

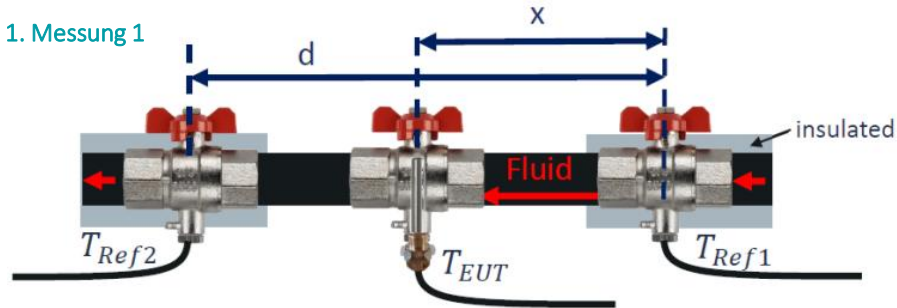
Experimentelle Untersuchungen zum Einfluss der Einbaustelle auf die Temperaturmessung

Konsequenzen für die gemessene Temperaturdifferenz ΔT für thermische Energiezähler

Andreas N. Bryde, Simon Graner, John Domino, Morten K. Rasmussen und Christian Bombis

Testbeschreibung

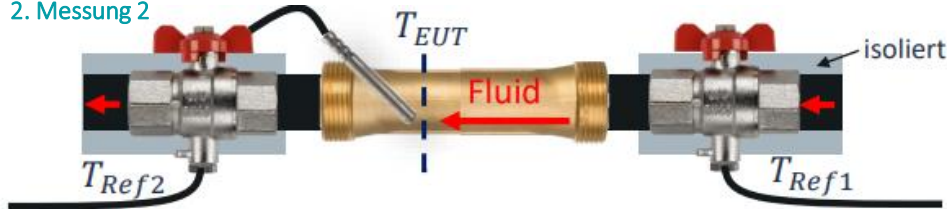
1. Messung 1



Bestimmung des Fehlers:

$$e_{inlet}^{ballvalve} = T_{EUT} - [T_{Ref1} - \frac{x}{d} \cdot (T_{Ref1} - T_{Ref2})]$$

2. Messung 2



Bestimmung des Fehlers:

$$e_{outlet}^{flowmeter} = T_{EUT} - [T_{Ref1} - \frac{x}{d} \cdot (T_{Ref1} - T_{Ref2})]$$

3. Berechnung

$$E = V \cdot k \cdot \Delta T$$

$$\Delta T = T_{inlet} - T_{outlet} = (T_{inlet} - e_{inlet}^{ballvalve}) - (T_{outlet} - e_{outlet}^{flowmeter}) = (T_{inlet} - T_{outlet}) - (e_{inlet}^{ballvalve} - e_{outlet}^{flowmeter})$$

$$e_{influence\ of\ installation\ points} = e_{inlet}^{ballvalve} - e_{outlet}^{flowmeter}$$

Abbildungen mit freundlicher Genehmigung von JUMO, AK-Tauchhülsen 2025
 Siehe auch [Link EMATEM 2024 Bott](#) und [Link EMATEM 2025 Bott](#)

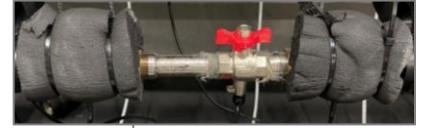
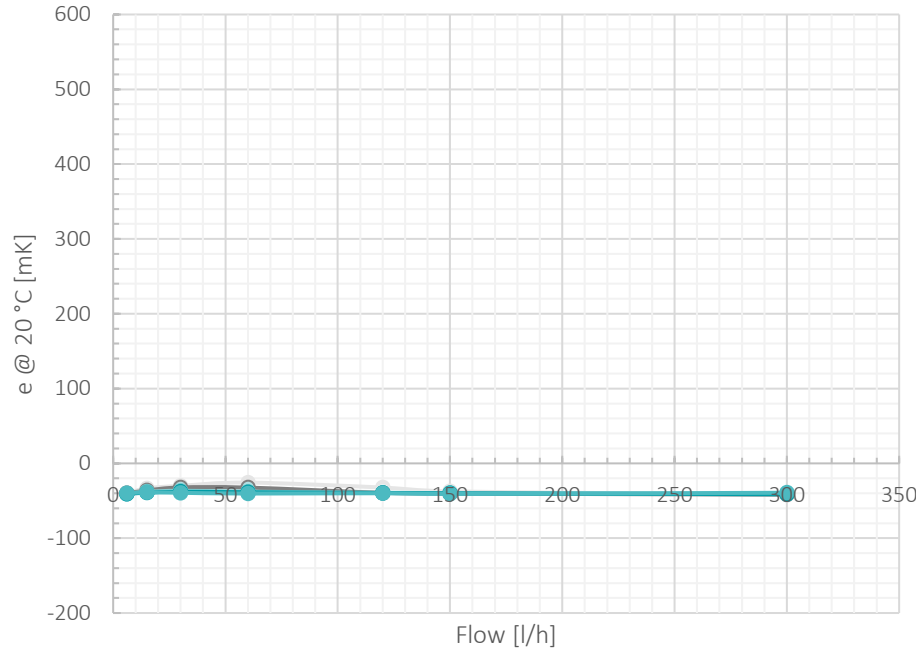
Experimente
Einfluss der Einbaustelle auf
 T_{inlet} oder T_{outlet}



