

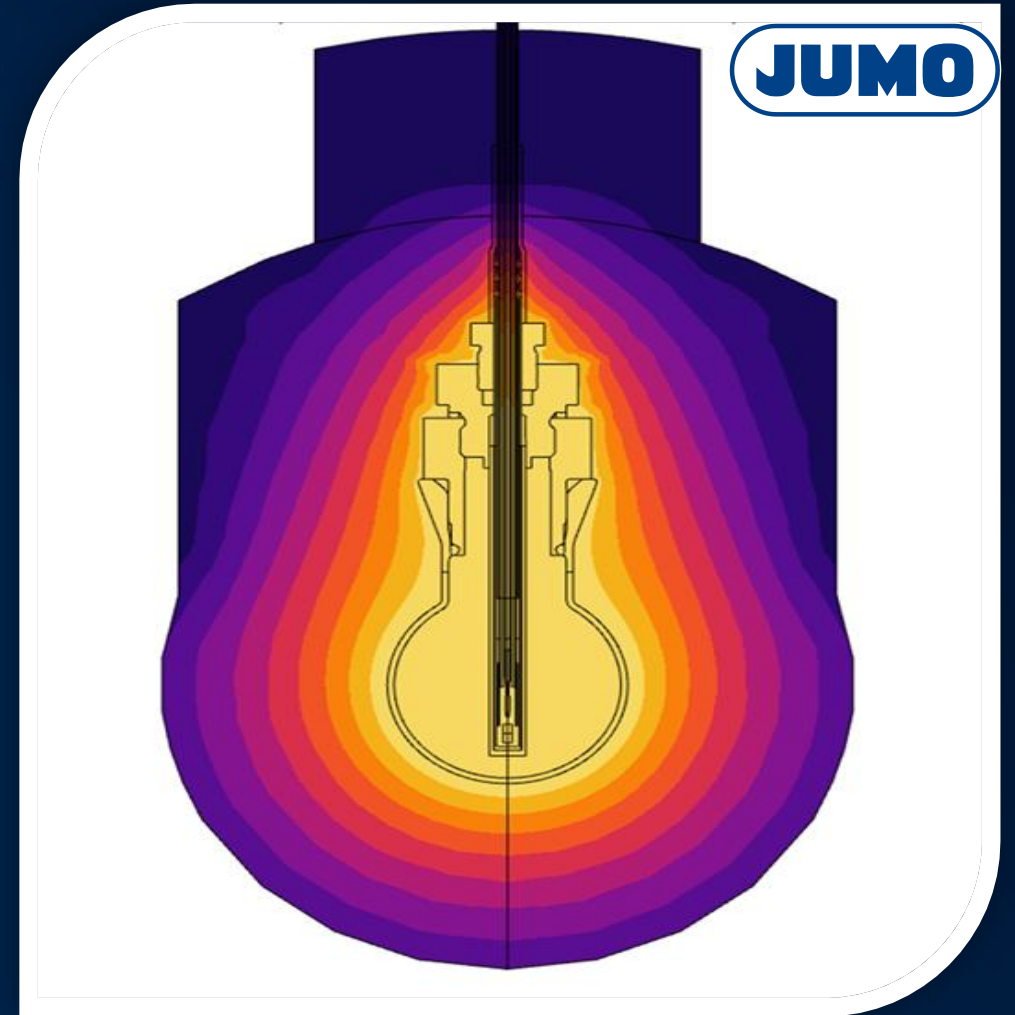


# Innovative Ansätze zur Verbesserung der Genauigkeit thermischer Energienmessung durch Simulation und Analyse der Einbaustellen (Update seit 2025)

---

Tobias Lapp  
Global Development Research & Testing  
Think Tank

2026-09-24

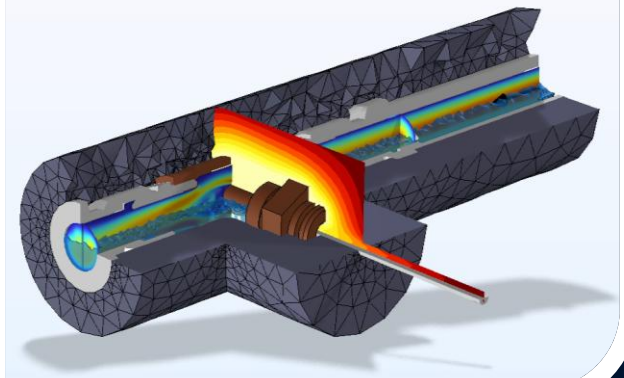


# 1. Einleitung

## Hintergrund:

- Temperaturmessung von Einstecktemperatur-Fühlern mit Tauchhülsen in Wasser-führenden Rohrsystemen
- Verwendung von kurzen Einstecktemperatur-Fühlern in Tauchhülsen problematisch
- Quantifizierung der Einflussfaktoren auf Wärmeableitung  
→ Simulation von zwei langen Tauchhülsen
- Im Rahmen eines Forschungsprojektes mit der PTB

EMATEM 2025 - kurze Tauchhülse



## Aufgabenstellung:

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

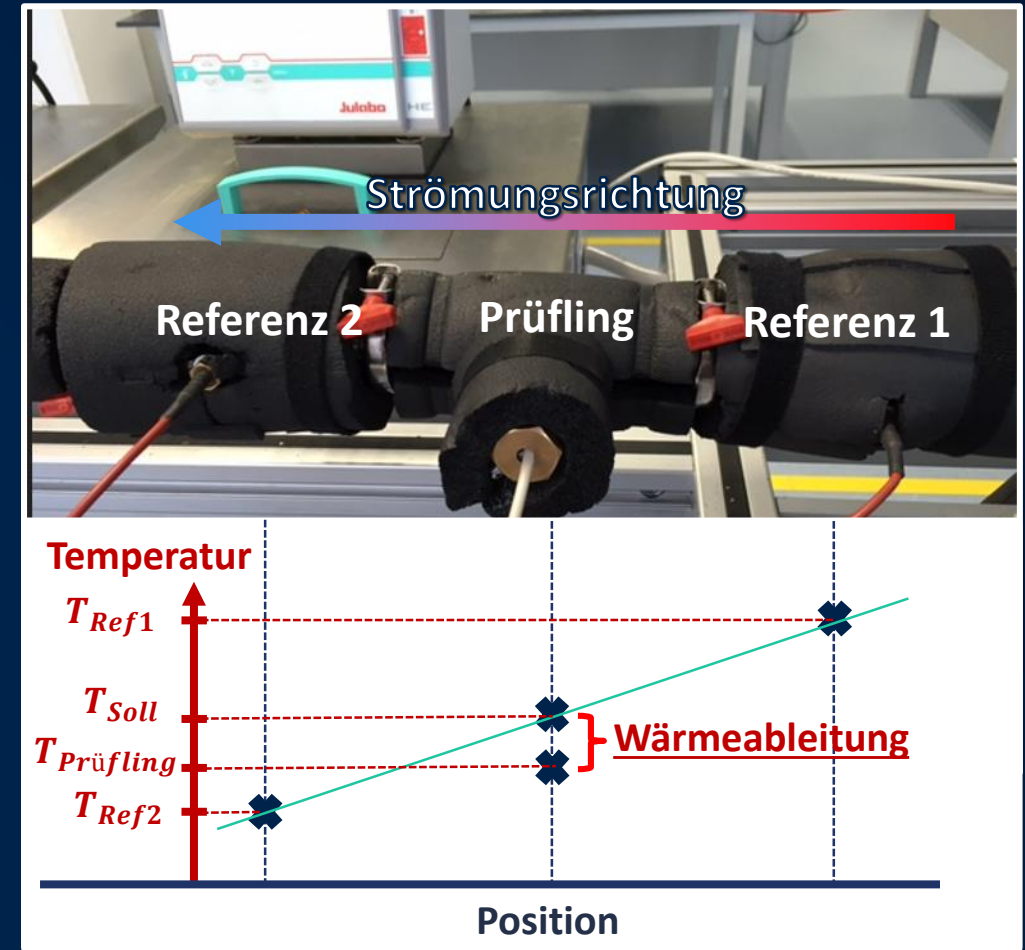
- **Durchfluss, Mediums-Temperatur**
- **Einbausituationen** für Simulation: Bestandstauchhülse mit Temperaturfühler

