Vorrechenübung

Aufgabe 5.1 ●○○ Düsenmotor (stationärer Fliessprozess)

Das Einlassrohr zu einem Düsenmotor formt einen Diffusor, der die Geschwindigkeit der Eintrittsluft relativ zur Maschine zu null verringert, bevor die Luft in den Kompressor eintritt. Betrachten Sie ein Düsenflugzeug, das mit einer Geschwindigkeit von $w_1 = 1000\,\frac{\text{km}}{\text{h}}$ fliegt, wobei der örtliche Atmosphärendruck $p_0 = 0.6\,\text{bar}$ und die Temperatur $T_0 = 8\,°\text{C}$ beträgt. Bestimmen Sie die Temperatur T_2 der Luft beim Eintritt in den Kompressor unter Annahme von idealem Gasverhalten und der Vernachlässigung von potentiellen Energieeffekten. Das System ist als adiabat zu betrachten.

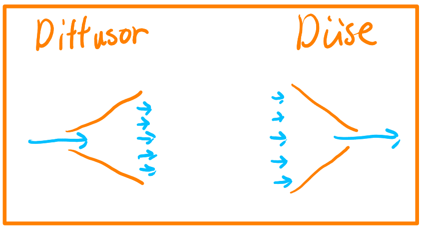
Ausgang des Diffusors

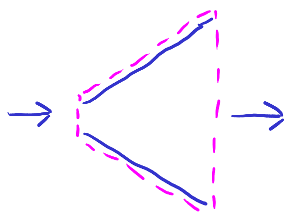
Skizze:

Diffusor, mit Systemgrenze

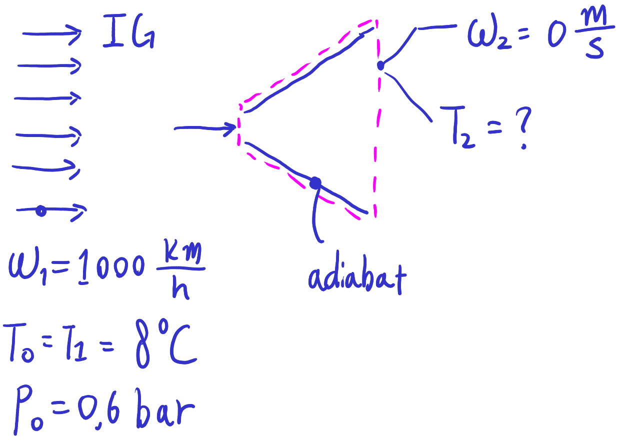
↓

Kleiner Eintritt, größer Ausgang





Skizze mit Info:

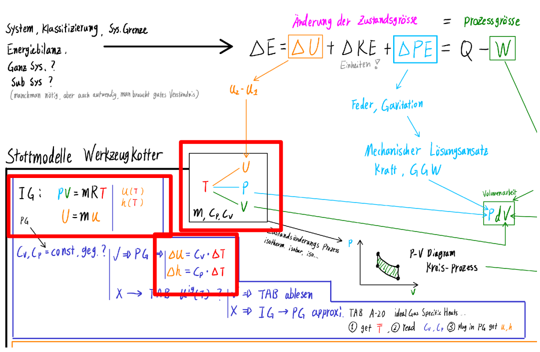


$\to\ \hat{\approx}\ 0{,}000\ldots1\,m/s\ \hat{\approx}\ 0\,m/s$

Sonst Massenbilanz wird nicht erhalten.
aber w_2 ist klein genug, $w_2 \approx 0\,m/s$

Ansatzfindung: Abhängigkeit zur Temperatur?