$$e(T) = T_{EUT} - [T_{Ref1} - \frac{x}{d} \cdot (T_{Ref1} - T_{Ref2})]$$

Einfluss der Einbaustelle auf T_{inlet} oder T_{outlet}

EUT = Ball valve, DN15, not insulated; $\phi 5.2$ mm; 20°C

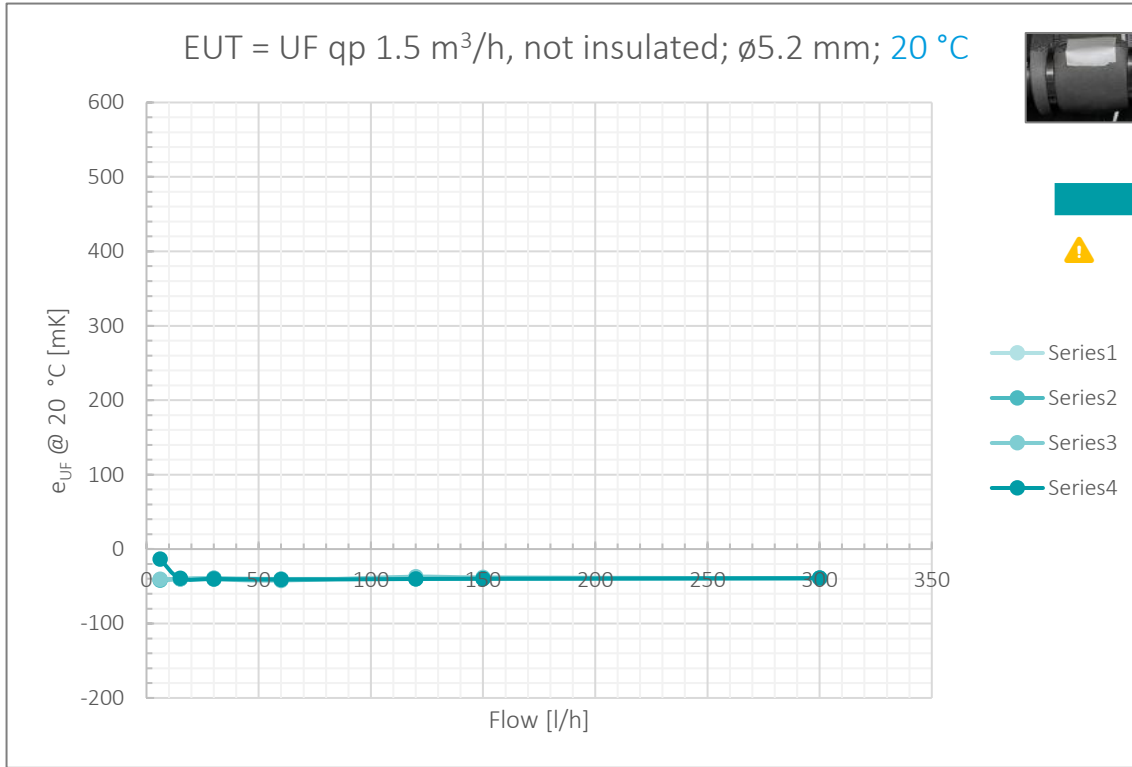


Vertikale Orientierung
des Temperaturfühlers

- Series1
- Series2
- Series3
- Series4
- Series5
- Series6

$$e(T) = T_{EUT} - [T_{Ref1} - \frac{x}{d} \cdot (T_{Ref1} - T_{Ref2})]$$

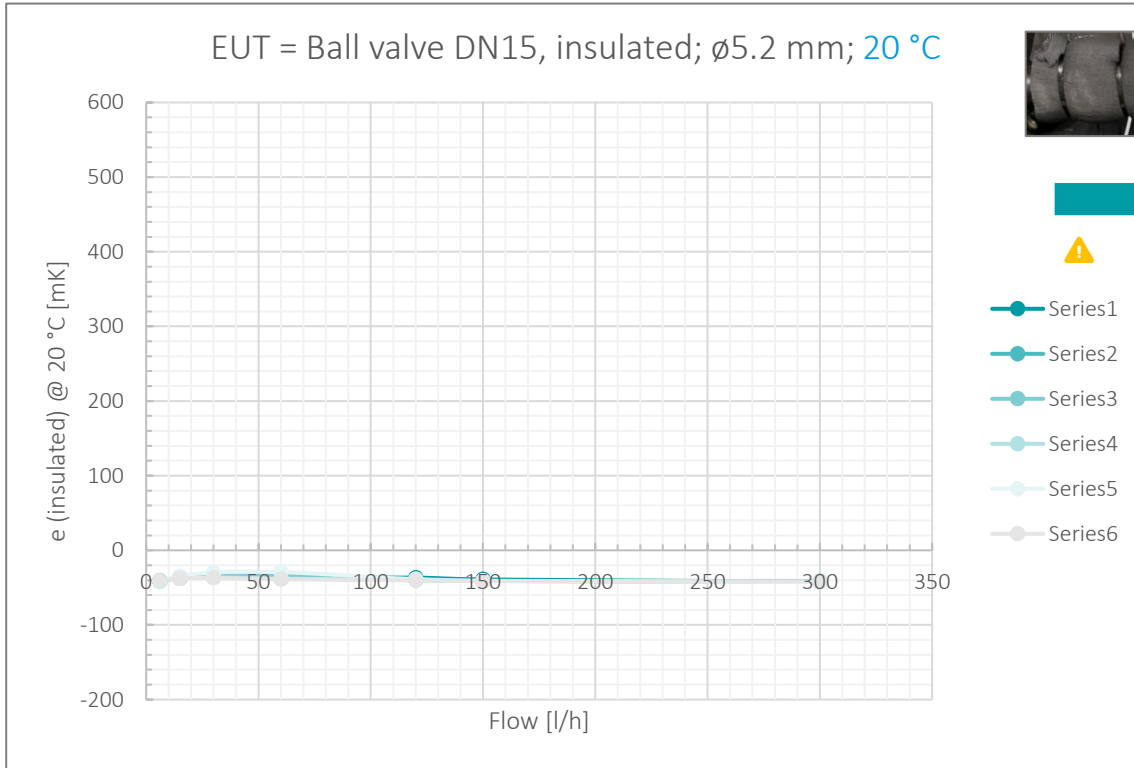
Einfluss der Einbaustelle auf T_{inlet} oder T_{outlet}



Horizontale Orientierung
des Temperaturfühlers

$$e(T) = T_{EUT} - [T_{Ref1} - \frac{x}{d} \cdot (T_{Ref1} - T_{Ref2})]$$

Einfluss der Einbaustelle auf T_{inlet} oder T_{outlet}



Vertikale Orientierung
des Temperaturfühlers

Series1

Series2

Series3

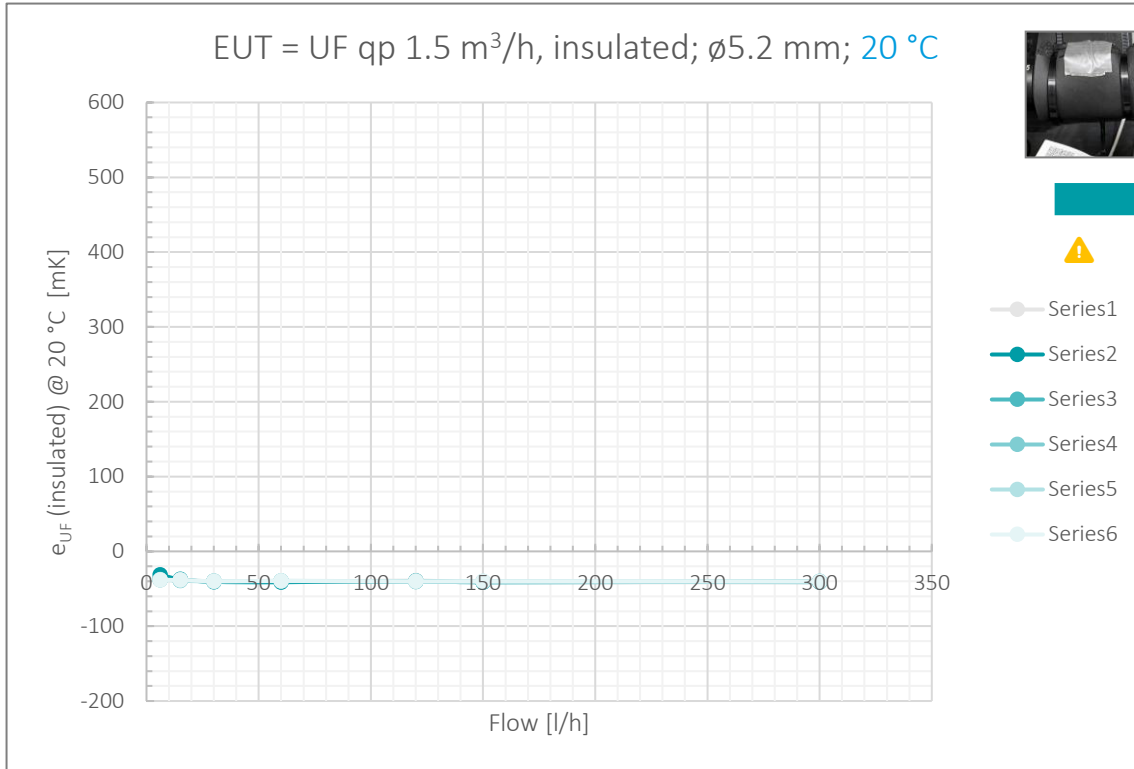
Series4

Series5

Series6

$$e(T) = T_{EUT} - [T_{Ref1} - \frac{x}{d} \cdot (T_{Ref1} - T_{Ref2})]$$

Einfluss der Einbaustelle auf T_{inlet} oder T_{outlet}

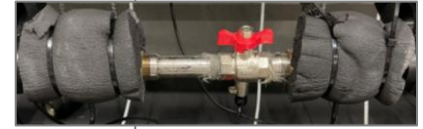
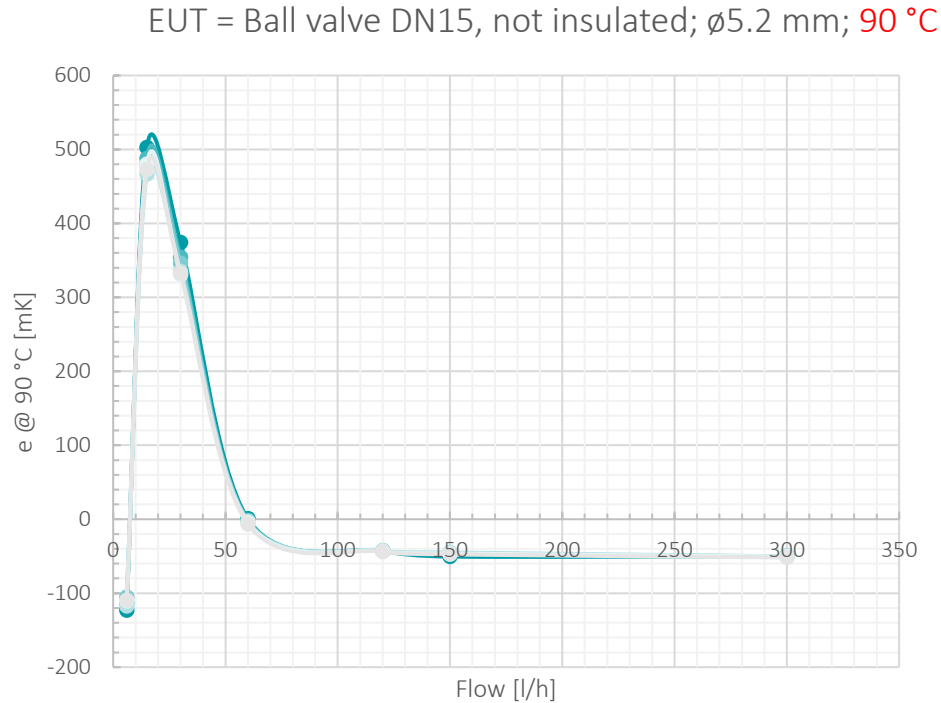


