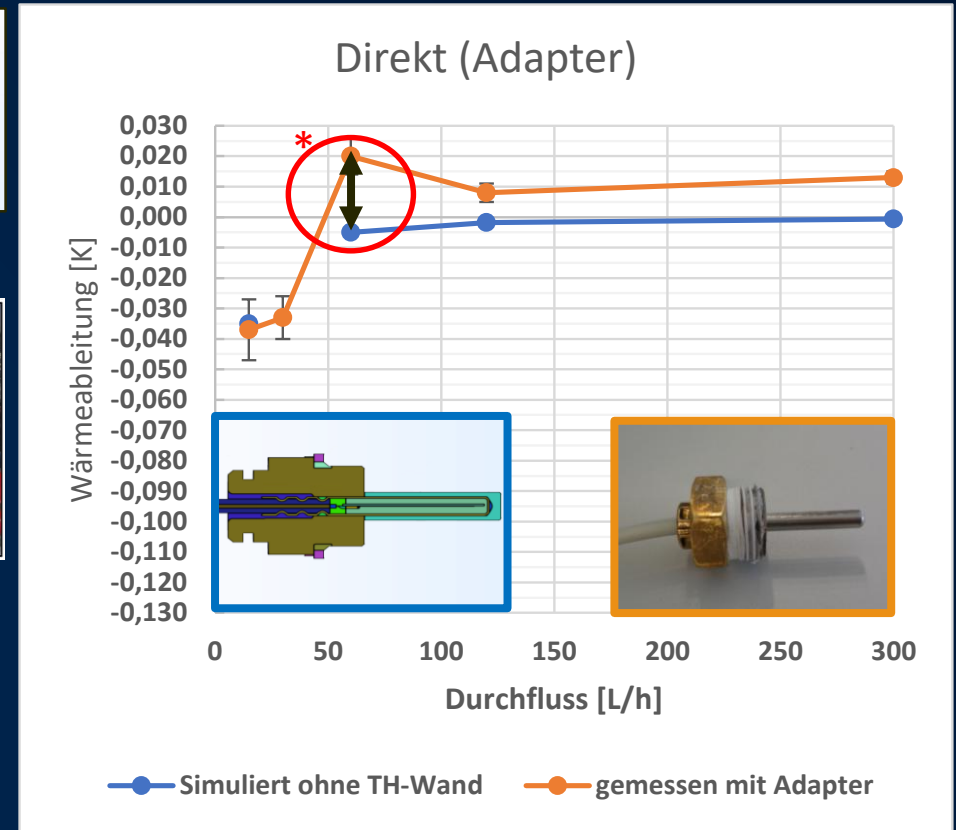
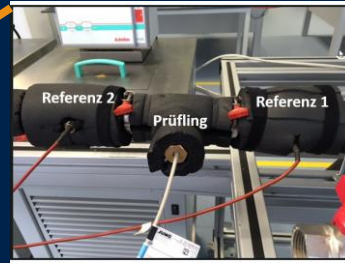
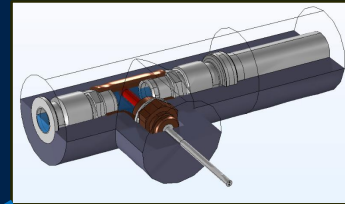
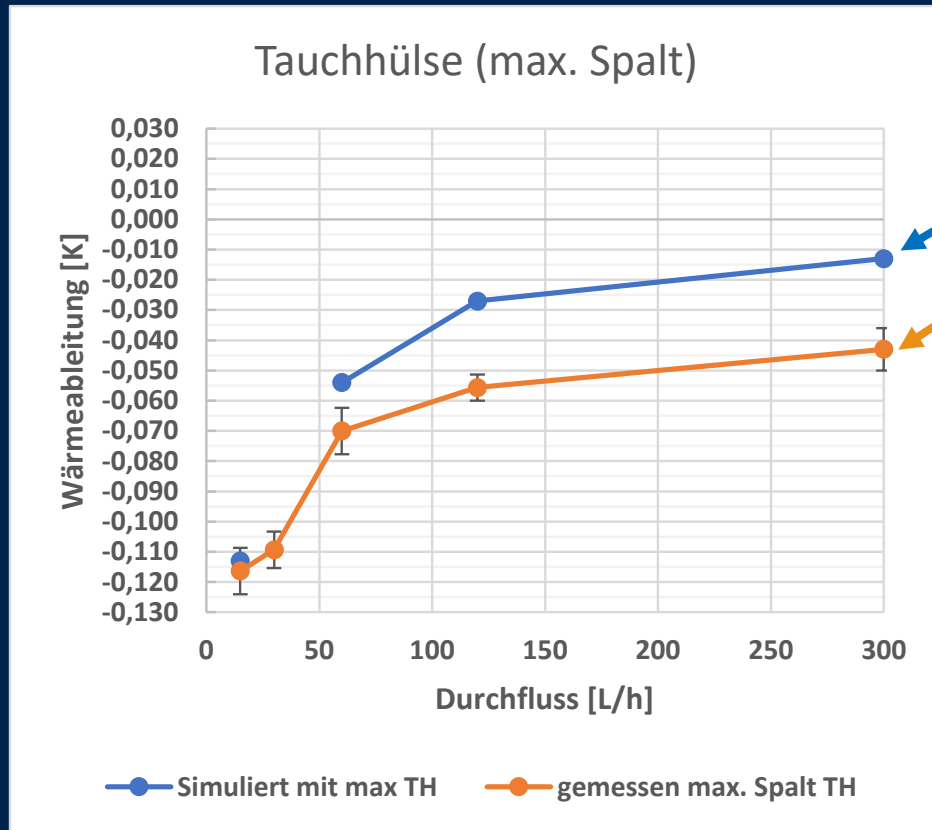
Validierung mit Messung Wärmeableitung für 65°C max. Spalt, [15; 60; 120; 300] L/h



