



Fehlermöglichkeiten bei der Auswertung thermodynamischer Messungen an Wärmeaustauschern der Pkw- Klimatisierung

Inhalt

- ▶ Massenstrom
- ▶ Heizungswärmeaustauscher
- ▶ Verdampfer

Massenstrom

Luftdruck, Luftdichte, Wassergehalt der Luft

Auswertung der Luftmassenströme

Luftdruck

- Über Grund GND
- Über Normal Null NN
- Beispiel: 1007,8 hPa Luftdruckangabe im „Donaukurier“ vom 29.03.2006.
Gemessen wurden in 384 m Höhe jedoch 964 hPa.

Barometrische Höhenformel

Isotherme Schichtung

$$p = p_0 \cdot e^{-\frac{g}{R_L \cdot T_0} \cdot z} \approx p_0 \cdot e^{-\frac{z}{8430}}$$

- z Höhe [m]
- g Erdbeschleunigung
- R_L Gaskonstante der Luft
- T_0 Absolute Temperatur
- p_0 Druck über NN

Luftdichte und Wassergehalt

– Luftdichte, feucht

$$\rho = \frac{1 + x}{R_L + x \cdot R_W} \cdot \frac{p}{T}$$

– Wassergehalt der Luft

$$x = \frac{m_W}{m_L}$$

$$x = 0,622 \cdot \frac{p_s \cdot \varphi}{p - p_s \cdot \varphi}$$

$$\frac{R_L}{R_W} \approx 0,622$$

Auswertung der Luftmassenströme

- Messung mit einem Quantometer

$$\dot{m} = \dot{V} \cdot \rho = A \cdot w \cdot \rho$$

- Messung mit einer Blende nach EN ISO 5167-1:1995

$$\dot{m} = A \cdot f(\text{Re}) \cdot \sqrt{2 \cdot \rho \cdot \Delta p}$$

$$\text{Re} = \frac{w \cdot D}{\nu}$$

$$\dot{m} - A \cdot f(\dot{m}) \cdot \sqrt{2 \cdot \rho \cdot \Delta p} = 0$$

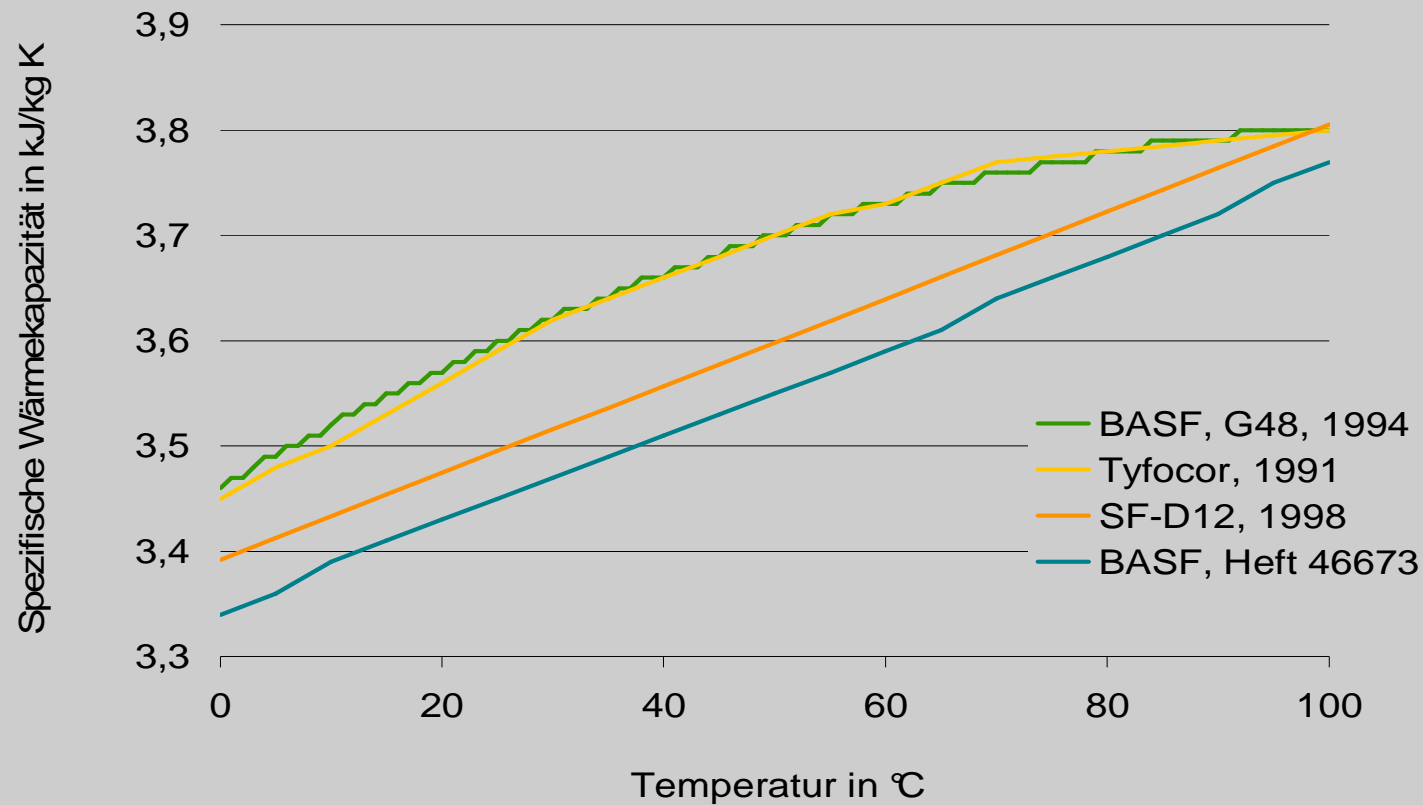
Heizungswärmeaustauscher

Spezifische Wärmekapazität einer Kühlflüssigkeit

