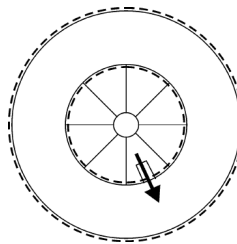


Thermodynamik I – Lösung Rechenübung 1

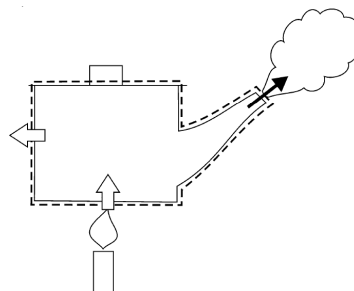
Aufgabe 1

a)



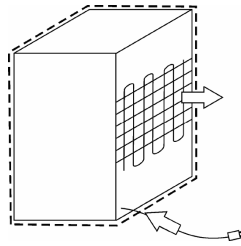
Masse (Luft) fliesst ins System ein \Rightarrow offenes System.
Keine weiteren wichtigen Wechselwirkungen.

b)



Wärmezufuhr durch Flamme, Wärmeverlust durch Wechselwirkung zwischen heissen Wänden und Umgebung, Massenaustritt \Rightarrow offenes System

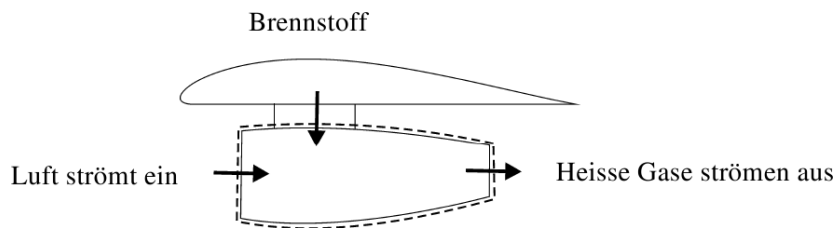
c)



Kühlschrank in Betrieb:

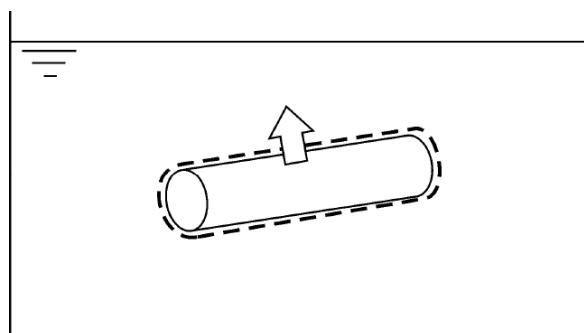
kein Zu- oder Abfluss von Masse \Rightarrow geschlossenes System, Kühlspiralen in Wechselwirkung mit Raumluft (Wärmeaustausch), Zufuhr von elektrischem Strom

d)



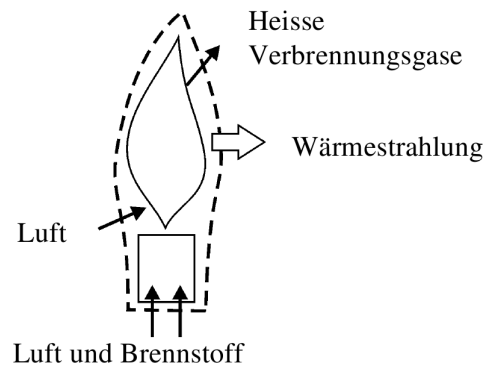
Massenströme fließen ein und aus \Rightarrow offenes System, Schubkraft wirkt auf Halterung des Triebwerks, Luftreibung an den äusseren Oberflächen des Triebwerks

e)



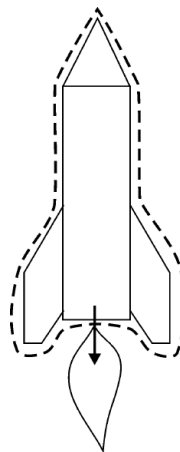
Heisse Oberfläche des Stahlzylinders ist in Wechselwirkung mit dem Ölbad (Wärmeübertragung), kein Massenfluss \Rightarrow geschlossenes System

f)



Luft und Brennstoff: \Rightarrow Massenfluss ein und aus \Rightarrow offenes System

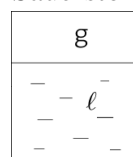
g)



