

Kochrezept: Ideale Flüssigkeit

In welchem Zustand ist gerade das Arbeitsmedium (realer Stoff)?

- Unterkühlte Flüssigkeit (Compressed Liquid)
- Nassdampf (Steam) ND
- Überhitzter Dampf (Superheated Vapor)

Falls Compressed Liquid:

gibt es TAB?

- Ja: TAB ablesen; ggf. lerp.
- Nein: ideale Flüssigkeit approxi.

Falls ND:

Reales Fluid (2-Phasengebiet)

- Spezifische Zustandsgröße $\phi = v, u, h, s$
- Dampf tafeln $\phi = f(T, p)$
- Nassdampf $\phi = \phi_f + x(\phi_g - \phi_f)$
- Dampfgehalt $x = \frac{m_g}{m_g + m_f}$
- Verdampfungsenthalpie $h_{fg} = h_g - h_f$

Falls Superheated Vapor:
TAB, ggf. lerp.

lerp.: Interpolation

Bedingung für dieses "Nein"

z.B. Druck unter dem minimalen TAB-wert in "Compressed Liquid"
z.B. für Wasser 1 bar, 20°C. TAB fängt erst bei 25 bar an.

in dem Fall: reale Flüssigkeit als ideale Flüssigkeit approximieren.

Approximation: verwendet man ND (Temperatur) TAB & ZF Formeln

TABLE A-2
Pressure Conversions:
1 bar = 0.1 MPa
= 10² kPa

Properties of Saturated Water (Liquid-Vapor): Temperature Table

| Temp. °C | Press. bar | Specific Volume m ³ /kg | | Internal Energy kJ/kg | | Enthalpy kJ/kg | | | Entropy kJ/kg · K | | Temp. °C |
|-------------|---------------|---------------------------------------|---------------------|--------------------------|---------------------|----------------------|-------------------|---------------------|----------------------|---------------------|-------------|
| | | Sat. Liquid $v_f \times 10^3$ | Sat. Vapor v_g | Sat. Liquid u_f | Sat. Vapor u_g | Sat. Liquid h_f | Evap. h_{fg} | Sat. Vapor h_g | Sat. Liquid s_f | Sat. Vapor s_g | |
| .01 | 0.00611 | 1.0002 | 206.136 | 0.00 | 2375.3 | 0.01 | 2501.3 | 2501.4 | 0.0000 | 9.1562 | .01 |
| 4 | 0.00813 | 1.0001 | 157.232 | 16.77 | 2380.9 | 16.78 | 2491.9 | 2508.7 | 0.0610 | 9.0514 | 4 |
| 5 | 0.00872 | 1.0001 | 147.120 | 20.97 | 2382.3 | 20.98 | 2489.6 | 2510.6 | 0.0761 | 9.0257 | 5 |
| 6 | 0.00935 | 1.0001 | 137.734 | 25.19 | 2383.6 | 25.20 | 2487.2 | 2512.4 | 0.0912 | 9.0003 | 6 |
| 8 | 0.01072 | 1.0002 | 120.917 | 33.59 | 2386.4 | 33.60 | 2482.5 | 2516.1 | 0.1212 | 8.9501 | 8 |
| 10 | 0.01228 | 1.0004 | 106.379 | 42.00 | 2389.2 | 42.01 | 2477.7 | 2519.8 | 0.1510 | 8.9008 | 10 |

Näherung bei Verwendung von Tabellenwerten
(gesättigte Flüssigkeit):

$$v^{if}(T, p) = v_f(T) \quad u^{if}(T, v) = u_f(T)$$

$$h^{if}(T, p) = h_f(T) + v^{if}(p - p_{sat}(T))$$

Wenn $h_f(T) \gg v^{if}(p - p_{sat}(T))$: $h^{if}(T, p) \approx h_f(T)$

$$s^{if}(T, p) = s_f(T)$$

gesuchte Zustandsgröße hat diesen Druck

3. Gehen auf ND TAB & ZF

Näherung bei Verwendung von Tabellenwerten
(gesättigte Flüssigkeit):

suchen nach der gleichen Temp. die TAB-Wert an gerade gesättigter Flüssigkeit

$$v^{if}(T, p) = v_f(T) \quad u^{if}(T, v) = u_f(T)$$

gesuchte Zustandsgröße hat diese Temp.

