2 Gasturbinen-, Dampfturbinenanlagen Verbrennungsmotoren

2.1 Eine Dampfkraftanlage hat eine Klemmleistung von 120 MW. Der Frischdampf, 580° u.180 bar, verliert 10 bar u.20°C in der Rohrleitung zwischen dem Überhitzer und dem Turbineneinlaß. Den HD-Teil der Turbine verläßt der Dampf mit 180° C und 8 bar, wird danach auf 400° C isobar zwischenüberhitzt und im ND-Teil auf den Kondensationsdruck von 0,3 bar und Sattdampf entspannt.
Stellen Sie den Verlauf qualitativ im h,s-Diagramm dar und errechnen Sie:

a) den Rohrleitungswirkungsgrad (η_R)
b) die inneren Wirkungsgrade der beiden Turbinenteile
c) den Dampfstrom, wenn die Kraftwerksanlage einen effektiven Wirkungsgrad von 38% aufweist ($\eta_K = 0{,}85$).

$\eta_R = 0{,}99$; $\eta_{i\,HD} = 0{,}96$; $\eta_{i\,ND} = 0{,}857$; $\dot{m}_D = 71{,}8$ kg/s

2.2 Eine Gasturbinenanlage mit der Klemmleistung von 10 MW arbeitet nach dem offenen Joule-Prozess mit der Luft ($\varkappa = 1{,}4$) und wird mit dem Leichtöl (H_u = 41850 kJ/kg) betrieben.
Errechnen Sie die Ölbevoratung für zwei Jahre, wenn die Anlage durchschnittlich 1250 h/a arbeitet und der effektive Wirkungsgrad 28,5 % beträgt. Die Umgebungstemperatur ist mit 15° C anzusetzen, das Verdichtungsverhältnis ist p_2/p_1 = 10 und die max. Prozesstemperatur beträgt 780° C.
Stellen Sie die Prozessabläufe im p,v - und T,s - Diagramm dar.

$m = 7{,}542 \cdot 10^6$ kg

2.3 Der überhitzte Dampf von 100 bar und 500° C wird zunächst auf 60 bar gedrosselt und anschließend mit siedendem Wasser (auch bei 60 bar) zum Sattdampf gemischt.
Errechnen Sie mit Hilfe der Wasserdampftabellen die Gewichtsanteile von Wasser und Dampf vor der Mischung.

$m_D - 0{,}727$; $m_W - 0{,}273$

2.4 Ein zweiteiliges (HD - und ND-Teil) Kondensationsdampfkraftwerk hat die Nettoleistung von 200 MW ($\eta_m = 0{,}98$; $\eta_{el} = 0{,}975$; $\eta_{Eig} = 0{,}935$) - Dimensionieren Sie den Durchmesser einer von den vier Frischdampfleitungen, wenn die mittlere Dampfgeschwindigkeit darin 85 m/s beträgt und der HD-Teil mit 50 bar, 500° C beaufschlagt wird. Der durchschnittliche innere Wirkungsgrad für beide Teile beträgt 80 %.

Welchen Durchmesser hat die Abdampfleitung nach dem HD-Teil auf dem Weg zum Zwischenerhitzer, wenn dort bei 1,5 bar auf 280° C überhitzt wird und die mittlere Dampfgeschwindigkeit 60 m/s beträgt?

Welche Wärmeleistung wird im Zwischenüberhitzer zugeführt?

Wie hoch ist der thermische Wirkungsgrad des Vergleichsprozesses, wenn der Kondensationsdruck bei 0,08 bar liegt? Der Kesselwirkungsgrad beträgt 89 % ($\eta_R = 1$)
Skizze im h, s-Diagramm!

$d_{FD} = 0{,}25$ m ; $d_{Zü} = 2{,}7$ m ; $\dot{Q}_{Zü} \approx 53{,}5$ MW ; $\eta_{th} = 0{,}37$

2,5 In einer offenen Gasturbinenanlage beträgt das Druckverhältnis im Kompressor 6,5.
Errechnen Sie den thermischen Wirkungsgrad des Vergleichsprozesses mit der Luft nach Joule bei 1,01 bar und 15° C sowie dessen Veränderung, wenn anstatt Luft Helium genommen wird, in einem geschlossenen einfachen Kreislauf bei Anfangsbedingungen von 0,98 bar und 35° C.

Skizze der Vergleichsprozesse im p,v- und T, s-Diagramm!

$\eta_L = 0{,}415$; $\eta_{He} = 0{,}527$

2,6 Ein Ottomotor arbeitet mit dem Verdichtungsverhältnis 9,0 und hat bei Vollast von 115 kW den effektiven Wirkungsgrad von 28 %.

Wie hoch ist der thermische Wirkungsgrad des Vergleichsprozesses, welcher ist der spezifische Kraftstoffverbrauch in g/kWh beim Benzin mit $H_u \approx 42000$ kJ/kg und wieviel Vollaststunden gewährleistet ein Kraftstofftank mit 95 l ($\varrho_B \approx 785$ kg/m³) ?

$\eta_{th} = 0{,}585$; $\dot{m}_{B1} = 306$ g/kWh ; $\tau = 2$ h 7 min

2,7 Eine Dampfkraftanlage arbeitet nach dem einfachen Clausius-Rankine-Prozess. Der Dampf verlässt den Kessel mit 100 bar und 500°C. In der Frischdampfleitung gehen 5% des Druckes durch die Widerstande verloren; die Wärmeverluste konnen hingegen vernachlässigt werden. Der Kondensationsdruck betragt 5 bar und die Enthalpie des Speisewassers liegt bei h_w=637,5 kJ/kg.
Errechnen Sie:

a) die theoretische spezifische Turbinenleistung
b) den inneren Turbinenwirkungsgrad wenn die wirkliche Entspannung bis zum Sättigungsdruck bei 5 bar verläuft
c) die innere Turbinenleistung bei einem Massenstrom von $\dot{m}$=15 kg/s

$P_a = 710$ kW ; $\eta_i = 0{,}887$; $P_c = 9450$ kW

2,8 Eine Gasturbinenanlage mit P=8,5 MW arbeitet mit einem effektiven Wirkungsgrad von 29%. Stellen Sie den offenen Vergleichsprozess(nach Joule) qualitativ im p,v- sowie im T,s-Diagramm dar und errechnen Sie:

a) die erforderliche Brennstoffmenge in kg/h bei H_u=41000kJ/kg
b) den thermischen Wirkungsgrad des Vergleichsprozesses wenn im Kompressor die Luft von 0,95 bar auf 6,8 bar verdichtet wird
c) die theoretische Lufttemperatur nach der Kompression bei einer Umgebungstemperatur von 18°C.

$\dot{m}_B = 2574$ kg/h ; $\eta_{th} = 0{,}4305$; $T_2 = 511$ K

2,9 Ein Pkw-Motor wird mit Superbenzin angetrieben (H_u= 40.800 kJ/kg, ϱ = 780 kg/m^3). Er läuft 2,5 h auf dem Prüfstand im Teillastbetrieb bei 42 kW und einem effektiven Wirkungsgrad von 19,5 %.

Dimensionieren Sie den Brennstoff-Vorratsbehälter und errechnen Sie den erforderlichen Kühlwasserstrom wenn 40 % der zugeführten Wärme über Kühler abgeführt werden und dabei eine mittlere Kühlwassererwärmung von 8 K erfolgt.

$V = 60{,}9\,l$; $\dot{m}_w = 2{,}572$ kg/s

2,10 Eine offene Gasturbinenanlage mit 8 MW effektiver Garantie-Leistung wird b. Winter-Temperatur abgenommen. Das Druckverhältnis im Verdichter beträgt 8,2. Die Garantiewerte beziehen sich auf eine Außentemperatur von 15° C.

Welche Leistung muß bei Außentemperatur von -10° C mindestens gemessen werden damit die Leistungsgarantie erfüllt wird?
Max. Prozesstemperatur beträgt 800° C und der Barometerdruck als Bezugsgröße ändert sich nicht.

$P' = 8{,}68$ MW

2,11 Eine zweiteilige Dampfturbinenanlage arbeitet mit dem Kondensationsdruck von 0,5 bar. Im Kondensator werden 3,6 MW abgeführt. Der maximale Prozeßdruck beträgt 60 bar und die maximale Frischdampf - sowie Überhitzungstemperatur liegt bei 350° C. Die Zwischenüberhitzung liegt bei 10 bar. Die Expansion verläuft in beiden Turbinenteilen bis x = 0,99.

Errechnen Sie die innere Wirkungsgrade für beide Teile (HD, ND) den thermischen Wirkungsgrad des Clausius-R.Prozesses und die gesamte zugeführte Wärmeleistung.

$\eta_{iHD} = 0{,}776$; $\eta_{iND} = 0{,}828$; $\eta_{th} = 0{,}318$; $\dot{Q}_{zu} = 4900$ kW

2,12 Zur Abdeckung der Spitzenlast eines Industriewerkes wird ein Gasturbinenaggregat mit der effektiven Leistung von 1,2MW eingesetzt. Die Betriebsdauer wird mit 1960 Stunden/Jahr angegeben. Als Brennstoff dient leichtes Öl ($H_u \approx 40500$ kJ/kg; $\varrho_{Öl} \approx 820$ kg/m^3; Preis: 0,62 DM/l).

Der effektive Wirkungsgrad beträgt 24%. Die zusätzliche Ausnutzung der Abwärme kann mit 28% der zugeführten Wärme angegeben werden.

Errechnen Sie den spezifischen Kostenanteil des Brennstoffes an der erzeugten elektrischen Arbeit (für kW h) und an der verwertbaren Wärme (für kW h) bei der Kostenaufteilung 60% el. Energie, 40% Wärmeenergie.

Dimensionieren Sie den Vorratstank für 1,5 Jahre.

Strom : 0,168 DM/kWh ; Wärme : 0,096 DM/kWh ; $V = 1600$ m^3

2,13

Eine einfache Industrieturbinenanlage erzeugt 2500 kW effektiven elektrischen Leistung bei eff. Wirkungsgrad von 0,68. Die Frischdampfdaten sind 40 bar, 458°C und der Abdampf hat 2 bar und 150°C.

Errechnen Sie den spezifischen Dampfverbrauch in kg/KWh und den inneren Wirkungsgrad.
Welche Wärmeleistung hat der Abdampf wenn das Kondensat bis 1 bar und 90°C ausgenutzt wird.

$d = 7{,}79\ kg/kWh$; $\eta_i = 0{,}813$; $\dot{Q}_{ko} = \cancel{10{,}45}\ MW$ 12,94

2,14

Eine Dampfkraftanlage arbeitet theoretisch nach dem einfachen Clausius-Rankine Prozeß. Der Frischdampf von 30 bar und 400° C wird auf einen Kondensationsdruck von 0,3 bar entspannt.

Errechnen Sie:

a) den thermischen Wirkungsgrad und die spezifische Nutzarbeit des Prozesses

b) die zu- und abgeführte spezifische Wärmemenge

c) die Änderung des thermischen Wirkungsgrades bei einem zweifachen Prozeß mit der Zwischenüberhitzung, wenn bei der Dampfexpansion jeweils der Sattdampfzustand erreicht wird und der gleiche Kondensationsdruck von 0,3 eingehalten wird

d) Skizze im p,v-, T,s- und h,s- Diagramm

$\eta_{th} = 0{,}299$; $w_k = 880\ kJ/kg$; $q_{zu} = 2941\ kJ/kg$; $q_{ab} = 2061\ kJ/kg$; $\eta_{th}' = 0{,}302$

2,15

Die Gasturbinenanlage weist eine Netto-Leistung von max 1850 kW auf. Der Gesamtwirkungsgrad beträgt bei der Vollast 24 % und bei der halben Leistung 22,5 %. Der gemessene Jahresverbrauch an Leichtöl (H_u = 41800 kJ/kg, ϱ = 820 kg/m3) betrug 1100 m3. Die Anlage wurde mit 65 % der Betriebszeit in Halblast und die restliche Zeit in Vollast gefahren.

Errechnen Sie die theoretische, an die Umgebung abgegebene jährliche Wärmemenge, wenn das Verdichtungsverhältnis des offenen Vergleichsprozesses nach Joule bei p2/p1 = 6 liegt, die Umgebungstemperatur durchschnittlich + 15° C beträgt und die maximale Prozeßtemperatur bei allen Lastfällen bei 780° C lag. Ermitteln Sie die Betriebszeiten,

$Q_{ab} = 6{,}28 \cdot 10^6\ kWh$; $\tau_V = 683\ h$; $\tau_H = 1267\ h$

2,16

Eine Dampfkraftanlage mit zweiteiliger Turbine braucht für den Betrieb des Zwischenüberhitzers bei 5 bar 18000 kW. Der Frischdampf hat 100 bar und 450° C und der Abdampf 0,1 bar. Die Expansion findet in beiden Turbinenteilen jeweils bis x = 0,995 statt. Die Überhitzungstemperatur beträgt 440° C.

Errechnen Sie:

a) die spezifische Nutzarbeit des zweifachen Clausius-Raukine-Prozesses und den thermischen Wirkungsgrad

b) die beiden inneren Wirkungsgrade (f. HD-und ND-Teil)

c) die Kondensatorleistung

d) Skizze in p,v- T,s- und h,s-Diagramm

$w_k = 1520\ kJ/kg$; $\eta_{th} = 0{,}394$; $\eta_{iHD} = 0{,}788$; $\eta_{iND} = 0{,}93$; $\dot{Q}_{ko} = 67{,}5\ MW$

2,17 Ein zweifacher Dampfturbinenprozeß verläuft von 150 bar/500°C zum Zwischendruck von 16 bar; die Zwischenüberhitzung erfolgt bis 450°C. Die Kondensation verläuft bei dem unterstellten Clausins-Rankine-Prozeß vom Sattdampf ab. Errechnen Sie den thermischen Wirkungsgrad des Prozesses. Bestimmen Sie die Veränderung des thermischen Wirkungsgrades, wenn 20 % des Abdampfes vom HD-Teil entnommen werden und mit dem Kondensat vor der Kesseleinspeisung gemischt werden. Die restlichen 80 % des Abdampfes verrichten nach der Zwischenüberhitzung die vorher erläuterte technische Arbeit im ND-Teil. Skizze im T,s-Diagramm, Schaltbild des Prozesses!

$\eta_{th} = 0{,}35$; $\eta_{th}' = 0{,}38$

2,18 Ein Dampfkraftwerk mit 300 MW elektrischer Nettoleistung wird mit Steinkohle (H_u = 31 000 kJ/kg) befeuert.

Die Dampfdaten sind:

- Kesselausgang: 63bar/520°C
- Dampfturbineneinlaß: 60bar/500°C
- Abdampf HD-Teil: 5bar/195°C
- Zwischenüberhitzung bis 500°C
- innerer Wirkungsgrad vom ND-Teil: 84 %
- Kondensationsdruck: 0,05bar

Mechanische Verluste betragen 8000 kW, elektrische Verluste 6500 kW und der Eigenbedarf liegt bei 9000 kW.

Errechnen Sie:

- stündlichen Brennstoffbedarf beim Kesselwirkungsgrad von 91 %
- den Gesamtwirkungsgrad der Anlage

Prozeßschaltbild und Darstellung im p,v-; T,s- und h,s-Diagramm!

$\dot{m}_B = 116{,}3\ t/h$; $\eta = 0{,}293$

2,19. Eine Gasturbinenanlage arbeitet nach dem offenen Joule-Prozess mit der Luft als Arbeitsmedium und erzeugt effektiv 5MW elektrischer Leistung. Der Brennstoffverbrauch beträgt dabei 2065kg/h(H_u=41500kJ/kg). Das Druckverhältnis im Kompressor beträgt 10. Welche wäre die verlustlose Anlagenleistung? Wieviel Brennstoff würde die Gasturbine brauchen für die gleiche Leistung jedoch bei einem geschlossenen Joule-Prozess mit externer Wärmezufuhr und mit Helium als Arbeitsmedium, wenn sämtliche Verluste, ausser Umwandlung, bei beiden Prozessen gleichzusetzen wären? Darstellung im p,v- und T,s-Diagramm!

$P_{theo} = 11{,}5\ MW$; $\dot{m}_B' = 1655\ kg/h$

2,20

Eine kleine Industrieturbine wird mit Frischdampf 30bar/400°C betrieben, der Abdampf hat 3bar/160°C, die mechanische Verluste liegen bei 6,5%. Die Turbine Leistet an der Kupplung 650kW. Durch die betriebliche Belange wird der Abdampfdruck auf 2,2bar gesenkt, dabei bleiben der innere Wirkungsgrad und die mechanische Verluste unverändert. Errechnen Sie die neue Turbinenleistung, die relative Geschwindigkeitsveränderung in der Abdampfleitung und stellen Sie die Zustandsänderungen qualitativ im p,v-T,s-und h,s-Diagramm dar.

$P' = 700\,kW$; $\vec{c}\,'/\vec{c} = 1{,}21$

2,21 Die Kondensatorleitung einer einteiligen Industrieturbinenanlage hat den Innendurchmesser von 200mm. Das Kondensat strömt darin mit einer Mittelgeschwindigkeit von 3 m/s. Der Frischdampfzustand vor der Turbine ist 20 bar/460°C, die Entspannung findet bis Sattdampfzustand statt und die Kondensation erfolgt bei 0,4 bar. Ermitteln Sie die verlustlose Turbinenleistung, den thermischen Wirkungsgrad und den inneren Wirkungsgrad. Stellen Sie die erwähnten Zustandsänderungen im p,v-; T,s- und h,s-Diagramm dar!