- **Messwert:** Unterschied Prüflingstemperatur zu gemittelte Referenztemperatur
- **Simulationswert:** Unterschied Chip-Temperatur zu max. Temperatur vor Hülse im Medium

3. Simulation: Machbarkeit und Validierung

Validierung mit Messung Wärmeableitung für 65°C max. Spalt, [15; 60; 120; 300] L/h

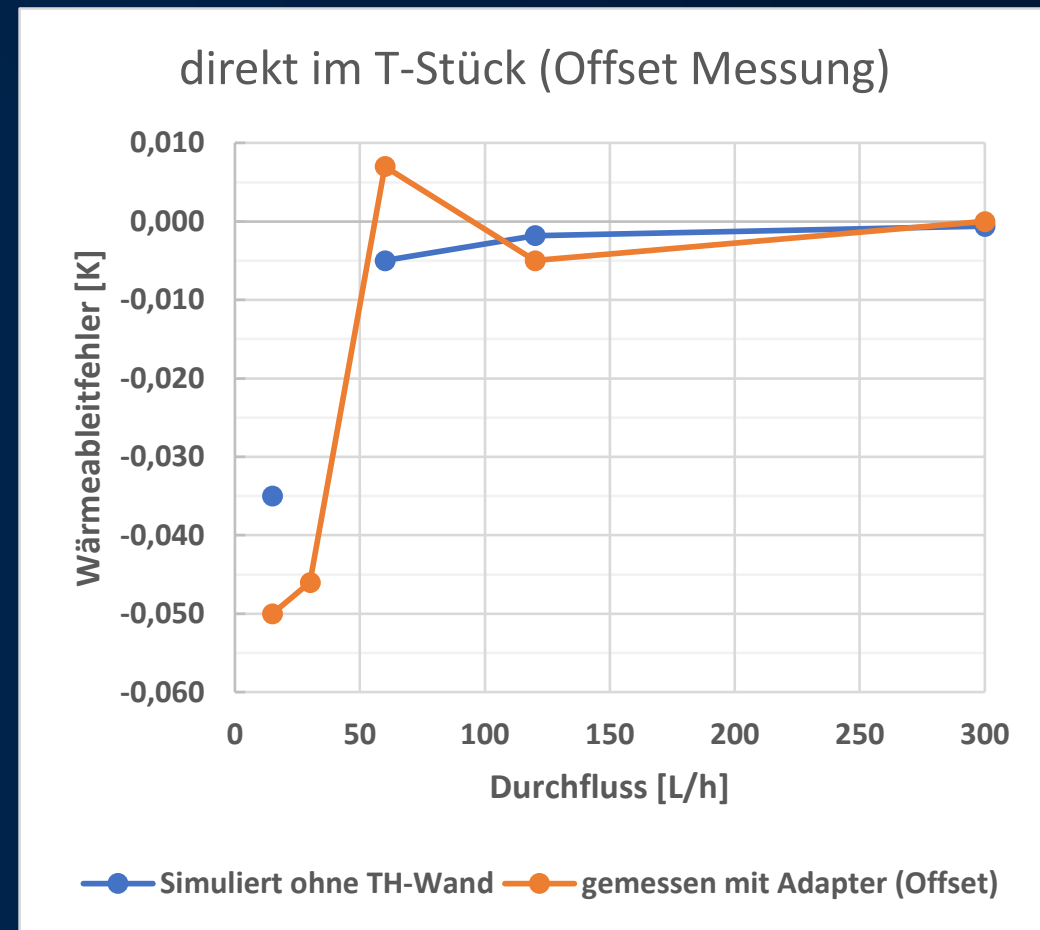


- Zunehmende Schichtung bei direkter Messung bei 60 L/h*
- Größenordnung und Gleichlauf von **Simulationswerten** plausibel zu Messwerten ✓