Heisse Verbrennungsgase strömen aus \Rightarrow offenes System

h)

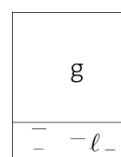
Sauerstoff:



O₂ gasförmig

O₂ flüssig

2 Phasen:
chemisch homogen,
physikalisch inhomogen.



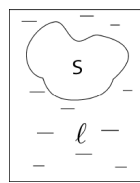
O₂ gasförmig

O₂ flüssig

2 Phasen:
chemisch homogen,
physikalisch inhomogen.

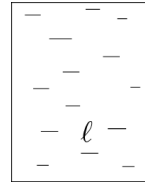
i)

Wasser:



H₂O fest

H₂O flüssig



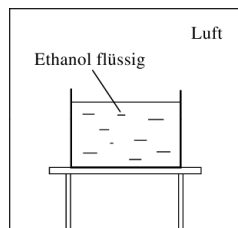
H₂O flüssig

2 Phasen:
chemisch homogen,
physikalisch inhomogen.

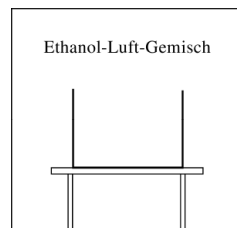
1 Phase:
chemisch homogen,
physikalisch homogen.

j)

Ethanol:



2 Phasen:
chemisch inhomogen,
physikalisch inhomogen.



1 Phase:
chemisch homogen,
physikalisch homogen.

Auch eine Mischung (z.B. Luft) kann chemisch homogen sein, wenn das Mischungsverhältnis im ganzen System konstant ist.

Aufgabe 2

a)

$$10000 \text{ kg/h} = 10000 \text{ kg}/3600 \text{ s} \approx \underline{\underline{2.78 \text{ kg/s}}}$$

b)

$$\begin{aligned} p_2 &= 40 \text{ bar} \\ 1 \text{ bar} &= 10^5 \text{ Pa} = 0.1 \text{ MPa} \\ \Rightarrow p_2 &= \underline{\underline{4 \text{ MPa}}} \end{aligned}$$

c)

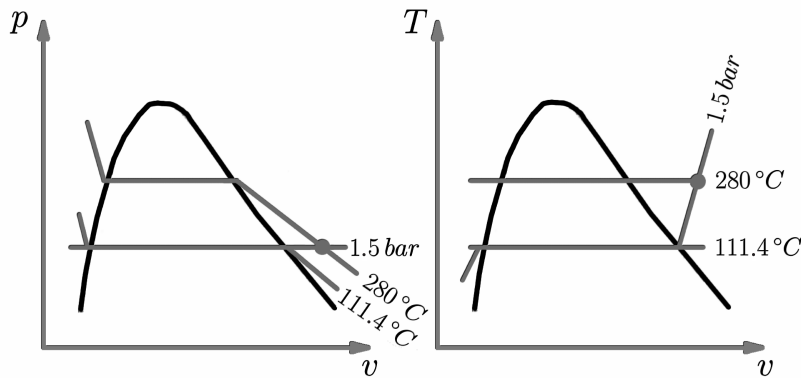
$$\begin{aligned} T_1 &= 420^\circ \text{C} \\ 0^\circ \text{C} &\approx 273 \text{ K} \\ \Rightarrow T_1 &= 420 + 273 \text{ K} = \underline{\underline{693 \text{ K}}} \end{aligned}$$

d)

$$\begin{aligned} p_1 &= 5000 \text{ kPa} = 5000 \cdot 10^3 \text{ Pa} = 5 \cdot 10^6 \text{ Pa} \\ p_1 &= 5 \text{ MPa} = \underline{\underline{50 \text{ bar}}} \end{aligned}$$

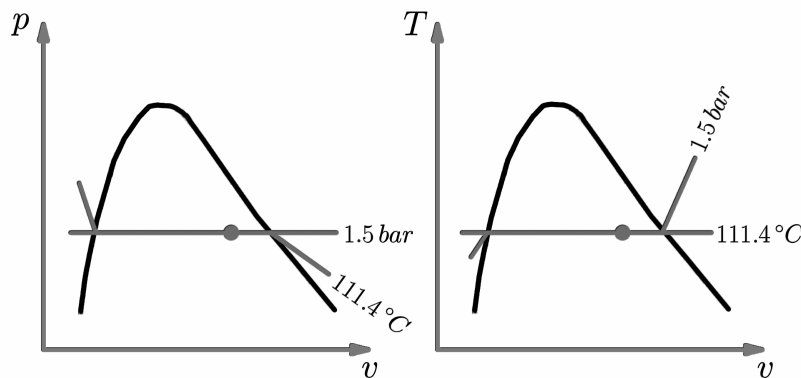
Aufgabe 3

a)



