

4.4.4 Ermittlung der spezifischen Entropie s für inkompressible (ideale) Flüssigkeiten

Funktionale Abhängigkeit

$$s^{\text{if}} = f(p, T)$$

Berechnung der spezifischen Entropie mit Gleichungen

$$c_p^{\text{if}} = f(T)$$

$$s^{\text{if}} = s_0^{\text{if}} + \int_{T_0}^T \frac{c_p^{\text{if}}(T)}{T} dT - \frac{dv^{\text{if}}}{dT}(T) \cdot (p - p_0)$$

s^{if} spezifische Entropie der idealen Flüssigkeit bei p und T

s_0^{if} spezifische Entropie im Bezugszustand,

Empfehlung: $s_0^{\text{if}} = 0$ wählen

T Kelvin-Temperatur

T_0 Kelvin-Temperatur des Bezugszustands,

Empfehlung: $T_0 = 273,15$ K wählen

$c_p^{\text{if}}(T)$ Gleichung für die spezifische isobare Wärmekapazität der idealen Flüssigkeit ↗ 4.1.4, ↗ [S6, S7]

$\frac{dv^{\text{if}}}{dT}(T)$ Ableitung des spezifischen Volumens $v^{\text{if}}(T)$ der idealen Flüssigkeit nach der Temperatur T
↗ Ermittlung im späteren Abschnitt

p Druck

p_0 Druck des Bezugszustands,

Empfehlung: $p_0 = 0,101325$ MPa wählen

(Ausnahme Wasser: $p_0 = 0,61121$ kPa)

Ermittlung der spezifischen Entropie mit Tabellen für den temperaturabhängigen Anteil $s_T^{\text{if}} = f(T)$

$$s^{\text{if}} = s_T^{\text{if}}(T) - \frac{dv^{\text{if}}}{dT}(T) \cdot (p - p_0)$$

s^{if} spezifische Entropie der idealen Flüssigkeit bei p und T

$s_T^{\text{if}}(T)$ Tabellenwert für den temperaturabhängigen Anteil der spezifischen Entropie (↗ A6 für Wasser), berechnet mit

$$s_T^{\text{if}}(T) = s_0^{\text{if}} + \int_{T_0}^T \frac{c_p^{\text{if}}(T)}{T} dT$$

T Kelvin-Temperatur

$\frac{dv^{\text{if}}}{dT}(T)$ Ableitung des spezifischen Volumens $v^{\text{if}}(T)$ der idealen Flüssigkeit nach der Temperatur T
↗ Ermittlung im späteren Abschnitt

p Druck

p_0 Druck des Bezugszustands,
Empfehlung: $p_0 = 0,101325 \text{ MPa}$ wählen
(Ausnahme Wasser: $p_0 = 0,61121 \text{ kPa}$)

Ermittlung der spezifischen Entropie mit Mittelwert

$c_p^{\text{if}} \Big|_{T_0}^T = \text{const}$ zwischen T_0 und T

$$s^{\text{if}} = s_0^{\text{if}} + c_p^{\text{if}} \Big|_{T_0}^T \cdot \ln \frac{T}{T_0} - \frac{dv^{\text{if}}}{dT}(T) \cdot (p - p_0)$$

s^{if} spezifische Entropie der idealen Flüssigkeit bei p und T

s_0^{if} spezifische Entropie im Bezugszustand,

Empfehlung: $s_0^{\text{if}} = 0$ wählen

$c_p^{\text{if}} \Big _{T_0}^T$	mittlere spezifische isobare Wärmekapazität der idealen Flüssigkeit zwischen T_0 und T ↗ Ermittlung im späteren Abschnitt
T	Kelvin-Temperatur
T_0	Kelvin-Temperatur des Bezugszustands, Empfehlung: $T_0 = 273,15 \text{ K}$ wählen
$\frac{dv^{\text{if}}}{dT}(T)$	Ableitung des spezifischen Volumens $v^{\text{if}}(T)$ der idealen Flüssigkeit nach der Temperatur T ↗ Ermittlung im späteren Abschnitt
p	Druck
p_0	Druck des Bezugszustands, Empfehlung: $p_0 = 0,101325 \text{ MPa}$ wählen (Ausnahme Wasser: $p_0 = 0,61121 \text{ kPa}$)