3. Simulation: Machbarkeit und Validierung

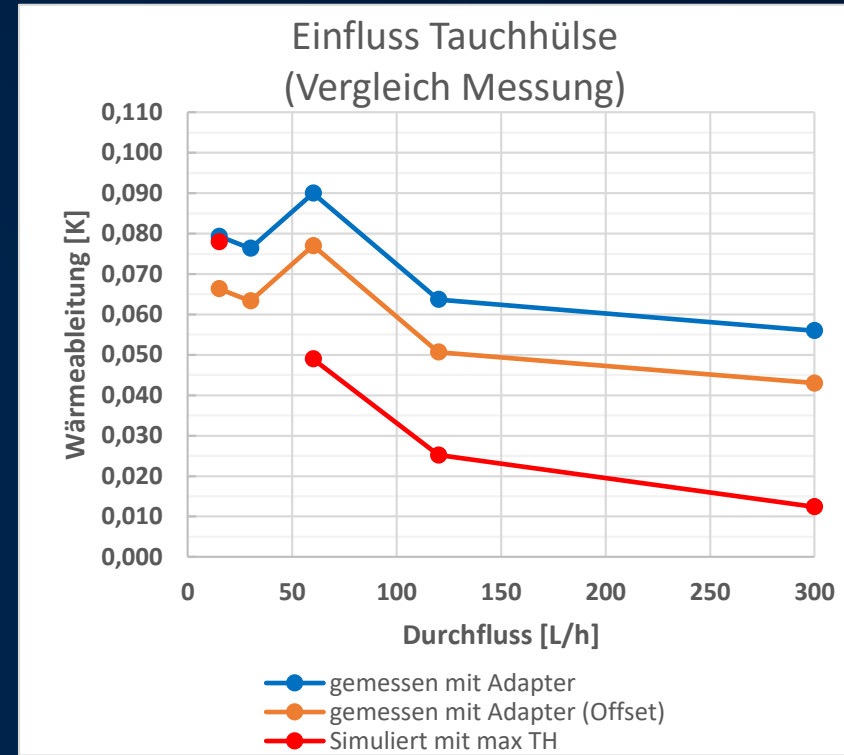
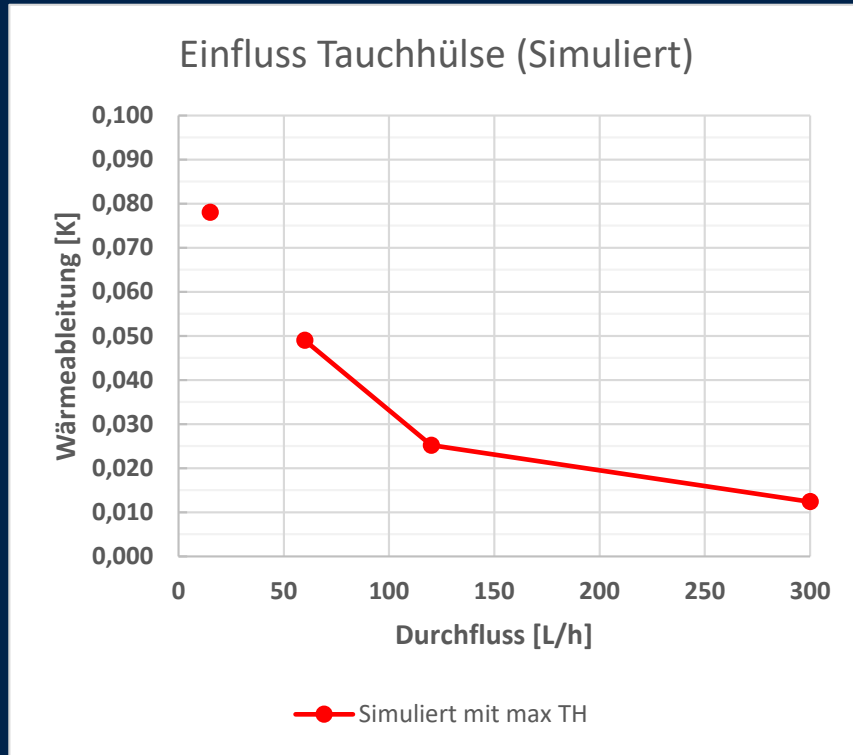
Validierung mit Messung Wärmeableitung für 65°C max. Spalt, [15; 60; 120; 300] L/h

- Annahme, dass gemessene Wärmeableitung bei 300 L/h gleich Null sein sollte
- Korrektur aller Messwerte um Differenz bzw. „Offset“ bei 300 L/h



3. Simulation: Machbarkeit und Validierung

Validierung mit Messung Wärmeableitung für 65°C max. Spalt, [15; 60; 120; 300] L/h



- Simulation „unterschätzt“ Einfluss der Tauchhülse im turbulenten Bereich (Simulation in Tauchhülse „zu gut“)
- Verlauf und laminare Simulation des Einflusses in guter Übereinstimmung