Stoffmodell: IG $\Rightarrow$
- $PV = RT$
- $u(T)$
- $h(T)$



Evaluation für Ansätze

- $P_2 V_2 = RT$ Zustand 2, Viele Unbekannte, Direkt Approch might be hard
- $u(T), h(T)$ ← Diese Ansatz meistens über Bilanzgleichung

Recall Ansatz für geschlossenes Sys.

zB.
$$\Delta U = Q - W$$
$$U_2 - U_1 = Q - W$$

Try $u(T), h(T)$ Ansatz:

Sys. Klassifizierung:

- $\dot{m} \neq 0 \Rightarrow$ offenes sys. $\Rightarrow$ Energiebilanzgleichung verwenden, die mit $\dot{m} \neq 0$ ist. $\Rightarrow h(T)$ statt $U(T)$

in Generell: $U(T)$ für geschlossenes Sys.
$h(T)$ für offenes sys.

- Adiabat $\Rightarrow Q = 0$
- Diffusor $\Rightarrow W = 0$

] 2 Terme fallen weg, Bilanzgleichung wird gut aussehen.

Aus ZF **Energiebilanz** Ist generelle Bilanzgleichung, aber hier direkt für offenes System anwendbar

$$\frac{\mathrm{d}E}{\mathrm{d}t} = \sum_i \dot{m}_i(t)\left[h_i(t) + ke_i(t) + pe_i(t)\right] + \sum_j \dot{Q}_j(t) - \sum_n \dot{W}_n(t)$$

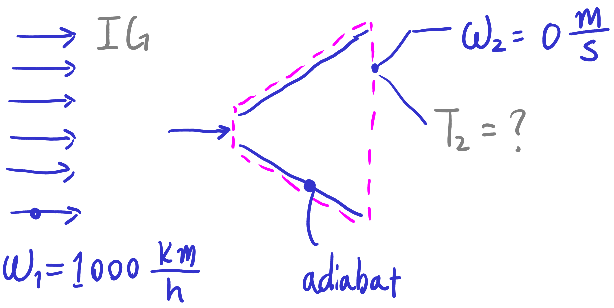
Mit der Info Bilanzgleichung aufstellen, Vereinfachen

Annahmen

- $\dot{E} = 0$
- Massenfluss Bilanz bleibt erhalten ⚠
- PE, weg
- Adiabat

] Keine E, Masse Akkumulation in System,

Was rein geht, muss raus kommt!



$T_0 = T_1 = 8°C$
$P_0 = 0{,}6$ bar

$$\cancel{\frac{dE}{dt}} = \dot m_1 \left(h_1 + \frac{\omega_1^2}{2} + \cancel{PE_1}\right) - \dot m_2 \left(h_2 + \cancel{\frac{\omega_2^2}{2}} + \cancel{PE_2}\right) + \cancel{\dot Q} - \cancel{\dot W}$$

0 Stationär

$\dot m_1 \doteq \dot m_2$ Massenfluss Erhaltung

geg 0

0 Adiabat

0 Leistet keine Arbeit
- keine Volumenarbeit an sys. Grenze.
- keine tech. Arbeit,

Massenfluss rausklammert
weil $\dot m_1 = \dot m_2$.

$$0 = \dot m \left(h_1 - h_2 + \frac{\omega_1^2}{2}\right) \qquad \Big| \cdot \dot m^{-1}$$

$$h_1 - h_2 + \frac{\omega_1^2}{2} = 0$$

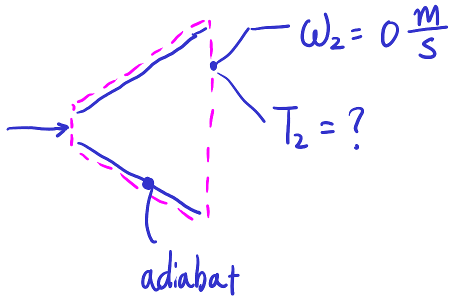
$$h_2 = h_1 + \frac{\omega_1^2}{2}$$

Note:

$$\boxed{\underbrace{h_2(T_2)}_{\text{ges.}} = \underbrace{h_1(T_1)}_{\text{geg.}} + \underbrace{\frac{\omega_1^2}{2}}_{\text{geg.}} \Rightarrow T_2 \text{ mit TAB lösbar}}$$