Horizontale Orientierung
des Temperaturfühlers

- Series1
- Series2
- Series3
- Series4
- Series5
- Series6

$$e(T) = T_{EUT} - [T_{Ref1} - \frac{x}{d} \cdot (T_{Ref1} - T_{Ref2})]$$

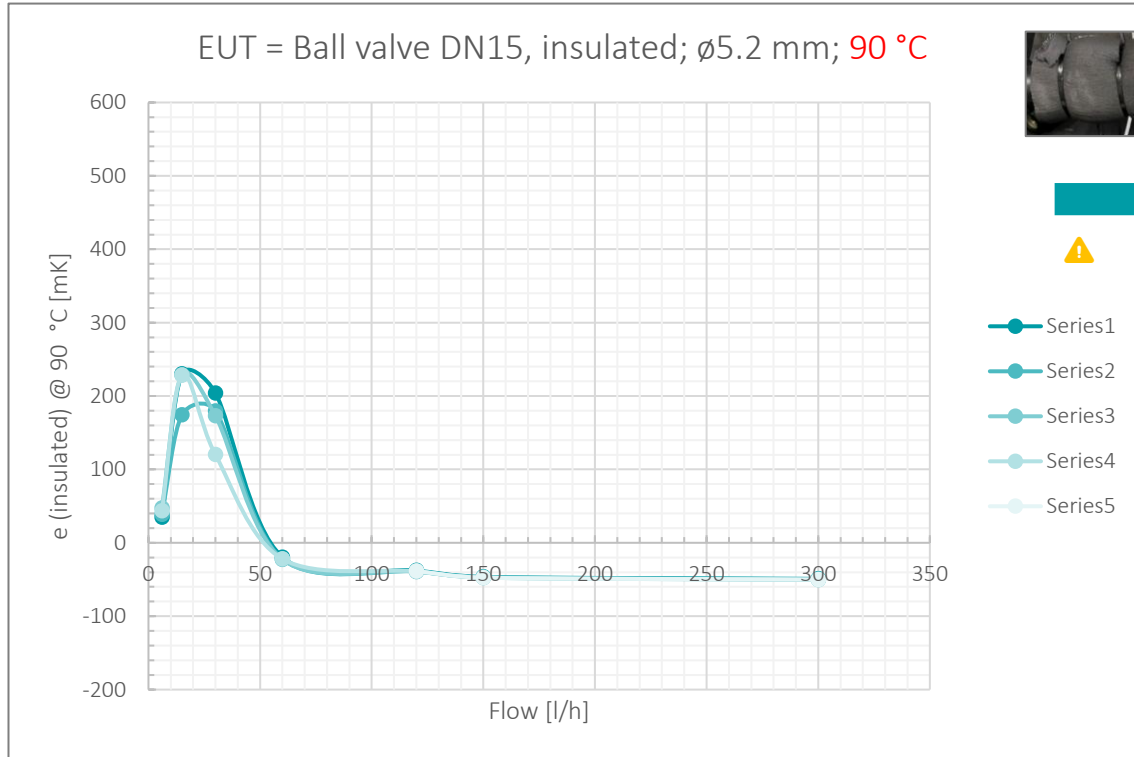
Einfluss der Einbaustelle auf T_{inlet} oder T_{outlet}



Vertikale Orientierung
des Temperaturfühlers

$$e(T) = T_{EUT} - [T_{Ref1} - \frac{x}{d} \cdot (T_{Ref1} - T_{Ref2})]$$

Einfluss der Einbaustelle auf T_{inlet} oder T_{outlet}



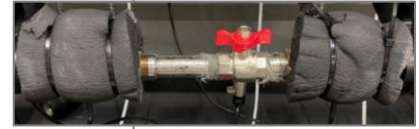
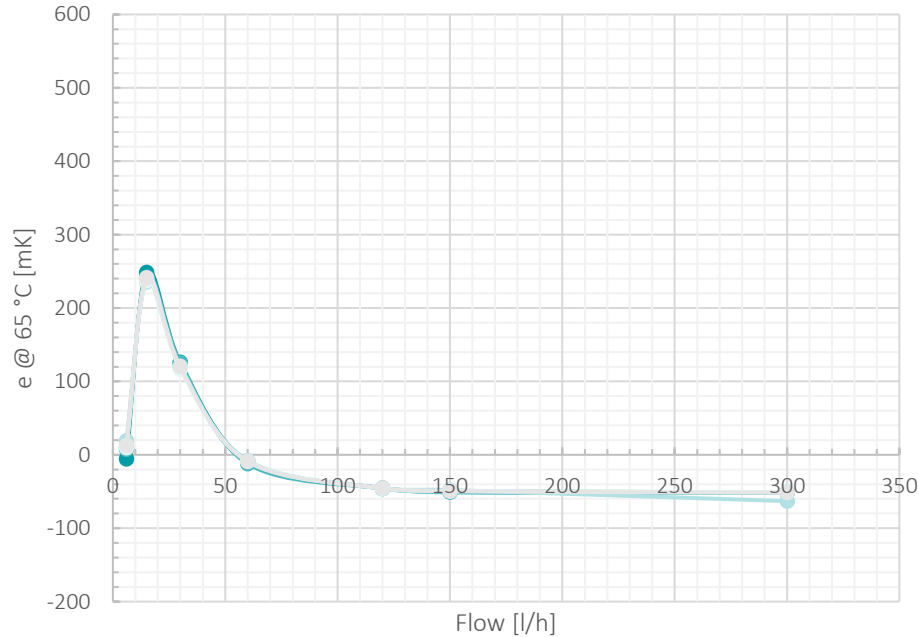
Vertikale Orientierung
des Temperaturfühlers

- Series1
- Series2
- Series3
- Series4
- Series5

$$e(T) = T_{EUT} - [T_{Ref1} - \frac{x}{d} \cdot (T_{Ref1} - T_{Ref2})]$$

Einfluss der Einbaustelle auf T_{inlet} oder T_{outlet}

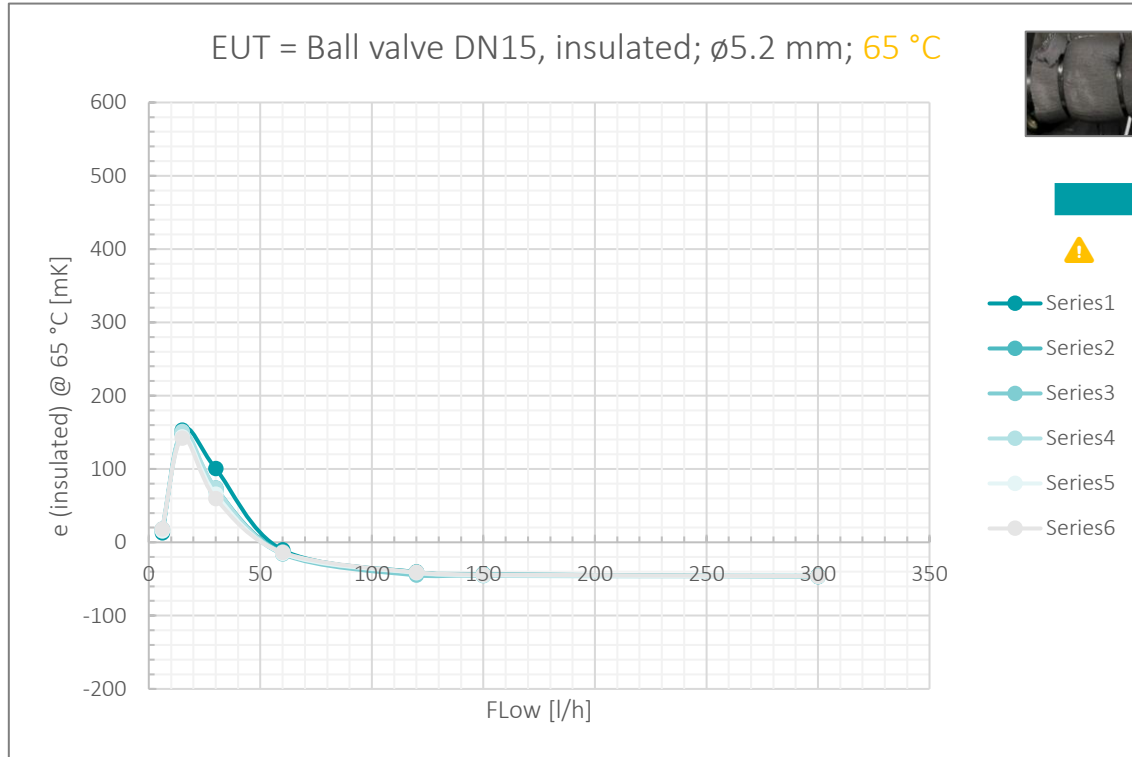
EUT = Ball valve DN15, not insulated; $\varnothing 5.2$ mm; 65 °C