Simulation: „To do“- Liste



I. Wärmeableitfehler für genannte Kombinationen in Tauchhülse T004 mit T-Stück



II. Wärmeableitfehler im „direkten Einbau“ (TH004 ohne Wand) mit T-Stück



III. Validierung Simulation mit einzelnen Messergebnissen

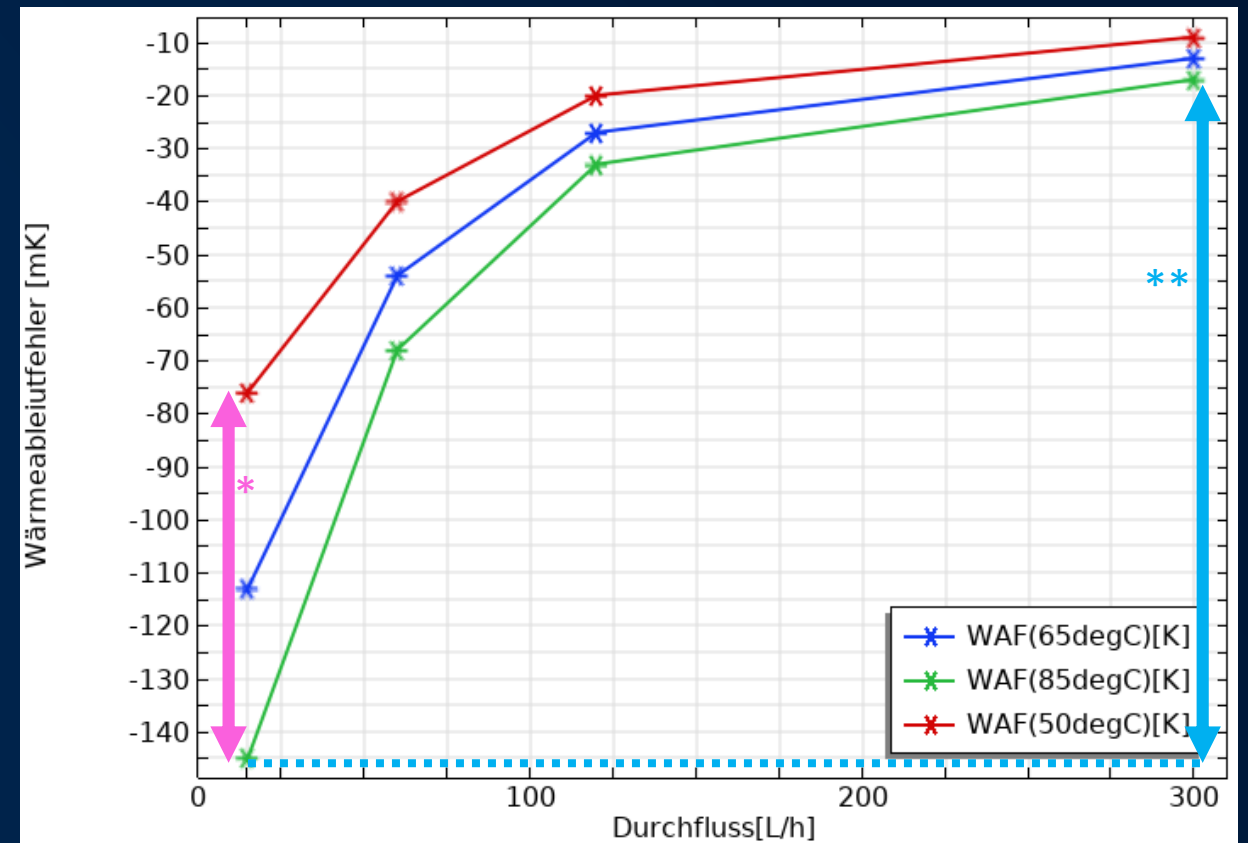
IV. Einflussfaktoren Medien-Temperatur [50, 65, 85] °C

V. Einflussfaktoren Tauchhülsenpassung (min, max)

4. Simulation: Variationen

Wärmeableitfehler für verschiedene Medientemperaturen (TH 004)

- Wärmeableitung für 3 Medientemperaturen und 5 Volumenströme in Tauchhülse
- Änderung Wärmeableitung (WAF) für verschiedene Temperaturen:
 $\Delta WAF @ 15L/h (50^\circ-85^\circ) \approx 70 \text{ mK} *$
- Vergleiche Größenordnung Durchflusseinfluss:
 $\Delta WAF @ 85^\circ ([300-15] \text{ L/h}) \approx 120 \text{ mK} **$
- Wärmeableitung für 50°C am geringsten und 85°C am größten
 - Wärmeableitung wird bei 50 °C unterschätzt !**