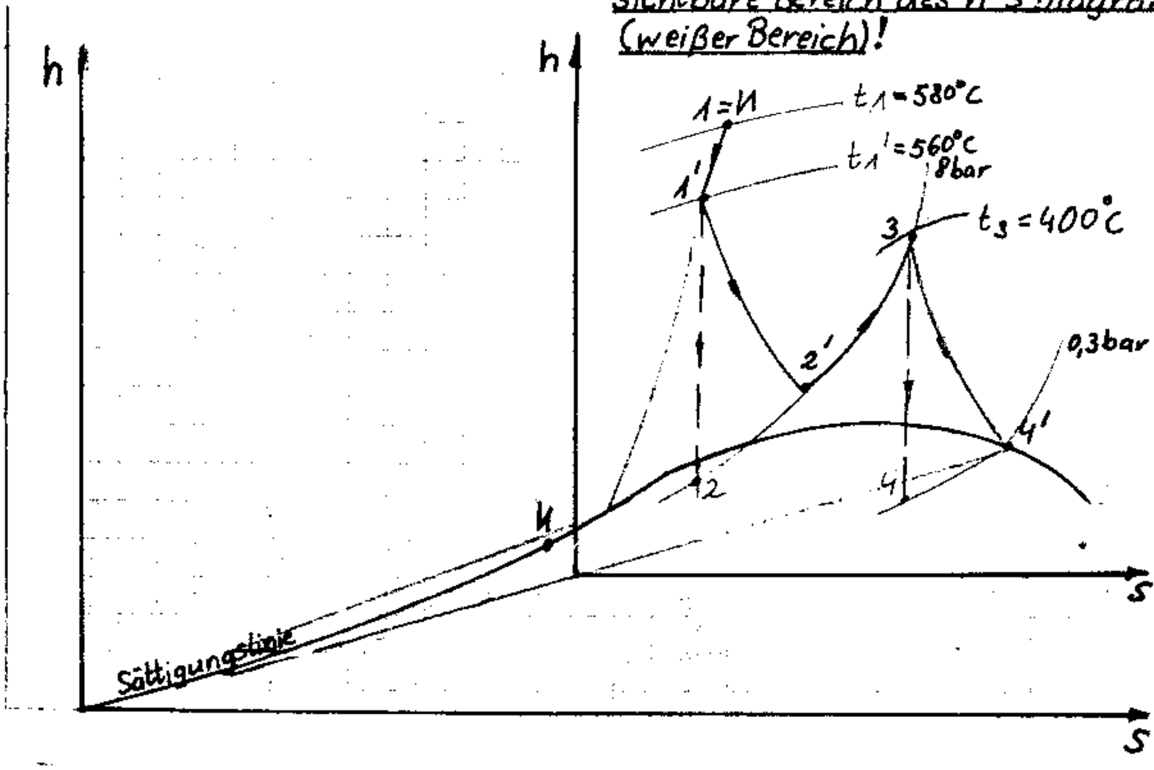
$P_{theo} = 78{,}9\,MW$; $\eta_{th} = 0{,}279$; $\eta_i = 0{,}872$

2,22 Der Dampfzustand einer zweiteiligen Dampfturbinenanlage ist vor dem HD-Teil mit 100 bar/550°C angegeben, die Zwischenüberhitzung erfolgt bei 3 bar und erreicht vor dem ND-Teil die Temperatur von 400°C. Der Abdampf ist Sattdampf von 0,03bar. Der mittlere innere Wirkungsgrad beider Turbinenteile liegt bei 0,8. Ermitteln Sie die spezifische innere Turbinenarbeit, die spezifische Wärme für die Überhitzung beim Realprozess, den thermischen Wirkungsgrad des zweifachen C-R Prozesses, die spezifische Kondensationsarbeit und stellen Sie die Zustandsänderungen im p,v-; T,s- und h,s-Diagramm dar.

$w_{ik} = 1360\,kJ/kg$; $q_{üb} = 410\,kJ/kg$; $\eta_{th} = 0{,}421$; $q_{ko} = 2480\,kJ/kg$

Aufgabe: 2.1

Der für uns auf dem Springer Verlag sichtbare Bereich des h-s Diagrammes. (weißer Bereich)!



1. Ablesen der Enthalpien für die jeweiligen Punkte.

Pkt	Temperatur	Druck	Enthalpie		Dampfart
1	580°C	180 bar	3500 kJ/kg		überh. Dampf
1'	580°C - 20°C = 560°C	180bar - 10bar = 170 bar	3455 kJ/kg		überh. Dampf
2'	180°C	8 bar	2790 kJ/kg		überh. Dampf
4'		0,3 bar	2625 kJ/kg		Sattdampf
3	400°C	$p_2' = p_3 = 8\,bar$	3265 kJ/kg		überh. Dampf

Werte für praktischen Verlauf.

↳ abgelesen aus h-s Diagramm. ingenieurmäßig, lieber aus Diagramm als a. Tabellen.

1. Berechnung des Rohrleitungswirkungsgrad:

$$\boxed{\eta_R = \frac{h_1' - h_W}{h_K - h_W}}$$

$$\eta_R = \frac{(3455 - 289{,}3)\,kJ/kg}{(3500 - 289{,}3)\,kJ/kg} = 0{,}985984 \sim \underline{\underline{0{,}986}} = \eta_R$$

Lösung zu a.)

$h_W(0{,}3bar) \rightarrow$ [illegible]

b.) Berechnung der inneren Wirkungsgrade der Turbinenteile.

hier:

$$\boxed{\eta_{iHD} = \frac{h_1' - h_2'}{h_1' - h_2}}$$ Hochdruckturbine

abgelesen aus h-s Diagramm für Punkt 2: $h_2 = \underline{\underline{2685\,kJ/kg}}$

$$\eta_{iHD} = \frac{3455 - 2790}{3455 - 2685} = \underline{\underline{0{,}863}}$$ Wirkungsgrad der Hochdruckturbi[ne]

hier:

$$\boxed{\eta_{iND} = \frac{h_3 - h_4'}{h_3 - h_4}}$$ Niederdruckturbine

abgelesen aus h-s Diagramm für Punkt 4: $h_4 = \underline{\underline{2560\,kJ/kg}}$

$$\eta_{iND} = \frac{3265\,kJ/kg - 2625\,kJ/kg}{3265\,kJ/kg - 2560\,kJ/kg} = 0{,}9078 \sim \underline{\underline{0{,}908}}$$ Wirkungsgr[ad] der Niederdruckturbine.

---

c.) Berechnung des Dampfstromes, wenn die Kraftwerksanlag[e] einen effektiven Wirkungsgrad von 38% aufweist $\eta_K = 0{,}85$:

$$\boxed{\dot{Q}_B = \frac{P_{KL}}{\eta_{eff}}}$$ Wärmeleistung aus Brennstoff

$$\dot{Q}_B = \frac{120 \cdot 10^6\,W}{0{,}38} = 315789473{,}7\,W \sim \underline{\underline{315{,}8 \cdot 10^6\,W}}$$

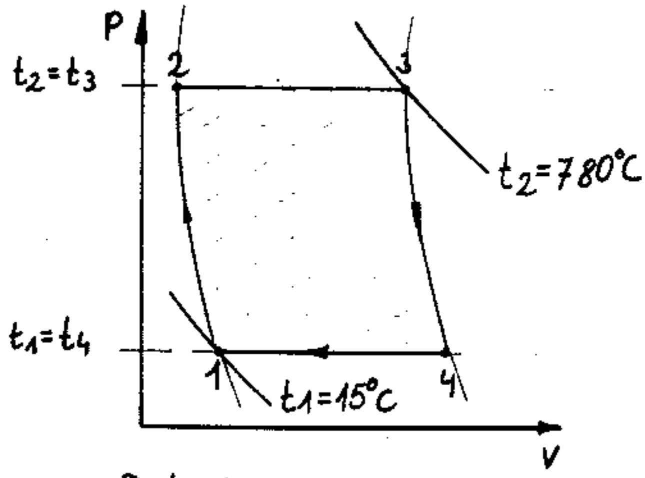
Kesselwirkungsgrad

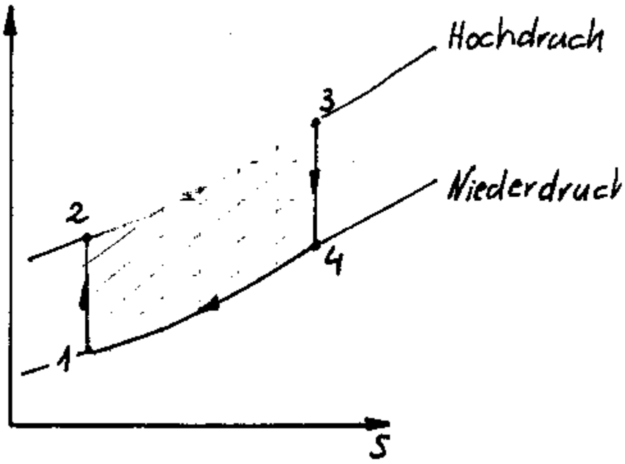
$$\boxed{\eta_K = \frac{\dot{m}_D \cdot [(h_K - h_W) + (h_3 - h_2')]}{\underbrace{\dot{Q}_B}_{\dot{Q}_B = \dot{m}_B \cdot H}}}$$ $\Big/$ $$\dot{m}_D = \frac{\eta_K \cdot \dot{Q}_B}{[(h_K - h_W) + (h_3 - h_2')]}$$

$$\dot{m}_D = \frac{0{,}85 \cdot 315{,}8 \cdot 10^3\,kW}{(3500 - 289{,}3 + 3265 - 2790)\,kJ/kg} = \underline{\underline{72{,}8301\,kg/s}}$$

$$\dot{m}_D = \underline{\underline{72{,}83\,kg/s}} \mathrel{\hat{=}} \underline{\underline{262{,}188\,t/h}}$$

Aufgabe 2.2 Der Joule Prozeß:





Daten:

$P_{Nl} = 10 MW$

$\varkappa = 1{,}4$

$H_u = 41850 \, kJ/kg$

$t = 1250 \, h/a$

$\eta_{eff} = 0{,}285$

$\frac{p_2}{p_1} = 10$

$t_{max} = 780°C$

$t_{umgebung} = 15°C = t_1$

$\dot{m}_B$ = Brennstoffmasse = ?
für 2 Jahre = 2a

1. Verbrennungswärme Q_B berechnen:

$$\boxed{\eta_{eff} = \frac{P_{eff}}{Q_B}}$$

$P_{eff} = P_{elek.} = 10 MW$

$\eta_{eff} = 28{,}5\% = 0{,}285$

$$\dot{Q}_B = \frac{10000 \, kW}{0{,}285} = \underline{\underline{35\,087{,}72 \, kW}}$$

2) Berechnung der Brennstoffmenge:

$$\boxed{Q_B = \dot{m}_B \cdot H_u} \qquad \dot{m}_B = \frac{Q_B}{H_u} = \frac{35087 \, kW}{41850 \, kJ/kg} = 0{,}8384 \, \frac{kg}{s}$$

in 1 sec → $\dot{m}_B = 0{,}8384 \, kg/s$

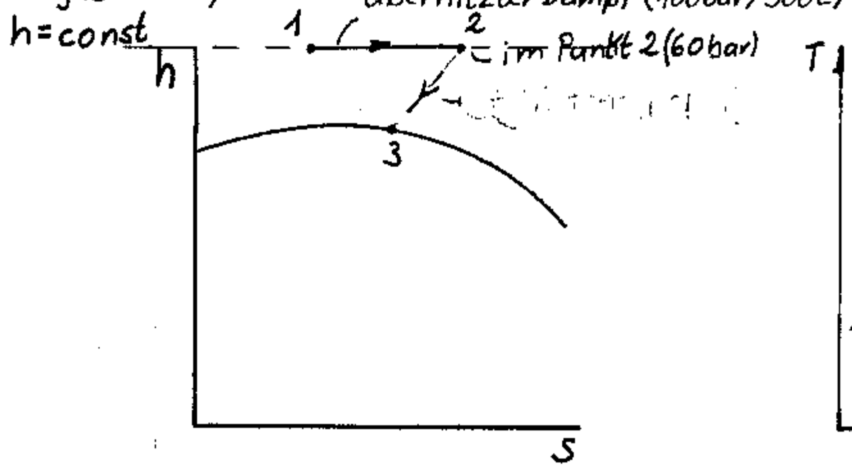
in 1 std. – $\dot{m}_B = 0{,}8384 \, kg/s \cdot 3600 sec = 3018{,}24 \, kg/h$

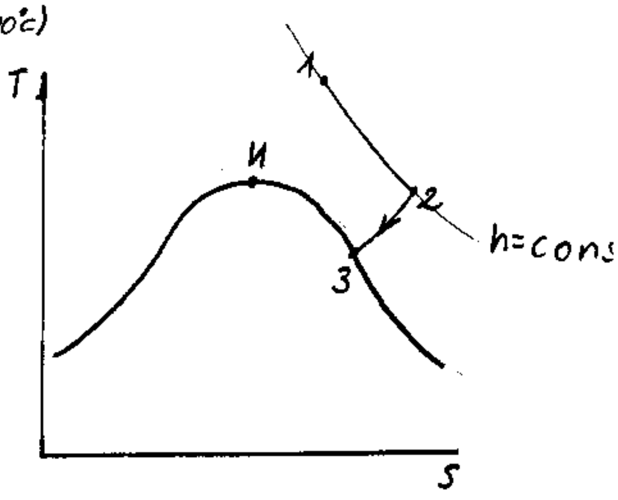
in 1 Jahr – $\dot{m}_B = 3018{,}24 \, kg/h \cdot 1250 \, h/Jahr = 3772795{,}7 \, kg/Jahr$

in 2 Jahren – $\dot{m}_B = 3772795{,}7 \, kg/Jahr \cdot 2 \, Jahren = \underline{\underline{7545591{,}4}} \, kg/2 \, Jahren$

$\dot{m}_B \mathrel{\hat{=}} \underline{\underline{7545{,}6 \, t}}/2 \, Jahren.$

Aufgabe: 2.3)





1.) <u>Enthalpiebilanz aufstellen:</u>

$$H_{ges} = H_W + H_D$$

$$m_{ges}\cdot h_3'' = m_W\cdot h' + m_D\cdot h_2''$$ hierzu: $m_{ges} = m_W + m_D$ einsetzen für m_{ges}

$$(m_W + m_D)\cdot h_3'' = m_W\cdot h' + m_D\cdot h_2''$$ ↑ $m_W = m_{ges} - m_D$ einsetzen für m_W

$$(m_{ges} + \cancel{m_D} - \cancel{m_D})\cdot h_3'' = (m_{ges} - m_D)\cdot h' + (m_D\cdot h_2'')$$

$$m_{ges}\cdot h_3'' = (m_{ges} - m_D)\cdot h' + m_D\cdot h_2''$$ ausmultiplizieren!

$$m_{ges}\cdot h_3'' = h'\cdot m_{ges} - m_D\cdot h' + m_D\cdot h_2''$$

$$m_{ges}\cdot h_3'' - h'\cdot m_{ges} = m_D\cdot h_2'' - m_D\cdot h'$$

$$m_{ges}\cdot(h_3'' - h') = m_D\cdot(h_2'' - h')$$

$$\boxed{\frac{\dot m_{ges}}{\dot m_D} = \frac{h_2'' - h'}{h_3'' - h'}}$$

2.) Achtung, da m_D/m_{ges} muß am Schluß der Kehrwert genommen werd.
aus TB 5.5 und TB 5.4 Cel/Ho interpoliert.

h_2'' = gedrosselter Dampf: $h_2'' = h_1 = const = \underline{3374{,}6}$ kJ/kg

h' = Wasser bei 60 bar $\Rightarrow h' = \underline{\underline{1213{,}7}}$ kJ/kg

h_3'' = Enthalpie der Mischung $p_2 = p_3 = const$ $\quad h_3'' = \underline{\underline{2785}}$ kJ/kg

3.) $$\frac{m_{ges}}{m_D} = \frac{3374{,}6\ kJ/kg - 1213{,}7\ kJ/kg}{2785\ kJ/kg - 1213{,}7\ kJ/kg} = 1{,}375$$ ↑ $\frac{m_D}{m_{ges}} = \underline{\underline{0{,}727\ \dot m_D}}$ $\underline{\underline{= 72,}}$
Kehrwert!

4.) Vereinfachte Annahme: $m_{ges} = 1$

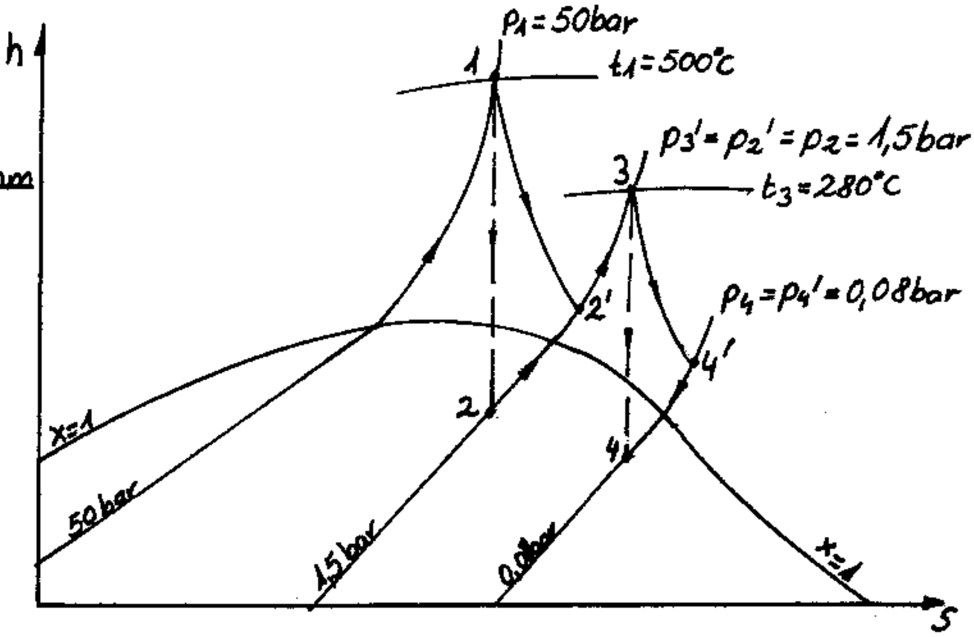
Massenbilanz. $\boxed{\dot m_{ges} = \dot m_W + \dot m_D}$ ↑ $\dot m_W = 1 - \dot m_D = 1 - 0{,}727 = \underline{0{,}273\ \dot m_W}$

Aufgabe 2.4

Skizze:

Mollier

h-s Diagramm



gegebene Daten: $\eta_m = 0,98$; $\eta_{el} = 0,975$; $\eta_{eig} = 0,985$; $\eta_{HD} = 0,8$; $\eta_{ND} = 0,8$

$\eta_R = 1$; $\eta_K = 0,89$; $\eta_{th} = ?$

P_{Nl} = Nettoleistung = 200MW

$c_1 = 85 m/s$ (in Frischdampfleitung)

$c_2 = 60 m/s$ (in Abdampfleitung nach dem HD-Teil)

1.) Ablesen der Enthalpien aus dem h-s Diagramm für die Punkte 1;2;3

$h_1 = 3435 \, kJ/kg$; $h_2 = 2600 \, kJ/kg$; $h_3 = 3035 \, kJ/kg$; $h_4 = 2500 \, kJ/kg$

2.) Ablesen der Enthalpie h_w für 0,08bar aus TB. 5.4 Cel/Ho:

$h_w = h' = 173,86 \, kJ/kg$

3.) Berechnung des thermischen Wirkungsgrades:

$$\boxed{\eta_{th} = \frac{h_1 - h_2 + h_3 - h_4}{h_1 - h_w + h_3 - h_2}} \qquad \eta_{th} = \frac{(3435 - 2600 + 3035 - 2500) \, kJ/kg}{(3435 - 173,86 + 3035 - 2600) \, kJ/kg}$$

$$\eta_{th} = \underline{\underline{0,3707 \sim 0,371}}$$

4.) Berechnung von η_i:

$$\boxed{\eta_i \approx \frac{\eta_{iHD} + \eta_{iND}}{2}} \qquad \eta_i \approx \frac{0,8 + 0,8}{2} = \underline{\underline{0,8}}$$