## 2. Aufbau Modell - Messprinzip

- 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

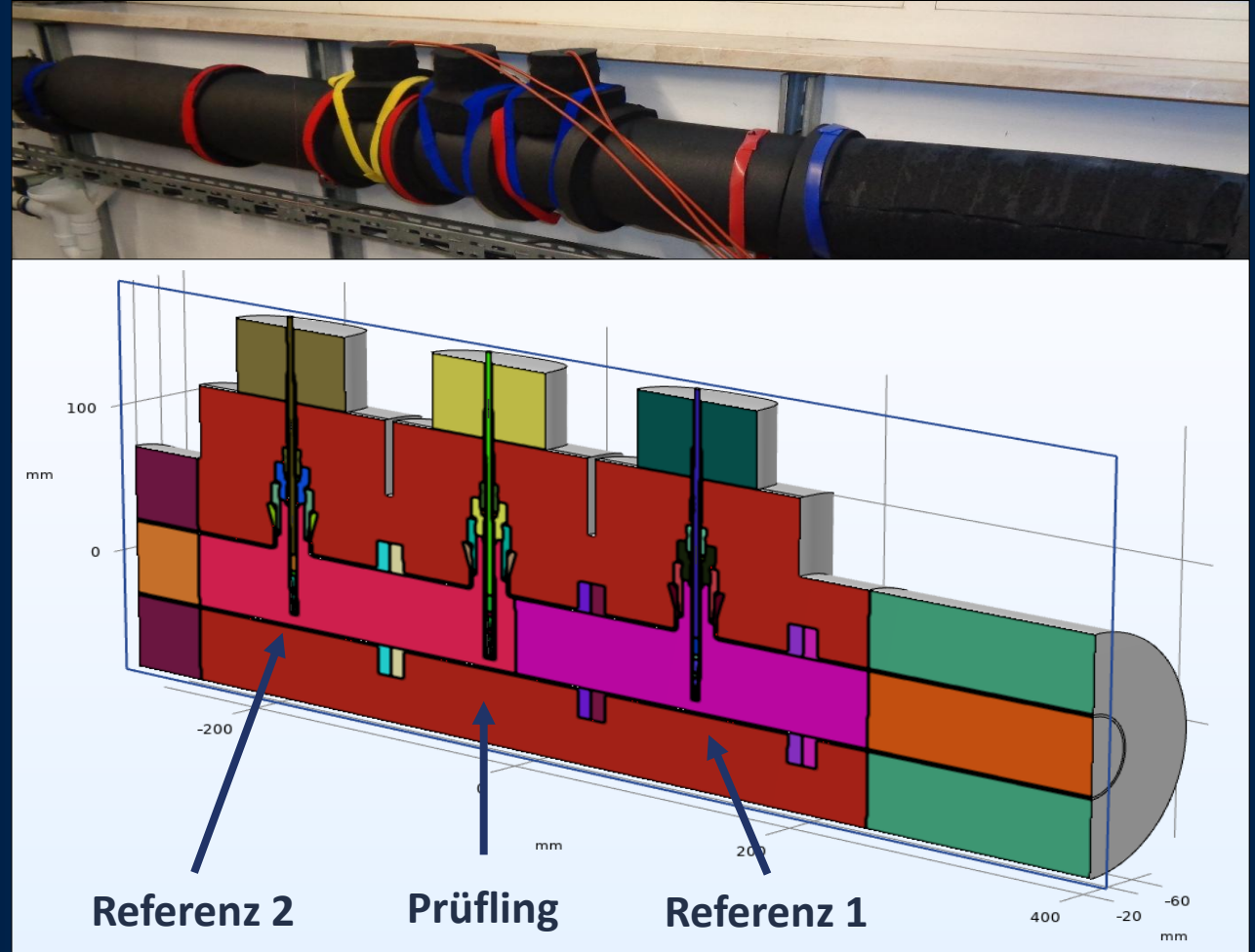
### Bestimmung Wärmeableitung:

- Differenz Prüfling zu Mittelwert (aus  $T_{Ref1}$  und  $T_{Ref2}$ ) „Methode A“



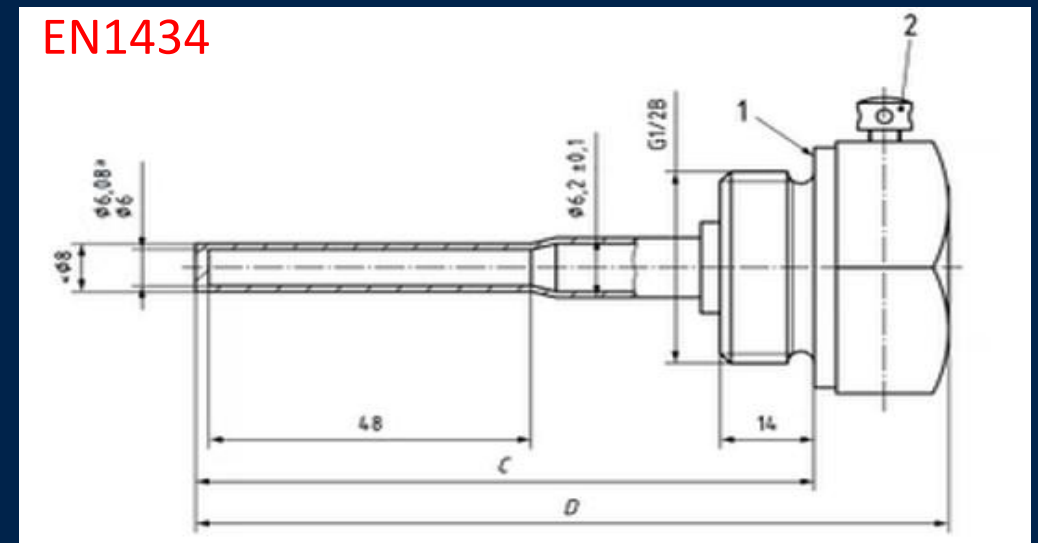
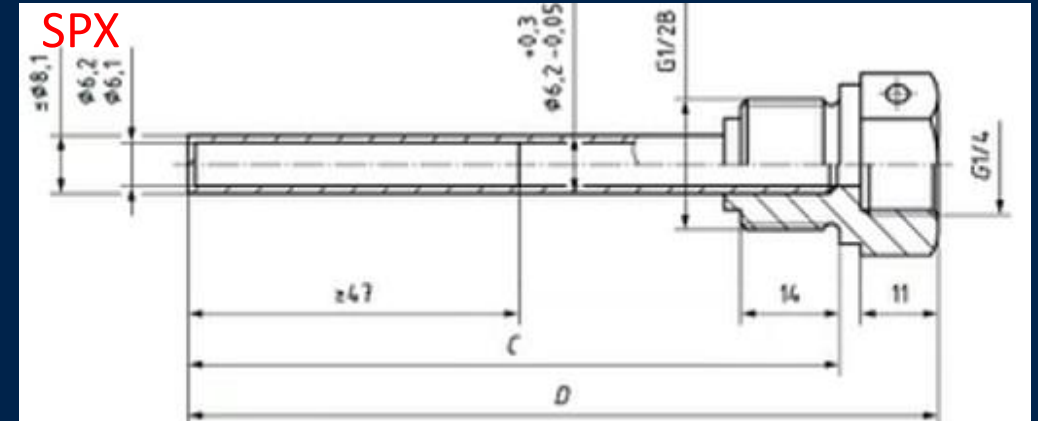
## 2. Aufbau Modell - Strömungskanal DN50

- Thermisch gedämmtes Rohrsystem (Materialstärke: 50mm)
- Messstrecke besteht aus drei Flansch-Verbindungen
- Messprinzip mit einem Prüfling und zwei Referenzen
- Vertikaler Einbau der Temperaturfühler
- Modellierung der halben Geometrie (Symmetrie)
- Stationäre Simulation