Lösen: $h_2 = h_1 + \frac{\omega_1^2}{2}$

$T_0 = T_1 = 8\,°C$ → IG
$P_0 = 0{,}6$ bar →
$\omega_1 = 1000 \frac{km}{h}$ →



Einheiten ⚠
$\omega_1 = 1000\ km/h = 277{,}778\ m/s$

h: massenspezifische Enthalpie auf TAB. haben [kJ/kg] als Einheit.

$$\frac{1}{2} \cdot \underbrace{(277{,}778)^2}_{\text{in } m/s} \cdot \frac{1}{1000} = \underbrace{38{,}58}_{\text{in kJ}}$$

$$h_2(T) = h_1(\underbrace{T_1}_{8°C\ \text{geg.} \to 281{,}15\ K}) + 38{,}58\ \frac{kJ}{kg}$$

TAB A-22 mit lerp. $y = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}(x - x_1) + y_1$

TABLE A-22

Ideal Gas Properties of Air

				when $\Delta s = 0$[1]						when $\Delta s = 0$	
T	h	u	$s°$	p_r	v_r	T	h	u	$s°$	p_r	v_r
200	199.97	142.56	1.29559	0.3363	1707.	450	451.80	322.62	2.11161	5.775	223.6
210	209.97	149.69	1.34444	0.3987	1512.	460	462.02	329.97	2.13407	6.245	211.4
220	219.97	156.82	1.39105	0.4690	1346.	470	472.24	337.32	2.15604	6.742	200.1
230	230.02	164.00	1.43557	0.5477	1205.	480	482.49	344.70	2.17760	7.268	189.5
240	240.02	171.13	1.47824	0.6355	1084.	490	492.74	352.08	2.19876	7.824	179.7
250	250.05	178.28	1.51917	0.7329	979.	500	503.02	359.49	2.21952	8.411	170.6
260	260.09	185.45	1.55848	0.8405	887.8	510	513.32	366.92	2.23993	9.031	162.1
270	270.11	192.60	1.59634	0.9590	808.0	520	523.63	374.36	2.25997	9.684	154.1
280	280.13	199.75	1.63279	1.0889	738.0	530	533.98	381.84	2.27967	10.37	146.7
285	285.14	203.33	1.65055	1.1584	706.1	540	544.35	389.34	2.29906	11.10	139.7

T(K), h and u(kJ/kg), $s°$ (kJ/kg · K)

lerp. @ 281,15 K $\Rightarrow$ $h_1 = 281,3 \frac{kJ}{kg}$

$$h_2(T) = 281,3 \frac{kJ}{kg} + 38,58 \frac{kJ}{kg} = 319,9 \frac{kJ}{kg}$$

lerp. zurück nach Temp.

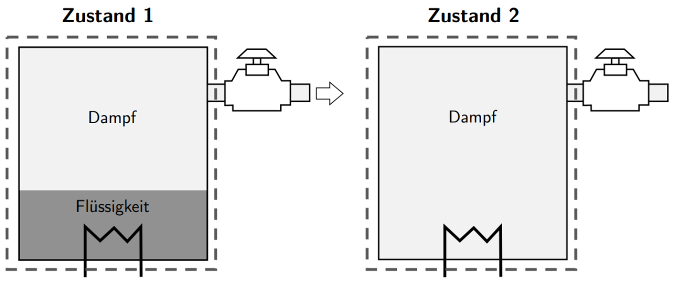
	h [kJ/kg]		T [K]	TAB A-22
x_1	315,27	y_1	315	
x	319,9	y	319,6	← lerp.
x_2	320,29	y_2	320	

$T_2 = \underline{\underline{319,6\ K}}$ Das ist ML ☺

Aufgabe 5.2 ●●○ **Wärmeübertrag an einem entleerenden Tank**

Ein Tank mit einem Volumen von $V = 0.85\,\mathrm{m}^3$ beinhaltet Wasser als Zweiphasengemisch aus Dampf und Flüssigkeit mit einer Temperatur von $T = 260\,°\mathrm{C}$. Der Dampfanteil im Tank beträgt anfangs (Zustand 1) $x = 0.7$. Gesättigter Dampf verlässt den Tank durch ein Druckregelventil am Kopf des Tanks. Um den Tank bei kontantem Druck zu halten, wird er von einen Wärmestrom $\dot{Q}$ erhitzt. Dampf verlässt den Tank solange, bis der Tank vollständig mit gestättigtem Dampf bei $T = 260\,°\mathrm{C}$ gefüllt ist (Zustand 2). Kinetische und potentielle Energien sind vernachlässigbar.