Wahre und mittlere spezifische Wärmekapazität

Auswertung eines Kühlmittelwärmestroms

Spezifische Wärmekapazität einer Kühlflüssigkeit



Wahre und mittlere spezifische Wärmekapazität der Kühlflüssigkeit

- Wahre spezifische Wärmekapazität

$$c = f(\vartheta)$$

- Mittlere spezifische Wärmekapazität

$$c_m = c|_0^{\vartheta} = [c]_0^{\vartheta} = \frac{1}{\vartheta} \cdot \int_0^{\vartheta} c(\vartheta) \cdot d\vartheta$$

Auswertung eines Kühlmittel- Wärmestroms

- Wahre spezifische Wärmekapazität: **Integration**

$$\dot{Q} = \dot{m}_{Fluid} \cdot \int_{\vartheta_1}^{\vartheta_2} c(\vartheta) \cdot d\vartheta$$

- Mittlere spezifische Wärmekapazität: **Systemgrenzen**

$$\dot{Q} = \dot{m}_{Fluid} \cdot (c_{m,2} \cdot \vartheta_2 - c_{m,1} \cdot \vartheta_1)$$

Verdampfer

Trockener Luftmassenstrom und Kondensatstrom

Auswertung einer Verdampferleistung

Analyse einer Verdampferleistung

Trockener Luftmassenstrom und Kondensatstrom

- Gesamter Luftmassenstrom

$$\dot{m} = \dot{m}_L + \dot{m}_W \quad x = \frac{\dot{m}_W}{\dot{m}_L}$$

- Trockener Luftmassenstrom

$$\dot{m}_L = \frac{\dot{m}}{1 + x}$$

- Kondensatmassenstrom

$$\dot{m}_{\text{Kondensat}} = \Delta x \cdot \dot{m}_L$$

Auswertung einer Verdampferleistung

- Feuchte Luft (Mollier-h,x-Diagramm)

$$\dot{H} = \dot{m}_L \cdot \Delta h_{1+x} \quad h_{1+x} = h_L + x \cdot h_W = c_p \Big|_0^{\vartheta} \cdot \vartheta + x \cdot \left(r_0 + c_D \Big|_0^{\vartheta} \cdot \vartheta \right)$$