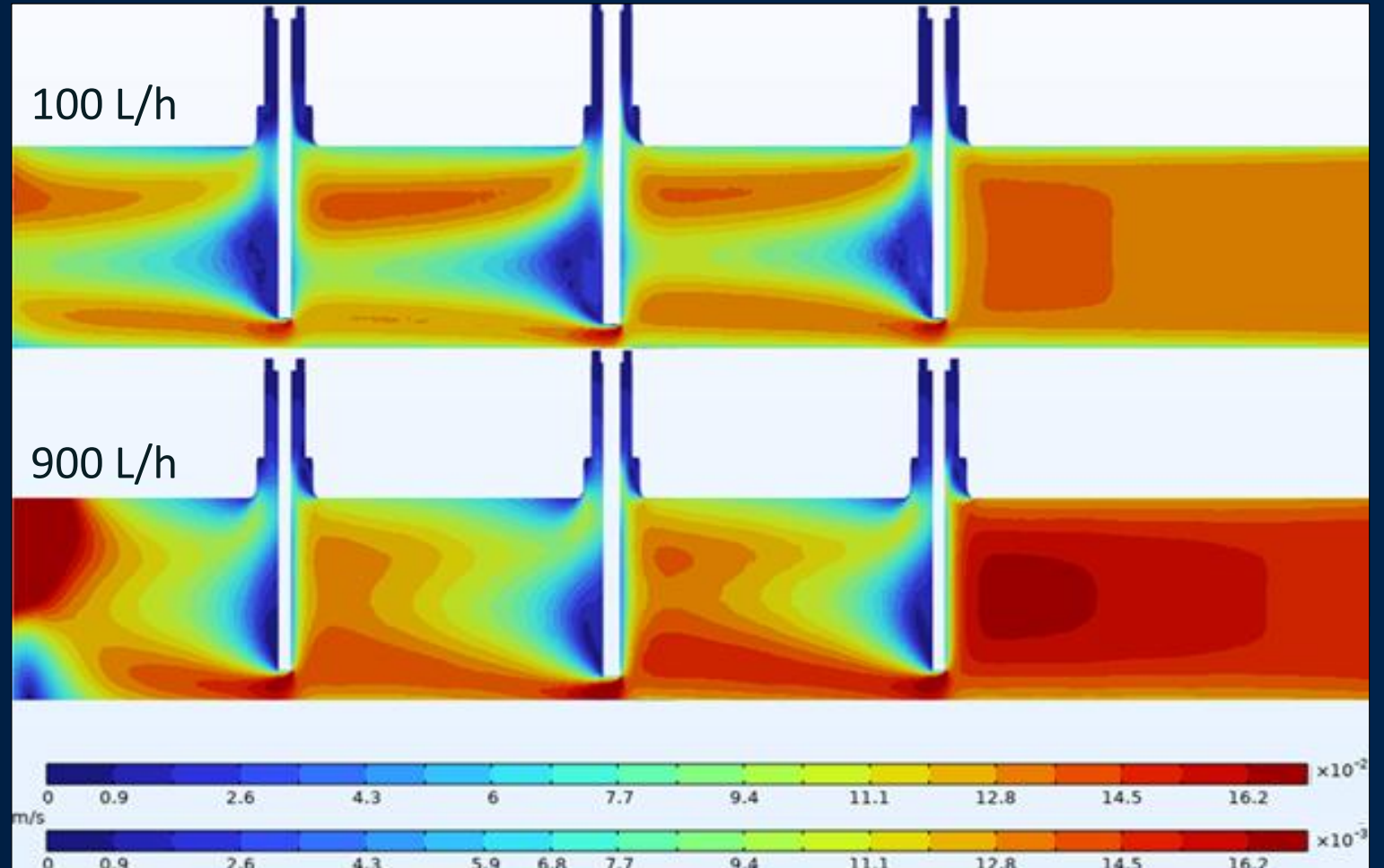
## 2. Aufbau Modell - Randbedingungen

- Bestimmung der Wärmeableitung für zwei lange Tauchhülsen (wie beschrieben in DIN EN 1434)
- Aufgabe:
  - Messung in Tauchhülse (da Fehler direkt zu gering)
  - Durchflüsse: [900; 375; 200; 100] L/h
  - Temperatur Medium: 55°C (Wasser)
- Aufgabenteil 1: „SPX“-Tauchhülse (EL = 93 mm)
- Aufgabenteil 2: „EN1434“-Tauchhülse (EL = 85 mm)



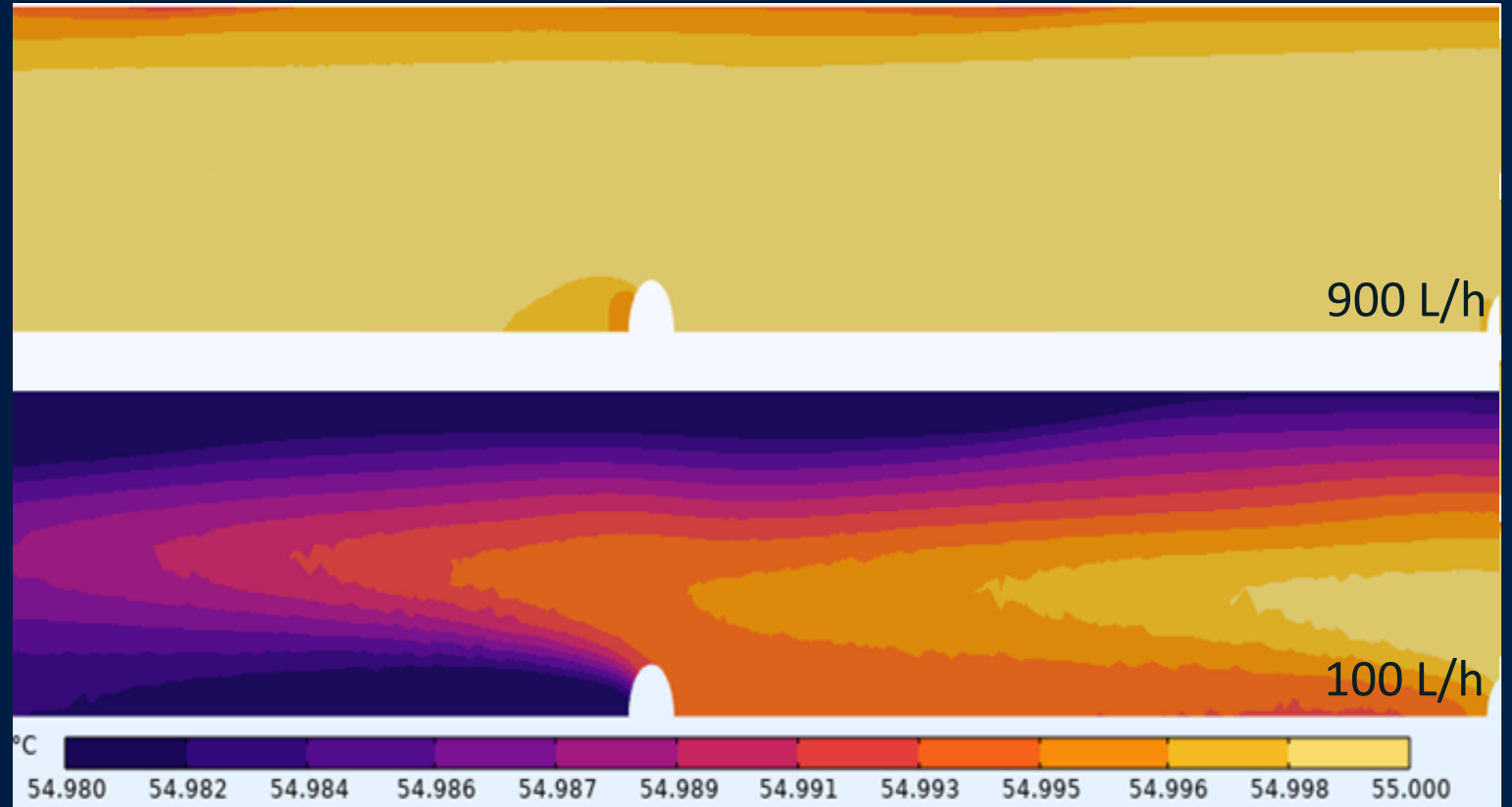
### 3. Tauchhülse „SPX“ – Simulationsergebnisse - Strömungsprofil

- Simulation nicht-isothermes Strömungsprofil (Geometrie in Darstellung um ½ gestaucht)
- Visualisierung der schwer messbaren Inhomogenitäten
- Gegenseitige Beeinflussung von Prüfling zu Referenz



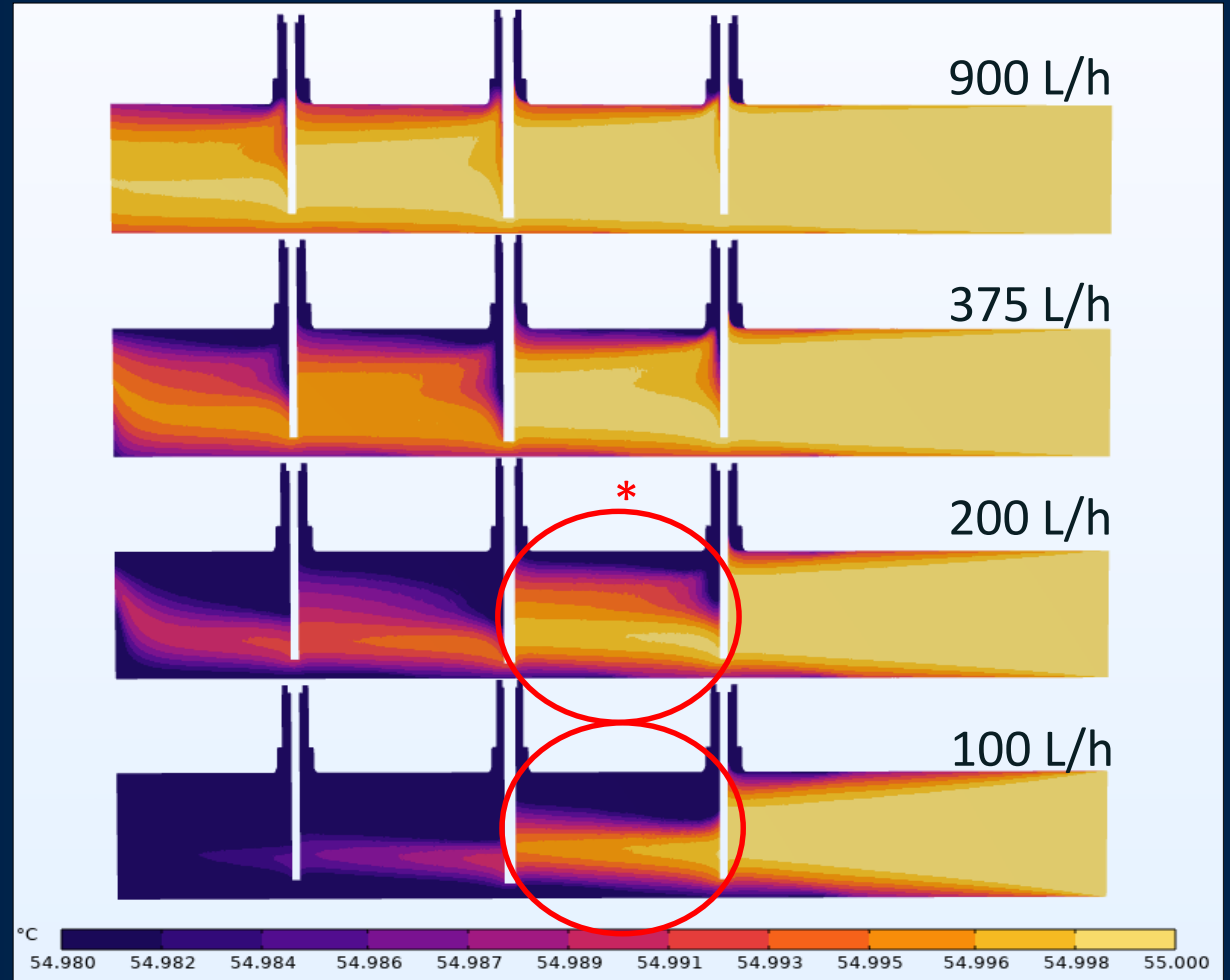
### 3. Tauchhülse „SPX“ – Simulationsergebnisse - Temperaturprofil