Bestimmen Sie die insgesamt übertragene Wärmemenge Q_{12}.



Ansatzfindung: Q_{12}, Prozessgröße ist gefragt.

Wie viele Info kennen wir ?

Zustand 1 V, ND, x, T_1 $\xrightarrow{\text{wegen ND gekoppelte Druck}}$ P_1

Prozess: Isobar, in ND ⇒ Isotherm

$V = \text{const.}$ m geht raus. ⇒ $m \searrow$

sät. Dampf geht raus. m verlassen Sys. mit $h_g(T)$

$\boxed{Q \text{ geht rein.}}$ ges.

Zustand 2 V, Sät. Dampf $x = 1$ mit $h_g(T)$ oder $u_g(T)$

$T_2 = T_1$ isotherm

Zusätzlich: KE, PE $= 0$, Annahme $W_v = 0$

halboffenes Sys.

Viele Info über Zustände, Teilweiser auch über Prozessvorgang.

gefragt ist Prozessgröße Q, ⇒ Bilanzgleichung nützlich

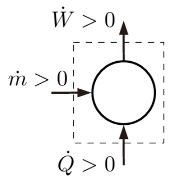
Aus ZF

- Halboffenes System: (Systemmasse nicht konstant, Ein-/Ausschubbedingungen konstant)

$$\Delta E = m_2 u_2 - m_1 u_1 + \underbrace{\cancel{\Delta KE}}_{0} + \underbrace{\cancel{\Delta PE}}_{0} = \sum_i \Delta m_i \left[h_i + \underbrace{\cancel{\frac{w_i^2}{2}}}_{0} + \underbrace{\cancel{g z_i}}_{0}\right] + \sum_j Q_j - \underbrace{\cancel{\sum_k W_k}}_{0}$$

Aufgabe geg.   KE PE vernachlässigen   0, unsere Annahme

Skizze aus ZF



Massenfluss ein: Δm mit positive Vorzeichen
aus: Δm mit negitive Vorzeichen

$\Delta m = m_1 - m_2$: Masse, die raus geht, Δm numerisch positive

$$m_2 u_2 - m_1 u_1 = -\Delta m\, h_{Dampf} + Q_{12}$$

Weil es raus Sys. geht

Lösen m_1

geg.: V, X, ND, T

Tipp für Lösungsansatz über ND

Falls x geg. d.h. Stoff in ND. Falls dann noch T oder P (in ND. T, P gibt gleiche Info) geg. ⇒ massenspezifische Zustandsgröße $[\frac{\dots}{kg}]$ v, u, h, s sind durch $\phi = \phi_f + x(\phi_g - \phi_f)$ mit TAB ganz genau zu bestimmen.

Recall "Dimension Anal." aus Übungsstunde 1,

$$\boxed{v, u, h, s} \longleftrightarrow \boxed{m} \longleftrightarrow \boxed{V, U, H, S}$$

$[\frac{m^3}{kg}]\ [\frac{kJ}{kg}] \dots [\frac{kJ}{kg \cdot K}]$ $[kg]$ $[m^3]\ [kJ] \dots [\frac{kJ}{K}]$

Falls 2 ☐ geg. dann 3. ☐ lösbar. zB. V, m geg. ⇒ v lösbar; u, U geg ⇒ m lösbar

X, ND, T geg. ⇒ v lösbar, combi mit geg. V ⇒ m lösbar

$$v_1 = \frac{V}{m_1} \Rightarrow m_1 = \frac{V}{v_1}$$

Aus ZF Nassdampf $\phi = \phi_f + x(\phi_g - \phi_f)$ ⇒ $v_1 = v_f + x_1(v_g - v_f)$