Ermittlung des Differenzialkoeffizienten $\frac{dv^{\text{if}}}{dT}(T)$

a) Ermittlung mit isobarem Volumenausdehnungskoeffizienten und Dichte der idealen Flüssigkeit

$$\boxed{\frac{dv^{\text{if}}}{dT}(T) = \frac{\beta^{\text{if}}(T)}{\rho^{\text{if}}(T)}}$$

$\frac{dv^{\text{if}}}{dT}(T)$ Ableitung des spezifischen Volumens $v^{\text{if}}(T)$ der idealen Flüssigkeit nach der Temperatur T

$\beta^{\text{if}}(T)$ isobarer Volumenausdehnungskoeffizient der idealen Flüssigkeit bei der Temperatur T

$$\beta = \alpha_v = \frac{1}{v} \cdot \left(\frac{\partial v}{\partial T} \right)_p \quad \nearrow \text{A6 Werte für Wasser, } \nearrow [\text{S6, S7}]$$

$\rho^{\text{if}}(T)$ Dichte der idealen Flüssigkeit bei der Temperatur T
↗ 3.3.4, ↗ A6 Werte für Wasser

T Temperatur

b) Ermittlung als Differenzenquotient mit Gleichungen für die Dichte der idealen Flüssigkeit

$$\frac{dv^{\text{if}}}{dT}(T) \cong \frac{\frac{1}{\rho^{\text{if}}(T + \delta T)} - \frac{1}{\rho^{\text{if}}(T - \delta T)}}{(T + \delta T) - (T - \delta T)}$$

$\frac{dv^{\text{if}}}{dT}(T)$ Ableitung des spezifischen Volumens $v^{\text{if}}(T)$ der idealen Flüssigkeit nach der Temperatur T

T Temperatur

$\rho^{\text{if}}(T + \delta T)$, $\rho^{\text{if}}(T - \delta T)$ berechnete Werte für die Dichte der idealen Flüssigkeit bei den Temperaturen $T + \delta T$ und $T - \delta T$

δT Variierung der Temperatur T , $\delta T = 0,0001 \dots 0,1$ K wählen

c) Ermittlung als Differenzenquotient mit Tabellen für die Dichte der idealen Flüssigkeit

$$\frac{dv^{\text{if}}}{dT}(T) \cong \frac{\frac{1}{\rho^{\text{if}}(T_b)} - \frac{1}{\rho^{\text{if}}(T_a)}}{T_b - T_a}$$

$\frac{dv^{\text{if}}}{dT}(T)$ Ableitung des spezifischen Volumens $v^{\text{if}}(T)$ der idealen Flüssigkeit nach der Temperatur T

T Temperatur

$\rho^{\text{if}}(T_a)$, $\rho^{\text{if}}(T_b)$ Tabellenwerte für die Dichte der idealen Flüssigkeit bei den Temperaturen T_a und T_b ↗ A6 Werte für Wasser

T_a, T_b benachbarte Tabellenwerte zur Temperatur T

Mittelwertbildung für die spezifische isobare Wärmekapazität idealer Flüssigkeiten

Näherung für kleine Differenz $(T - T_0)$ mit Tabellen $c_p^{\text{if}} = f(T)$

$$c_p^{\text{if}} \Big|_{T_0}^T \approx \frac{1}{2} \cdot [c_p^{\text{if}}(T_0) + c_p^{\text{if}}(T)]$$

$c_p^{\text{if}} \Big|_{T_0}^T$ mittlere spezifische isobare Wärmekapazität der idealen Flüssigkeit zwischen T_0 und T