- Bewertung der Mediums-Temperatur
  - Was sollte ein „idealer“ Prüfling anzeigen?
- Sehr kleine dargestellter Temperaturbereich 20 mK
- Je turbulenter desto homogener



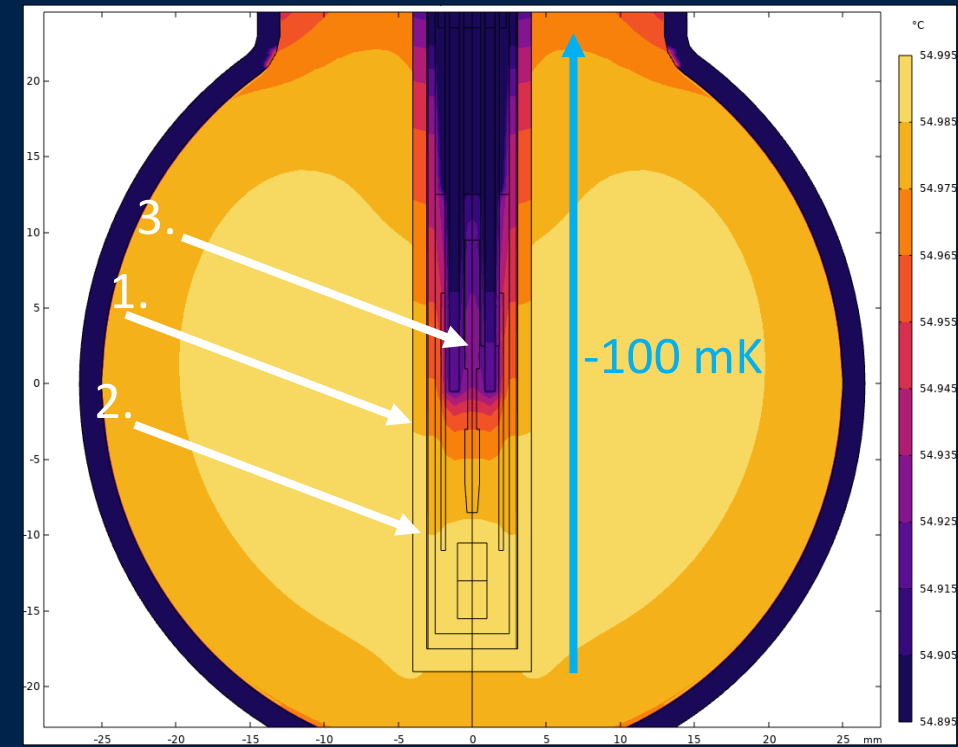
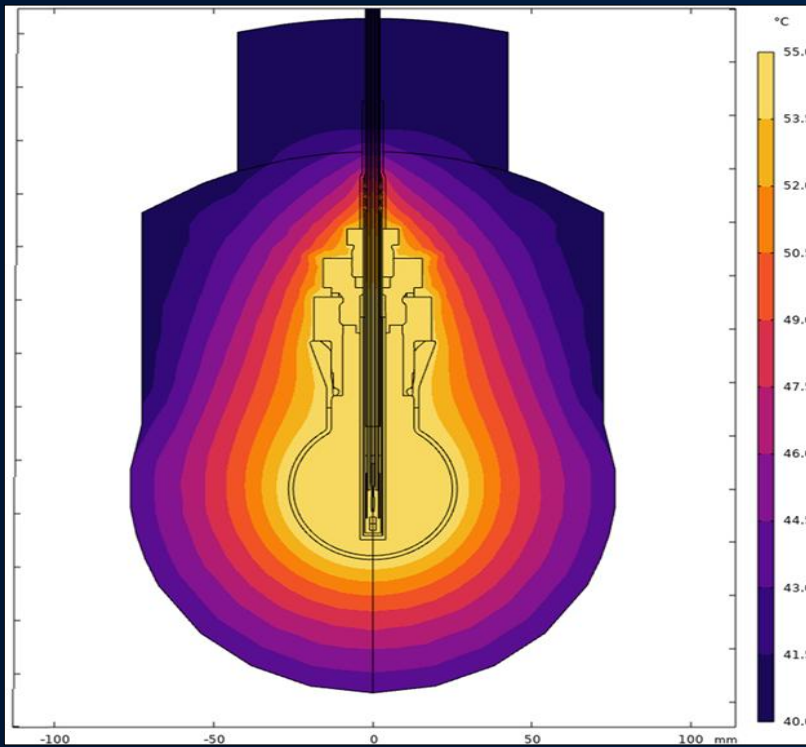
### 3. Tauchhülse „SPX“ – Simulationsergebnisse - Temperaturprofil

- Einfluss gegenseitige Fühlerbeeinflussung ab 200L/h (nur Medium)
- Unter 375L/h ist sieht Prüfling nicht mehr die Einlasstemperatur
- Größere Änderung des Gradienten von 200 L/h zu 100 L/h \*



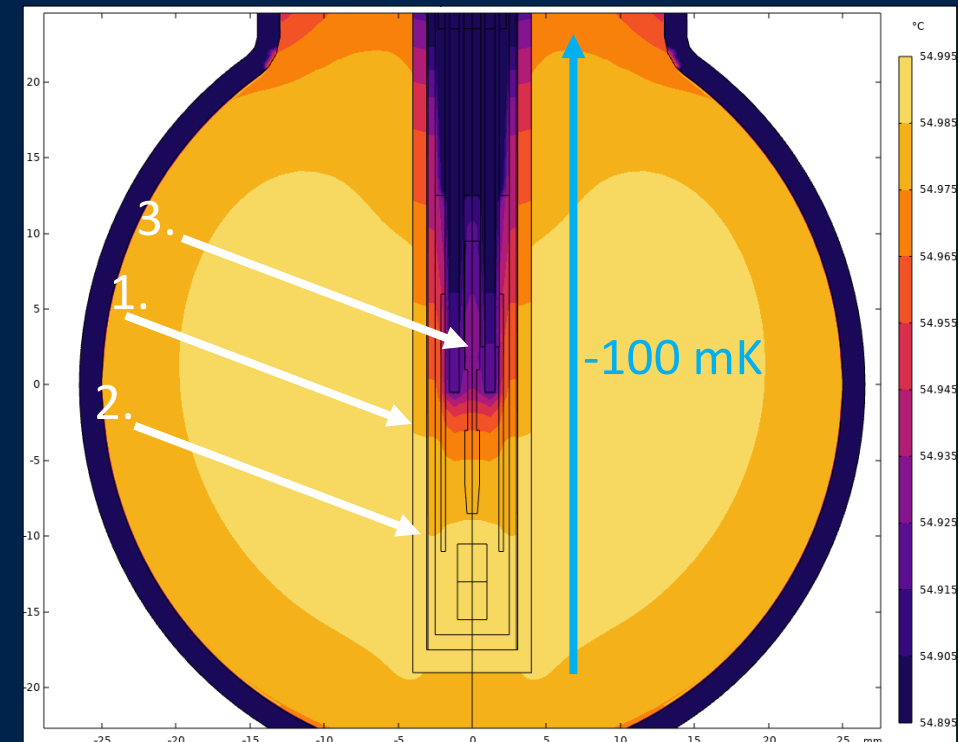
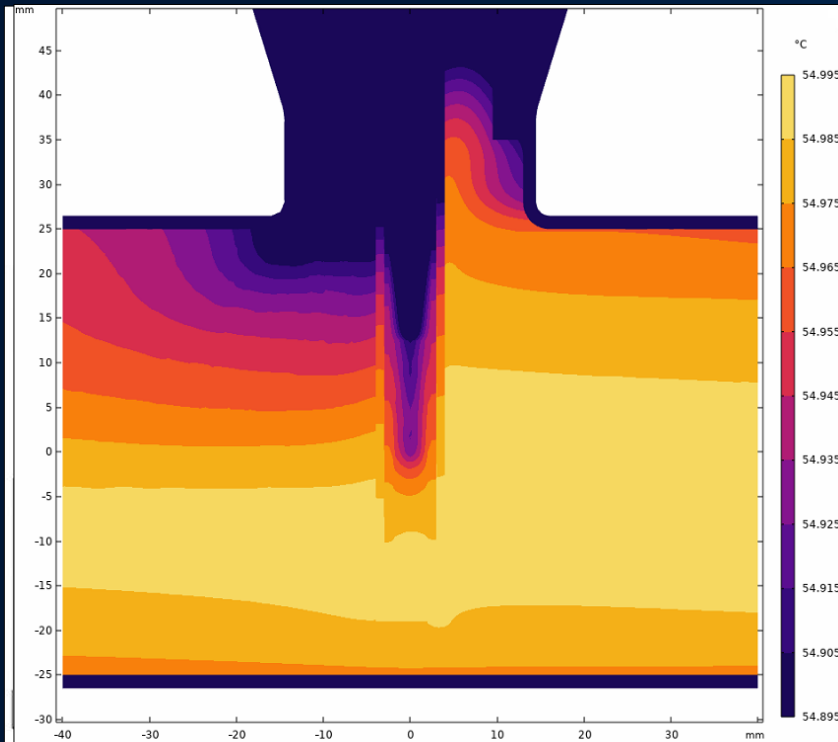
### 3. Tauchhülse „SPX“ – Simulationsergebnisse – Betrachtung Einbaustelle für 100 L/h

- Notwendigkeit der thermischen Dämmung ( $dT \approx 15\text{ K}$ )
- Verschieden Gradienten an Tauchhülse 1. / Schutzrohr 2. / Anschlusskabel 3.