Vertikale Orientierung
des Temperaturfühlers

$$e(T) = T_{EUT} - [T_{Ref1} - \frac{x}{d} \cdot (T_{Ref1} - T_{Ref2})]$$

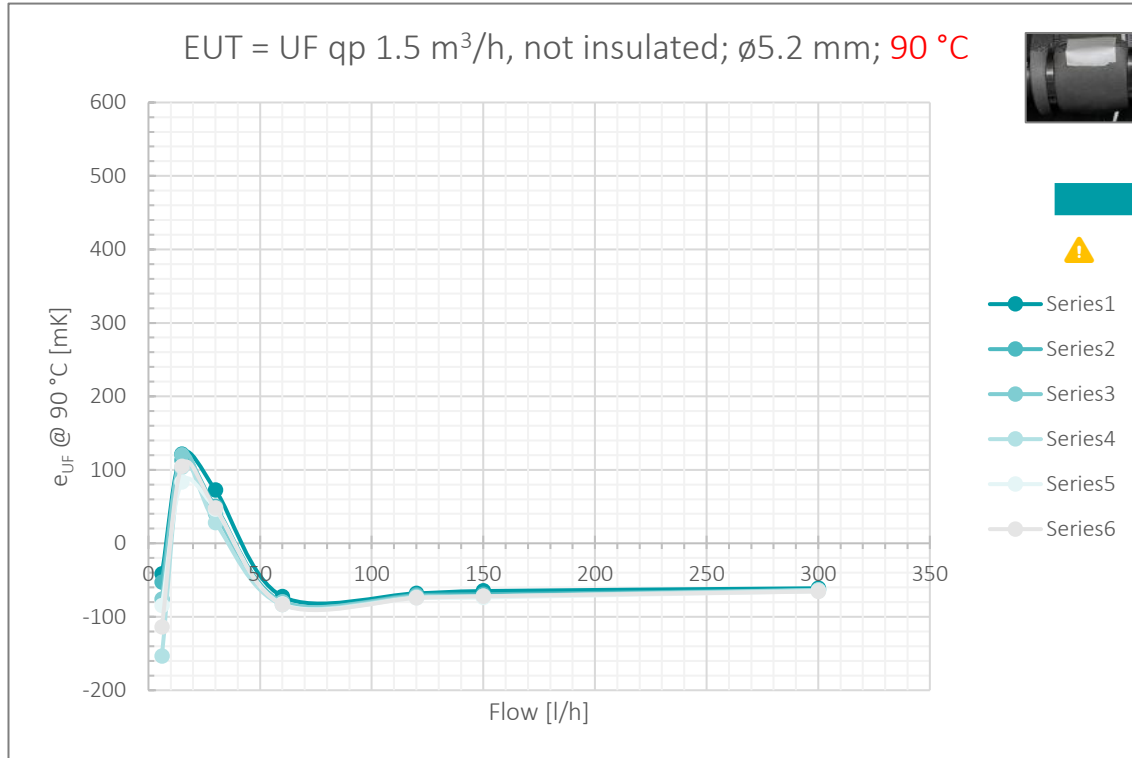
Einfluss der Einbaustelle auf T_{inlet} oder T_{outlet}