5) Berechnung des Gesamtwirkungsgrades:

$$\boxed{\eta = \eta_K \cdot \eta_R \cdot \eta_{th} \cdot \eta_i \cdot \eta_m \cdot \eta_{el} \cdot \eta_{eig}}$$

$$\eta = 0{,}89 \cdot 1 \cdot 0{,}37 \cdot 0{,}8 \cdot 0{,}98 \cdot 0{,}975 \cdot 0{,}985 = \underline{\underline{0{,}2479 \approx 0{,}25}}$$

6) Berechnung der Enthalpie h_2' (für Punkt 2'):

$$\boxed{\eta_{iHD} = \frac{h_1 - h_2'}{h_1 - h_2}}$$

$\curvearrowright$ $h_2' = h_1 - \eta_{iHD} \cdot (h_1 - h_2)$

$h_2' = 3435 - 0{,}8 \cdot (3435\,kJ/kg - 2600\,kJ/k$

$h_2' = \underline{\underline{2767\,kJ/kg}}$

7.) Berechnung der Enthalpie h_4' (für Punkt 4'):

$$\boxed{\eta_{iND} = \frac{h_3 - h_4'}{h_3 - h_4}}$$

$\curvearrowright$ $h_4' = h_3 - \eta_{iND}(h_3 - h_4)$

$h_4' = 3035 - 0{,}8 \cdot (3035 - 2500)\,kJ/kg$

$h_4' = \underline{\underline{2607\,kJ/kg}}$

8.) Berechnung der Wärmeleistung $\dot{Q}_B$

$$\boxed{\eta = \frac{P_{Kl}}{\dot{Q}_B}}$$

$\curvearrowright$ $\dot{Q}_B = \frac{P_{Kl}}{\eta}$ $\quad \dot{Q}_B = \frac{200000\,kW}{0{,}25} = \underline{\underline{800000\,kW}}$

9.) Berechnung des Dampfmassenstromes $\dot{m}_D$:

$$\boxed{\eta_K = \frac{\dot{m}_D \cdot (h_1 - h_W + h_3 - h_2')}{\dot{Q}_B}}$$

$\curvearrowright$ $\dot{m}_D = \frac{\eta_K \cdot \dot{Q}_B}{h_1 - h_W + h_3 - h_2'}$

$$\dot{m}_D = \frac{0{,}89 \cdot 800000\,kW}{(3435 - 173{,}86 + 3035 - 2767)\,kJ/kg} = \underline{\underline{201{,}7}}\,kg/s$$

10) Ermittlung der spez. Volumina in Punkt 1 für Frischdampflei

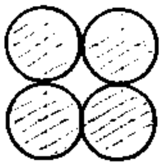
und v_2 im Punkt 2 für Abdampfleitung.

Ablesung ingenieurmäßig aus h-s Diagramm.

Punkt 1 $\Rightarrow$ $v_1 = \underline{\underline{0{,}068}}\,\frac{m^3}{kg}$ $\qquad$ Punkt 2 $\Rightarrow$ $v_2 = \underline{\underline{1{,}17}}\,\frac{m^3}{kg}$

11.) Berechnung des Volumenstromes im Rohrbündel der Frischdampfzufuhr.

Querschnitt:



Frischdampfleitung, bestehent aus 4 Rohren.

$$\boxed{\dot{V}_{D4R} = v_1 \cdot \dot{m}_D}$$

$$\dot{V}_{D4R} = 0{,}068\,\frac{m^3}{kg} \cdot 201{,}7\,kg/s = \underline{\underline{13{,}72}}\,\frac{m^3}{s}$$

für 4 Rohre.

12.) Berechnung des Volumenstromes in einem Rohr der Frischdampfleitung:

Querschnitt:

Betrachtung des Volumenstromes 1 Rohres aus dem Frischdampfrohrbündel.

$$\boxed{\dot{V}_{D1R} = \frac{\dot{V}_{D4R}}{4}}$$

$$\dot{V}_{D1R} = \frac{13{,}72}{4}\,\frac{m^3}{s} = \underline{\underline{3{,}43}}\,\frac{m^3}{s}$$

für 1 Rohr aus dem Bünd

13.) Berechnung des Flächeninhaltes 1 Rohres:

$$\boxed{A_{1R} = \frac{\dot{V}_{D1R}}{C_1}}$$

$$A_{1R} = \frac{3{,}43\ m^3/s}{85\ m/s} = \underline{\underline{0{,}0404}}\ m^2$$

14.) Berechnung des Durchmessers d_F des Rohres der Frischdampfleitung.

$$\boxed{d_F = 2 \cdot \sqrt{\frac{A}{\pi}}}$$

$$d_F = 2 \cdot \sqrt{\frac{0{,}0404\,m^2}{\pi}} = \underline{\underline{0{,}227\,m}} = d_F$$

Durchmesser der Frischdampfleitung (1 Rohr)

15.) <u>Berechnung des Volumenstromes der Abdampfleitung nach dem HD Teil:</u> $\dot{V}_{Dab}$

$$\boxed{\dot{V}_{Dab} = v_2 \cdot \dot{m}_D} \qquad \dot{V}_{Dab} = 1{,}17\,\frac{m^3}{kg} \cdot 201{,}7\,\frac{kg}{s} = 235{,}989\,\frac{m^3}{s}$$

$$\dot{V}_{Dab} = \underline{\underline{235{,}989}}\,\frac{m^3}{s}$$

Volumenstrom der Abdamfleitung nach dem HD-Teil auf dem Weg zum Zwischenüberhitzer.

<u>Bemerkung</u>: Der Dampfmassenstrom $\dot{m}_D$ ist konstant, daher kann mit diesem zur Berechnung von dF und dzü gearbeitet werden. Begründung: Es wird kein Dampf aus dem Prozeß entnommen werden.

16.) <u>Berechnung des Flächeninhaltes des Abdampfrohres:</u> A_{ab}

$$\boxed{A_{ab} = \frac{\dot{V}_{Dab}}{c_2}} \qquad A_{ab} = \frac{235{,}989\,m^3/s}{60\,m/s} = \underline{\underline{3{,}93315}}\,\frac{m^2}{s}$$

17.) <u>Berechnung des Durchmessers dab der Abdampfleitung nach dem HD-Teil auf dem Weg zum Zwischenüberhitzer.</u>

$$\boxed{d_{ab} = 2 \cdot \sqrt{\frac{A}{\pi}}} \qquad d_{ab} = 2 \cdot \sqrt{\frac{3{,}93315\,m^2/s}{\pi}} = \underline{\underline{2{,}23\,m}} = d_{ab}$$

18.) <u>Berechnung der Wärmeleistung die im Zwischenüberhitzer zugeführt wird.</u>

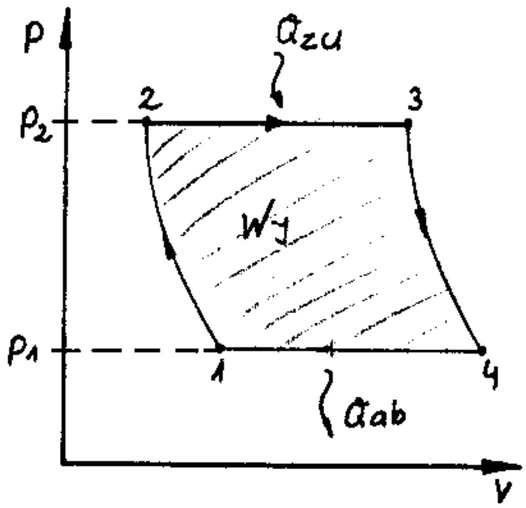
$$\boxed{\dot{Q}_{zu} = \dot{m}_D \cdot (h_3 - h_2')}$$

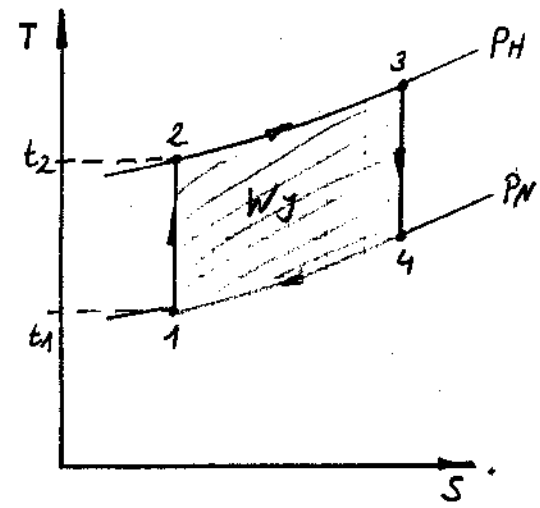
$$\dot{Q}_{zu} = 201{,}7\,kg/s \cdot (3035 - 2767)\,kJ/kg = 54\,055{,}6\,kW$$

$$\dot{Q}_{zu} = \underline{\underline{54{,}1\,MW}}$$

<u>Bemerkung</u>: Etwaige Abweichungen der Lösungen kommen durch Ableseungenauigkeiten aus dem h-s Diagramm

Aufgabe: 2.5





1.) <u>Berechnung des thermischen Wirkungsgrades bei Verwendung von Luft:</u>

aus TB 2.1 Cel/Ho Isentropenexponent $\varkappa_L$ $\varkappa_L = 1{,}401$

Thermischer Wirkungsgrad Joule Prozeß: $\boxed{\eta th_L = 1 - \left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{\frac{\varkappa - 1}{\varkappa}}}$

$\boxed{\text{Druckverhältnis} = \frac{p_2}{p_1}}$ $\frac{p_2}{p_1} = 6{,}5$ $\frac{p_1}{p_2} = 6{,}5^{-1} = \underline{\underline{0{,}15385}}$

$$\eta th_L = 1 - (0{,}15385)^{\frac{1{,}401 - 1}{1{,}401}} = \underline{\underline{0{,}414}}$$

2.) <u>Berechnung des thermischen Wirkungsgrades bei Verwendung von Helium:</u>

$\boxed{\eta th_{He} = 1 - \left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{\frac{\varkappa - 1}{\varkappa}}}$

aus TB 2.1 Cel/Ho

Isentropenexponent $\varkappa_{He}$ $\varkappa_{He} = 1{,}657$

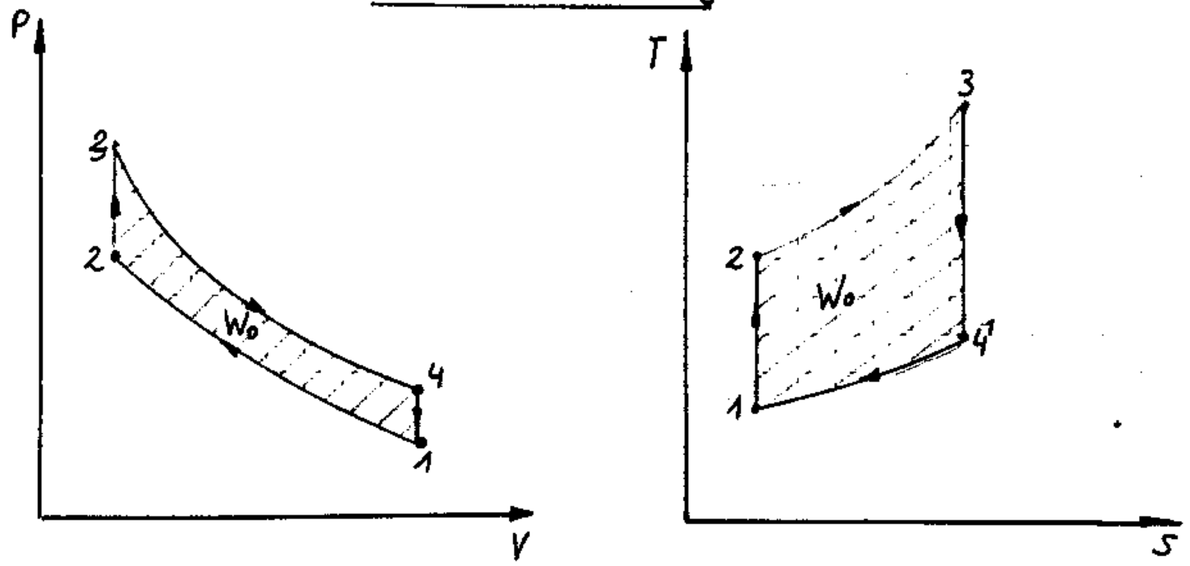
Das Druckverhältnis bleibt gleich mit $6{,}5 = \frac{p_2}{p_1}$ daher gilt auch

$\frac{p_1}{p_2} = 6{,}5^{-1} = 0{,}15385$

$$\eta th_{He} = 1 - (0{,}15385)^{\frac{1{,}657 - 1}{1{,}657}} = \underline{\underline{0{,}524}}$$

Aufgabe: 2.6

Prozeßdarstellung: OTTO-Motor



1-2 isentrope Verdichtung

2-3 isochore Wärmezufuhr Q_{23}

3-4 isentrope Ausdehnung

4-1 isochore Wärmeabfuhr Q_{41}

1. Berechnung des thermischen Wirkungsgrad:

$$\boxed{\eta_{th_0} = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{\kappa - 1}}} \qquad \eta_{th_0} = 1 - \frac{1}{9^{(1{,}4-1)}} = \underline{\underline{0{,}585}}$$

hierzu $\varepsilon = \frac{V_1}{V_2} = 9$

2. Wärmeleistung des Brennstoffes berechnen:

$$\boxed{\eta_{eff} = \frac{P}{\dot{Q}_B}} \quad \curvearrowright \quad \dot{Q}_B = \frac{P}{\eta_{eff}} \qquad \dot{Q}_B = \frac{115\,kW}{0{,}28} = \underline{\underline{410{,}7\,kW}}$$

3. Mass $\dot{m}_B$ (Brennstoff) berechnen: Massenstrom $\dot{m}_B$:

$$\boxed{\dot{Q}_B = \dot{m}_B \cdot H_u} \quad \curvearrowright \quad \dot{m}_B = \frac{\dot{Q}_B}{H_u} \qquad \dot{m}_B = \frac{410{,}7\,kW}{42000\,\frac{kJ}{kg}} = \underline{9{,}78\,g/s}$$

$$\hat{=}\ 9{,}78\,g/s \cdot 3600$$

$$= \underline{\underline{35204{,}4\,g/h}}$$

4. Spezifischer Kraftstoffverbrauch:

$$\boxed{g_e = \frac{\dot{m}_B}{P}} \qquad g_e = \frac{35204{,}4\,g/h}{115\,kW} = \underline{\underline{306{,}13\,g/kWh}}$$

5. Masse des Brennstoffs im Tank: $95l = 95dm^3 = 0{,}095m^3$

$$\boxed{m_B = \rho \cdot V} \qquad m_B = 785 kg/m^3 \cdot 0{,}095m^3 = \underline{\underline{74{,}575}}\ kg$$

Brennstoffmasse im Tank

6. Laststunden berechen, unter denen der Motor mit Vollast laufen kann.

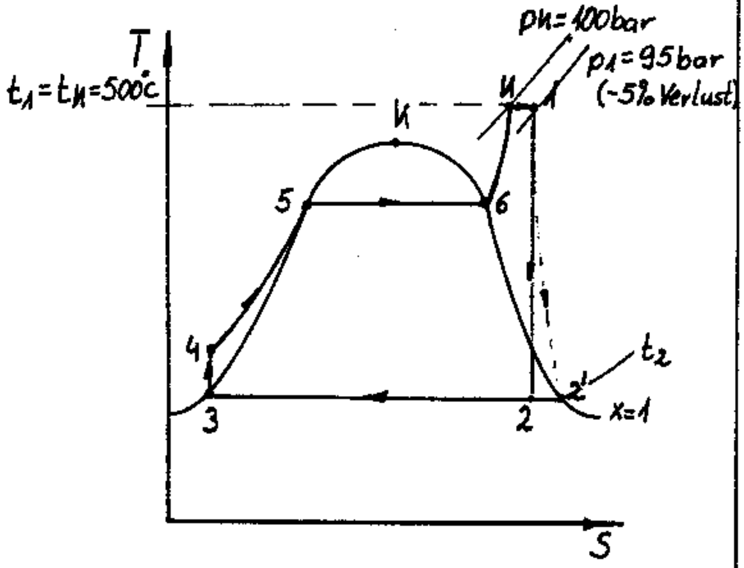
$$\boxed{\tau = \frac{\dot{m}_B \cdot H_u}{m_B \cdot H_u} = \frac{Q_B}{\dot{Q}_B} = \frac{m_B}{m_B}}$$

$$\tau = \frac{74{,}575 kg}{35{,}2044 kg/h} = \underline{\underline{2{,}118\,h}} \mathrel{\hat{=}} \underline{\underline{2h\ 7min}}$$

Aufgabe: 2.7

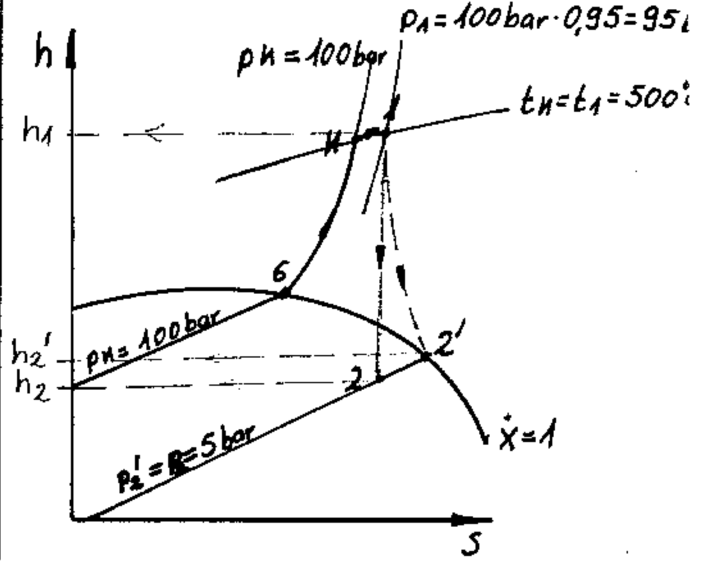
T-s Diagramm

Darstellung des kompletten Prozeßverlaufes im T-s Diagramm. Strecke $\overline{K1}$ entspricht den 5% Druckverlust durch Rohrreibung.



Skizze h-s Diagramm

Darstellung des Prozeßverlaufes im h-s Diagramm nach Mollier. Nach dem Diagram des Springer-Verlages ist nur der hier skizzi Bereich sichtbar.