### 3. Tauchhülse „SPX“ – Simulationsergebnisse – Betrachtung Einbaustelle für 100 L/h

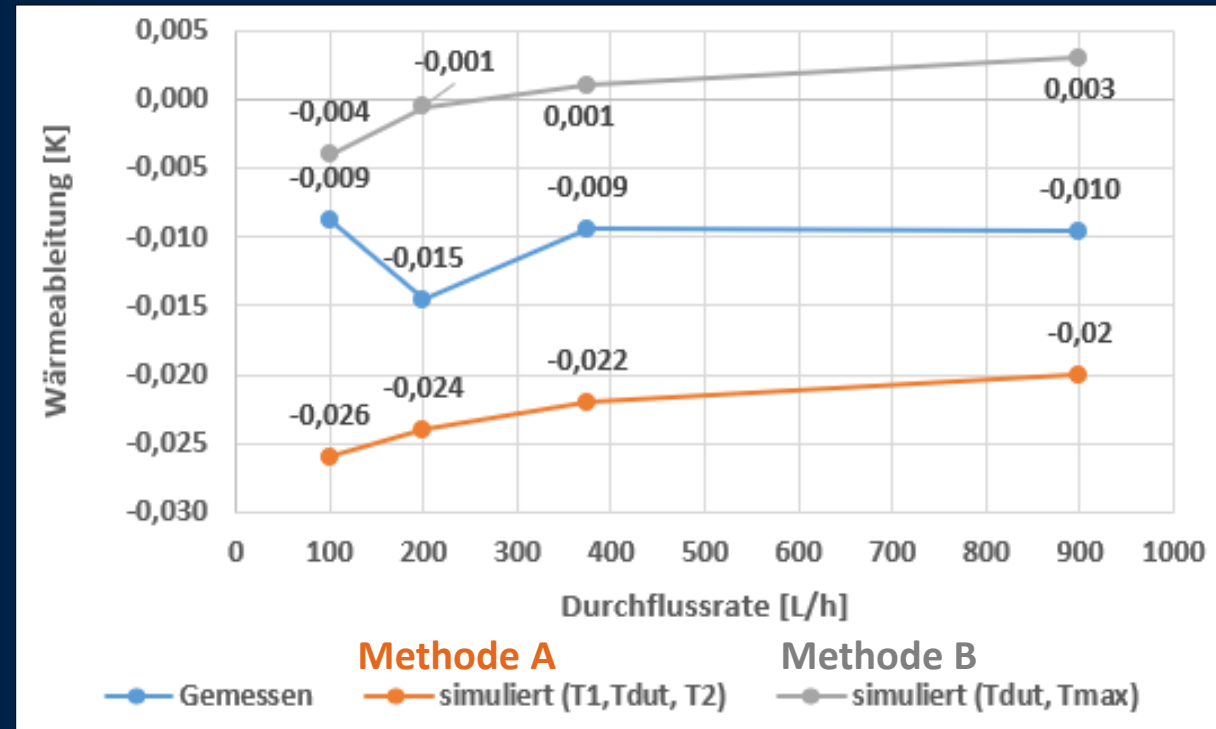
- Thermische Schichtung an Prüfling überlagert Wärmeableitung
- Geringer Einfluss Anströmrichtung mit Tauchhülse



### 3. Tauchhülse „SPX“ – Simulationsergebnisse – Validierung

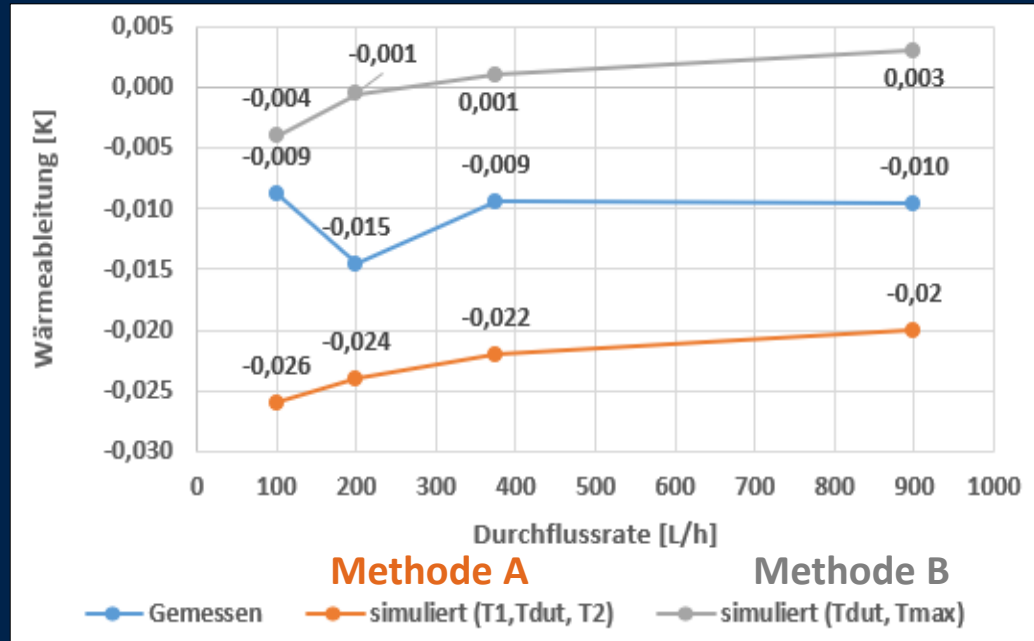
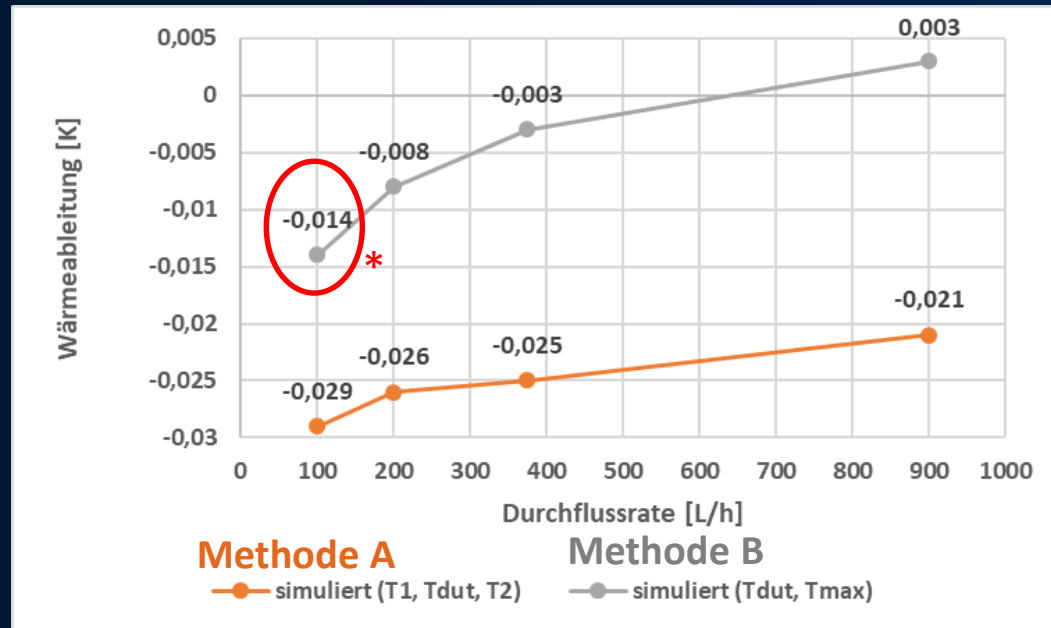
- Gemessene Wärmeableitung gering (nahezu 0 und kein Trend erkennbar)
- Auswahl der Auswertemethode in Simulation möglich
  - Methode A: nach Validierung
  - Methode B: Vergleich Mediums-Temperatur
- Trend bei Simulation erwartungsgemäß (-7mK bzw. -6mK) über Durchflussraten
- Beobachtbarer Fehler erwartungsgemäß sehr klein