Vertikale Orientierung
des Temperaturfühlers

$$e(T) = T_{EUT} - [T_{Ref1} - \frac{x}{d} \cdot (T_{Ref1} - T_{Ref2})]$$

Einfluss der Einbaustelle auf T_{inlet} oder T_{outlet}

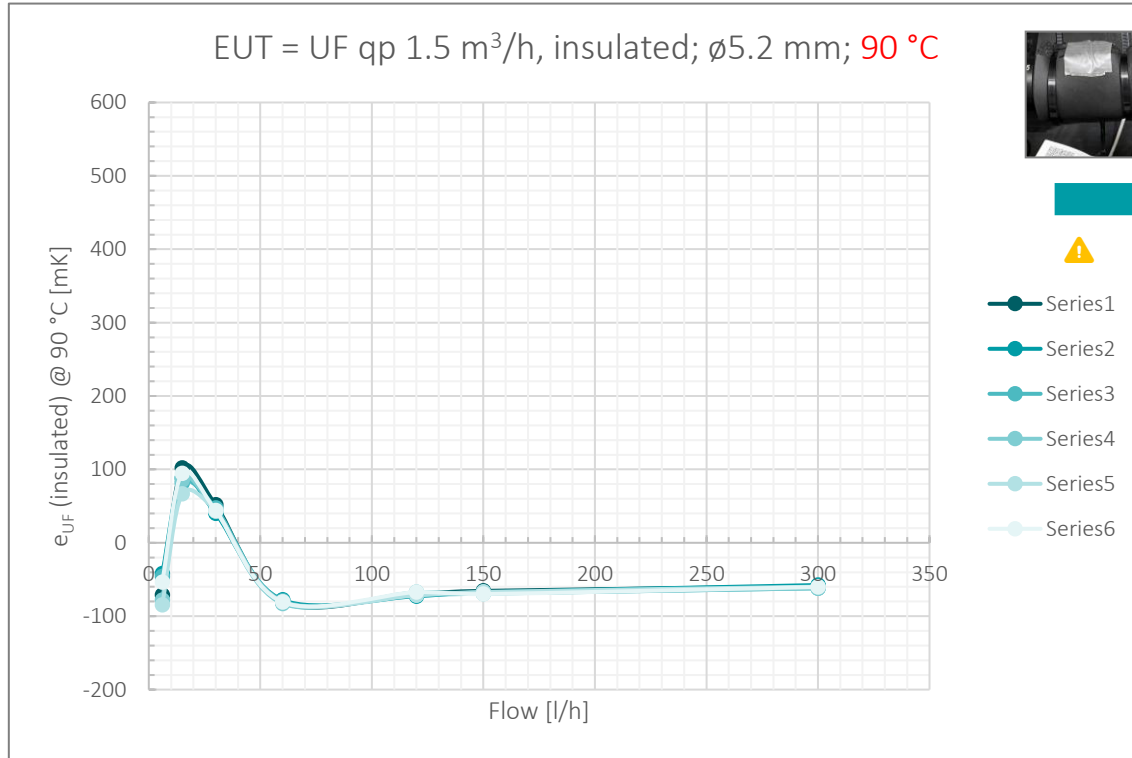


Horizontale Orientierung
des Temperaturfühlers

- Series1
- Series2
- Series3
- Series4
- Series5
- Series6

$$e(T) = T_{EUT} - [T_{Ref1} - \frac{x}{d} \cdot (T_{Ref1} - T_{Ref2})]$$

Einfluss der Einbaustelle auf T_{inlet} oder T_{outlet}

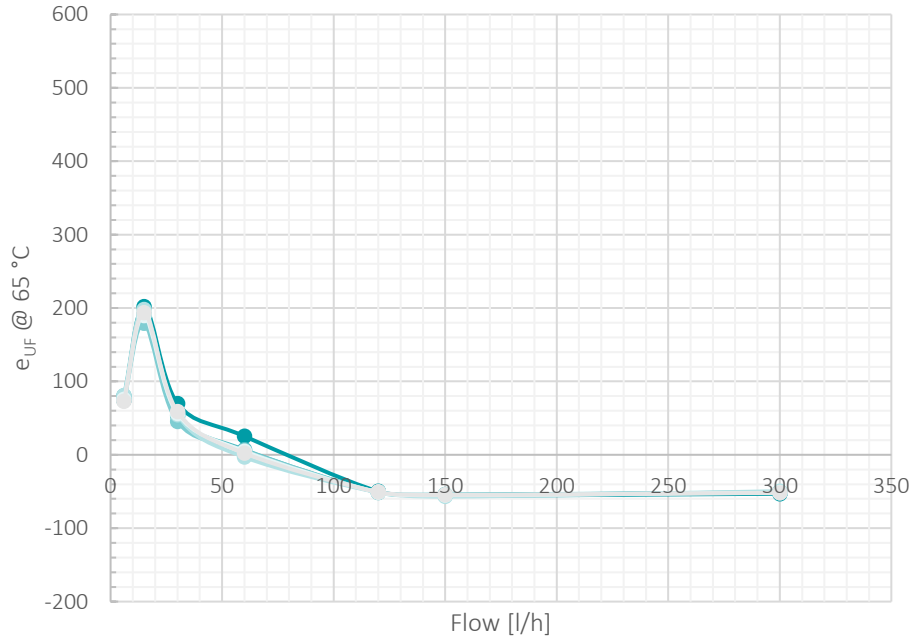


⚠ Horizontal Orientierung des Temperaturfühlers

$$e(T) = T_{EUT} - [T_{Ref1} - \frac{x}{d} \cdot (T_{Ref1} - T_{Ref2})]$$

Einfluss der Einbaustelle auf T_{inlet} oder T_{outlet}

EUT = UF qp 1.5 m³/h, not insulated; ø5.2mm; 65 °C

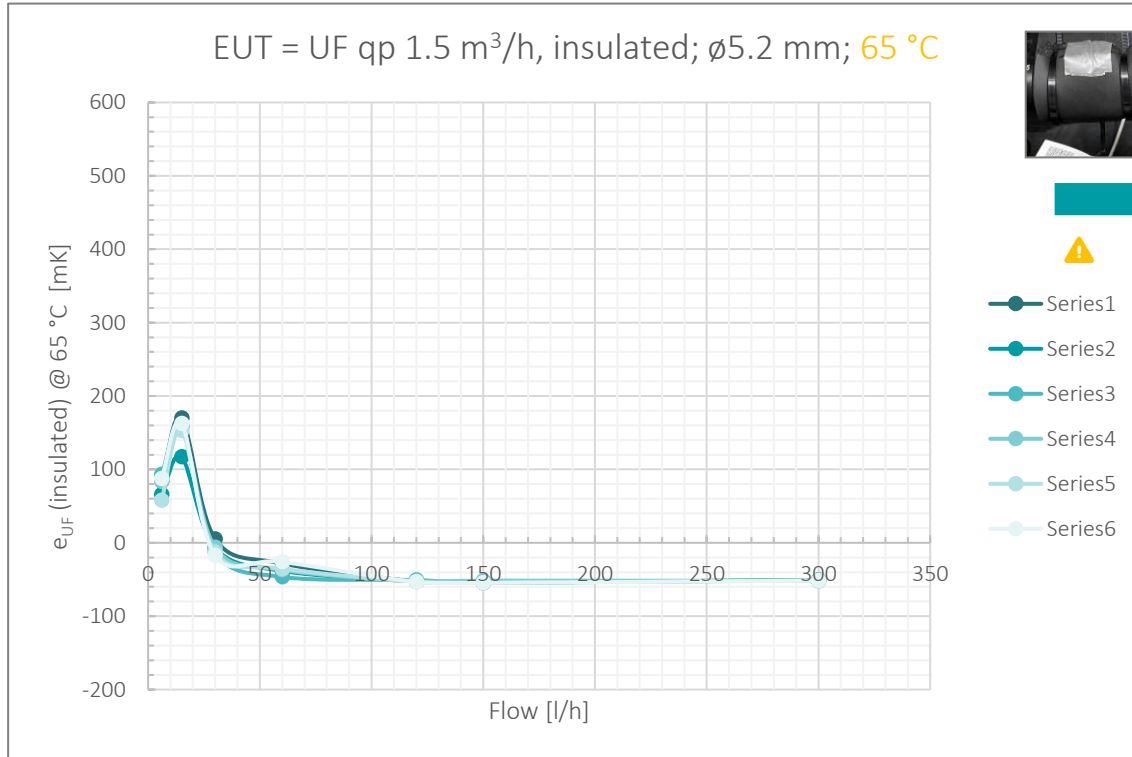


Horizontale Orientierung
des Temperaturfühlers

- Series1
- Series2
- Series3
- Series4
- Series5
- Series6

$$e(T) = T_{EUT} - [T_{Ref1} - \frac{x}{d} \cdot (T_{Ref1} - T_{Ref2})]$$

Einfluss der Einbaustelle auf T_{inlet} oder T_{outlet}

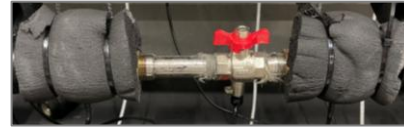


Horizontale Orientierung
des Temperaturfühlers

- Series1
- Series2
- Series3
- Series4
- Series5
- Series6

$$e(T) = T_{EUT} - [T_{Ref1} - \frac{x}{d} \cdot (T_{Ref1} - T_{Ref2})]$$

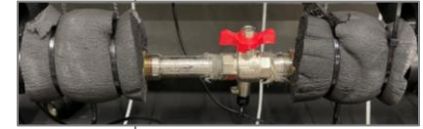
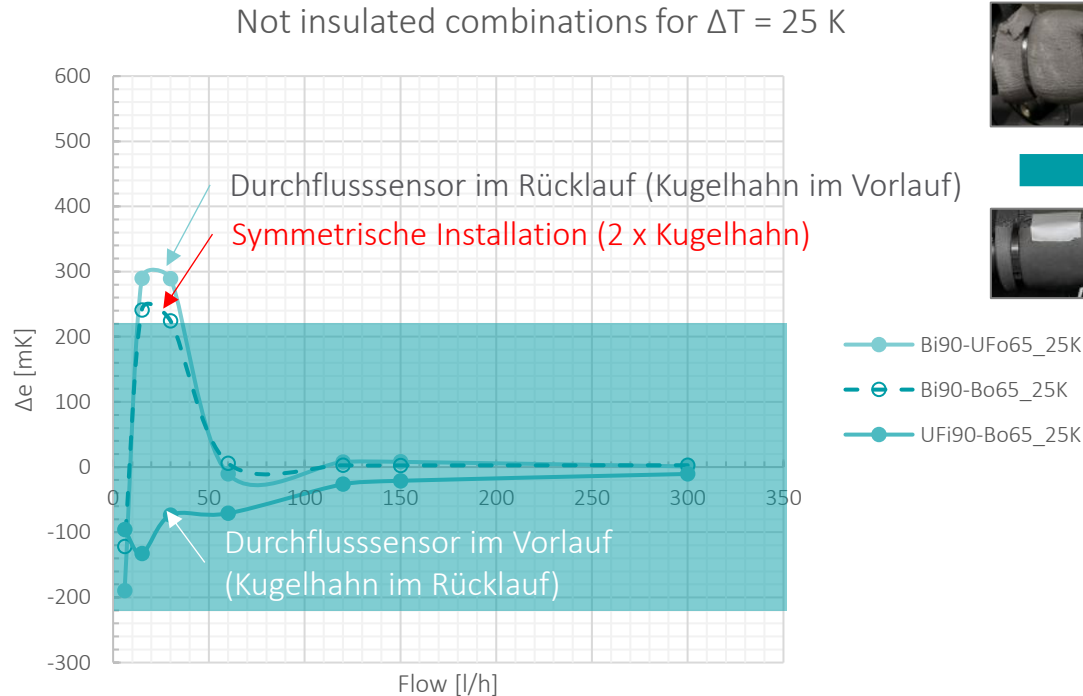
Datenanalyse Einfluss der Einbaustellen auf ΔT



$$\Delta e(\Delta T) = e_{inlet}^{ball\ valve} - e_{outlet}^{flow\ sensor}$$



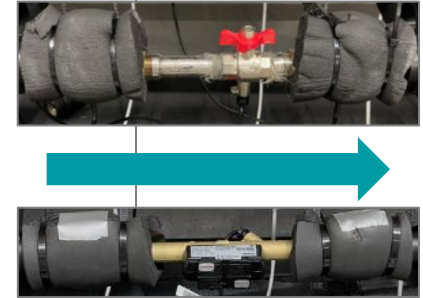
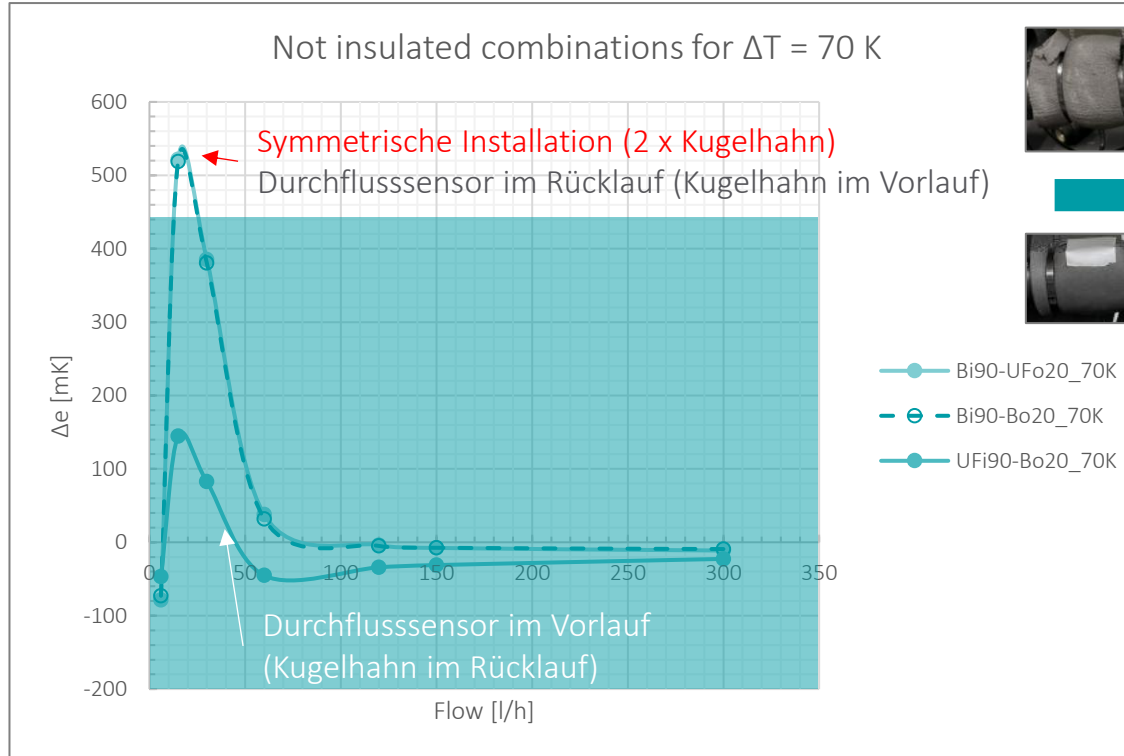
Einfluss der Einbaustellen auf $\Delta T = T_{\text{inlet}} - T_{\text{outlet}}$