1.) Ablesen der Enthalpien in den Punkten $1; 2; 2' \rightarrow h_1; h_2; h_2'$:

abgelesen aus h-s Diagramm nach Mollier:

$h_1 = \underline{\underline{3380\,kJ/kg}}$ $\quad h_2 = \underline{\underline{2675\,kJ/kg}}$ $\quad h_2' = \underline{\underline{2750\,kJ/kg}}$

2.) Berechnung der theoretischen Turbinenleistung:

$\boxed{P_a = \overset{1\,m/s}{w_{t12}} = (h_1 - h_2)}$ $\qquad P_a = w_{t12} = \overset{1\,m/s}{(3380 - 2675)}\,kJ/kg = \underline{\underline{705\,kJ/kg}}\,s = \underline{705\,k}$

Lösung zu a.)

3.) Berechnung des inneren Turbinenwirkungsgrades bei wirklicher Entspann

$\boxed{\eta_i = \dfrac{h_1 - h_2'}{h_1 - h_2}}$ $\qquad \eta_i = \dfrac{(3380 - 2750)\,kJ/kg}{(3380 - 2675)\,kJ/kg} = 0{,}8936 \approx \underline{\underline{0{,}894}} = \eta_i$

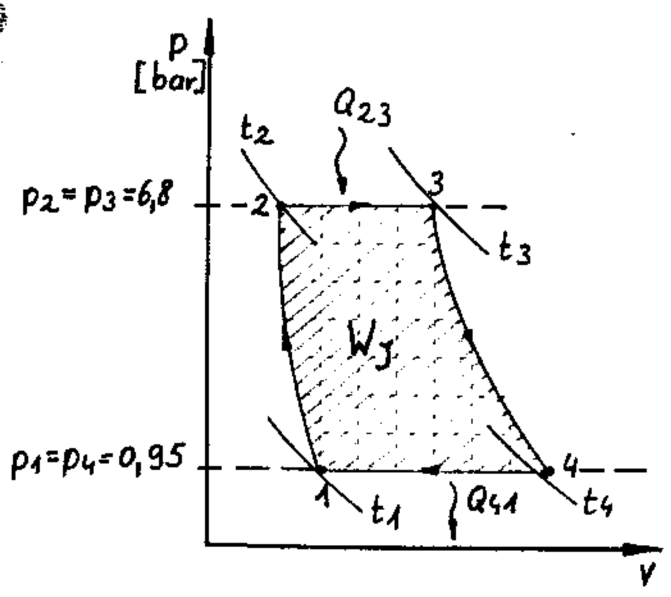
Lösung zu b.)

4.) Berechnung der inneren Turbinenleistung bei einem Massenstrom von $\dot{m}_D = 15\,kg/s$:

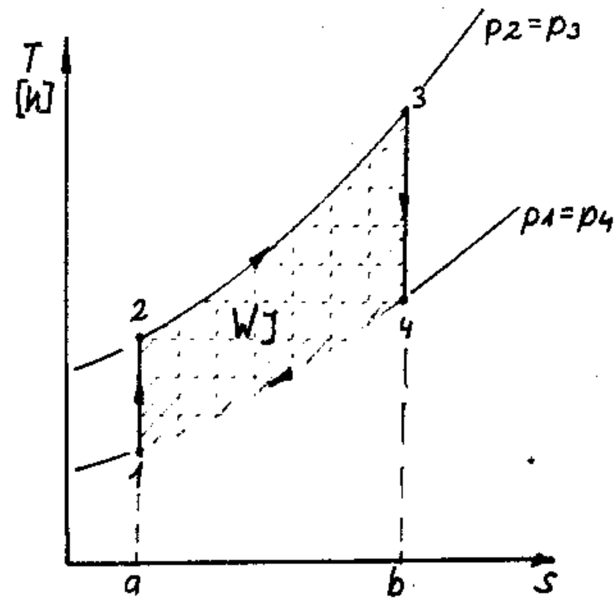
$\boxed{P_i = \dot{m}_D \cdot (h_1 - h_2')}$ $\qquad P_i = 15\,kg/s \cdot (3380 - 2750)\,kJ/kg = \underline{\underline{9450\,kW}} \hat{=} \underline{\underline{9{,}4}}$

Lösung zu c.)

p-v Diagramm:



T-s Diagramm:



Erläuterung:

1→2 Isentrope Verdichtung der Luft im Verdichter. (Kompressor)

2→3 Isobare Wärmezufuhr Q_{23}

3→4 Isentrope Ausdehnung der Luft in der Turbine (Expansion)

4→1 Isobare Wärmeabfuhr Q_{41}

Daten: $P_{eff} = 8{,}5\,MW$; $\eta_{eff} = 0{,}29 \hat{=} 29\%$; $H_u = 41000\,kJ/kg$

$p_1 = 0{,}95\,bar$; $p_2 = 6{,}8\,bar$ $\quad t_1 = 18°C$

1.) Verbrennungswärmestrom $\dot{Q}_B$ berechnen:

$$\boxed{\eta_{eff} = \frac{P_{eff}}{\dot{Q}_B}} \quad \dot{Q}_B = \frac{P_{eff}}{\eta_{eff}} \qquad \dot{Q}_B = \frac{8500\,kW}{0{,}29} = \underline{\underline{29310{,}35\,kW}}$$

2.) Berechnung des Brennstoffmassenstromes:

$$\boxed{\dot{Q}_B = \dot{m}_B \cdot H_u} \quad \dot{m}_B = \frac{\dot{Q}_B}{H_u} \qquad \dot{m}_B = \frac{29310{,}35\,kW}{41000\,kJ/kg} = 0{,}7149\,kg/s$$

$$\dot{m}_B = \underline{\underline{0{,}7149\,kg/s \hat{=} 2573{,}59\,kg/h}}$$

Lösung zu a.)

3.) Thermischer Wirkungsgrad des Joule Prozeßes:

$$\boxed{\eta_{th} = 1 - \left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{\frac{\kappa - 1}{\kappa}}}$$

$$\eta_{th} = 1 - \left(\frac{0{,}95\,\text{bar}}{6{,}8\,\text{bar}}\right)^{\frac{1{,}401-1}{1{,}401}} = \underline{\underline{0{,}43}}$$ Lösung zu b.)

4.) Berechnung der theoretischen Lufttemperatur nach der Kompression bei einer Umgebungstemperatur von $t_1 = 18\,°C$

$$\boxed{\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{\frac{\kappa - 1}{\kappa}}}$$

$$T_1 = (273{,}15 + t_1)\,K = 273{,}15 + 18\,°C = \underline{291{,}15\,K}$$

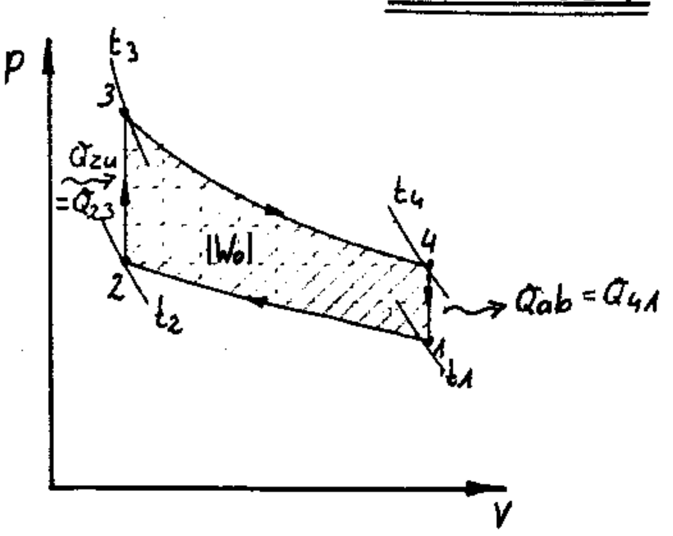
$$T_2 = \frac{T_1}{\left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}} \qquad T_2 = \frac{291{,}15\,K}{\left(\frac{0{,}95\,\text{bar}}{6{,}8\,\text{bar}}\right)^{\frac{1{,}401-1}{1{,}401}}} = \underline{\underline{511{,}4\,K}}$$

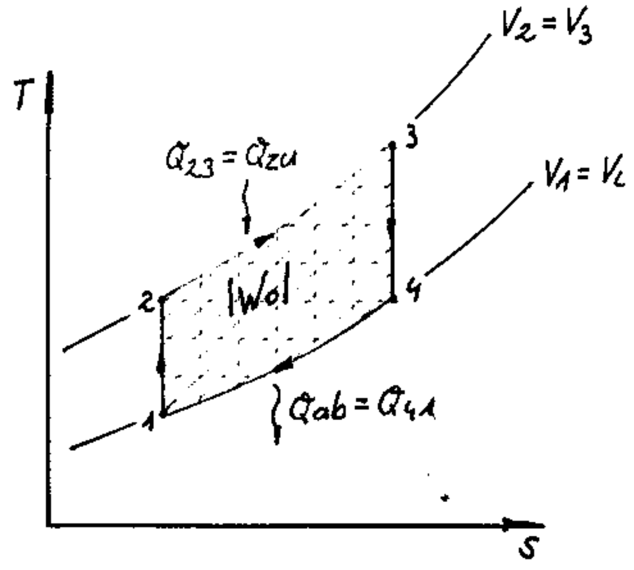
oder auch möglich:

$$\boxed{\eta_{th} = 1 - \frac{T_1}{T_2}} \qquad T_2 = \frac{T_1}{1 - \eta_{th}} \qquad T_2 = \frac{291{,}15\,K}{1 - 0{,}43} = \underline{\underline{511\,K}}$$ Lösung z c.)

Abweichungen zum erst berechnete Wert kommen zustande, daß bei der erst verwendeten Formel keine Rundungsdifferenzen so deutlich zur Geltung kommen.

OTTO-Prozeß





1→2: isentrope Verdichtung

2→3: isochore Zufuhr der Wärme Q_{zu}, $V = const$

3→4 isentrope Ausdehnung

4→1 isochore Abfuhr der Wärme Q_{ab}, $V = const$

Daten: $\varrho_B = 780\,kg/m^3$; $H_u = 40800\,kJ/kg$; $t = 2{,}5\,h$; $P = 42\,kW$; $\eta = 0{,}195$

Gesucht: Volumen Tank → $V = ?$; Kühlwasserstrom → $\dot{m}_W$

---

1) Berechnung des Brennstoffmassenstromes $\dot{m}_B$:

$$\boxed{\eta_{eff} = \frac{P_{eff}}{\dot{Q}_B} = \frac{P_{eff}}{\dot{m}_B \cdot H_u}} \quad \Rightarrow \quad \dot{m}_B = \frac{P_{eff}}{\eta_{eff} \cdot H_u} \qquad \dot{m}_B = \frac{42\,kW}{0{,}195 \cdot 40800\,kJ/kg}$$

$$\dot{m}_B = \underline{0{,}05279\,kg/s} \mathrel{\hat{=}} \underline{\underline{19{,}0045\,kg/h}}$$

---

2) Brennstoffmasse im Tank berechnen: m_B

$$\boxed{m_B = \dot{m}_B \cdot t} \qquad m_B = 19{,}0045\,\frac{kg}{h} \cdot 2{,}5\,h = \underline{\underline{47{,}5113\,kg}} = m_B$$

---

3) Tankvolumen berechnen, daß für eine Tankfüllung ausreichend ist

$$\boxed{V_{tank} = \frac{m_B}{\varrho_{Brennstoff}}} \qquad V_{tank} = \frac{47{,}5113\,kg}{780\,kg/m^3} = 0{,}0609119\,m^3 \mathrel{\hat{=}} 60{,}91$$

$$V_{tank} = \underline{\underline{60{,}91\,dm^3 \mathrel{\hat{=}} 60{,}91\,l}} \quad \text{Lösung zu a.)}$$

Aufgabe: 2.9)

4.) <u>Berechnung des Wärmestromes aus dem Brennstoff (Wärmeleistung) $\dot{Q}_B$</u>:

$$\boxed{\dot{Q}_B = \dot{m}_B \cdot H_u}$$

$\dot{Q}_B = 19,0045\,kg/h \cdot 40800\,kJ/kg = 775383,6\,kW$

$\dot{Q}_B = 775383,6\,kWh \hat{=} \underline{\underline{215,384\bar{3}\,kW}}$

5.) <u>Berechnung der Kühlwasserwärmeleistung b.z.w Kühlleistung: $\dot{Q}_W$</u>

$$\boxed{\dot{Q}_W = \dot{Q}_B \cdot \frac{[\%]}{100}}$$

$\dot{Q}_W = 215,3843\,kW \cdot \frac{40\%}{100} = \underline{\underline{86,154\,kW}}$

6.) <u>Berechnung der Enthalpie des Kühlwassers</u>:

$$\boxed{h_W = 4,2 \cdot \Delta t = c_W \cdot \Delta T}$$

$h_W = 4,2 \cdot 8\,K = 33,6\,\frac{kJ}{kg}$

7.) <u>Berechnung des Kühlwassermassenstromes $\dot{m}_W$</u>:

$$\boxed{\dot{Q}_K = \dot{m}_W \cdot h_W}$$

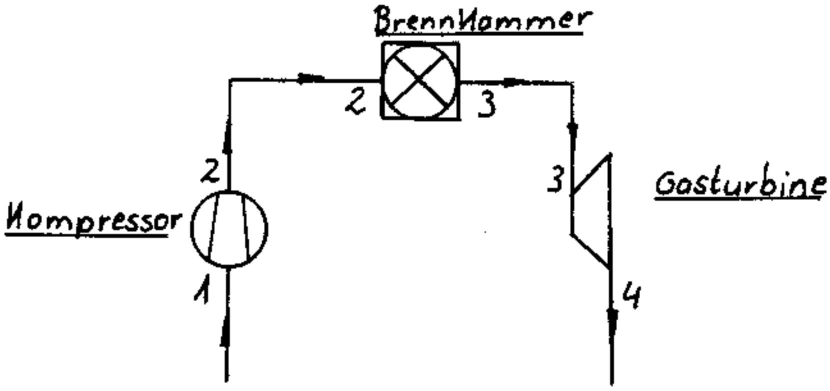
$\frac{\dot{Q}_K}{h_W} = \dot{m}_W$

$\dot{m}_W = \frac{86,154\,kW}{33,6\,\frac{kJ}{kg}} = \underline{\underline{2,564\,kg/s}}$ (2,584 kg

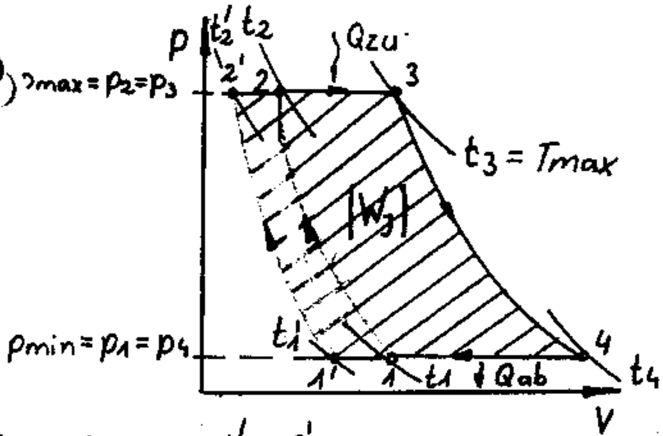
Lösung zub.)

Aufgabe: 2.10

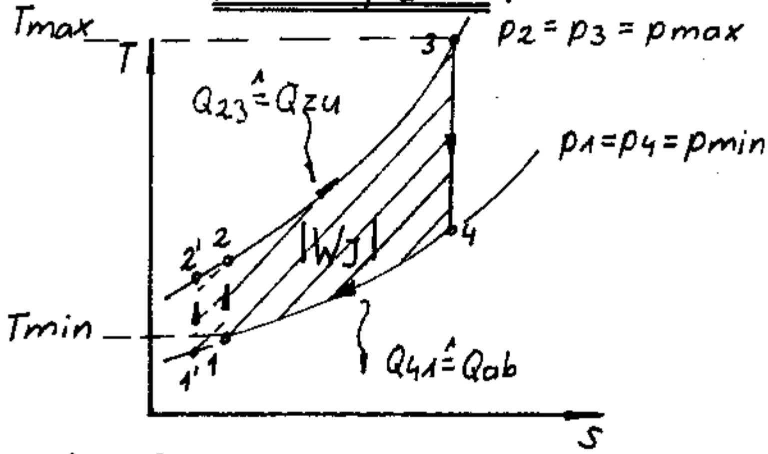
Offene Gasturbinenanlage (Joule Prozeß):



P-V Diagramm:



T-s Diagramm:



Prozeß-erläuterung.
$1' \to 2'$: isentrope Kompression $t_1' = -10°C$
$1 \to 2$: isentrope Kompression $t_1 = 15°C$
$3 \to 4$: isentrope Expansion
$2 \to 3$: isobare Wärmezufuhr Q_{zu}
$4 \to 1$: isobare Wärmeabfuhr Q_{ab}

Daten: $P = 8\,MW$ $\frac{p_2}{p_1} = 8{,}2$ $T_{max} = T_3 = 800°C$ $T_1 = 15°C = 288{,}15K$
$T_1' = -10°C = 263{,}15K$

1.) Annahme: Der Umgebungsdruck entspricht 760 mm Hg und damit ungefähr 1 bar ($10^5\,Pa$) $= p_1$

2.) Berechnung von p_2:

$\boxed{\text{Druckverhältnis} = \frac{p_2}{p_1}}$ / $p_2 = \text{Druckverhältnis} \cdot p_1$

$$p_2 = 8{,}2 \cdot 1\,bar = \underline{8{,}2\,bar} = p_2$$

3.) Berechnung von T_2 bei Umgebungstemperatur $t_1 = 15\,°C$:

$$\boxed{\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{\frac{\varkappa-1}{\varkappa}}}$$

$$T_2 = \frac{T_1}{\left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{\frac{\varkappa-1}{\varkappa}}} \qquad T_2 = \frac{288{,}15\,K}{\left(\frac{1\,bar}{8{,}2\,bar}\right)^{\frac{1{,}401-1}{1{,}401}}} = \underline{526{,}23\,K}$$

$(t_1 = 253\,°C)$

4.) Berechnung von T_4, bei Umgebungstemperatur $t_1 = 15\,°C$ und $t_2 = -1.$ gültig:

$$\boxed{\frac{T_3}{T_4} = \left(\frac{p_3}{p_4}\right)^{\frac{\varkappa-1}{\varkappa}}} \qquad T_4 = \frac{T_3}{\left(\frac{p_3}{p_4}\right)^{\frac{\varkappa-1}{\varkappa}}} \qquad T_4 = \frac{(800+273{,}15)\,K}{(8{,}2)^{\frac{1{,}401-1}{1{,}401}}} = \underline{587{,}63\,K}$$

$(314{,}5\,°C = t_4)$

Bemerkung: Das Druckverhältnis $\frac{p_2}{p_1}$ entspricht auch $\frac{p_3}{p_4}$ da gilt:

$p_2 = p_3$ und $p_1 = p_4$.