ND: $x = 0{,}7$ $T = 260°C$

TAB-A2

(Continued)

Pressure Conversions:
1 bar = 0.1 MPa
= 10^2 kPa

Temp. °C	Press. bar	Specific Volume m^3/kg Sat. Liquid $v_f \times 10^3$	Sat. Vapor v_g	Internal Energy kJ/kg Sat. Liquid u_f	Sat. Vapor u_g	Enthalpy kJ/kg Sat. Liquid h_f	Evap. h_{fg}	Sat. Vapor h_g
260	46.88	1.2755	0.04221	1128.4	2599.0	1134.4	1662.5	2796.6

$V_1 = 1{,}2755 \times 10^{-3} + 0{,}7(0{,}04221 - 1{,}2755 \times 10^{-3}) = 29{,}93 \times 10^{-3} \frac{m^3}{kg}$

$V = 0{,}85\, m^3 \qquad m_1 = \frac{V}{V_1} = \frac{0{,}85\, m^3 \quad kg}{29{,}93 \times 10^{-3}\, m^3} = 28{,}4\, kg$

Lösen u_1

Aus ZF Nassdampf $\phi = \phi_f + x(\phi_g - \phi_f)$

$u_1 = 1128{,}4 \frac{kJ}{kg} + 0{,}7(2599 - 1128{,}4)\frac{kJ}{kg} = 2157{,}8 \frac{kJ}{kg}$

Lösen m_2, u_2, h_{Dampf} ...

Zustand 2 : 100 % Dampf @ 260°C

(Continued)

Pressure Conversions:
1 bar = 0.1 MPa
= 10^2 kPa

Temp. °C	Press. bar	Specific Volume m³/kg Sat. Liquid $v_f \times 10^3$	Sat. Vapor v_g	Internal Energy kJ/kg Sat. Liquid u_f	Sat. Vapor u_g	Enthalpy kJ/kg Sat. Liquid h_f	Evap. h_{fg}	Sat. Vapor h_g
260	46.88	1.2755	0.04221	1128.4	2599.0	1134.4	1662.5	2796.6

$V_g = 0{,}04221 \frac{m^3}{kg}$ TAB- A2

$m_2 = \frac{V}{V_g} = 20{,}14\, kg$

$u_2 = u_g = 2599 \frac{kJ}{kg}$

$h_{Dampf} = h_g = 2796{,}6 \frac{kJ}{kg}$

continue:

$\Delta m = m_1 - m_2$

$m_2 u_2 - m_1 u_1 = -\Delta m\, h_{Dampf} + Q$

↑

Gesättigter Dampf verlässt den Tank

Daher nehmen wir →

Sat. Vapor h_g
2796.6

die Masse hat diese Enthalpie mit sich, und hat dem Sys. verlassen.

Alle werte einsetzen $\underline{Q = 14162\ kJ}$ ist ML

"Blind Approach" ist zu finden, welche Faden zu der ges. Größe, über welche Größe und Formel, sich führen.

Wie man sieht auf Ansätze Map,
T: Temperatur ist bis her nur in Stoffmodell aufgetaucht.

Und für IG gibt es 2 Wege für Temp.