MPE = 215 mK

$$\Delta e(\Delta T) = e_{\text{inlet}}^{\text{Installation A}} - e_{\text{outlet}}^{\text{Installation B}}$$

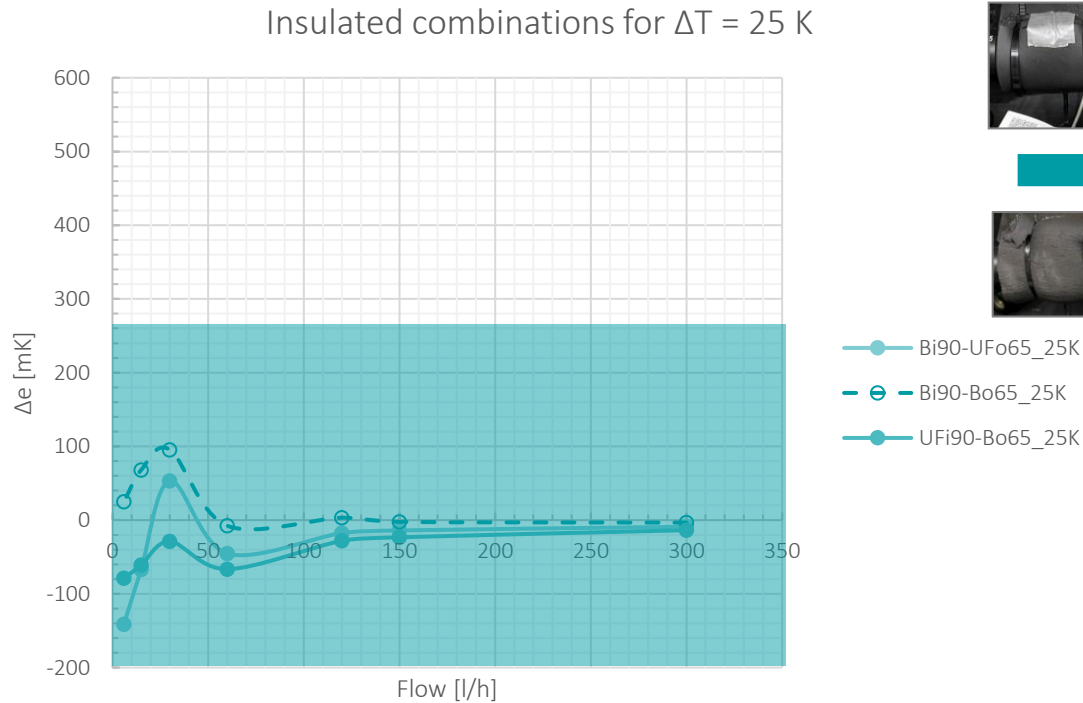
Einfluss der Einbaustellen auf $\Delta T = T_{\text{inlet}} - T_{\text{outlet}}$



MPE = 440 mK

$$\Delta e(\Delta T) = e_{\text{inlet}}^{\text{Installation A}} - e_{\text{outlet}}^{\text{Installation B}}$$

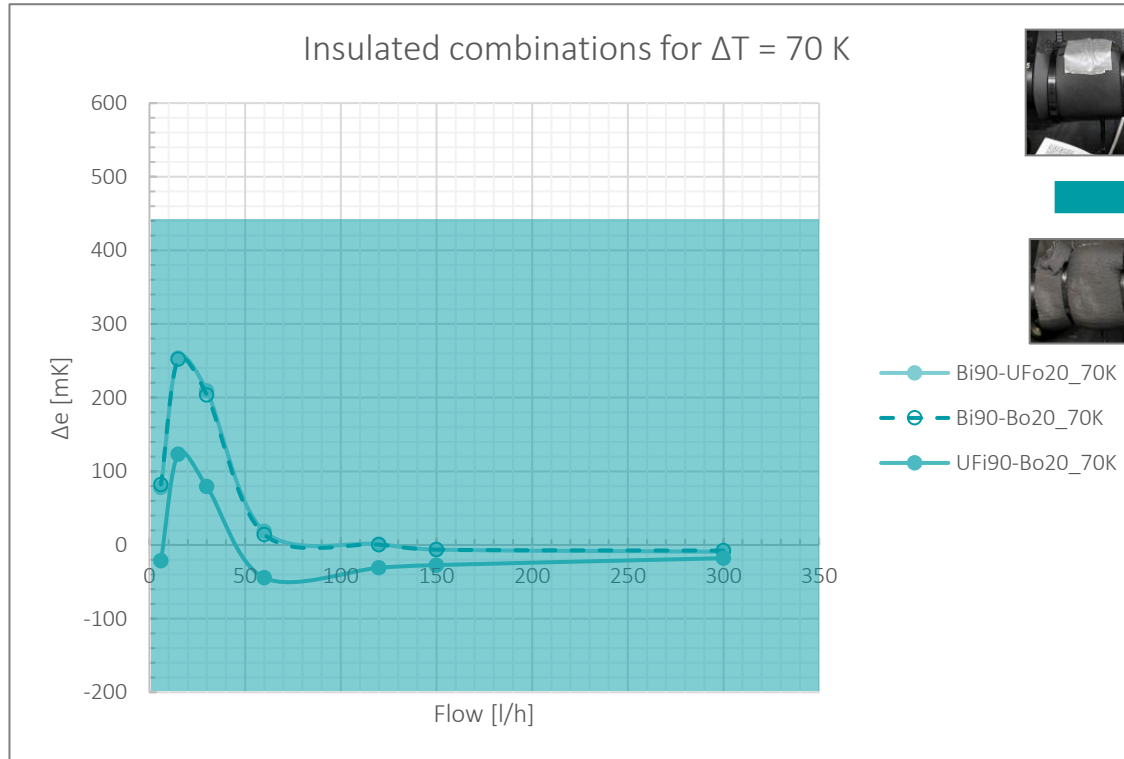
Einfluss der Einbaustellen auf $\Delta T = T_{\text{inlet}} - T_{\text{outlet}}$



MPE = 215 mK

$$\Delta e(\Delta T) = e_{\text{inlet}}^{\text{Installation A}} - e_{\text{outlet}}^{\text{Installation B}}$$