5.) Berechnung von T_2' bei Umgebungstemperatur $t_1' = -10\,°C$:

$$\boxed{\frac{T_1'}{T_2'} = \left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{\frac{\varkappa-1}{\varkappa}}} \qquad T_2' = \frac{T_1'}{\left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{\frac{\varkappa-1}{\varkappa}}} \qquad T_2' = \frac{263{,}15\,K}{\left(\frac{1\,bar}{8{,}2\,bar}\right)^{\frac{1{,}401-1}{1{,}401}}} = \underline{480{,}573\,K}$$

$(t_2' = 207{,}4\,°C$

6.) Berechnung der spez. Kreisprozeßarbeit bei $t_1 = 15\,°C$ und $t_1' = -10\,°C$:

$$w_K = \sum q = q_{zu} + q_{ab} = c_p \cdot (T_3 - T_2) + c_p \cdot (T_1 - T_4)$$

$$\boxed{w_K = c_p \cdot [(T_3 - T_2) + (T_1 - T_4)]}$$

damit gilt:

$$w_{K\,15°C} = c_p \cdot (T_3 - T_2 + T_1 - T_4)$$

$$w_{K\,15°C} = c_p \cdot (1073{,}15\,K - 526{,}23\,K + 288{,}15\,K - 587{,}63\,K) = \underline{\underline{c_p \cdot 247,}} = w_{K\,15°C}$$

$$w_{K\,-10°C} = c_p \cdot (T_3 - T_2' + T_1' - T_4)$$

$$w_{K\,-10°C} = c_p \cdot (1073{,}15\,K - 480{,}57\,K + 263{,}15\,K - 587{,}63\,K) = \underline{\underline{c_p \cdot 268,}} = w_{K\,-10°C}$$

7) Berechnung der Prozeßleistung bei $t_1 = -10°C$

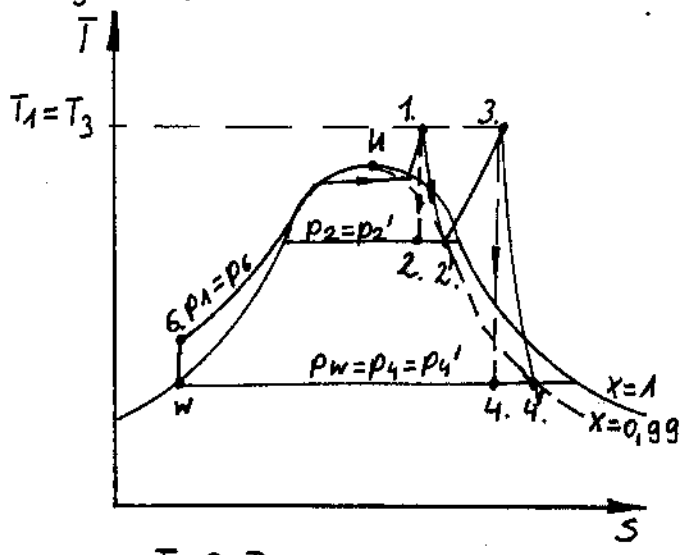
$$\frac{P_{-10°C}}{P_{+15°C}} = \frac{\dot{m} \cdot \omega_{H-10°C}}{\dot{m} \cdot \omega_{H15°C}} = \frac{\cancel{\dot{m}} \cdot \cancel{c_{pm}} \cdot 268{,}1\,K}{\cancel{\dot{m}} \cdot \cancel{c_{pm}} \cdot 247{,}44\,K}$$

$$\boxed{\frac{P_{-10°C}}{P_{+15°C}} = \frac{268{,}1\,K}{247{,}44\,K}} \quad \Rightarrow \quad P_{-10°C} = P_{+15°C} \cdot \frac{268{,}1\,K}{247{,}44\,K}$$

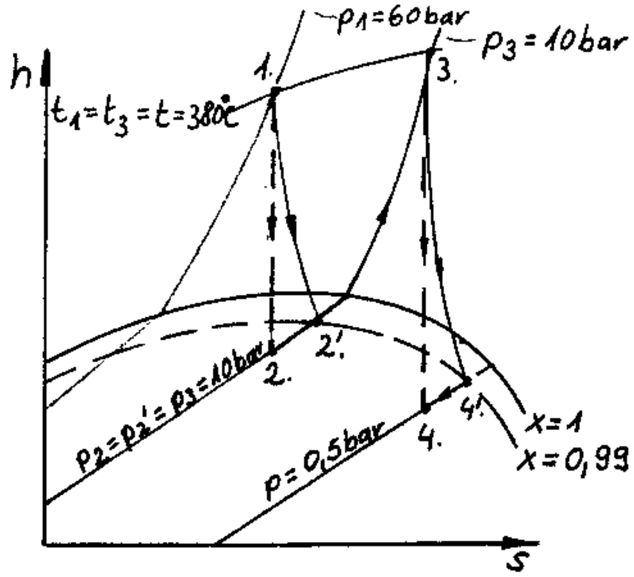
$$P_{-10°C} = 8\,MW \cdot \frac{268{,}1\,K}{247{,}44\,K} = \underline{\underline{8{,}67\,MW = P_{-10°C}}}$$

Lösung der Aufgabe

Aufgabe: 2.11



T-S Diagramm.



h-S Mollier Diagramm

1.) Ablesen der Enthalpien h_1; h_2; h_2'; h_3; h_4; h_4' aus h-S Mollier Diagramm:

$h_1(60\,bar; 350°C) = \underline{3045\,kJ/kg}$

$h_2(\text{von } 1 \perp \text{ auf } p_2 = 10\,bar) = \underline{2665\,kJ/kg}$

$h_2'(x = 0{,}99;\ p_2' = p_2 = 10\,bar) = \underline{2755\,kJ/kg}$

$h_3(10\,bar; 350°C) = \underline{3160\,kJ/kg}$

$h_4(\text{von } 3 \perp \text{ auf } p = 0{,}5\,bar) = \underline{2540\,kJ/kg}$

$h_4'(x = 0{,}99;\ p = 0{,}5\,bar) = \underline{2625\,kJ/kg}$

2.) Ablesen der Enthalpie h_w aus Ce/Ho TB. 5.4 für 0,5 bar. (interpolieren):

abgelesen: $h_w(0{,}5\,bar) = h' = 340{,}56\,kJ/kg$

3.) Berechnung des inneren Wirkungsgrades der HD Turbine:

$$\boxed{\eta_{iHD} = \frac{h_1 - h_2'}{h_1 - h_2}} \qquad \eta_{iHD} = \frac{(3045 - 2755)\ \cancel{kJ/kg}}{(3045 - 2665)\ \cancel{kJ/kg}} = \underline{\underline{0{,}763}}$$

4.) Berechnung des inneren Wirkungsgrades der ND Turbine:

$$\boxed{\eta_{iND} = \frac{h_3 - h_4'}{h_3 - h_4}} \qquad \eta_{iND} = \frac{(3160 - 2625)\ \cancel{kJ/kg}}{(3160 - 2540)\ \cancel{kJ/kg}} = \underline{\underline{0{,}863}}$$

5.) Berechnung des thermischen Wirkungsgrades:

$$\boxed{\eta_{th} = \frac{h_1 - h_2 + h_3 - h_4}{h_1 - h_w + h_3 - h_2}} \qquad \eta_{th} = \frac{(3045 - 2665 + 3160 - 2540)\ \cancel{kJ/kg}}{(3045 - 340{,}56 + 3160 - 2665)\ \cancel{kJ/kg}} = \underline{\underline{0{,}313}}$$

Aufgabe 2.11

6.) Berechnung des Dampfmassenstromes $\dot{m}_D$:

$$\boxed{P_{Ko} = \dot{Q}_{Ko} = \dot{m}_D \cdot (h_w - h_4')} \quad \Big/ \quad \dot{m}_D = \frac{P_{Ko}}{(h_w - h_4')}$$

$$\dot{m}_D = \frac{3600\,kW}{(340{,}56 - 2625)\,kJ/kg} = |-1{,}58\,kg/sec| \triangleq 1{,}58\,kg/sec$$

$$\dot{m}_D = \underline{\underline{1{,}58\,kg/sec}}$$

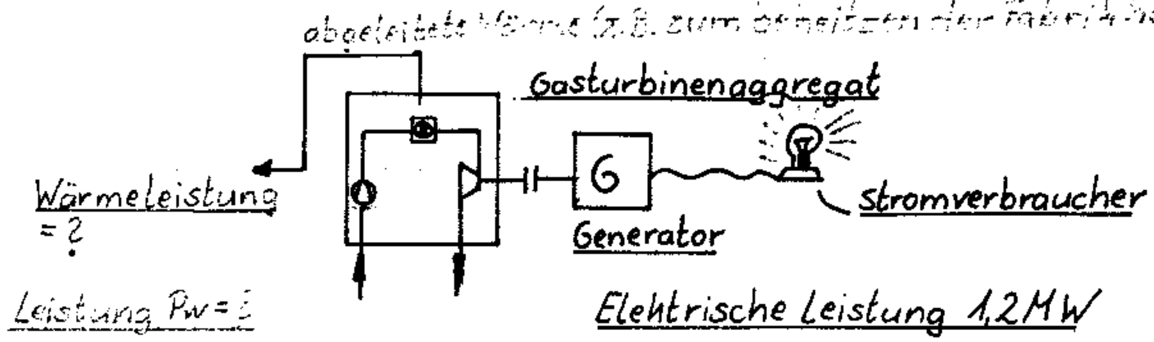
7.) Berechnung der zugeführte Wärmeleistung:

$$\boxed{P_{zu} = \dot{Q}_{zu} = (\dot{Q}_{üb} + \dot{Q}_{zü}) = \dot{m}_D \cdot (h_1 - h_w + h_3 - h_2')}$$

$$P_{zu} = 1{,}58\,kg/sec \cdot (3045 - 340{,}56 + 3160 - 2755)\,kJ/kg = \underline{\underline{4913\,kW}}$$

Aufgabe: 2.12

<u>Skizze für mich zum veranschaulichen der Aufgabenstellung</u>:



<u>Daten</u>: $P_{eff} = 1{,}2\ MW = P_{el}$ $\qquad \eta_{eff} = 0{,}24$

Betriebsdauer: $1960\ h/a \cdot 1{,}5a \mathrel{\hat{=}} 2940\ h$ in 1,5 Jahren

$H_u = 40500\ kJ/kg \qquad 2940\ h = \tau$

$\rho_{öl} = 820\ kg/m^3$

Preis des Öls: 0,62 DM/l

1.) <u>Berechnung des Brennstoffmassenstromes</u>:

$$\boxed{\dot{m}_B = \frac{P_{eff}}{\eta_{eff} \cdot H_u}} \qquad \dot{m}_B = \frac{1200\ kW}{0{,}24 \cdot 40500\ kJ/kg} = \underline{\underline{0{,}123\ kg/s}} \mathrel{\hat{=}} \underline{\underline{444{,}44\ kg/h}}$$

2.) <u>Berechnung des Brennstoffmasse für 2940h (1960h/a · 1,5a</u>

$$\boxed{m_{B\tau} = \dot{m}_B \cdot \tau} \qquad m_{B\tau} = 444{,}44\ kg/h \cdot 2940\ h = \underline{\underline{1\,306\,653{,}6\ kg}}$$

$$= \underline{\underline{1306{,}7\ t}}$$

3.) <u>Berechnung des Tankvolumens</u>

$$\boxed{V_{Tank} = \frac{m_{B\tau}}{\rho_{öl}}} \qquad V = \frac{1306653{,}6\ kg}{820\ kg/m^3} = \underline{\underline{1593{,}48\ m^3}} \text{ für 1,5 Jahre}$$

ausgewäht wird nun z.B aus Katalogen einen Tank mit $V \approx 1600\ m^3$. Oder mehrere Tank die zusammen $V = 1600\ m^3$ ergeben.

4.) Berechnung des Brennstoffvolumenstromes:

$$\boxed{\dot{V} = \frac{V_{Tank}}{\tau}} \qquad \dot{V} = \frac{1593{,}5\,m^3}{2940\,h} = \underline{\underline{0{,}542}}\ \frac{m^3}{h} \triangleq \underline{\underline{542}}\ l/h$$

5) Kosten des Ölverbrauches pro Stunde:

$$\boxed{K_{öl} = Preis \cdot \dot{V}} \qquad K = 0{,}62\,DM/l \cdot 542\,l/h = \underline{\underline{336{,}04}}\ DM/h$$

6.) Berechnung des Brennstoffwärmestromes:

$$\boxed{\dot{Q}_B = \dot{m}_B \cdot H_u} \qquad \dot{Q}_B = \frac{444{,}44\,kg/h \cdot 40500\,kJ/kg}{3600\,sec} = \underline{\underline{4999{,}95\,kW}}$$

$$\approx \underline{\underline{5\,MW}}$$

entspricht der zugeführten Wärmeleistung des Brennstoffe[s]. Aus ihr wird elektrische Leistun[g] und nutzbare Wärmeleistung gewonnen.

7.) Berechnung der zusätzlichen Ausnutzung der Abwärme: (2,8% v[on] $\dot{Q}_B$)

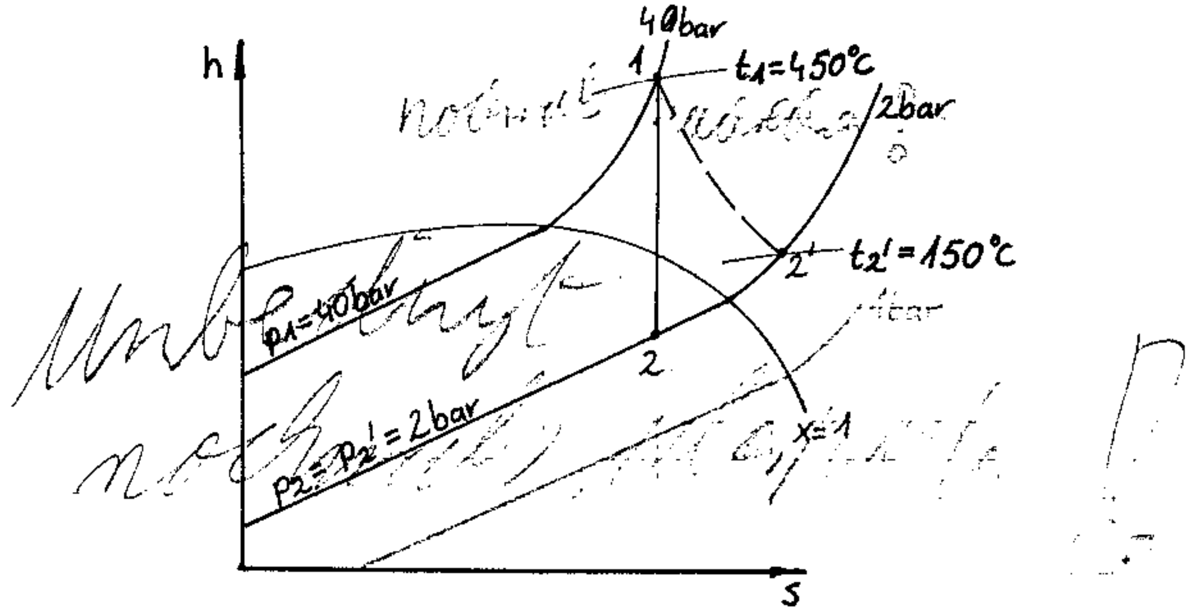
$$\boxed{\dot{Q}_{ab} = \dot{Q}_B \cdot 0{,}28} \qquad \dot{Q}_{ab} = 5000\,kW \cdot 0{,}28 = \underline{1400\,kW}$$

8.) Berechnung des spezifischen Kostenanteil des Brennstoffes an der erzeugten elektrischen Arbeit und an der verwertbaren Wärme bei Kostenaufteilung 60% elekt. Energie; 40% Wärmeenergie:

$$\boxed{K_{strom} = \frac{K_{öl}}{P_{el}} \cdot \frac{[\ldots\%]}{100}} \qquad \boxed{K_{wärme} = \frac{K_{öl}}{P_{wärme}} \cdot \frac{[\ldots\%]}{100}}$$

$$K_{strom} = \frac{336{,}04\,DM/h}{1200\,kW} \cdot \frac{60\%}{100} = \underline{\underline{0{,}168\,\frac{DM}{kWh}}} \qquad K_{wärme} = \frac{336{,}04\,DM/h}{1400\,kW} \cdot \frac{40\%}{100} = \underline{\underline{0{,}09}}$$

Aufgabe: 2.13



1.) Ablesen der Enthalpien in den Punkten 1; 2 und 2': h-s Diagramm

$(450°C; 40bar) \rightarrow h_1 = \underline{\underline{3330\,kJ/kg}}$

$(2bar; \Delta) \rightarrow h_2 = \underline{\underline{2630\,kJ/kg}}$

$(150°C; 2bar) \rightarrow h_2' = \underline{\underline{2770\,kJ/kg}}$

2.) Berechnung des Dampfmassenstromes $\dot{m}_D$:

$$\boxed{P_{eff} = P_{kl} = P_i \cdot \eta_{eff} = \dot{m}_D \cdot (h_1 - h_2') \cdot \eta_{eff}}$$

Entnommen aus Cerbe/Hoffmann S. 234 10. Auflage

$\frac{P_{eff}}{\eta_{eff}} = P_{theo} = \dot{m}_D \cdot (h_1 - h_2)$

$$\dot{m}_D = \frac{P_{eff}}{(h_1 - h_2') \cdot \eta_{eff}} \qquad \dot{m}_D = \frac{2500\,kW}{(3330\,kJ/kg - \cancel{2770}\,kJ/kg) \cdot 0{,}68}$$

2630

muss h_2 heißen!