→ Simulation plausibel



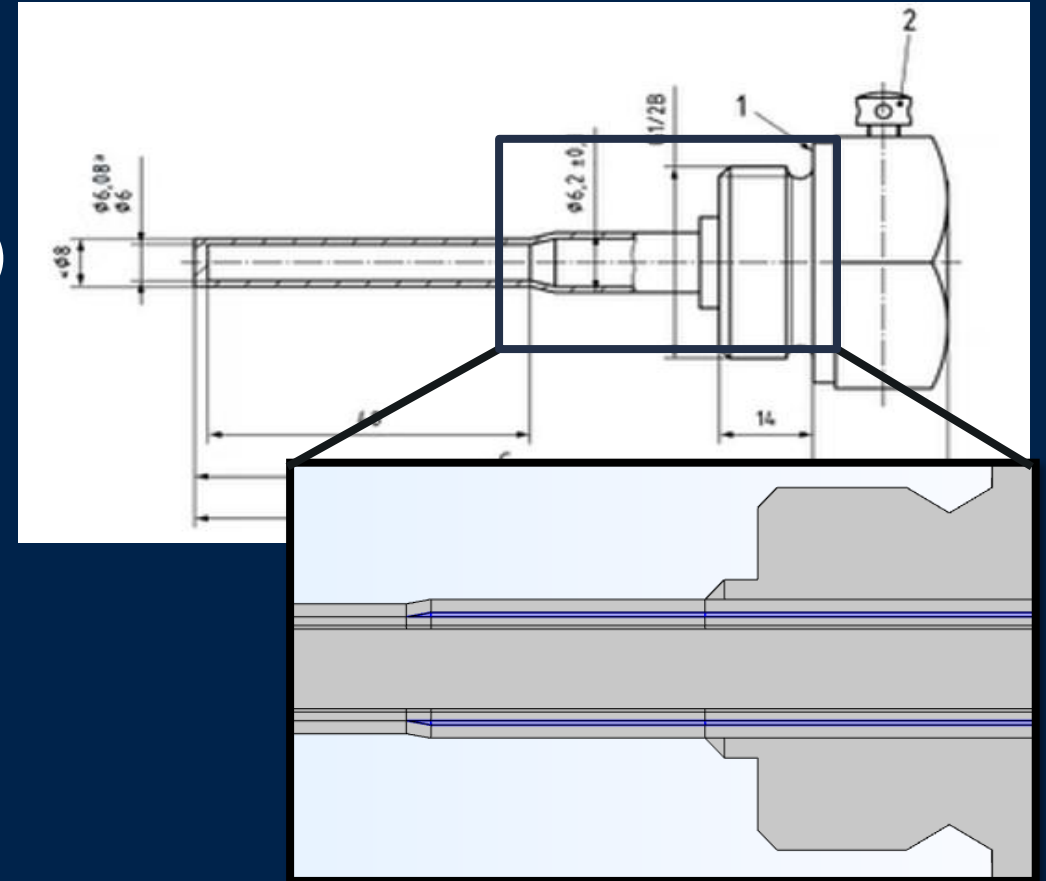
### 3. Tauchhülse „SPX“ – Simulationsergebnisse – Einfluss Mediums-Temperatur 55°C zu 85°C

- Beobachtbaren Fehler maximieren
- Simulierter Einfluss der Mediums-Temperatur bei 100 L/h (graue Datenreihen):
  - \*  $-10\text{mK}/30\text{K} \approx 0,3\text{mK}/\text{K}$



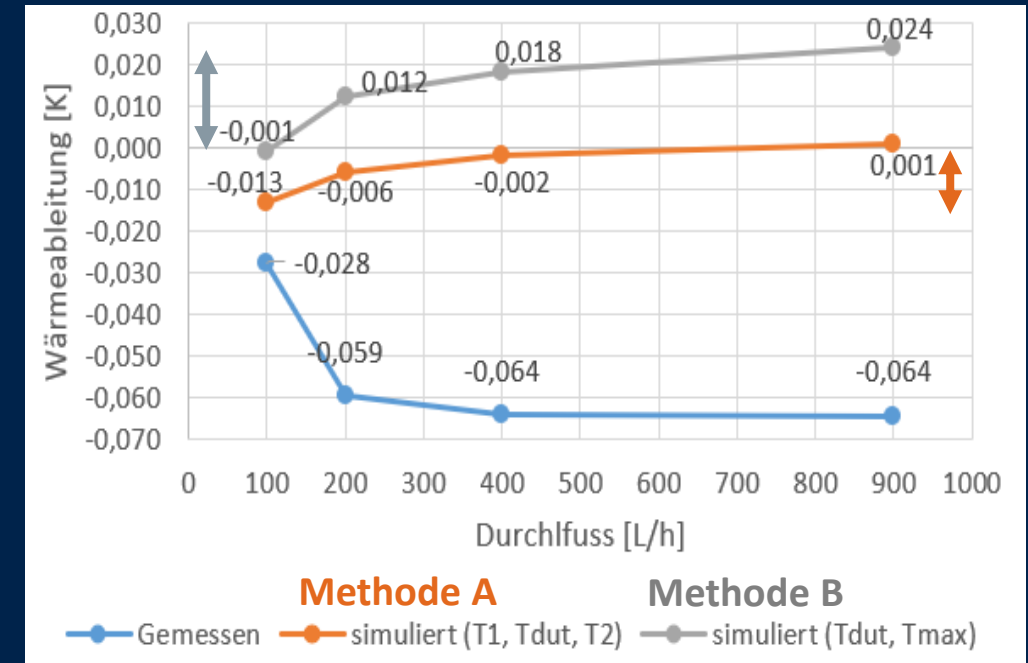
## 4. Tauchhülse „EN 1434“

- Tauchhülse „EN 1434“ (wie sie in DIN EN 1434 beschrieben ist bzw. Anhang V) mit Länge von 85 mm
- Gleicher Messaufbau wie zuvor (Wandabstand gleich)
- Unterschiede zu „SPX“:
  - Kleinerer Toleranz Innendurchmesser
  - 7 mm länger
  - Veränderlicher Innendurchmesser (6 mm -> 6,2 mm)
  - Keine Befestigung mit Feststellschraube (kein Gewinde für Temperaturfühler)



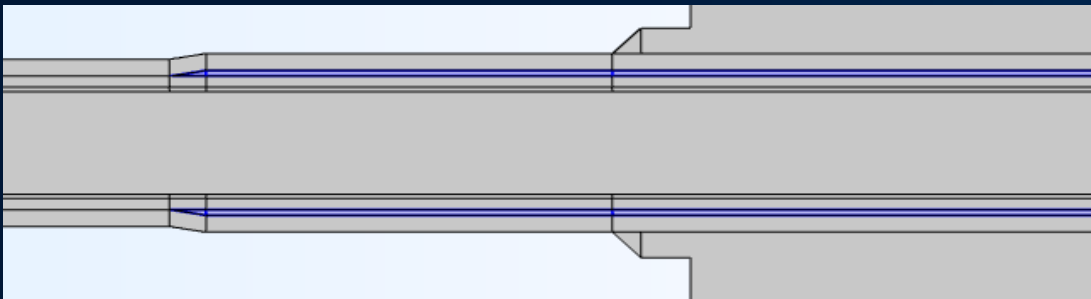
## 4. Tauchhülse „EN 1434“– Simulationsergebnisse

- Strömungsprofil unverändert zur vorherigen Simulation
- Querschnitt an Prüfling zeigt weiterhin thermische Schichtung und lokales Maximum durch Eigenerwärmung
- Simulierte Wärmeableitung folgt erwartetem Trend
- Unterschiede bei Auswertemethoden:  
 $dT(\text{Methode A}) = -12\text{mK}$ ;  $dT(\text{Methode B}) = -25\text{ mK}$
- Messung weicht von Simulation ab (Trend nicht eindeutig)
  - Grenzen Messprinzip mit drei Temperaturfühlern
  - Tauchhülse hat andere Wärmeankopplung an thermische Schichten der Strömung als Referenz-Fühler