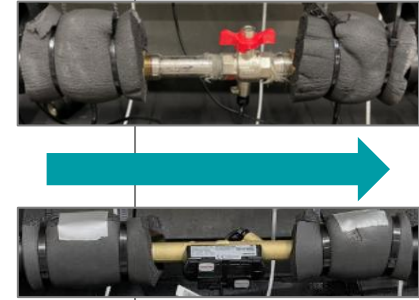
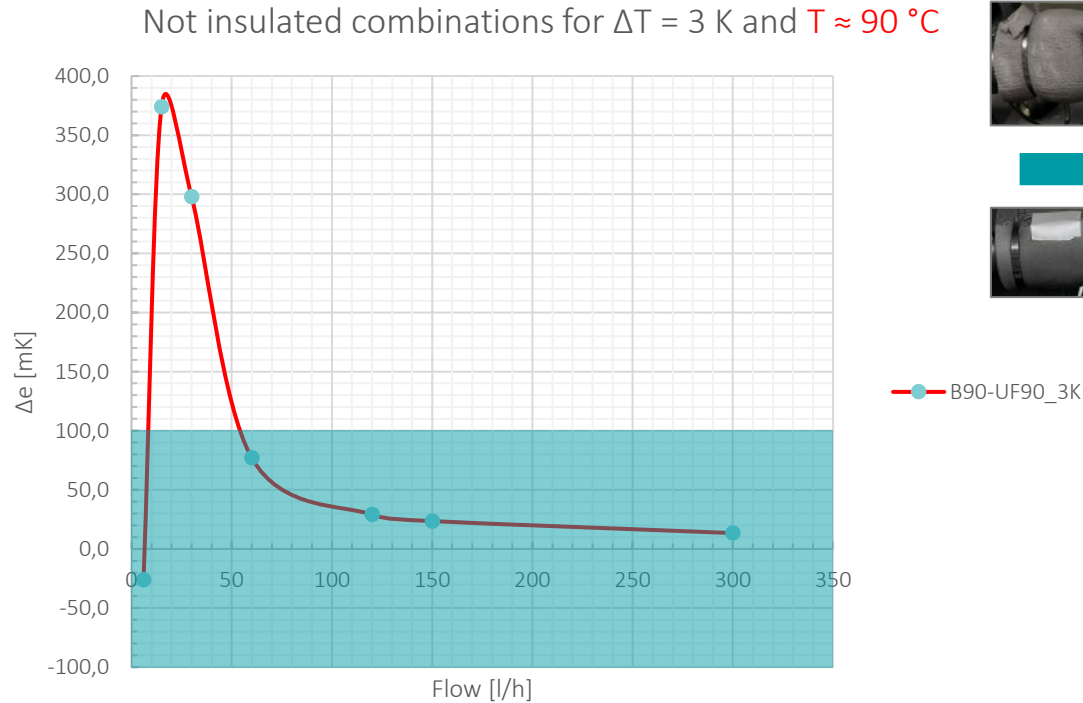
Einfluss der Einbaustellen auf $\Delta T = T_{\text{inlet}} - T_{\text{outlet}}$



MPE = 440 mK

$$\Delta e(\Delta T) = e_{\text{inlet}}^{\text{Installation A}} - e_{\text{outlet}}^{\text{Installation B}}$$

Einfluss der Einbaustellen bei $\Delta T = 3 \text{ K}$ und $T \approx 90 \text{ }^{\circ}\text{C}$



MPE = 105 mK

$$\Delta e(\Delta T) = e_T^{\text{Installation A}} - e_T^{\text{Installation B}}$$

Unsicherheitsbetrachtung (GUM Workbench)

Messung 1 und 2

$$e(T) = T_{EUT} - [T_{Ref1} - \frac{x}{d} \cdot (T_{Ref1} - T_{Ref1})]$$

$$U(e) \geq 360 \text{ mK} \text{ (Ball valve at } 90^\circ\text{C, } 15 \frac{\text{l}}{\text{h}}) \text{ or } 320 \text{ mK} \text{ (UF at } 90^\circ\text{C, } 15 \frac{\text{l}}{\text{h}})$$

$$U(T_{calibration}) = 40 \text{ mK}$$

$$U(x, d) = 2 \text{ mm, except from } U(x) = 5 \text{ mm for UF}$$

Standardunsicherheit der Mittelwerte aus N Messungen bei einem

Durchfluss x l/h:

$$U = \sigma / \sqrt{N}$$

Berechnung

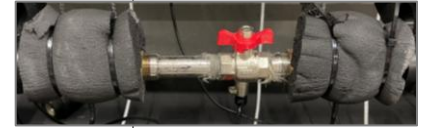
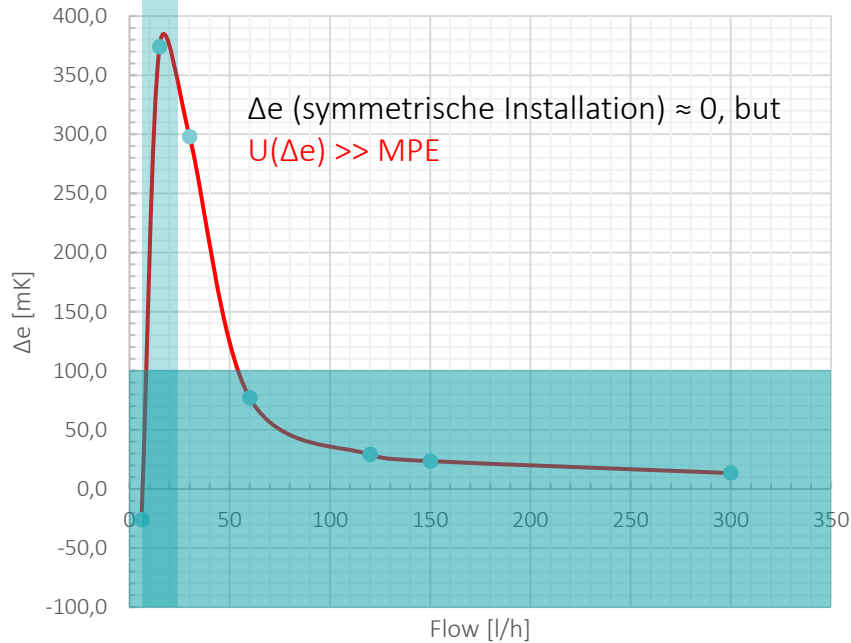
$$\Delta e(\Delta T) = e_{inlet}^{Installation A} - e_{outlet}^{Installation B}$$

$$U(\Delta e) = \sqrt{U(e1)^2 + U(e2)^2} \geq \sqrt{(360 \text{ mK})^2 + (320 \text{ mK})^2}$$

$$U(\Delta e) \geq 482 \text{ mK}$$

Einfluss der Einbaustellen bei $\Delta T = 3 \text{ K}$ und $T \approx 90 \text{ }^{\circ}\text{C}$

Not insulated combinations for $\Delta T = 3 \text{ K}$ and $T \approx 90 \text{ }^{\circ}\text{C}$



● B90-UF90_3K

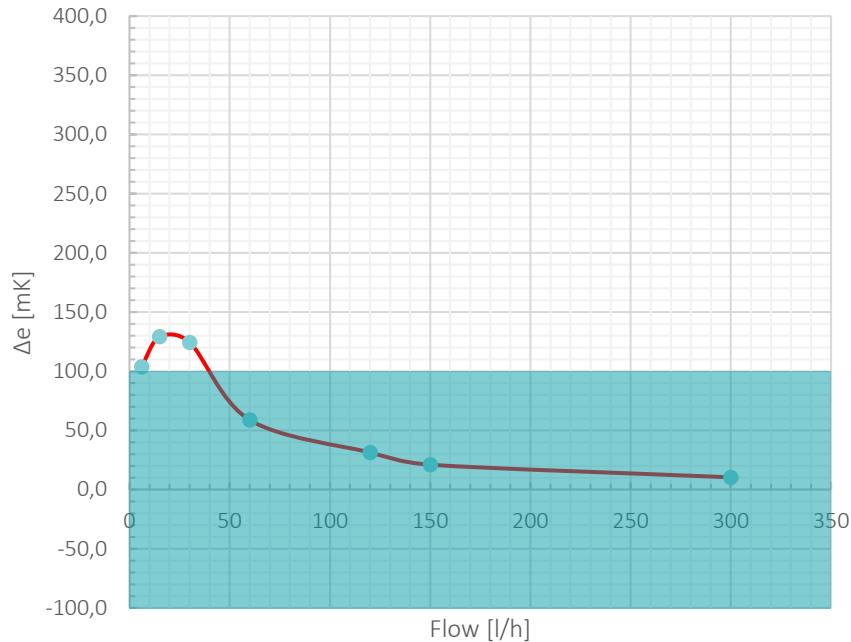
$U(\Delta e) \geq 482 \text{ mK}$

$\text{MPE} = 105 \text{ mK}$

$$\Delta e(\Delta T) = e_T^{\text{Installation A}} - e_T^{\text{Installation B}}$$

Einfluss der Einbaustellen bei $\Delta T = 3 \text{ K}$ und $T \approx 90 \text{ °C}$

Insulated combinations for $\Delta T = 3 \text{ K}$ and $T \approx 90 \text{ °C}$