- Kondensat- und sensibler Wärmestrom

$$\dot{H} = \dot{m}_{Kondensat} \cdot r_0 + \dot{H}_{Sensibel}$$

- Kältemittelkreis (log-p,h-Diagramm)

$$\dot{H} = \dot{m}_{Kältemittel} \cdot \Delta h_{Verdampfer} \quad \dot{m}_K = \dot{m}_{gemessen} - \dot{m}_{Öl}$$

Analyse einer Verdampferleistung

- Gesamte Leistung: 7,3 kW
- Gemessener Kondensatstrom: 4,72 kg/h
- Berechneter Kondensatstrom: 4,64 kg/h
- Differenz: 1,7 %
- Ursache der Differenz: Abluftseitig wurde eine Nasstemperatur gemessen (100 % r.F.)

Tipps

- Es lohnt sich, die eigenen Prüfstände zu kennen und dazugehörige Auswertmethoden zu analysieren.
- Mit einer FMEA (Fehler Möglichkeit Einfluss Analyse) kann die Qualität der Auswertungen nachhaltig unterstützt werden.



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Zusammenhang zwischen wahrer und mittlerer spezifischer Wärmekapazität

- Um die Temperatur der Kühlflüssigkeit von ϑ_1 auf ϑ_2 zu erhöhen, ist folgender Wärmestrom erforderlich:

$$\dot{Q} = \dot{m}_{Fluid} \cdot \int_{\vartheta_1}^{\vartheta_2} c(\vartheta) \cdot d\vartheta \quad \dot{Q} = \dot{m}_{Fluid} \cdot \left(\int_0^{\vartheta_2} c(\vartheta) \cdot d\vartheta - \int_0^{\vartheta_1} c(\vartheta) \cdot d\vartheta \right)$$

- Mit der mittleren spezifischen Wärmekapazität

$$c_m = c \Big|_0^{\vartheta} = \frac{1}{\vartheta} \cdot \int_0^{\vartheta} c(\vartheta) \cdot d\vartheta$$

- wird

$$\dot{Q} = \dot{m}_{Fluid} \cdot (c_{m,2} \cdot \vartheta_2 - c_{m,1} \cdot \vartheta_1)$$

Experimentelle Bestimmung der mittleren spezifischen Wärmekapazität

- Der Kühlflüssigkeit wird ab einer Ausgangstemperatur von 0 °C bis zu einer bestimmten Endtemperatur eine definierte Wärmemenge zugeführt.

$$Q_{zu} = m \cdot c_m \cdot (\vartheta - 0\text{ °C})$$

- Dann ist die mittlere spezifische Wärmekapazität

$$c_m = \frac{1}{\vartheta - 0\text{ °C}} \cdot \frac{Q_{zu}}{m} = \frac{1}{\vartheta - 0\text{ °C}} \cdot \int_0^{\vartheta} c(\vartheta) \cdot d\vartheta = c|_0^{\vartheta}$$

Ansätze für die Auswertung der Wärmeströme

- Wahre spezifische Wärmekapazität $c = a + b \cdot \vartheta$

$$\Delta h = a \cdot (\vartheta_1 - \vartheta_2) + \frac{b}{2} \cdot (\vartheta_1^2 - \vartheta_2^2) \qquad \dot{Q} = \dot{m}_{Fluid} \cdot \Delta h$$

- Mittlere spezifische Wärmekapazität $c = a_m + b_m \cdot \vartheta$

$$\Delta h = a_m \cdot (\vartheta_1 - \vartheta_2) + b_m \cdot (\vartheta_1^2 - \vartheta_2^2)$$

Spezifische Enthalpie der feuchten Luft

- Enthalpie

$$H = m_L \cdot h_L + m_W \cdot h_W$$

- Enthalpie bezogen auf 1 kg trockene Luft

$$h_{1+x} = \frac{H}{m_L} = h_L + x \cdot h_W$$