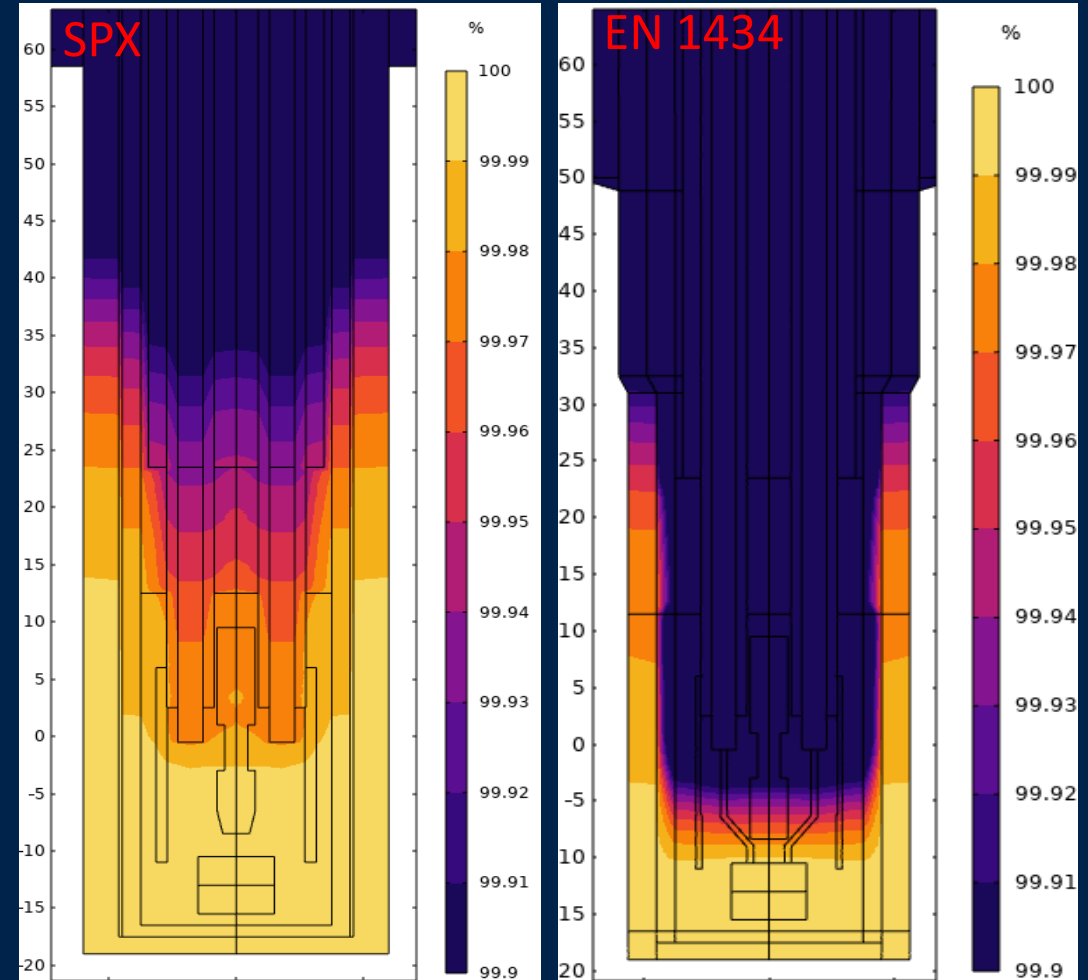


## 5. Vergleich – Tauchhülsen „EN 1434“ zu „SPX“

- „SPX“-Tauchhülse ist „wärmer“ als „EN 1434“-Tauchhülse
- Auf T<sub>max</sub>(Querschnitt) normierte Temperaturverteilung
- Kleineres Spaltmaß sollte Wärmestrom zu Sensor verbessern
- Größerer Innendurchmesser bei „EN 1434“-Tauchhülse vergrößert Wärmeableitung
  - Verringert eher Wärmeankopplung zu Medium als thermische Entkopplung von Umgebung

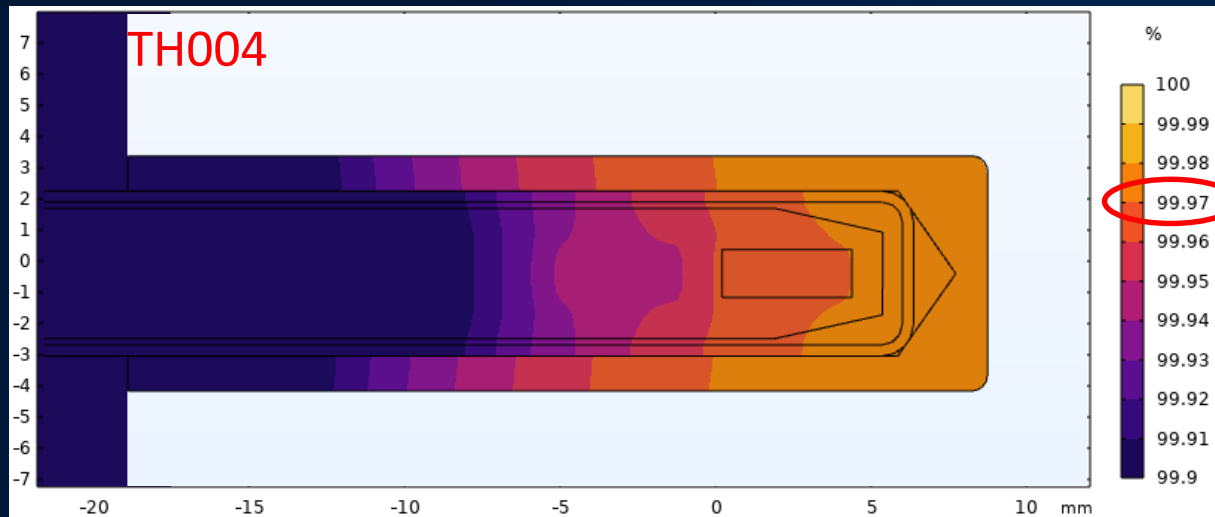


Gestauchte Geometrie

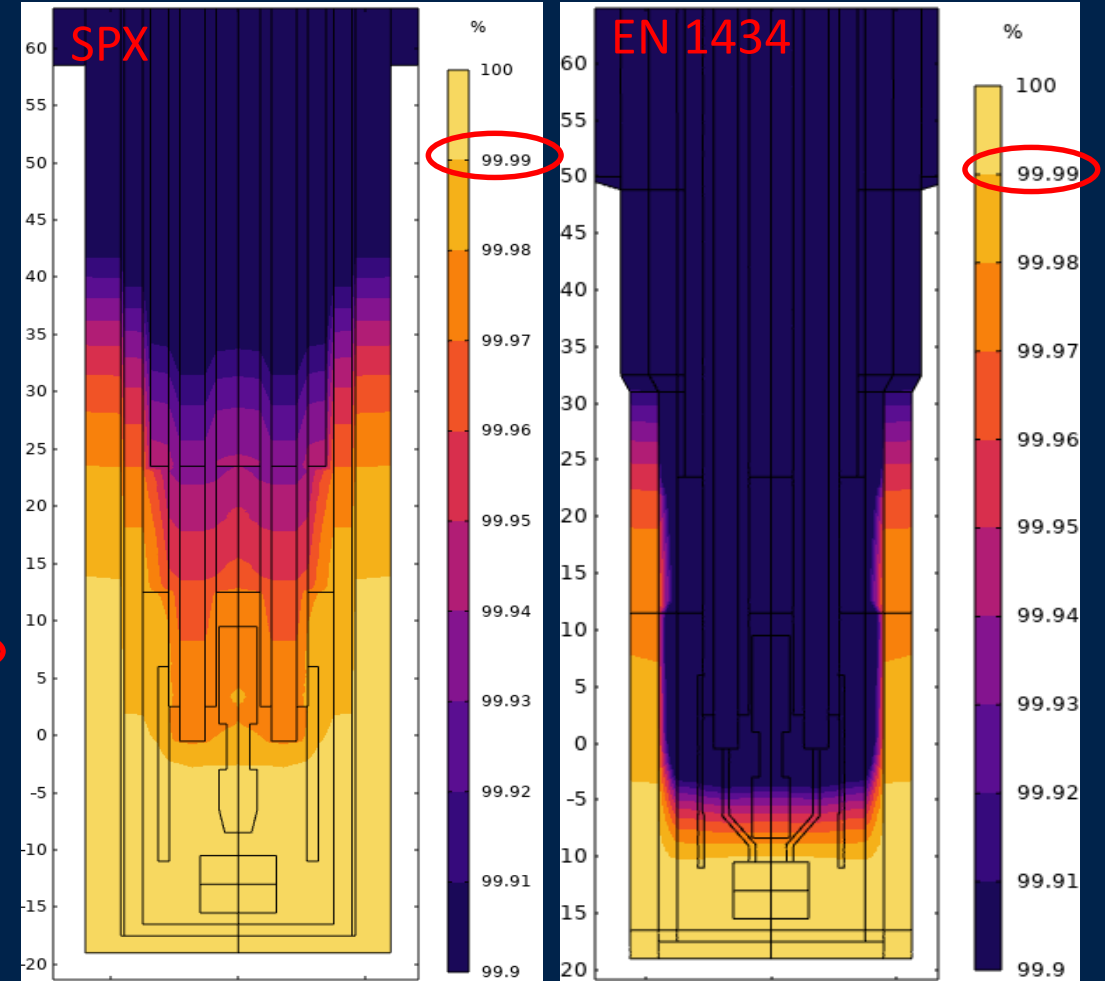


## 5. Vergleich – Tauchhülse „TH004“

- Lange Tauchhülsen messen Mediums-Temperatur deutlich besser als betrachtete kurze Tauchhülse
- Vergleich Absoluter Temperaturdifferenzen zwischen drei Tauchhülsen hat geringe Aussagekraft