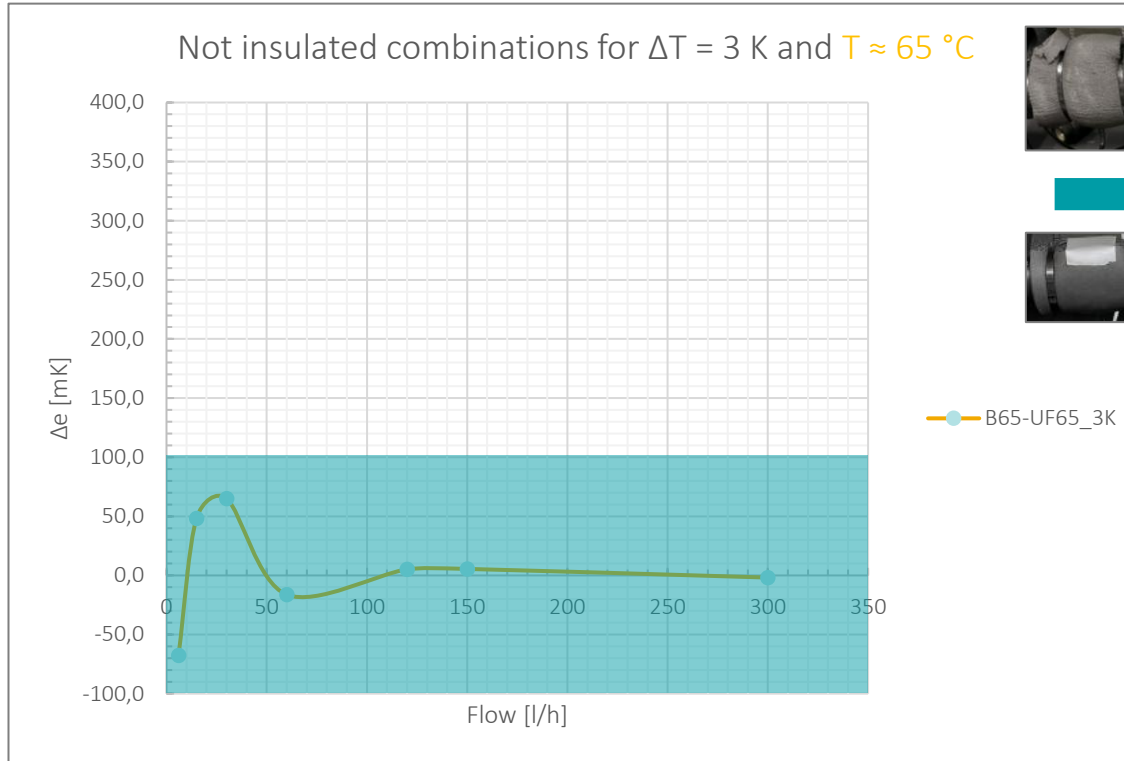


● B90-UF90_3K

MPE = 105 mK

$$\Delta e(\Delta T) = e_T^{\text{Installation A}} - e_T^{\text{Installation B}}$$

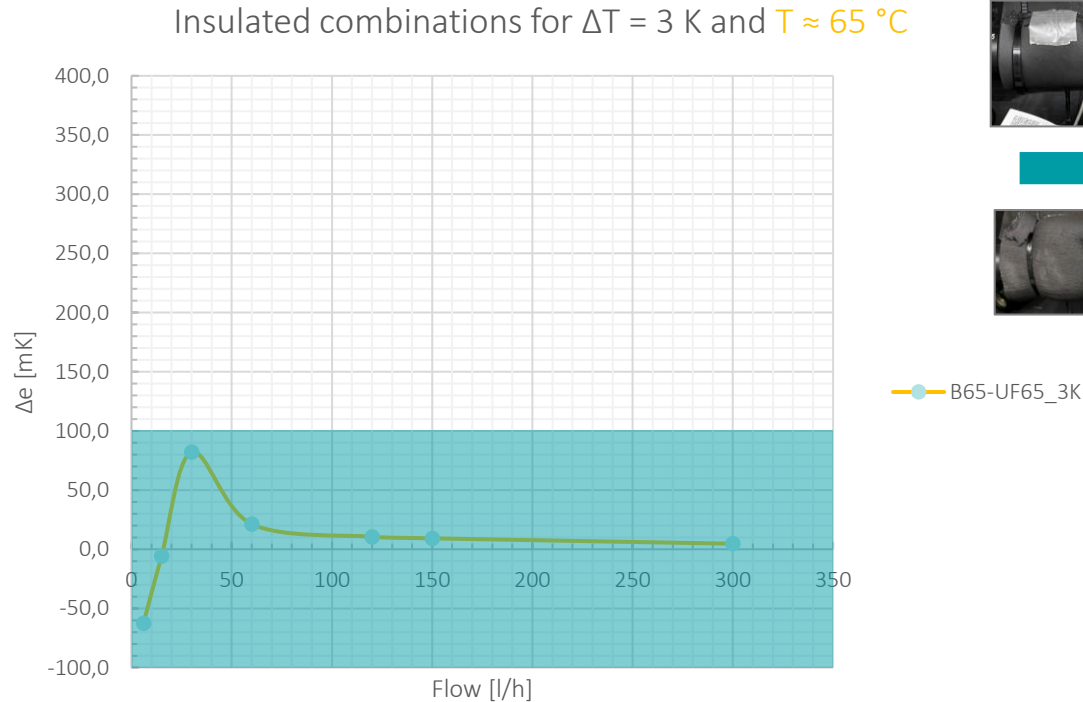
Einfluss der Einbaustellen bei $\Delta T = 3 \text{ K}$ und $T \approx 65 \text{ }^{\circ}\text{C}$



MPE = 105 mK

$$\Delta e(\Delta T) = e_T^{\text{Installation A}} - e_T^{\text{Installation B}}$$

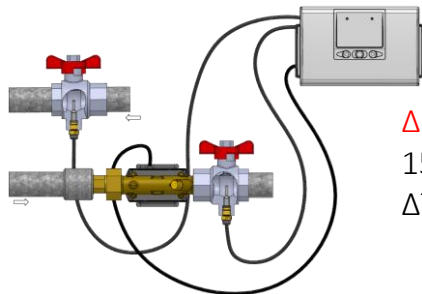
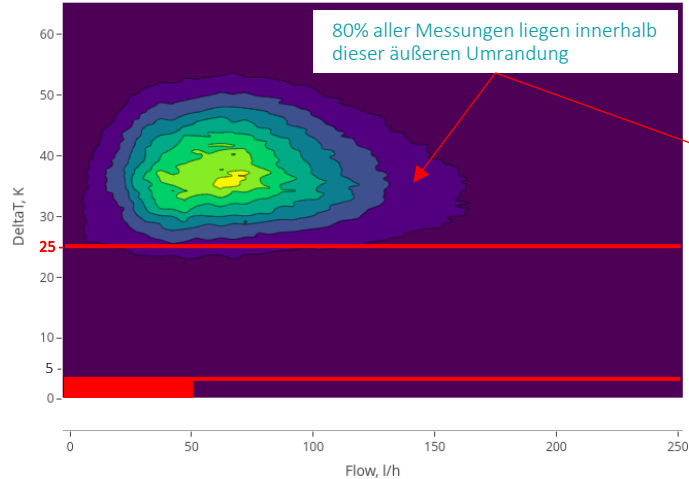
Einfluss der Einbaustellen bei $\Delta T = 3 \text{ K}$ und $T \approx 65 \text{ °C}$



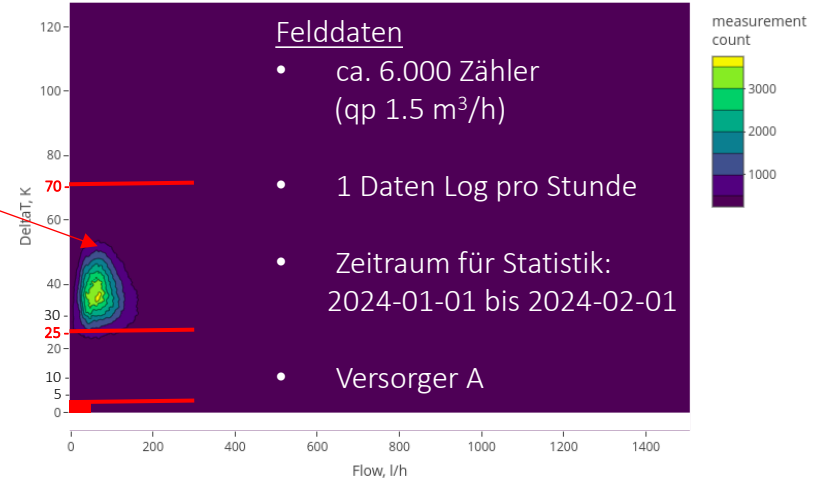
MPE = 105 mK

$$\Delta e(\Delta T) = e_T^{\text{Installation A}} - e_T^{\text{Installation B}}$$

Zusammenfassung und Perspektive



$\Delta e(\Delta T) > \text{MPE}$
 15...30 l/h;
 $\Delta T = 70 \text{ K}$ or 25 K



- Ein sich entwickelnder neuer Typentest sollte sich an realistischen Betriebsbedingungen orientieren.
- Grenzfälle, z.B. mit $\Delta T = 3 \text{ K}$ und Durchfluss $q \leq 50 \text{ l/h}$ zur selben Zeit, sind von akademischem Interesse, aber möglicherweise nicht Wert in einem Typentest berücksichtigt zu werden.

Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!



Christian Bombis
Technical Product Manager
Platform Product Management
Heat/Cooling

Kamstrup A/S
Industrivej 28
DK-8660 Skanderborg

cbo@kamstrup.com