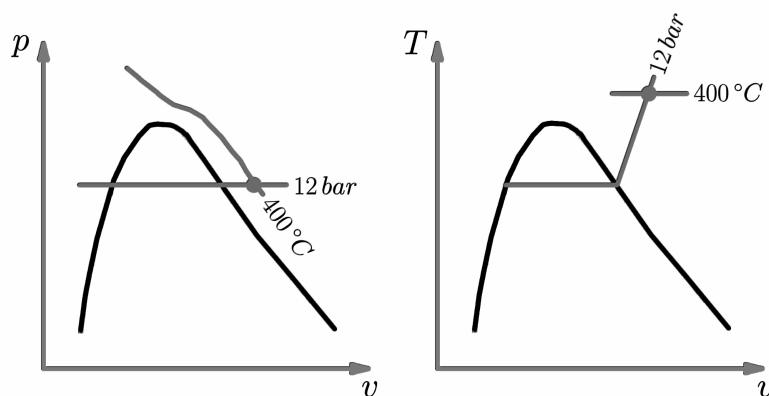
$p = 1.5 \text{ bar}, T = 280^\circ\text{C}$
 superheated vapor
 aus Tabelle A-4:
 $v = 1.695 \text{ m}^3/\text{kg}$
 $u = 2778.6 \text{ kJ/kg}$

b)



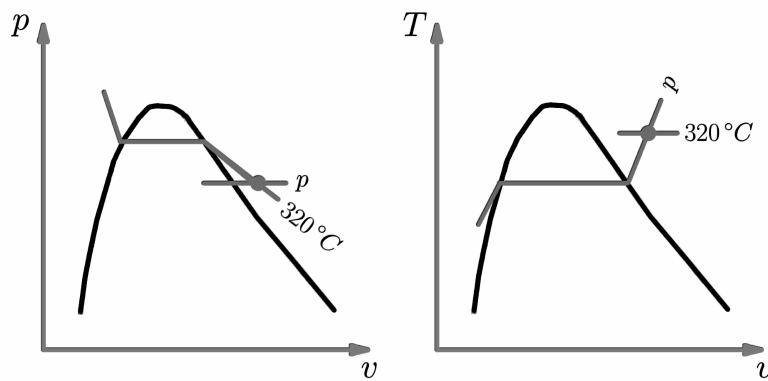
$p = 1.5 \text{ bar},$
 $v = 0.9 \text{ m}^3/\text{kg}$
 $v_f < v < v_g$ Zweipha-
 senraum
 aus Tabelle A-3:
 $T = 111.4^\circ\text{C}$
 $x = \frac{v - v_f}{v_g - v_f} = \frac{0.900 - 1.0528 \cdot 10^{-3}}{1.159 - 1.0528 \cdot 10^{-3}}$
 $x = 0.7763$
 $u = u_f + x(u_g - u_f)$
 $= 2060.5 \text{ kJ/kg}$

c)



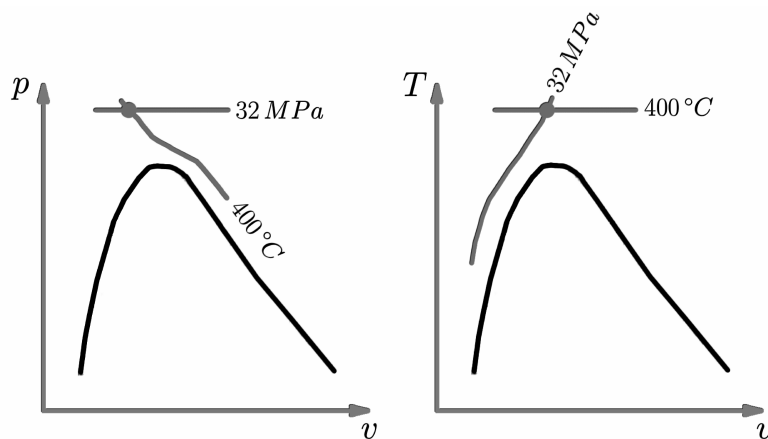
$T > T_{\text{krit}}$
 Interpolieren mit A-4:
 $v = 0.2652 \text{ m}^3/\text{kg}$
 $h = 3260.7 \text{ kJ/kg}$

d)