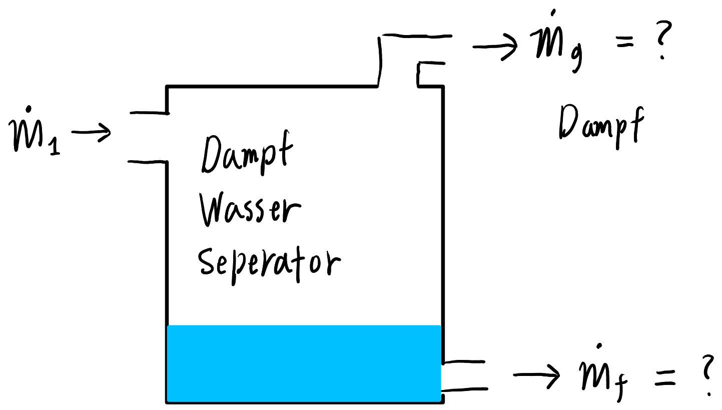
* pv=RT
* oder über u oder h, natürlich auch über Cv oder Cp mit u und h (Delta T) die Temperatur zu lösen.

d.h. wenn T in IG gefragt ist, dann fängt man schon mal mit den beiden Ansätze an,
die Lösungsstrategie zu entwickeln
also fängt man lieber dort an, statt mit der ND TAB zu fummeln.

Wie ich auf letztem Ansätze Map gezeigt habe, es gibt viele Zusammenhänge zw. verschiedenen Größen,
Es war nur kurz über geschlossenes System und ganz grob für Stoffmodelle.
Für offenes Sys. und halb offenes Sys. sind viele Lösungsansatz ähnlich, sogar gleich.
Wenn man die Zusammenhänge zw. verschiedenen Größen in Stoffmodelle gut verstehen,
(z.B. in dieser Übungsstunde Tipp über ND.)
(actually you don't even need to understand, you just have to see which variable is connected to which and find the solutions fast during the exam)
dann hat man quasi fast eine 4 schon gesichert in Thermo I. (Bleib daran, dann hast du eine 6)

$\dot{m}_1 = 1\,kg/s$

$x_1 = 80\%$



isobarer Seperator

Adiabat (isoliert)

Ges: $\dot{m}_g$, $\dot{m}_f$

Ansatz: x geg. $\rightarrow$ ND.

isobar in ND $\rightarrow$ isotherm. $\Rightarrow$ $T_1 = T_{out}$

rausgehende Masse

Sperator $\Rightarrow$ $\dot{m}_g$: nur Dampf $\Rightarrow$ Dampfgehalt hier $x_g = 100\%$

$\Rightarrow$ h_g nehmen für dieser Massenström

$\Rightarrow$ $\dot{m}_w$: nur Flüssigkeit $\Rightarrow$ $x_w = 0\%$ $\Rightarrow$ h_f nehmen

Energiebilanz aufstellen:

$$\cancel{\frac{dE}{dt}} = \sum \dot{m}\,(h + \cancel{ke} + \cancel{pe}) + \cancel{\dot{Q}} - \cancel{\dot{W}}$$

$\frac{dE}{dt} \rightarrow 0$ stationär. $ke \rightarrow 0$, $pe \rightarrow 0$, $\dot{Q} \rightarrow 0$ adiabat, $\dot{W} \rightarrow 0$, system leistet kein Arbeit.

$$0 = \dot{m}_1\,(h_1) - \dot{m}_g\,(h_g) - \dot{m}_w\,(h_f)$$ ------- Energie Bilanz

ND mix

h_g, h_f, mit $x = 80\%$

pure Dampf

pure Wasser

Appendix

$$\dot m_1 = \dot m_g + \dot m_w = 1\,\mathrm{kg/s}$$

→ einsetzen in Energiebilanzgleichung

$$\phi = \phi_f + x(\phi_g - \phi_f)$$

$$h_1 = h_f + 0{,}8(h_g - h_f)$$

$$0 = (\dot m_g + \dot m_w)(h_f + 0{,}8 h_g - 0{,}8 h_f) - \dot m_g h_g - \dot m_w h_f$$

$$\overset{!}{=} \quad 1\,\tfrac{\mathrm{kg}}{\mathrm{s}} \cdot (0{,}2 h_f + 0{,}8 h_g) - \dot m_g h_g - \dot m_w h_f$$

$$\dot m_g + \dot m_w = \dot m_1$$

$$\dot m_g = 1\,\tfrac{\mathrm{kg}}{\mathrm{s}} - \dot m_w$$

$$0 = \underbrace{1\,\tfrac{\mathrm{kg}}{\mathrm{s}}(0{,}2 h_f + 0{,}8 h_g)}_{\text{TAB} \; \checkmark \text{ lösbar}} - \left(1\,\tfrac{\mathrm{kg}}{\mathrm{s}} - \dot m_w\right) h_g - \dot m_w h_f$$

Eine Unbekannte.