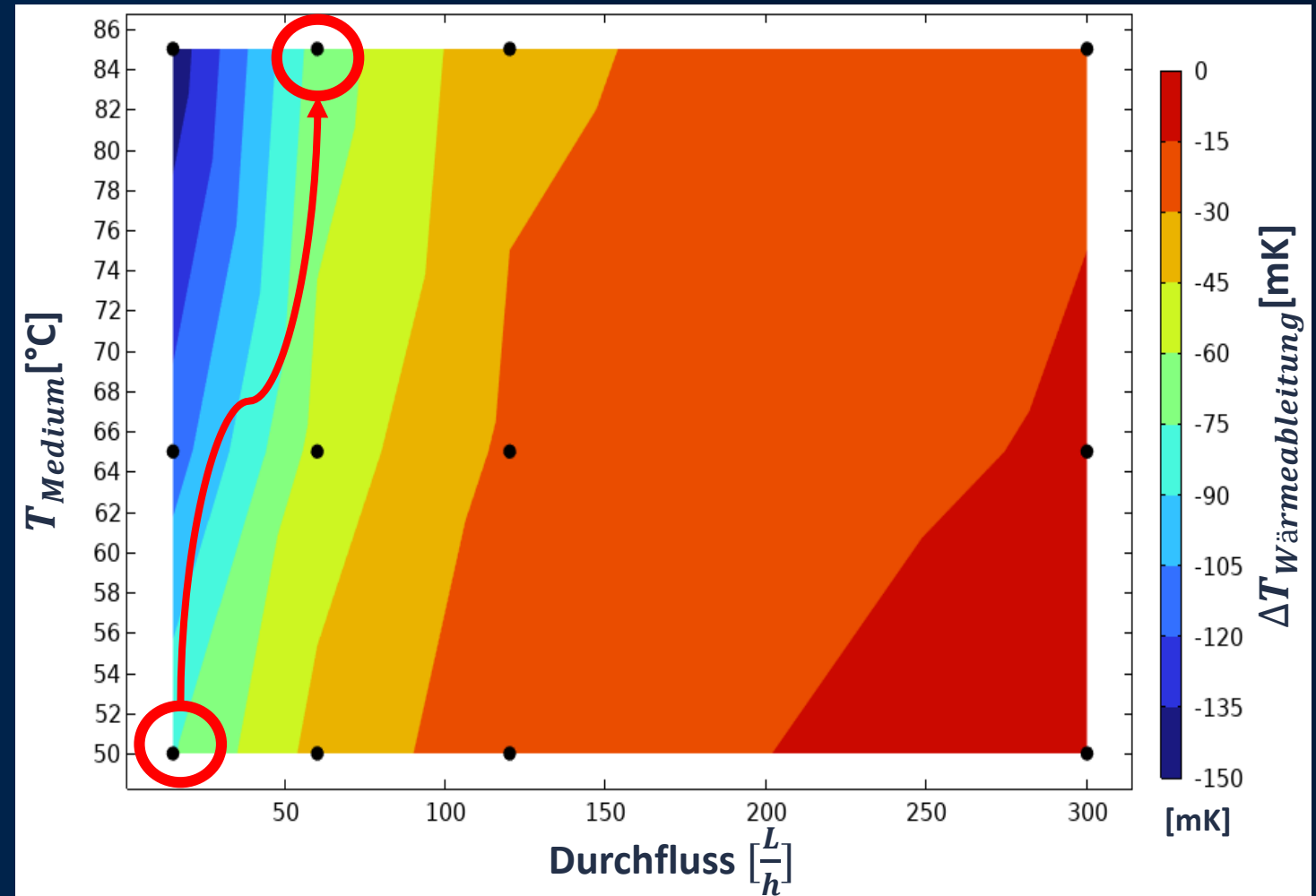


4. Simulation: Variationen Wärmeableitfehler für verschiedene Medientemperaturen (TH 004)

- Darstellung Wärmeableitfehler über Konturdarstellung
- Simulationswert an schwarzen Punkte bzw. Eckpunkten Netz (dazwischen Interpoliert)
- Einfluss Durchflussrate > Einfluss Temperatur Medium

Beispiel:

- $WAF(50^{\circ}\text{C}; 15 \text{ L/h}) \approx WAF(85^{\circ}\text{C}; 60 \text{ L/h})$