### Gestauchte Geometrie



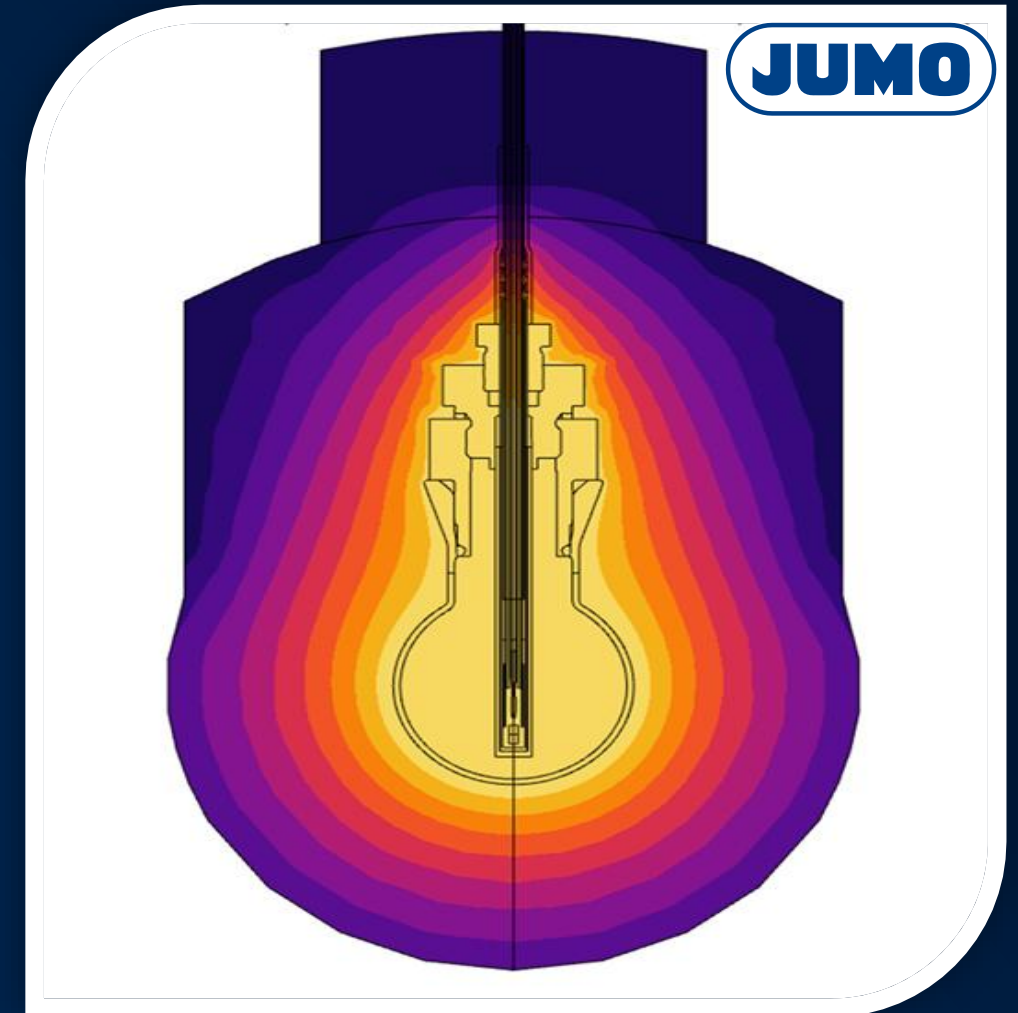
## 6. Fazit

- Fragestellung: Bewertung von Tauchhülsen in Rohrsystemen mittels FEM-Simulation machbar?
- Simulation von kurzen und langen Tauchhülsen machbar (Detailgrad und Rechenaufwand)
- Validierung der Wärmeableitung von langen Tauchhülsen schwierig
  - Größenordnung beobachtbarer Fehler
  - Grenzen Messprinzip mit drei Temperaturfühlern
  - Grenzen Strömungsmodelle
- Sinnvoll für Bewertung von besonders schlechten (oder nicht testbaren) Einbausituationen

## 5. Fazit Ausblick

- Sinnvoll für Voruntersuchungen zu Designänderungen (ohne Prototyp)
- Grundsatzfrage: Wie sollten Strömungs- und Temperaturprofil in experimentellen Aufbauten definiert sein?
  - Thermische Schichtung ist abhängig von Fluid-Temperatur und horizontaler Verkipfung des Aufbaus

**Bessere Vergleichbarkeit von Messverfahren  
und thermischen Messgeräten**

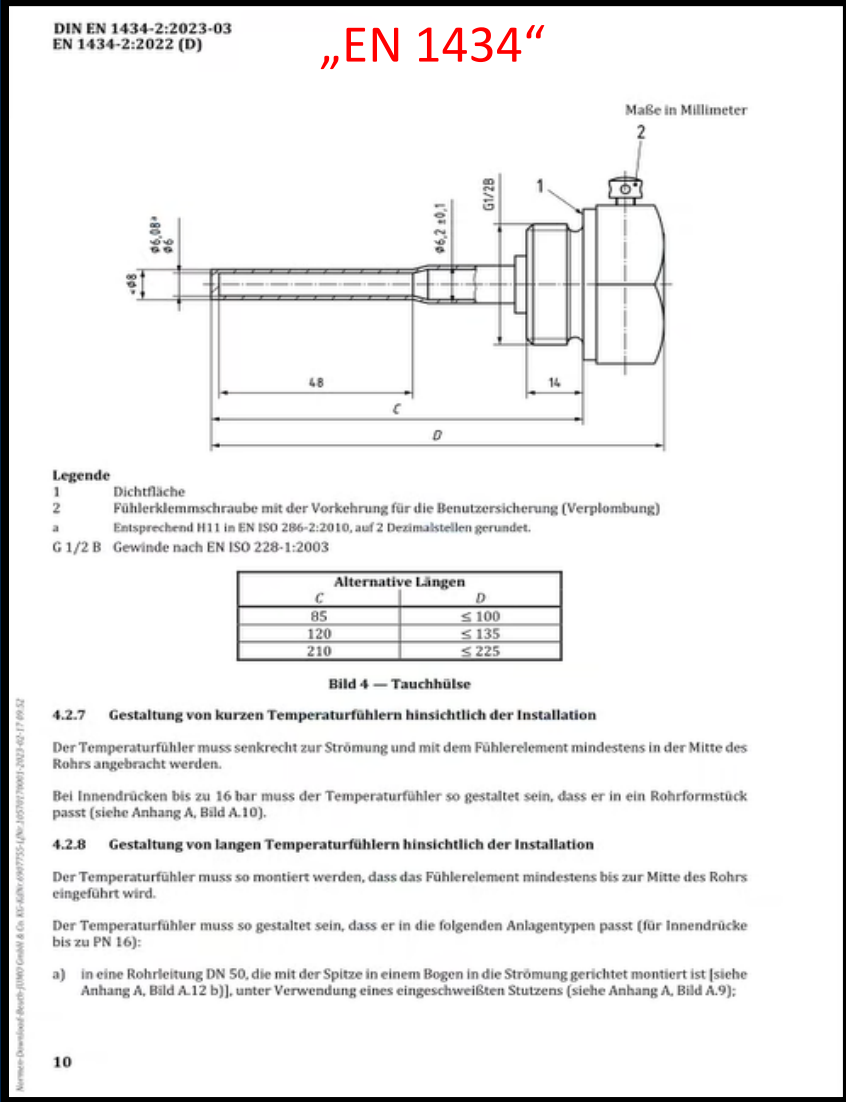
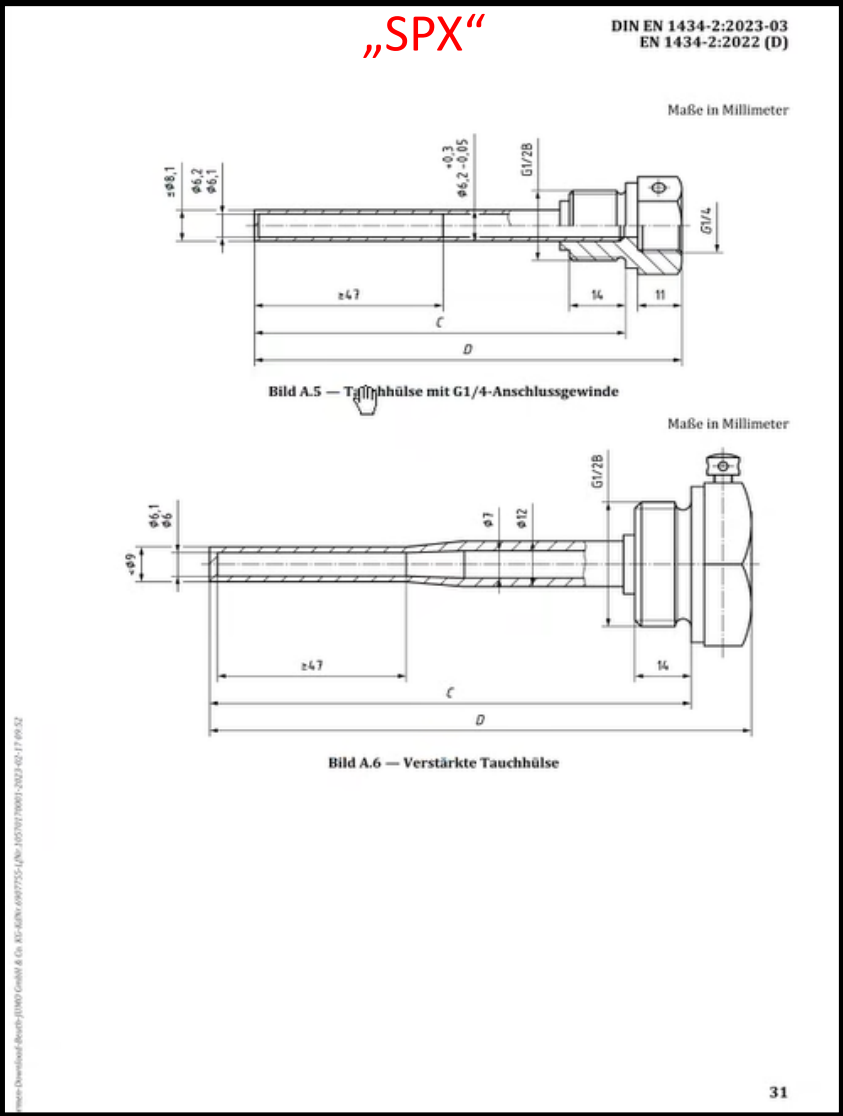


**Vielen Dank  
für Ihr Interesse**

---



# Anhang 1 – Lange Tauchhülsen



## Anhang 2 - Netz

- 7.6 Millionen Zellen