$\Rightarrow \dot m_w$ lösbar

$\Rightarrow \dot m_g = 1\,\tfrac{\mathrm{kg}}{\mathrm{s}} - \dot m_w$

lösbar.

$$0 = 0{,}2 h_f + 0{,}8 h_g - h_g + \dot m_w h_g - \dot m_w h_f$$

$$0 = 0{,}2 h_f - 0{,}2 h_g + \dot m_w (h_g - h_f)$$

$$0 = 0{,}2\,(h_f - h_g) - \dot m_w\,(h_f - h_g)$$

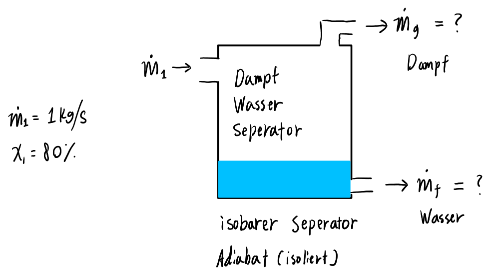
$$\dot m_w = 0{,}2\,\frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{s}}$$

Oder Intuition: bei Energie. (wegen Adiabat, keine W) ist nix geändert.

Wir haben quasi Gas und Fluid nur getrennt.

$\dot m_1 = 1\,\mathrm{kg/s}$ mit $x = 80\%$ 80% der Masse ist Dampf.

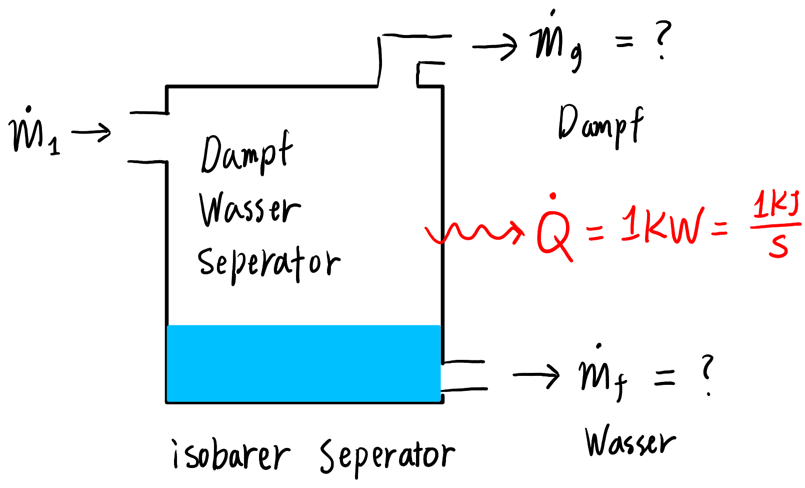
$\Rightarrow \dot m_g = 0{,}8\,\mathrm{kg/s}$, $\Rightarrow \dot m_f = \dot m_1 - \dot m_g = 0{,}2\,\mathrm{kg/s}$



⚠ Wichtig für Prüfungsvorbereitung

$\dot{m}_1 = 1\,kg/s$

$x_1 = 80\%$



isobarer Seperator

~~Adiabat (isoliert)~~

Überlegen bitte, Falls nicht adiabat,

wie ändert sich $\dot{m}_g$, $\dot{m}_f$ bei Ausgang?

Lsg:

Wegen Wärmeabgabe, Summe aller raus gehende Massen haben andere Gesamt Energie als Summe alle reingehende Massen.

Betrachten wir erst nur ein rausgehende Massenström statt 2,
berechnet seine neue Dampfgehalt x,
dann wird Dampf und Wasser mit diesem neuer x getrennt.