Simulation: „To do“- Liste



I. Wärmeableitfehler für genannte Kombinationen in Tauchhülse T004 mit T-Stück



II. Wärmeableitfehler im „direkten Einbau“ (TH004 ohne Wand) mit T-Stück



III. Validierung Simulation mit einzelnen Messergebnissen



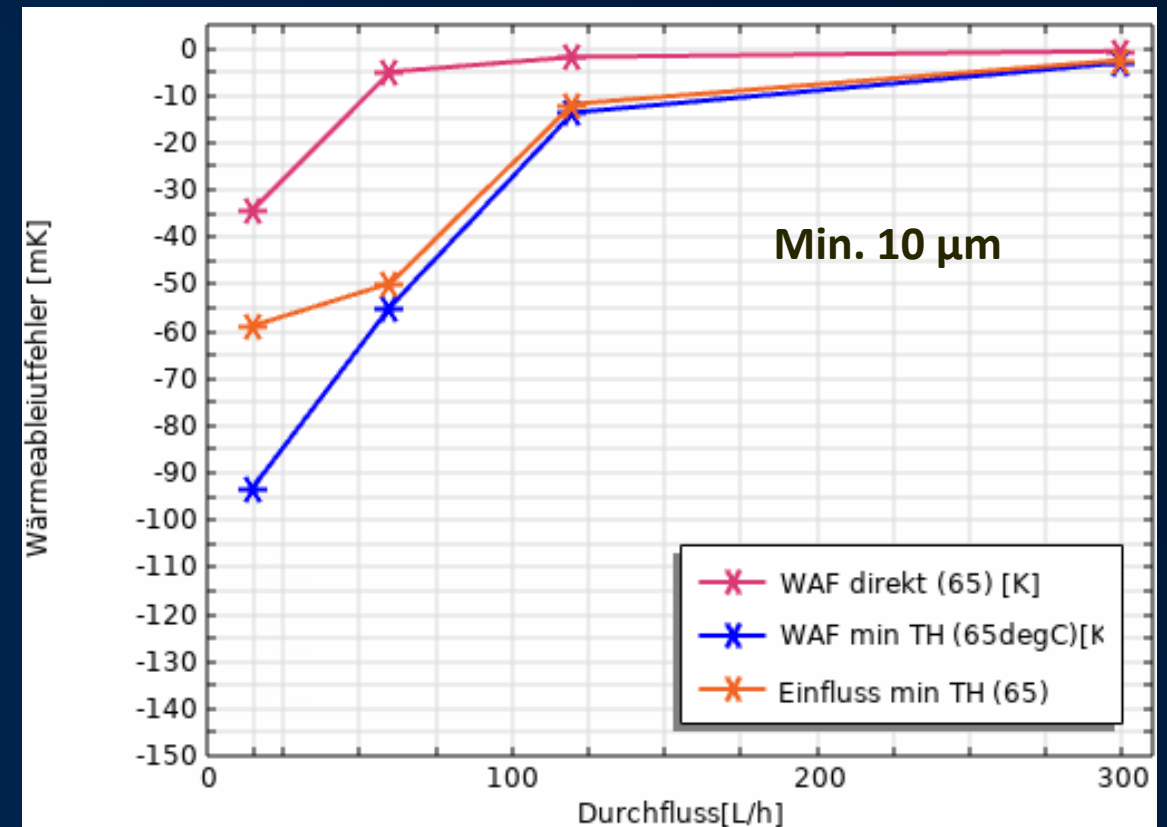
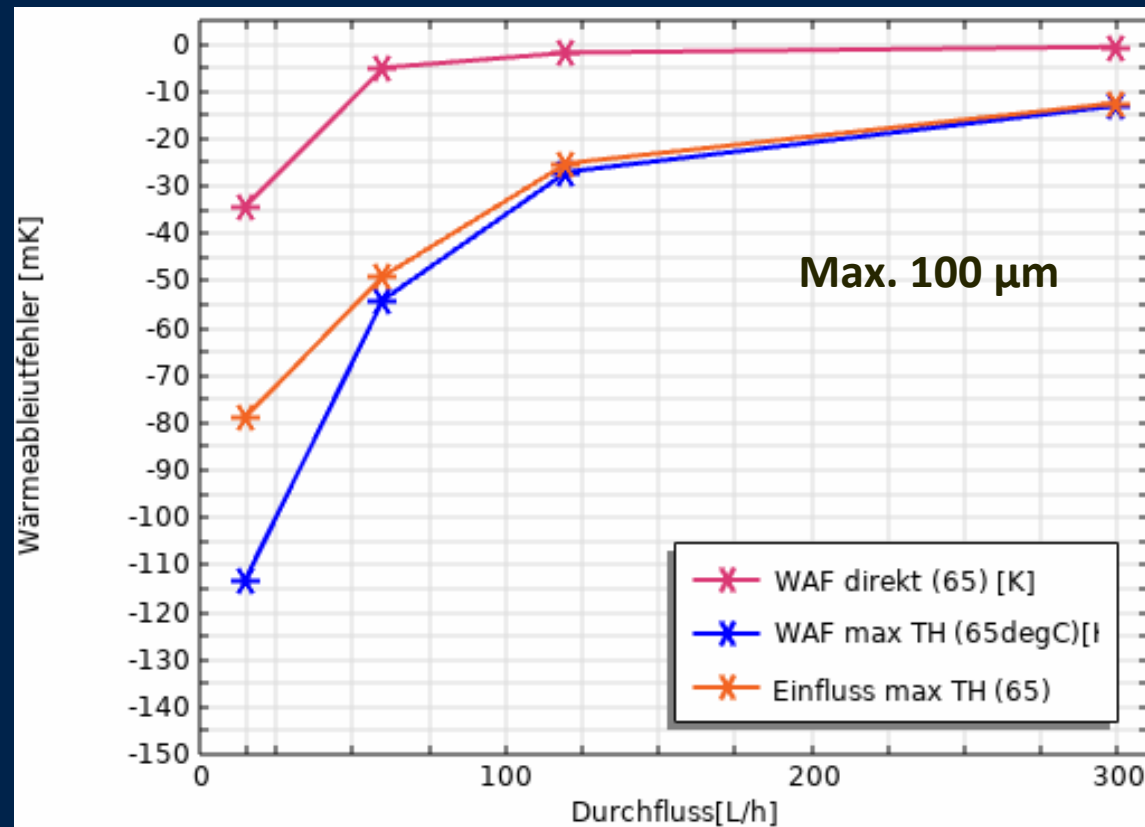
IV. Einflussfaktoren Medien-Temperatur [50, 65, 85] °C