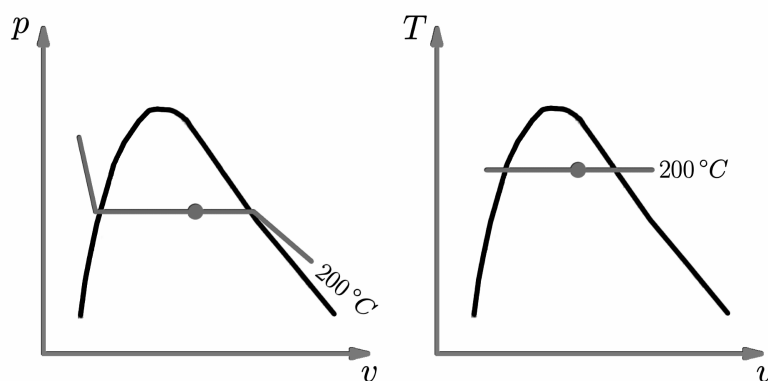
$T = 320^\circ\text{C}$,
 $v = 0.3 \text{ m}^3/\text{kg}$
 $v > v_g(T = 320^\circ\text{C})$
 \Rightarrow superheated water
 Interpolieren mit Tabelle
 A-4:
 $p = 0.9177 \text{ MPa}$
 $u = 2827.5 \text{ kJ/kg}$

e)



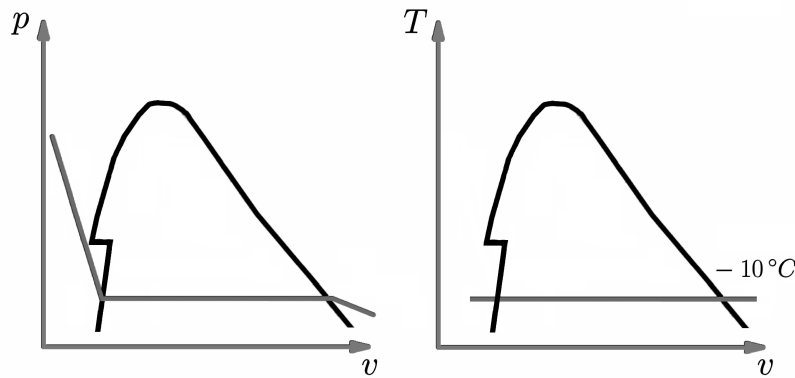
$p = 32 \text{ MPa}$,
 $T = 400^\circ\text{C}$
 superheated vapor
 aus Tabelle A-4:
 $v = 2.36 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{kg}$
 $h = 2055.9 \text{ kJ/kg}$

f)



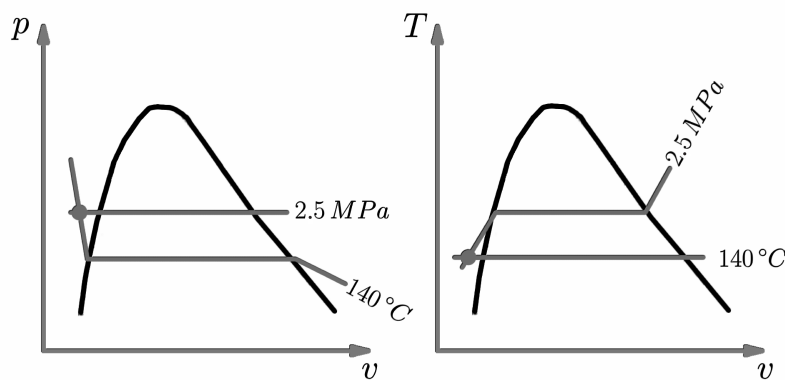
$T = 200^\circ\text{C}$,
 $x = 80\%$
 Tabelle A-2:
 $p = p_{\text{sat}}(T = 200^\circ\text{C})$
 $= 15.54 \text{ bar}$
 $v = v_f + x(v_g - v_f)$
 $v = 0.1022 \text{ m}^3/\text{kg}$

g)