$$h^{if}(T, p) = h_f(T) + v^{if}(p - p_{sat}(T))$$

Bei der Prüfung immer diese Formel für Enthalpie verwenden

Wenn $h_f(T) \gg v^{if}(p - p_{sat}(T))$: $h^{if}(T, p) \approx h_f(T)$

große Abweichung bei der Prüfung kann falsch sein

$$s^{if}(T, p) = s_f(T)$$

 Sind alle TAB-Werte in ND mit Index "f"

TABLE A-2

Properties of Saturated Water (Liquid–Vapor): Temperature Table

Pressure Conversions:
1 bar = 0.1 MPa
= 10² kPa

| Temp. °C | Press. bar | Specific Volume m ³ /kg | | Internal Energy kJ/kg | | Enthalpy kJ/kg | | | Entropy kJ/kg · K | | Temp. °C |
|-------------|---------------|---------------------------------------|------------------------|--------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|-------------|
| | | Sat. Liquid $v_f \times 10^3$ | Sat. Vapor v_g | Sat. Liquid u_f | Sat. Vapor u_g | Sat. Liquid h_f | Evap. h_{fg} | Sat. Vapor h_g | Sat. Liquid s_f | Sat. Vapor s_g | |
| .01 | 0.00611 | 1.0002 | 206.136 | 0.00 | 2375.3 | 0.01 | 2501.3 | 2501.4 | 0.0000 | 9.1562 | .01 |
| 4 | 0.00813 | 1.0001 | 157.232 | 16.77 | 2380.9 | 16.78 | 2491.9 | 2508.7 | 0.0610 | 9.0514 | 4 |
| 5 | 0.00872 | 1.0001 | 147.120 | 20.97 | 2382.3 | 20.98 | 2489.6 | 2510.6 | 0.0761 | 9.0257 | 5 |
| 6 | 0.00935 | 1.0001 | 137.734 | 25.19 | 2383.6 | 25.20 | 2487.2 | 2512.4 | 0.0912 | 9.0003 | 6 |
| 8 | 0.01072 | 1.0002 | 120.917 | 33.59 | 2386.4 | 33.60 | 2482.5 | 2516.1 | 0.1212 | 8.9501 | 8 |
| 10 | 0.01228 | 1.0004 | 106.379 | 42.00 | 2389.2 | 42.01 | 2477.7 | 2519.8 | 0.1510 | 8.9008 | 10 |

(angenommen wir haben „Compressed Water“ 10°C, 1bar, ges. v, u, h, s)

Näherung bei Verwendung von Tabellenwerten
(gesättigte Flüssigkeit):

$$v^{if}(T, p) = v_f(T) \quad u^{if}(T, v) = u_f(T)$$

$$h^{if}(T, p) = h_f(T) + v^{if}(p - p_{sat}(T))$$

Wenn $h_f(T) \gg v^{if}(p - p_{sat}(T))$: $h^{if}(T, p) \approx h_f(T)$

$$s^{if}(T, p) = s_f(T)$$

vgl.

$$v^{if}(10^\circ\text{C}, 1\text{bar}) = v_f(10^\circ\text{C}) = 1.0004 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

$$u^{if}(10^\circ\text{C}, v) = u_f(10^\circ\text{C}) = 42 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$h^{if}(10^\circ\text{C}, 1\text{bar}) = h_f(10^\circ\text{C}) + v_f(10^\circ\text{C}) \cdot (1\text{bar} - p_{sat}(10^\circ\text{C}))$$

$$= 42.01 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} + 1.0004 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} (100\text{kPa} - 1.228\text{kPa}) = 42.1088 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$s^{if}(10^\circ\text{C}, 1\text{bar}) = s_f(10^\circ\text{C}) = 0.151 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

Achten auf Einheiten!

Zusatz:

Jens Metzger (Haupt TA):

"Im Fall von sehr tiefen Temperaturen: Wenn du keine weiteren Information hast über die Flüssigkeit hast und die Tabelle erst bei 20°C anfängt, würde ich persönlich auch mit der idealen Flüssigkeit rechnen. Das wird zwar mit zunehmendem Druck >100 bar unkorrekt, aber ist immer noch eine gute Approximation. Man sollte allerdings immer checken, ob man nicht vielleicht schon im Feststoffbereich ist. Für Stoffe ohne Dichteanomalie (nicht Wasser!) kann es sein, dass hohe T und hohe p bereits im Feststoffgebiet liegt. Dann gilt die Ideale Flüssigkeit natürlich nicht mehr, dann der Stoff bereits erstarrt ist (hat vor allem einen Einfluss auf h, u und s)."

Falls noch Unklarheit, bitte mail an juncfu@ethz.ch