V. Einflussfaktoren Tauchhülsenpassung (min, max)

4. Simulation: Variationen

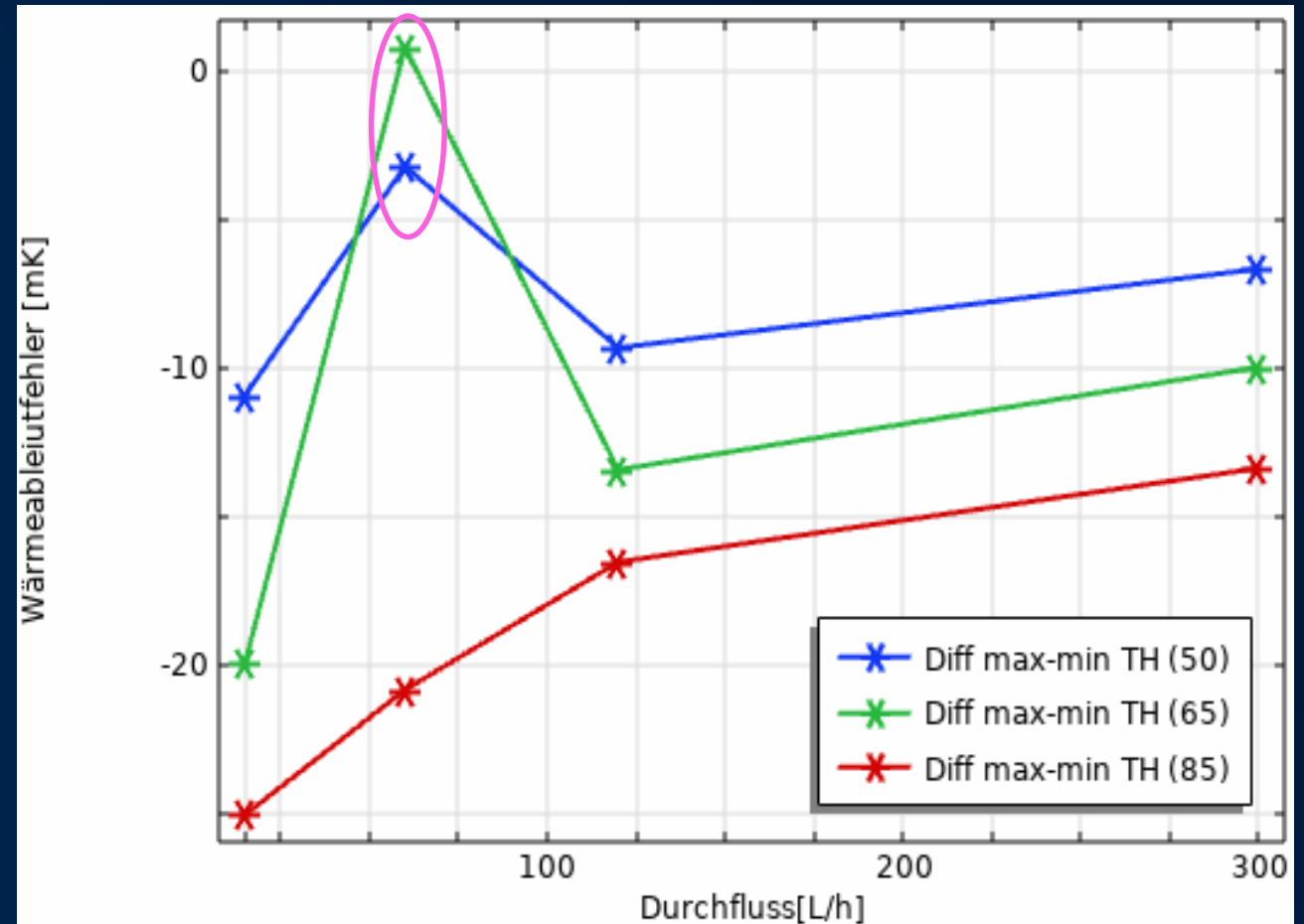
Wärmeableitfehler verschiedene Spaltmaße (Beispiel: 65°C)

- Simulation mit minimalem Spaltmaß ohne erneuter Berechnung der Strömung
- **Wärmeableitung bei minimalem Spaltmaß um ca. 20 mK geringer**



4. Simulation: Variationen Spaltmaß (Fehler Max TH – Fehler Min TH)

- Darstellung der Differenz des Wärmeableitfehlers zwischen min./max. Spaltmaß für 50°C; 65°C; 85°C
- Stetiger Trend über Durchflussbereich
- „Sprung“ nahe Übergangsbereich bei 60 L/h für 65°C und 50°C (siehe vorherige Folie)