T Temperatur

T_0 Temperatur des Bezugszustands, Empfehlung: $T_0 = 273,15 \text{ K}$

$c_p^{\text{if}}(T_0), c_p^{\text{if}}(T)$ Tabellenwerte für die spezifische isobare Wärmekapazität der idealen Flüssigkeit bei T_0 und T

↗ A6 für Wasser

Ermittlung der spezifischen Entropie mit Tabellen oder Gleichungen für $s' = f(T)$ und $v' = f(T)$ von siedender Flüssigkeit:

Für $T \leq 0,8 \cdot T_c$ sind Näherungen $s^{\text{if}} = s'(T)$ und $v^{\text{if}} = v'(T)$ möglich:

$$s^{\text{if}} \cong s'(T) - \frac{dv'}{dT}(T) \cdot [p - p_s(T)]$$

T Kelvin-Temperatur

T_c kritische Kelvin-Temperatur des Fluids ↗ 2.1

s^{if} spezifische Entropie der idealen Flüssigkeit bei p und T

$s'(T)$ spezifische Entropie der siedenden Flüssigkeit bei T

↗ A4 Werte für Wasser

$\frac{dv'}{dT}(T)$ Ableitung des spezifischen Volumens $v'(T)$ der siedenden Flüssigkeit nach der Temperatur T

↗ Ermittlung im folgenden Abschnitt

p Druck

$p_s(T)$ Siededruck bei der Temperatur T

Ermittlung des Differenzialkoeffizienten $\frac{dv'}{dT}(T)$

a) Ermittlung mit isobarem Volumenausdehnungskoeffizienten und spezifischem Volumen der siedenden Flüssigkeit

$$\frac{dv'}{dT}(T) = \beta'(T) \cdot v'(T)$$

$\frac{dv'}{dT}(T)$ Ableitung des spezifischen Volumens $v'(T)$ der siedenden Flüssigkeit nach der Temperatur T

T Temperatur

$\beta'(T)$ isobarer Volumenausdehnungskoeffizient der siedenden Flüssigkeit bei der Temperatur T

$$\beta = \alpha_v = \frac{1}{v} \cdot \left(\frac{\partial v}{\partial T} \right)_p \quad \nearrow [S6, S7]$$

$v'(T)$ Spezifisches Volumen der siedenden Flüssigkeit bei der Temperatur T

\nearrow 3.3.5, \nearrow A4 Werte für Wasser

b) Ermittlung als Differenzenquotient mit Gleichungen für das spezifische Volumen der siedenden Flüssigkeit

$$\frac{dv'}{dT}(T) \cong \frac{v'(T + \delta T) - v'(T - \delta T)}{(T + \delta T) - (T - \delta T)}$$

$\frac{dv'}{dT}(T)$ Ableitung des spezifischen Volumens $v'(T)$ der siedenden Flüssigkeit nach der Temperatur T

T Temperatur

$v'(T + \delta T)$, $v'(T - \delta T)$ berechnete Werte für das spezifische
 Volumen der siedenden Flüssigkeit bei den Temperaturen
 $T + \delta T$ und $T - \delta T$
 δT Variierung der Temperatur T , $\delta T = 0,0001 \dots 0,1$ K wählen

**c) Ermittlung als Differenzenquotient mit Tabellen für das
 spezifische Volumen der siedenden Flüssigkeit**

$$\frac{dv'}{dT}(T) \cong \frac{v'(T_a) - v'(T_b)}{T_a - T_b}$$

$\frac{dv'}{dT}(T)$ Ableitung des spezifischen Volumens $v'(T)$ der siedenden
 Flüssigkeit nach der Temperatur T

T Temperatur

$v'(T_a)$, $v'(T_b)$ Tabellenwerte für das spezifische Volumen der
 siedenden Flüssigkeit bei den Temperaturen T_a und T_b
 ↗ A4 Werte für Wasser

T_a , T_b benachbarte Tabellenwerte zur Temperatur T