$\cancel{\dot{m}_D = 6{,}565\,kg/sec} \triangleq \cancel{23634{,}454\,kg/h}$

$5{,}2521\,kg/sec \triangleq 18907{,}6\,kg/h$

3.) Berechnung des spezifischen Dampfverbrauches:

$$\boxed{d = \frac{\dot{m}_D}{P_{eff}}} \qquad d = \frac{\cancel{23634{,}454}\ 18907{,}6\,kg/h}{2500\,kW} = \underline{\underline{\cancel{9{,}45}\ 7{,}563\,\frac{kg}{kWh}}}$$

1. Lösung

4.) Berechnung des inneren Wirkungsgrades:

$$\eta_{iHD} = \frac{h_1 - h_2'}{h_1 - h_2} \qquad \eta_i = \frac{(3330 - 2770)\,\frac{kJ}{kg}}{(3330 - 2630)\,\frac{kJ}{kg}} = \underline{\underline{0{,}8}}$$

2. Lösung

5.) Ermittlung der Enthalpie des Kondensates:

$$\boxed{hw = cpm \cdot tw}$$

$cpm \approx 4{,}2 \frac{kJ}{kg\,K}$ bei niedrigen Drücken

$$hw = 4{,}2 \frac{kJ}{kg\,K} \cdot 90^\circ C = \underline{\underline{378}} \frac{kJ}{kg}$$

6.) Berechnung der Leistung des Kondensators:

$$\boxed{\dot{Q}_{Ko} = \dot{m}_D \cdot (-h_2' + hw)}$$

$$\dot{Q}_{Ko} = 6{,}565\, kg/sec \cdot \left(378 \frac{kJ}{kg} - 2770 \frac{kJ}{kg}\right)$$

$$\dot{Q}_{Ko} = -\underline{\underline{\underline{15703{,}48\, kW \mathrel{\hat{=}} -15{,}7\, MW}}}$$

3. Lösung

Minus, da Wärme abgegeben wird.

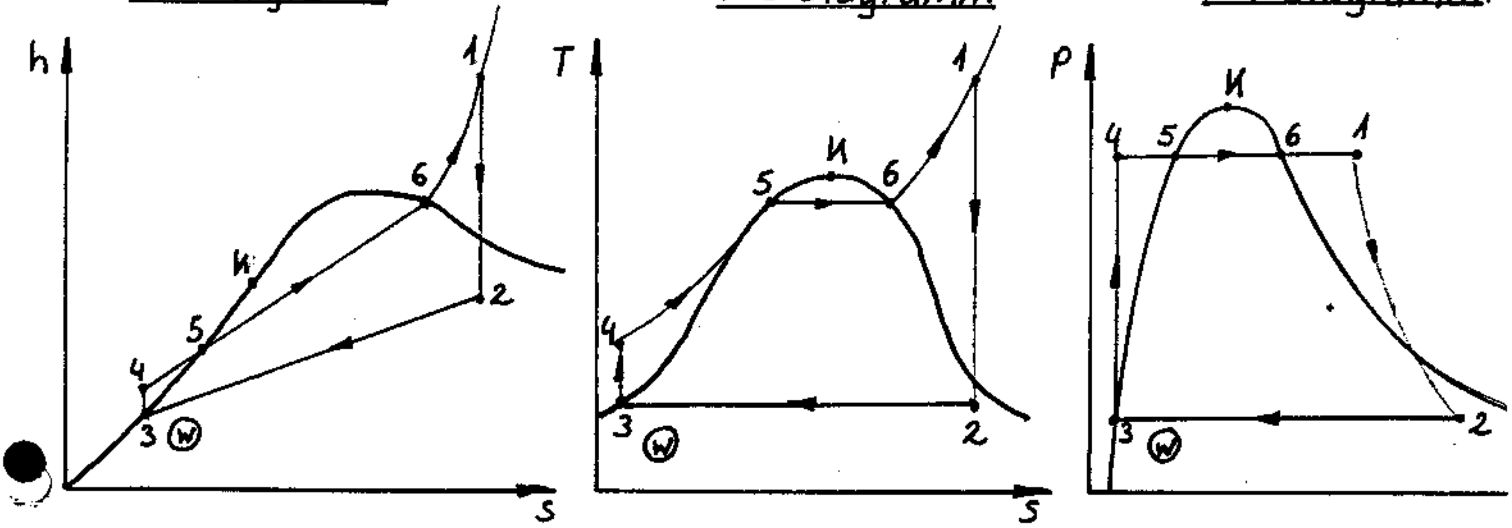
Aufgabe: 2.14

zu d.)

<u>Skizze des einfachen Prozeßverlaufes:</u> <u>im h-s; pv; Ts Diagramm</u>

<u>Gültig für Aufgabenstellung a.) b.)</u>

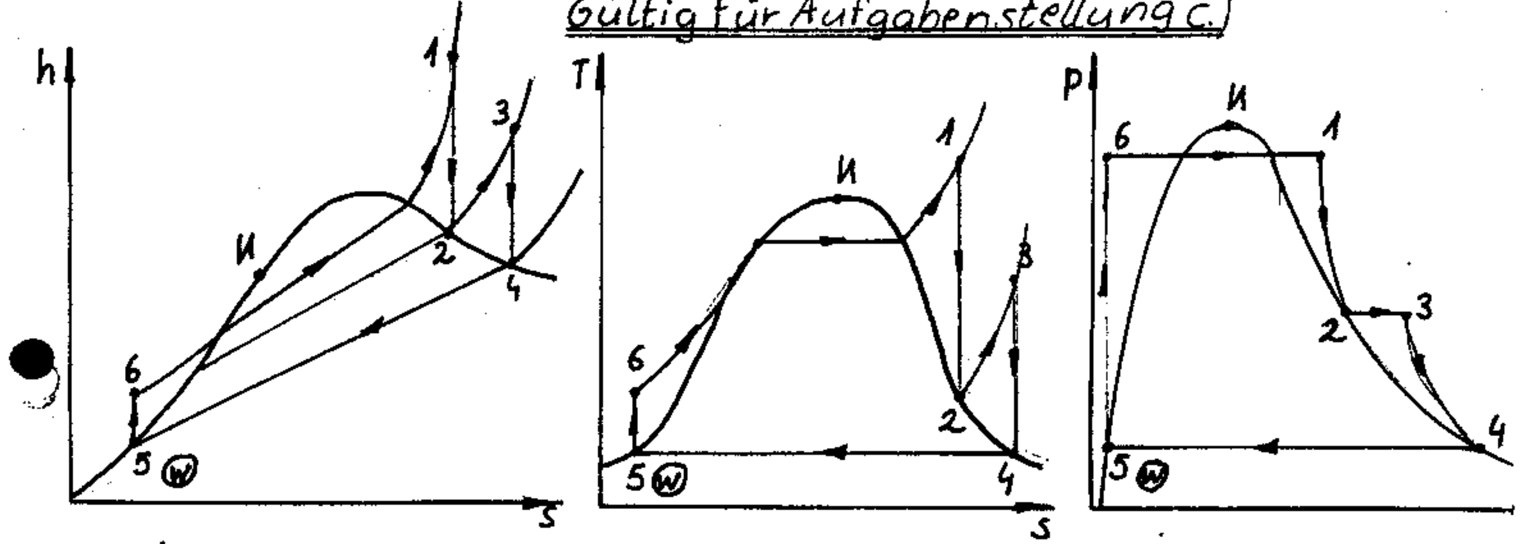
<u>h-s Diagramm:</u> <u>T-S Diagramm:</u> <u>P-V Diagramm:</u>



---

zu d.) <u>Skizze bei zweifacher Prozeßführung</u>: <u>im h-s; p-v; T-s Diagramm.</u>

<u>Gültig für Aufgabenstellung c.)</u>



<u>h-S Diagramm</u> <u>T-S Diagramm</u> <u>P-V Diagramm</u>

---

a.) <u>1. Ablesen der Enthalpien für die Punkte 1 und 2: → h-s Diagramm</u>

P_1: (30 bar, 400°C) → $h_1 = \underline{\underline{3230\ kJ/kg}}$

P_2: (⊥ von Punkt 1 auf p = 0,3 bar) → $h_2 = \underline{\underline{2335\ kJ/kg}}$

2. <u>Ablesen der Enthalpie des Kondensates für p = 0,3 bar:</u> TB 5.4 Cel/Ho

abgelesen: $h_w = h' = \underline{\underline{289{,}3\ kJ/kg}}$

3. <u>Berechnung des thermischen Wirkungsgrades:</u>

$\boxed{\eta_{th} = \frac{h_1 - h_2}{\ldots}}$ $\eta_{th} = \frac{(3230 - 2335)\ kJ/kg}{(3230 - 289{,}3)\ kJ/kg} = \underline{0{,}304}$ <u>1. Lösung zu a.)</u>

zu a.) 4.) <u>Berechnung der spezifischen Nutzarbeit des einfachen Prozesses:</u>

$\boxed{w_n = h_1 - h_2}$ $w_n = (3230 - 2335)\,kJ/kg = \underline{\underline{895\,kJ/kg}}$

<u>2. Lösung zu a.)</u>

---

b.) 5.) <u>Berechnung der zu- und abgeführten spezifischen Wärmemenge:</u>

$\boxed{q_{zu} = h_1 - h_w}$ $q_{zu} = 3230\,kJ/kg - 289{,}3\,kJ/kg = \underline{\underline{2940{,}7\,kJ/kg}}$

$\boxed{q_{ab} = h_w - h_2}$ $q_{ab} = 289{,}3\,kJ/kg - 2335\,kJ/kg = \underline{\underline{-2045{,}7\,kJ/kg}}$

<u>Lösungen zu b.)</u>

minus, da Wärme abgeführt wird

---

c.) 6.) <u>Ablesen der Enthalpie für den zweifachen Prozeß</u>

<u>abgelesen:</u> $h_1 = 3230\,kJ/kg$ (30 bar; 400°C)

$h_2 = 2735\,kJ/kg$ (⊥ von Punkt 1 auf Sattdampfkurve)

$h_4 = 2625\,kJ/kg$ (<u>Schnittpunkt</u>: Sattdampfkurve mit Drucklinie $p = 0{,}3$ → Ergebnis Punkt 4)

$h_3 = 3165\,kJ/kg$ (Aus Punkt 4 ⊥ auf Drucklinie aus Punkt 2.)

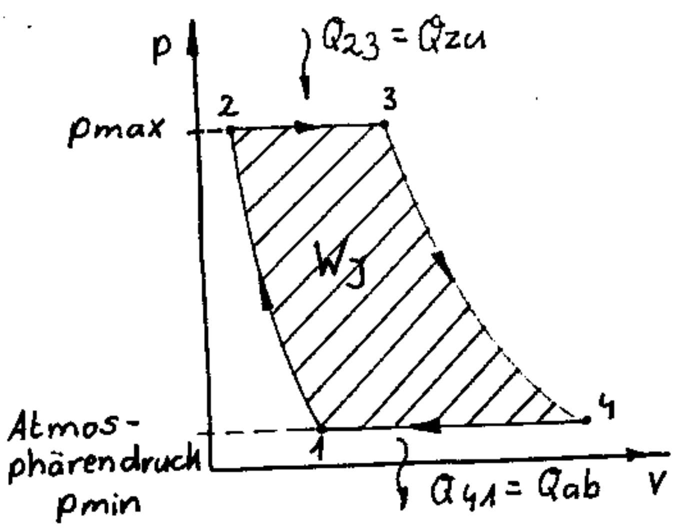
$h_5 = h_w = h' = 289{,}3\,kJ/kg$ TB 5.4 Ce/Ho

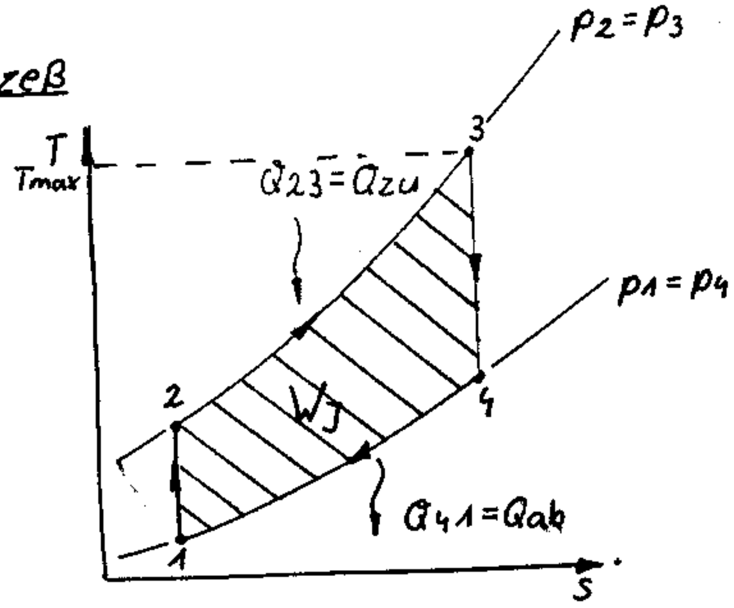
$$\boxed{\eta_{th} = \frac{h_1 - h_2 + h_3 - h_4}{h_1 - h_5 + h_3 - h_2}} \qquad \eta_{th} = \frac{(3230 - 2735 + 3165 - 2625)\,kJ/kg}{(3230 - 289{,}3 + 3165 - 2735)\,kJ/kg}$$

$\eta_{th} = 0{,}30706 \approx \underline{\underline{0{,}307}}$ Lösung zu c)

Aufgabe: 2.15

Joule Prozeß





Daten des Prozeß:

$P = 1850\,kW$

$\eta_{eff} = 0{,}24$

Verbrauch Öl $1100\,m^3/Jahr$

$\frac{p_2}{p_1} = 6$

$t_{max} = 780°C$ $\quad t_{min} = +15°C$ (Umgebungstemperatur)

65% der Betriebszeit in Halblast

35% der Betriebszeit in Vollast

Daten des Brennstoffes:

$H_u = 41800\,kJ/kg$ $\}$ Leichtöl

$\varrho = 820\,kg/m^3$

angenommenes Arbeitsmedium: Luft.

1) Berechnung der Wärme des Brennstoffes: $Q_B = Q_{zu} = Q_{23}$

$$\boxed{\begin{aligned} Q_B &= \underbrace{m_B}\cdot H_u \\ Q_B &= V_B\,\varrho \cdot H_u \end{aligned}}$$

$$Q_{zu} = Q_B = 1100\,m^3/a \cdot 820\,kg/m^3 \cdot 41800\,kJ/kg$$

$$Q_{zu} = Q_B = \underline{\underline{3{,}77036 \cdot 10^{10}\,kJ}}$$

2.) Berechnung des Thermischen Wirkungsgrades des Joule-Prozeß

$$\boxed{\eta_{th} = 1 - \left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}}$$

$$\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{-1} = \frac{p_1}{p_2} = 6^{-1} = 0{,}167$$

$\kappa = 1{,}401$ für Luft

$$\eta_{th} = 1 - \left(6^{-1}\right)^{\frac{1{,}401-1}{1{,}401}} = \underline{\underline{0{,}40121}}$$

3.) Berechnung der abgeführten Wärme Q_{ab}:

$$\boxed{\eta_{th} = 1 + \frac{Q_{ab}}{Q_{zu}}}$$

$$Q_{ab} = Q_{zu} \cdot (1 - \eta_{th})$$

$$Q_{ab} = 3{,}77036 \cdot 10^{10}\,kJ \cdot (1 - 0{,}401)$$

$$Q_{ab} = 2{,}258 \cdot 10^{10}\,kJ = 6273460{,}1\,k$$

$$Q_{ab} = 6{,}27 \cdot 10^{6}\,kWh \quad \text{1. Lösung}$$

4.) Berechnung des Brennstoffwärmestromes bei Vollast:

$$\boxed{\dot{Q}_{B\,voll} = \frac{P_{eff}}{\eta_{eff_{voll}}}}$$

$$\dot{Q}_{B\,voll} = \frac{1850\,kW}{0{,}24} = 7708{,}3\,kW$$

5.) Berechnung des Brennstoffwärmestromes bei Halblast:

$$\boxed{\dot{Q}_{B\,halb} = \frac{P_{eff}/2}{\eta_{eff\,halb}}}$$

$$\dot{Q}_{B\,halb} = \frac{1850\,kW/2}{0{,}225} = 4111{,}11\,kW$$

$\div 2$ da halbe Leistung

6.) Berechnung des Gesamtbrennstoffwärmestromes bei Voll+Halbl

$$\boxed{\dot{Q}_{Bges} = \dot{Q}_{Bvoll} \cdot 0{,}35 + \dot{Q}_{Bhalb} \cdot 0{,}65}$$

$$\dot{Q}_{Bges} = 7708{,}3\,kW \cdot 0{,}35 + 4111\,kW \cdot 0{,}65 = 5370{,}12\,kW$$

7.) Berechnung der Gesamtzeit:

$$\boxed{\tau_{ges} = \frac{Q_B}{\dot{Q}_{Bges}}}$$

$$\tau_{ges} = \frac{3{,}77036 \cdot 10^{10}\,kJ}{5370{,}12\,kW \cdot 3600\,sec} = 1950{,}28\,h$$

8.) Berechnung der Voll- und Halblastzeit:

$$\boxed{\tau_v = 0{,}35 \cdot \tau_{ges}}$$

$$\tau_v = 0{,}35 \cdot 1950{,}28\,h = 683\,h$$

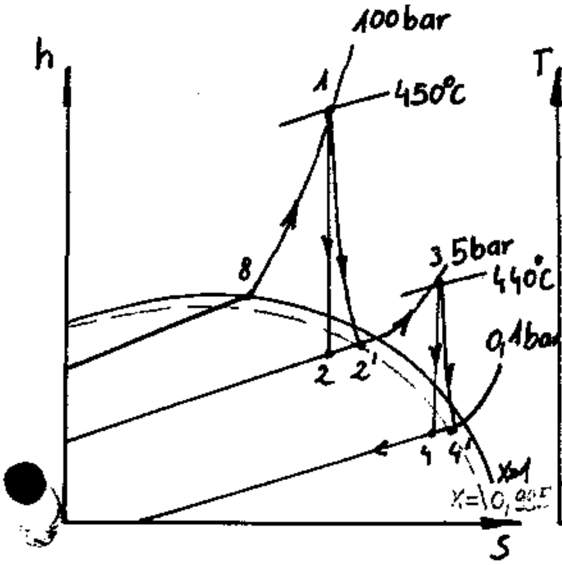
$$\boxed{\tau_h = 0{,}65 \cdot \tau_{ges}}$$

$$\tau_h = 0{,}65 \cdot 1950{,}28\,h = 1267\,h$$

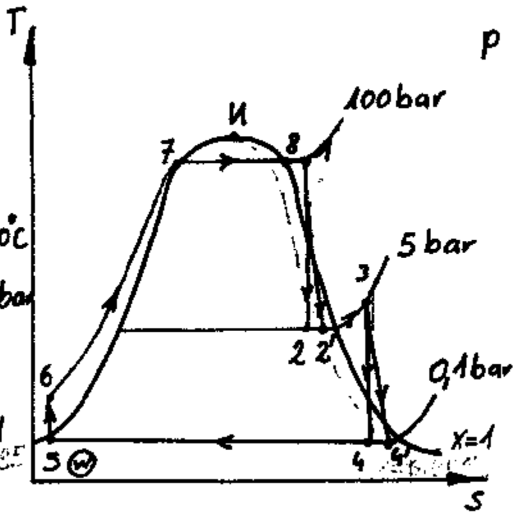
Aufgabe: 2.16

Darstellung des Prozesses in Diagrammen:

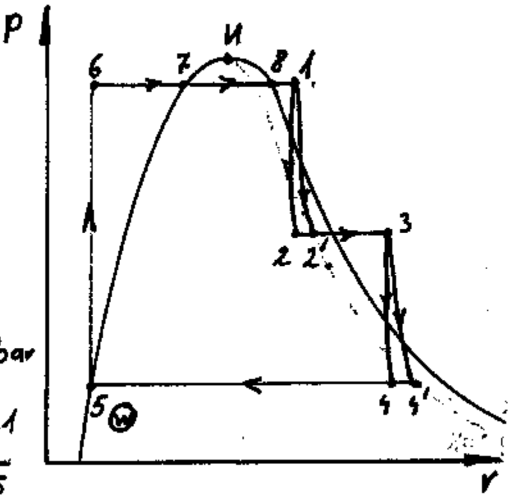
h-S Diagramm:



T-S Diagramm:



P-V Diagramm:



1. Ablesen d. Enthalpien für die Punkte 1; 2; 2'; 3; 4; 4'; 5: (h-S Diagramm Mollier)

Punkt 1: (100 bar; 450°C)	: h_1 = $\underline{\underline{3240}}$ kJ/kg
Punkt 2: (⊥ von Punkt 1 auf 5 bar Linie)	: h_2 = $\underline{\underline{2580}}$ kJ/kg
Punkt 2': (Schnittpunkt von 5 bar Linie mit x=0,995 Linie)	: $h_{2'}$ = $\underline{\underline{2735}}$ kJ/kg
Punkt 3: (5 bar; 440°C)	: h_3 = $\underline{\underline{3355}}$ kJ/kg
Punkt 4: (⊥ von Punkt 3 auf 0,1 bar Linie)	: h_4 = $\underline{\underline{2510}}$ kJ/kg
Punkt 4': (Schnittpunkt von 0,1 bar Linie mit x=0,995 Linie)	: $h_{4'}$ = $\underline{\underline{2570}}$ kJ/kg
Punkt 5: (TB. 5.4 Ce/Ho S. 456 für 0,1 bar)	: h_5 = $\underline{\underline{191,83}}$ kJ/kg

a.) 2 Berechnung der spez. Nutzarbeit bei zweifacher Prozeßführung:

$$\boxed{\Sigma w_t = w_N = h_1 - h_2 + h_3 - h_4}$$

$$w_N = (3240 - 2580 + 3355 - 2510)\,\text{kJ/kg} = \underline{\underline{1505\,\text{kJ/kg}}}$$

1. Lösung

a.) 3. Berechnung des thermischen Wirkungsgrades bei zweifacher Prozeßführung:

$$\boxed{\eta_{th} = \frac{h_1 - h_2 + h_3 - h_4}{h_1 - h_W + h_3 - h_2}}$$

$$\eta_{th} = \frac{(3240 - 2580 + 3355 - 2510)\,\text{kJ/kg}}{(3240 - 192 + 3355 - 2580)\,\text{kJ/kg}} = \underline{\underline{0,394}}$$

2. Lösung

Aufgabe: 2.16

b) 4. Berechnung der beiden inneren Wirkungsgrade (für HD- und ND

$$\boxed{\eta_{iHD} = \frac{h_1 - h_2'}{h_1 - h_2}}$$

Hochdruck

$$\boxed{\eta_{iND} = \frac{h_3 - h_4'}{h_3 - h_4}}$$

Niederdruck

$$\eta_{iHD} = \frac{(3240 - 2735)\ kJ/kg}{(3240 - 2580)\ kJ/kg}$$

$$\eta_{iND} = \frac{(3355 - 2570)\ kJ/kg}{(3355 - 2510)\ kJ/kg}$$

$\eta_{iHD} = \underline{\underline{0{,}765}}$ 3. Lösung

$\eta_{iND} = \underline{\underline{0{,}929}}$ 4. Lösung

---

c.) 5. Berechnung des Dampfmassenstromes $\dot{m}_D$:

Ermittlung über Leistung des Zwischenüberhitzer:

geg. aus Aufgabenstellung $\dot{Q}_{zü} = P_{zü} = 18000\ kW$

$$\boxed{\dot{Q}_{zü} = P_{zü} = \dot{m}_D \cdot (h_3 - h_2')}$$

$$\dot{m}_D = \frac{\dot{Q}_{zü}}{(h_3 - h_2')} \qquad \dot{m}_D = \frac{18000\ kW}{(3355 - 2735)\ kJ/kg} = \underline{\underline{29{,}03\ kg/s}}$$

---

c.) 6. Berechnung der Leistung des Kondensators:

$$\boxed{\dot{Q}_{Ko} = \dot{m}_D \cdot (h_W - h_4')}$$

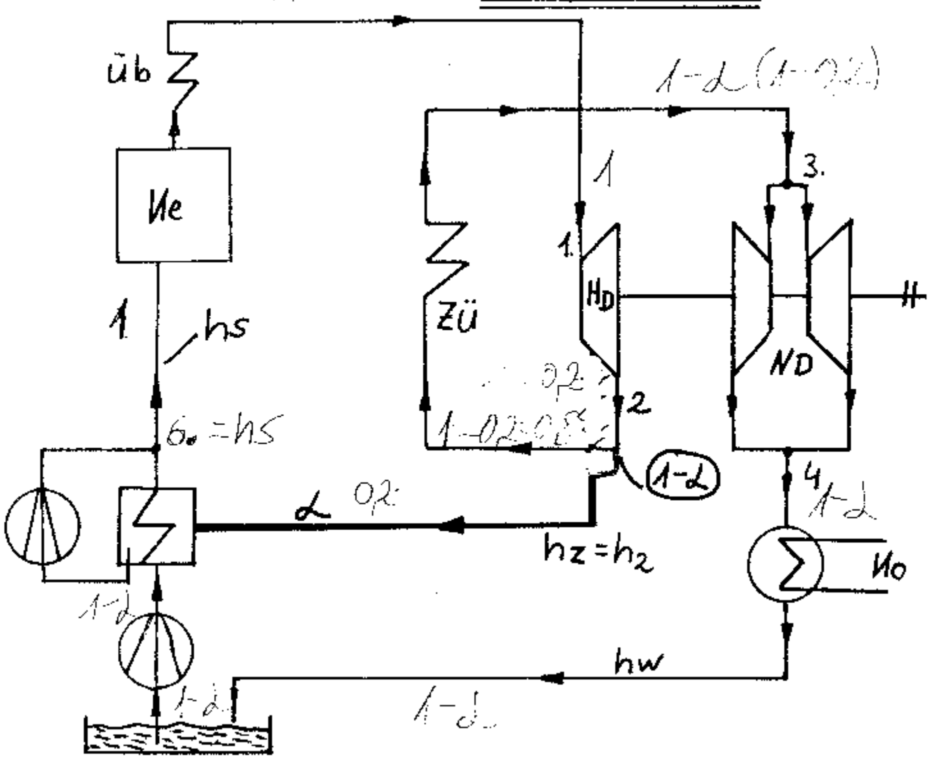
$$\dot{Q}_{Ko} = 29{,}03\ kg/s \cdot (192{,}83\ kJ/kg - 2570)\ kJ/kg$$

$$\dot{Q}_{Ko} = \underline{\underline{-69009{,}2451\ kW}} \mathrel{\hat{=}} \underline{\underline{-69{,}009\ MW}}$$

5 Lösung

Aufgabe: 2.17

Prozeßschaltbild:



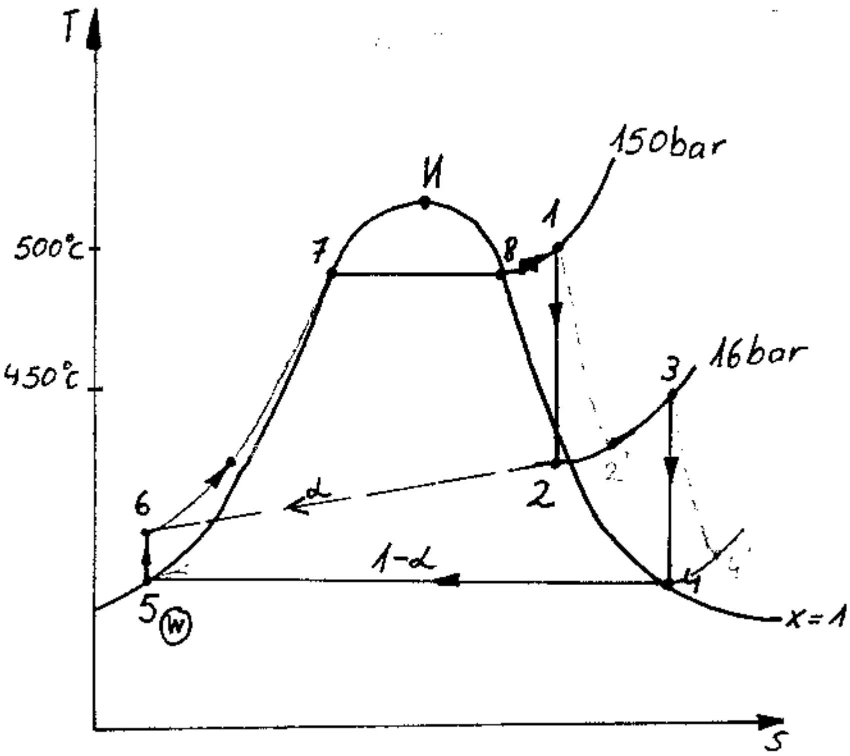
h_z = Enthalpie des Anzapfdampfes

h_s = Enthalpie des vorgewärmten Kesselspeisewasse[rs]

h_w = Enthalpie des Speis[e]wassers

α = Prozentualer Misch[ungs]anteil hier 20% ~ 0,[2]

Darstellung des Prozesses im T-S Diagramm:



Carnotisieren: es gilt daher die isentrope Expansion.

Die Expansionverläufe $1 \rightarrow 2'$ und $3 \rightarrow 4'$ gelten bei der weiteren Berechnun[g] nicht.

Begründung: siehe → Technische Wärmelehre Vogel-Fachbuch-Verlag
Autor Fritz Dietzel, Walter Wagner
7. Auflage.

zu Aufgabe: 2.17

1. Ablesen der Enthalpien aus dem h-s Mollier Diagramm:

Punkt 1. (150 bar; 500°C) $h_1 = \underline{\underline{3310}}$

Punkt 2. (⊥ von Punkt 1 auf 16 bar Linie) $h_2 = \underline{\underline{2760}}$

Punkt 3. (16 bar; 450°C) $h_3 = \underline{\underline{3360}}$

Punkt 4. (⊥ von Punkt 3 auf Sattdampfkurve: x=1) $h_4 = \underline{\underline{2670}}$

Punkt 5. (Druck im Punkt 4 ablesen und in TB 5.4 Cel(l)to ablesen) $h_w = \underline{\underline{405{,}21}}$

---

2. Berechnung des thermischen Wirkungsgrades ohne Abzapffun(g) des Dampfes:

$$\boxed{\eta_{th} = \frac{h_1 - h_2 + h_3 - h_4}{h_1 - h_w + h_3 - h_2}} \qquad \eta_{th} = \frac{(3310 - 2760 + 3360 - 2670)\,\frac{kJ}{kg}}{(3310 - 405 + 3360 - 2760)\,\frac{kJ}{kg}} = \underline{\underline{0{,}353}}$$

1. Lösun(g)

---

3. Berechnung des thermischen Wirkungsgrades mit Abzapffung des Dampfes:

3.1 Berechnung der Enthalpie der Mischung des Dampfes:

$$\boxed{\alpha \cdot (h_2 - h_6) = (1 - \alpha) \cdot (h_6 - h_w)}$$

N.R.
$\alpha \cdot h_2 - \cancel{\alpha \cdot h_6} = h_6 - h_w - \cancel{\alpha \cdot h_6} + \alpha$

$$h_6 = \alpha \cdot h_2 + h_w - \alpha \cdot h_w$$

$$h_6 = 0{,}2 \cdot 2760\,kJ/kg + 405\,kJ/kg - 0{,}2 \cdot 405\,kJ/kg = \underline{876\,kJ/kg}$$

3.2 Berechnung des thermischen Wirkungsgrades:

$$\boxed{\eta_{th}' = \frac{(h_1 - h_2) + (1 - \alpha) \cdot (h_3 - h_4)}{h_1 - h_s + (1 - \alpha)(h_3 - h_2)}}$$

$$\eta_{th}' = \frac{(3310 - 2760)\,kJ/kg + (1 - 0{,}2) \cdot (3360 - 2670)\,kJ/kg}{(3310 - 876)\,kJ/kg + (1 - 0{,}2)(3360 - 2760)\,kJ/kg} = \underline{\underline{0{,}377}}$$

2. Lösung

3.3.) Berechnung der Änderung des Wirkungsgrades

geg.: $\eta_{th} = 0{,}353$

$\eta_{th}' = 0{,}377$

$\Delta\eta = \eta_{th}' - \eta_{th} = 0{,}377 - 0{,}353 = 0{,}024$

$\eta_{th} \mathrel{\hat{=}} 100\%$

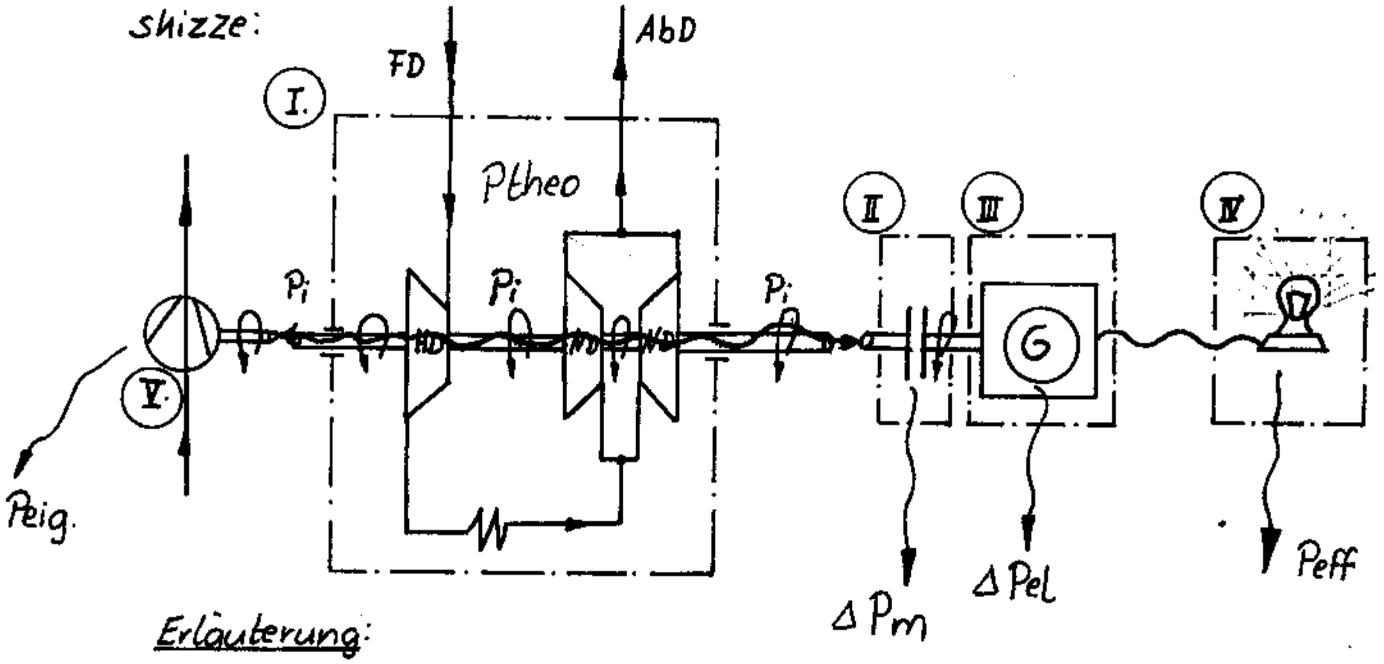
$\Delta\eta \mathrel{\hat{=}} x$

$$x = \frac{100\% \cdot \Delta\eta}{\eta_{th}} \qquad x = \frac{100\% \cdot 0{,}024}{0{,}353} = 6{,}8\%$$

Die Verbesserung des Wirkungsgrades beträgt 6,8%

zu Aufgabe: 2.48 Grundüberlegung zur Lösung der Aufgabe:

Skizze:



Erläuterung:

I. Turbinenteil der Anlage, bestehend aus HD und ND ... sowie Zwisc überhitzer.

II. Kupplung, symbolisiert alle mechanischen Teile die Verlust erzeugen

III. Generator zur Stromerzeugung, symbolisiert gleichzeitig die Stro. verluste

IV. Verbraucher der hergestellten effiktiven Leistung in Form von Str

FD = Frischdampf ; AbD = Abdampf

V. Speisewasserpumpe, angetrieben durch Turbinenteil, symbolis den Eigenbedarf.

P_i = Innere Leistung des Turbinenteiles (wirkliche Expansion) wird an die Teile II.) III.) IV.) V.) abgegeben.