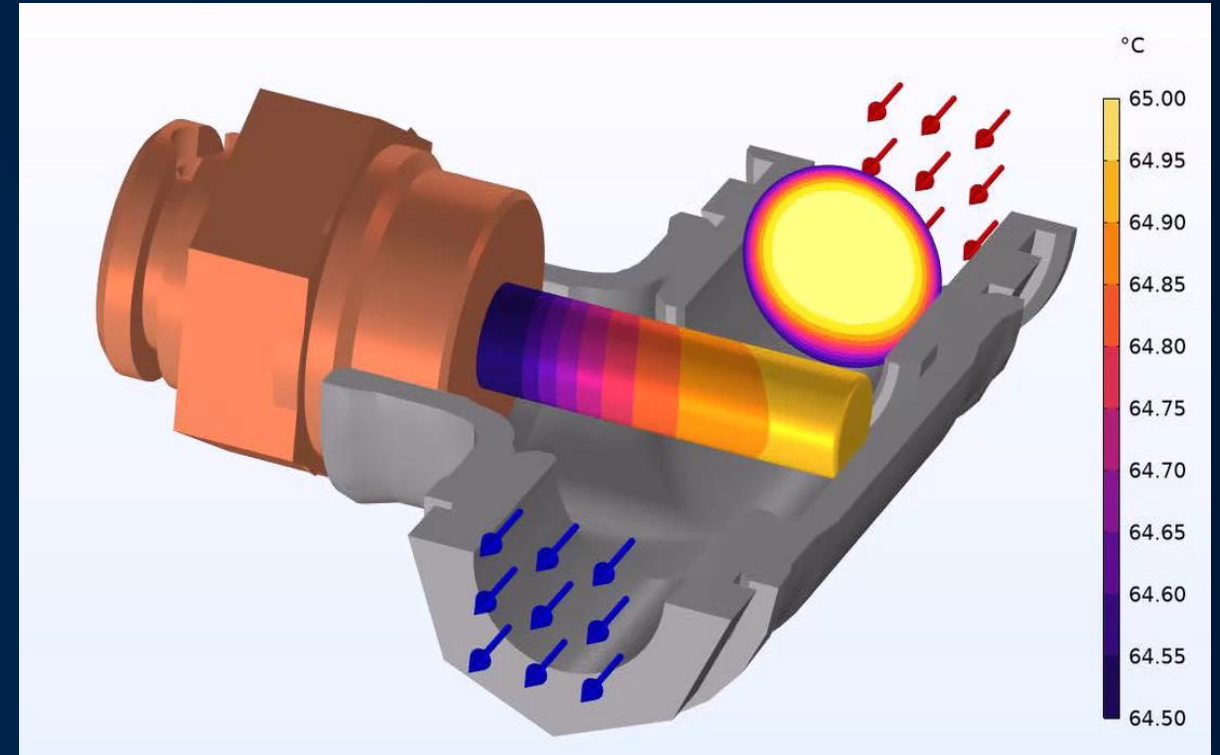
Simulation: „To do“- Liste

-  I. Wärmeableitfehler für genannte Kombinationen in Tauchhülse T004 mit T-Stück
-  II. Wärmeableitfehler im „direkten Einbau“ (TH004 ohne Wand) mit T-Stück
-  III. Validierung Simulation mit einzelnen Messergebnissen
-  IV. Einflussfaktoren Medien-Temperatur [50, 65, 85] °C
-  V. Einflussfaktoren Tauchhülsenpassung (min, max)

5. Fazit

Aufgabe: Quantifizierung der Einflussfaktoren auf Wärmeableitung

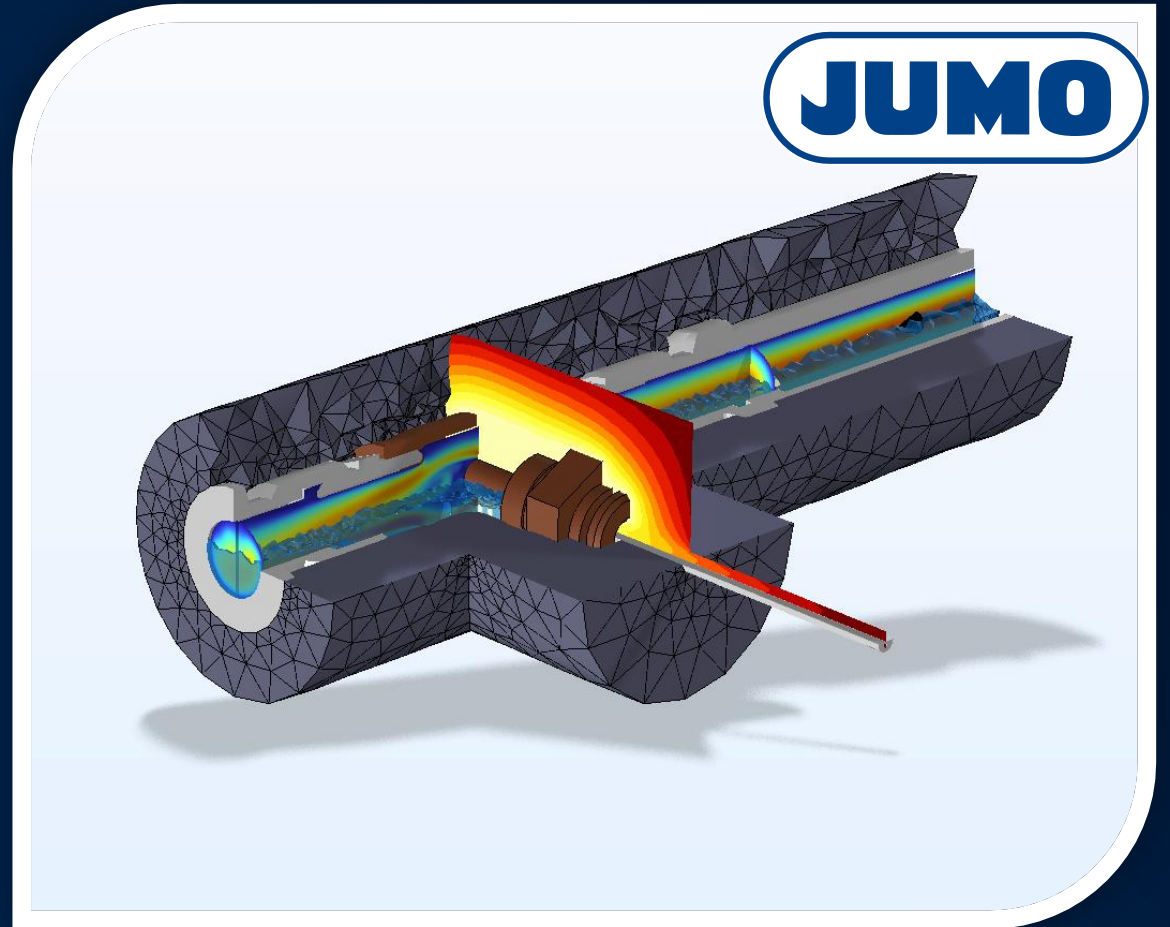
- ✓ Nachbildung der Messung durch FEA möglich
- ✓ Validierung an 65°C
- ✓ Gute Modellierung der Einbausituation (viele Materialien)
- ✓ Tieferes physikalisches Verständnis (Temperatur an schwer zugänglichen Geometrien)
- ✓ Schnelle Variation von Einflussgrößen wie Spaltmaß
- ✓ **Unterstützung von Herstellern bei metrologischen Fragenstellungen durch JUMO**



5. Fazit Ausblick

- Neue Simulation mit aktuellen Erkenntnissen
- Simulation und Messungen für weitere Einbausituationen
 - SPX Tauchhülse mit EL 92,5
 - EN1434 Tauchhülse mit EL 85mm

**Bessere Vergleichbarkeit von Messverfahren
und thermischen Messgeräten**



**Vielen Dank
für Ihr Interesse**