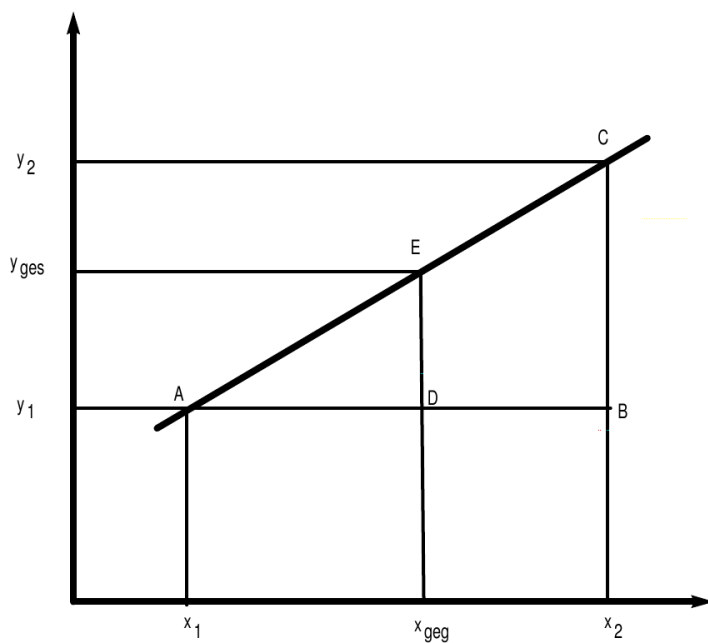
$T = -10^\circ\text{C}$,
 $v = 1.0891 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{kg}$
 mit Tabelle A-6: saturated
 solid
 $p = p_{\text{sat}} = 0.2602 \text{ kPa}$
 $h = -354.09 \text{ kJ/kg}$

h)



$p = 2.5 \text{ MPa}$,
 $T = 140^\circ\text{C}$
 compressed liquid:
 Tabelle A-5:
 $v = 1.0784 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{kg}$
 $u = 587.82 \text{ kJ/kg}$

Anhang: Lineare Interpolation:



Die beiden Dreiecke ABC und ADE sind sich ähnlich, da sie alle drei die gleichen Winkel besitzen. Bei ähnlichen Dreiecken gilt:

$$\left(\frac{\overline{BC}}{\overline{AB}}\right) = \left(\frac{\overline{DE}}{\overline{AD}}\right) = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} = \frac{y_{ges} - y_1}{x_{geg} - x_1}$$

$$y_{ges} = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} (x_{geg} - x_1) + y_1$$

x_i und y_i stehen für beliebig tabellierte Werte.

1. Beispiel : gesättigter Ammoniak-Dampf

Gegeben: $v_2 = 0.0776 \text{ m}^3/\text{kg} = x_{geg}$

Gesucht: u_2

Aus Tabelle A-13 suchen wir Werte, die nahe bei v_2 liegen und finden:

$$\begin{array}{ll} x_1 = 0.0725 \text{ m}^3/\text{kg} & y_1 = 1341.81 \text{ kJ/kg} \\ x_2 = 0.0831 \text{ m}^3/\text{kg} & y_2 = 1340.7 \text{ kJ/kg} \end{array}$$

$$\begin{aligned} u_2 = y_{ges} &= \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} (x_{geg} - x_1) + y_1 = \frac{1340.7 - 1341.81}{0.0831 - 0.0725} (0.0776 - 0.0725) + 1341.81 \\ &= \underline{\underline{1341.27 \text{ kJ/kg}}} \end{aligned}$$

2. Beispiel Ammoniak

Gegeben: $p_3 = 10 \text{ bar}$, $T_3 = 42.52^\circ\text{C}$

Gesucht: v_3

In Tabelle A-15 finden wir bei $p = 10 \text{ bar}$ Werte für T_{40} und T_{50} :

$$\begin{array}{ll} x_1 = 40^\circ\text{C} & y_1 = 0.13868 \text{ m}^3/\text{kg} \\ x_2 = 50^\circ\text{C} & y_2 = 0.14499 \text{ m}^3/\text{kg} \end{array}$$

$$\begin{aligned} v_3 = y_{ges} &= \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} (x_{geg} - x_1) + y_1 = \frac{0.14499 - 0.13868}{50 - 40} (42.52 - 40) + 0.13868 \\ &= \underline{\underline{0.14027 \text{ m}^3/\text{kg}}} \end{aligned}$$