P_{eig} = Anteil des Eigenverlustes

ΔP_m = Anteil des Mechanischen Verlustes

ΔP_{el} = Anteil der Elektrischen Verlustleistung

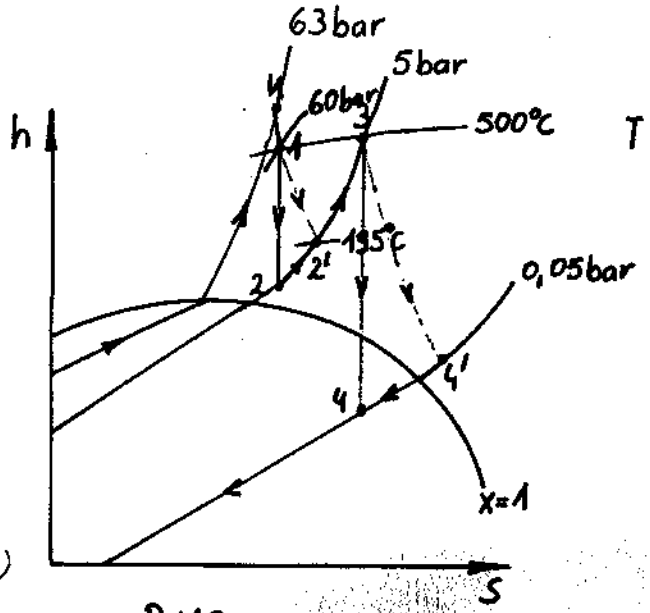
P_{eff} = Entgültig verwertbare effiktive Leistung

Damit gilt nun:

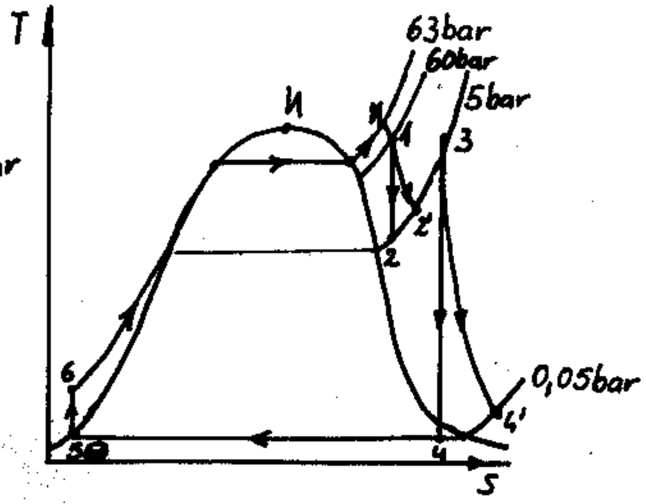
$$\boxed{\sum P_{verlust} = P_i = P_{eff} + \Delta P_{el} + \Delta P_m + \Delta P_{eig}}$$

Aufgabe: 2.18

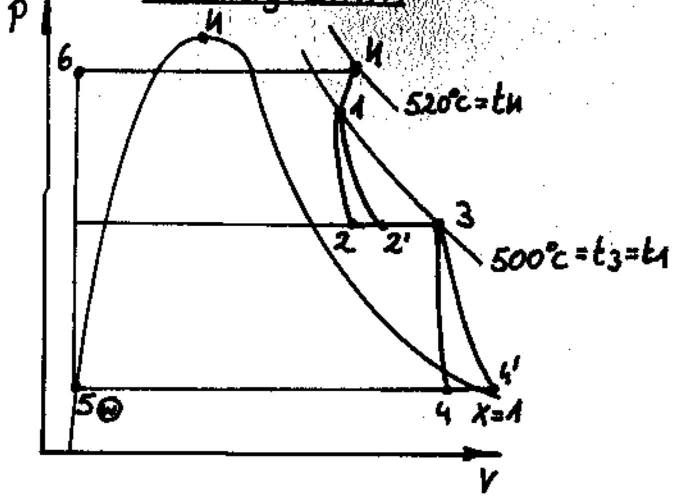
h-s Diagramm:



T-S Diagramm:



P-V Diagramm:



1.) Ablesen der Enthalpien aus h-s Mollier Diagramm:

Punkt: н (63 bar; 520°C) $h_н$ = <u>3470 kJ/kg</u>

Punkt: 1 (60 bar; 500°C) h_1 = <u>3425 kJ/kg</u>

Punkt: 2 (⊥ von Punkt 1 auf 5bar Linie) h_2 = <u>2775 kJ/kg</u>

Punkt: 2' (Schnittpunkt 195°C mit 5bar Linie) h_2' = <u>2845 kJ/kg</u>

Punkt: 3 (5 bar; 500°C) h_3 = <u>3485 kJ/kg</u>

Punkt: 4 (⊥ von Punkt 3 auf 0,05 bar Linie) h_4 = <u>2465 kJ/kg</u>

Punkt: 4' (Wie folgt berechnen: $\boxed{\eta_{iND} = \frac{h_3 - h_4'}{h_3 - h_4}}$ ⇒ $h_4' = h_3 - \eta_{iND} \cdot (h_3 - h_4)$

$h_4' = 3485 - 0,84 \cdot (3485 - 2465)$

$h_4' = 2628,2 \approx$ <u>2630 kJ/kg</u>

Punkt: 5 ≙ Ⓦ (aus TB 5.4 Cel/Ho für 0,05 bar) $h_W = h_5 = 137,77$ kJ/kg ≈ <u>138 kJ/kg</u>

Aufg 2.18.

$P = 300\,MW$
$H_u = 31000\,kJ/kg$

KEAus.: 63 bar / 520 °C → 60 bar / 500 °C
ZÜ 5 bar / 195 °C → ZÜ bis 500 °C
$\eta_{iND} = 0{,}84$; $p_{Ko} = 0{,}05$ bar

a) $\eta_K = 0{,}91$, $\dot m_b = ?$
b) $\eta = ?$

a) $\dot m_b = \frac{\dot Q_B}{H_u}$;

$\eta_{iND} = \frac{h_3 - h_4'}{h_3 - h_4}$;

$\eta_m = 1 - \frac{8000\,kW}{300\,MW} = \underline{0{,}97\overline{3}}$;

$\eta_e = 1 - \frac{6500\,kW}{300\,MW} = \underline{0{,}978\overline{3}}$;

$\eta_{eig} = 1 - \frac{9000\,kW}{300\,MW} = \underline{0{,}97}$;

$\eta_{ges} = \eta_K \cdot \eta_e \cdot \eta_{th} \cdot \eta_i \cdot \eta_m \cdot \eta_{el} \cdot \eta_{eig}$;

$\eta_e = \frac{h_1 - h_w}{h_K - h_w}$; $\eta_{th} = \frac{h_1 - h_2 + h_3 - h_4}{h_1 - h_w + h_3 - h_2}$; $\boxed{\eta_i = \frac{\eta_{iND} + \eta_{iHD}}{2}}$;

$\eta_{iHD} = \frac{h_1 - h_2'}{h_1 - h_2}$;

$h_K = 3468\,kJ/kg$; $h_w = 137{,}77\,kJ/kg$;
$h_1 = 3423$ –"–;
$h_2' = 2844$ –"–;
$h_3 = 3484$ –"–;
$h_4 = 2466$ –"–;
$h_2 = 2774$ –"–

$\eta_e = \frac{3423 - 137{,}77}{3468 - 137{,}77} = \underline{0{,}9865}$;

$\eta_{iHD} = \frac{3423 - 2844}{3423 - 2774} = 0{,}892$;

$\eta_i = \underline{0{,}8661}$;

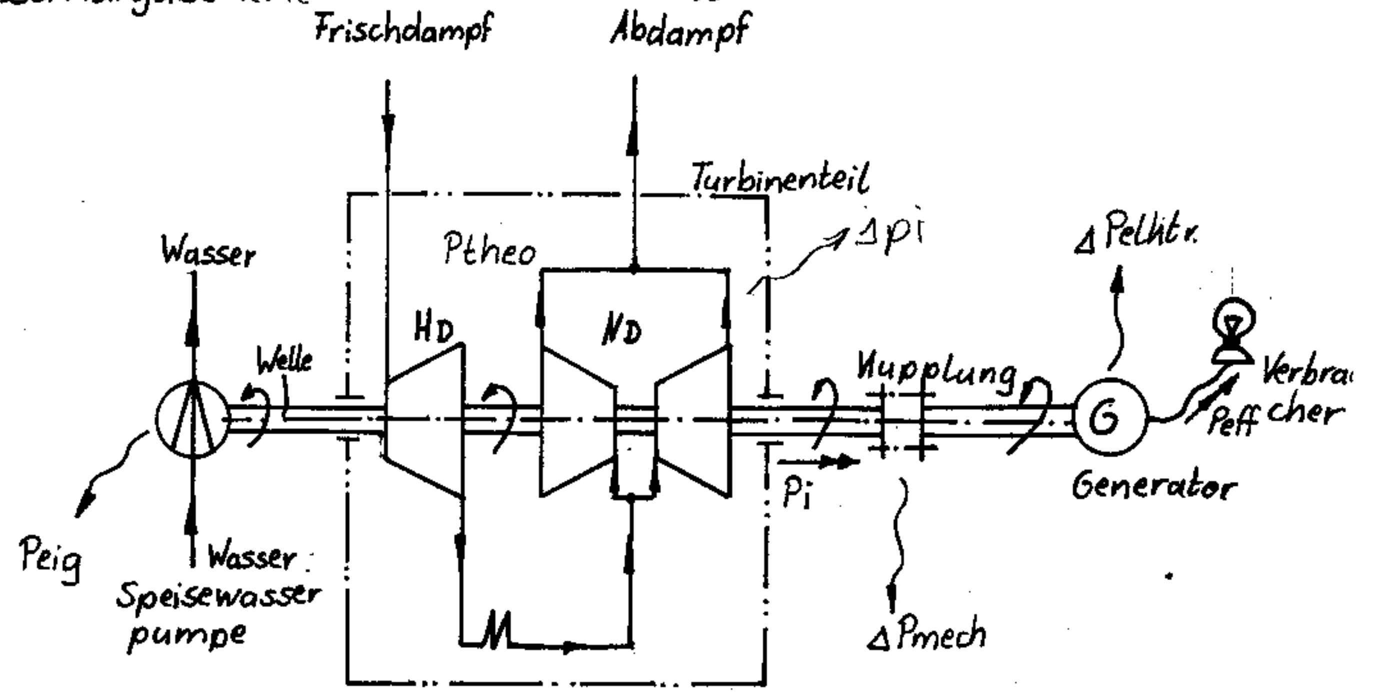
$\eta_{th} = \frac{3423 - 2774 + 3484 - 2466}{3423 - 137{,}77 + 3484 - 2774} = \underline{0{,}41725}$;

$\eta_{ges} = 0{,}91 \cdot 0{,}9865 \cdot 0{,}41725 \cdot 0{,}8661 \cdot 0{,}97\overline{3} \cdot 0{,}978\overline{3} \cdot 0{,}97 = \underline{0{,}3}$;

$\frac{P}{\eta_{ges}} = \dot Q_B \curvearrowright \dot m_b = \frac{P}{\eta_{ges} \cdot H_u} = \frac{300000\,kW \cdot kg}{0{,}3 \cdot 31000\,kJ} = \underline{32{,}295\,\frac{kg}{s}}$;

$\dot m_b \mathrel{\hat=} \underline{116{,}26\,t/h}$;

Selbst



$$\boxed{P_i = P_{eff} + \Delta P_{mech} + P_{eig} + \Delta P_{elkt.}}$$

1. selbst hergeleitete Grundformel

2. $\boxed{P_{theo} = \frac{P_i}{\eta_i}}$ 3. $\boxed{\eta_i = \frac{h_1 - h_2' + h_3 - h_4'}{h_1 - h_2 + h_3 - h_4}}$

2. und 3. Grundformel aus Formsammlung.

<u>Damit läßt sich folgende Formel basteln:</u>

$$\boxed{P_{theo} = \frac{(P_{eff} + \Delta P_{mech} + P_{eig} + \Delta P_{elkt}) \cdot (h_1 - h_2 + h_3 - h_4)}{(h_1 - h_2' + h_3 - h_4')}}$$

Diese Formel soll nur die Zusammenhänge verdeutlichen, anwenden werde ich nur die obigen Grundformel, um einer Verwirrung vorzubeugen.

---

1. <u>Berechnung der inneren Leistung P_i:</u>

$$\boxed{P_i = P_{eff} + \Delta P_{mech} + P_{eig} + \Delta P_{elk.}}$$

$$P_i = 300000 kW + 8000 kW + 6500 kW + 9000 kW) = \underline{\underline{323500 kW}}$$

---

2. <u>Berechnung des inneren Wirkungsgrades des Turbinenteiles:</u>

$$\boxed{\eta_i = \frac{h_1 - h_2' + h_3 - h_4'}{h_1 - h_2 + h_3 - h_4}} \qquad \eta_i = \frac{(3425 - 2845 + 3485 - 2628)\, kJ/kg}{(3425 - 2775 + 3485 - 2465)\, kJ/kg}$$

3) Berechnung der theoretischen Leistung des Turbinenteils der Anlage:

$$\boxed{P_{theo} = \frac{P_i}{\eta_i}} \qquad P_{theo} = \frac{323500\,kW}{0{,}86} = 376162{,}8\,kW$$

4) Berechnung des Dampfmassenstromes $\dot m_D$:

$$\boxed{P_{theo} = \dot m_D \cdot (h_1 - h_2 + h_3 - h_4)} \qquad \Rightarrow \quad \dot m_D = \frac{P_{theo}}{(h_1 - h_2 + h_3 - h_4)}$$

$$\dot m_D = \frac{376162{,}8\,kW}{(3425 - 2775 + 3485 - 2465)\,\frac{kJ}{kg}} = 225{,}25\,kg/s$$

5) Berechnung des Brennstoffmassenstromes:

$$\boxed{\eta_K = \frac{\dot m_D \cdot (h_K - h_W + h_3 - h_2')}{\dot m_B \cdot H_u}}$$

$$\Rightarrow \quad \dot m_B = \frac{\dot m_D \cdot (h_K - h_W + h_3 - h_2')}{\eta_K \cdot H_u}$$

$$\dot m_B = \frac{225,\ kg/s \cdot (3470\,kJ/kg - 138\,kJ/kg + 3485\,kJ/kg - 2845\,kJ/kg)}{0{,}91 \cdot 31000\,kJ/kg}$$

$$\dot m_B = 31{,}715\,kg/s \mathrel{\hat=} 114174\,kg/h \approx 114{,}2\,t/h$$ 1. Lösung

6) Berechnung des Brennstoffmassenstromes:

$$\boxed{\dot Q_B = \dot m_B \cdot H_u} \qquad \dot Q_B = 31{,}715\,kg/s \cdot 31000\,kJ/kg = 983165\,kW$$

7) Berechnung des Gesamtwirkungsgrades η_{eff}:

$$\boxed{\eta_{eff} = \frac{P_{eff}}{\dot Q_B}} \qquad \eta_{eff} = \frac{300000\,kW}{983165\,kW} = 0{,}305$$ 2. Lösung

Bemerkung: Etwaige Abweichungen der Ergebnisse zu den vorgegebenen Lösungen in der Aufgabenstellung kommen durch Ablesefehler im h-S Diagramm.

Aufg. 2.19

$P_{eff} = 5MW$ $\quad P_{theo} = ?$; $\quad \varkappa = 1{,}4$ (Luft)

$H_u = 41500\ kJ/kg$;

$\dot m_b = 2065\ kg/h$;

$\frac{p_2}{p_1} = 10$

a) $\dot m_b \cdot H_u = \frac{P_{theo}}{\eta_{th}}$; $\quad \eta_{th} = 1 - \left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{\frac{\varkappa - 1}{\varkappa}} = 1 - \left(\frac{1}{10}\right)^{\frac{0{,}4}{1{,}4}} = \underline{0{,}482}$;

$\underline{P_{theo}} = \dot m_b \cdot H_u \cdot \eta_{th} = \underline{11{,}475\ MW}$;

b) $\eta_{th} = 1 - \left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{\frac{\varkappa-1}{\varkappa}}$ mit $\varkappa = 1{,}657$;

$\underline{\eta_{th}} = 1 - \left(\frac{1}{10}\right)^{\frac{0{,}657}{1{,}657}} = \underline{0{,}599}$

$\underline{\dot m_b} = \frac{P_{theo}}{H_u \cdot \eta_{th}} = \underline{1662{,}7\ kg/h}$; $\quad$ Selbst!

$V = A \cdot c = v \cdot m$

Aufg. 2.20

FD $30 bar / 400°C$

AD $3 bar / 160°C$

$\eta_m = 0{,}935$ (6,5% Verluste)

$P_{kuppl.} = 650\ kW$

$\eta_m = \frac{P_{kuppl}}{P_i}$; $\quad \dot m_D\ [\frac{kg}{s}]$ $\quad \frac{m^3}{s}$;

$P_i = \dot m_D \cdot (h_1 - h_2')$

$A \cdot c_1 = v_1 \cdot \dot m_{D,1}$;

$h_1 = 3232$ —"—; $\quad P_i = \dot m_D \cdot (h_1 - h_2')$; $\quad [\frac{m^3}{kg} \cdot \frac{kg}{s}] = [\frac{m^3}{s}]$; $\quad [m^2 \cdot \frac{m}{s}] = [\frac{m^3}{s}]$;

$h_2' = 2783$ —"—; $\quad$ } f. 3bar $\quad \eta_i = \frac{h_1 - h_2'}{h_1 - h_2}$; $\quad A \cdot c_2 = v_2 \cdot \dot m_{D,2}$;

$h_2 = 2698$ —"—;

$h_2' = 2788$ —"—; $\quad$ } f. 2,2 bar $\quad \frac{\cancel{A} \cdot c_1}{\cancel{A} \cdot c_2} = \frac{v_1 \cdot \cancel{\dot m_{D,1}}}{v_2 \cdot \cancel{\dot m_{D,2}}} = \cancel{\frac{v_1}{v_2}}$

$h_2 = 2643$ —"—;

$P_{kuppl} = \eta_m \cdot P_i$ $\quad \frac{P_i}{\eta_i} = \frac{\dot m_D \cdot \cancel{(h_1 - h_2')} (h_1 - h_2)}{\cancel{(h_1 - h_2')}} = P_i = \frac{P_{mech}}{\eta_{mech}}$;

$= \dot m_D (h_1 - h_2) = P_{theor}$

$\underline{P_i} = \frac{P_{kuppl}}{\eta_m} = \frac{650\ kW}{0{,}935} = \underline{695{,}2\ kW}$; $\quad P_{theor} = \frac{P_i}{\eta_i} = \frac{P_{mech}}{\eta_i \cdot \eta_{mech}}$;

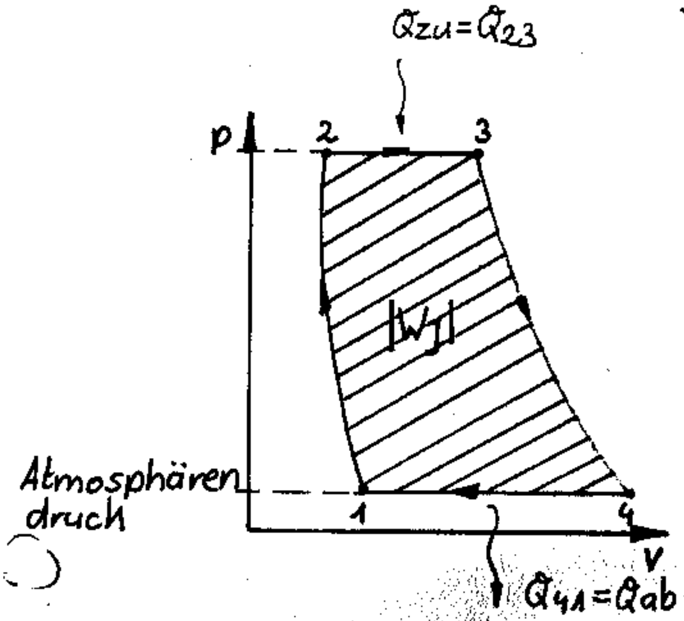
$\underline{\dot m_D} = \frac{P_i}{h_1 - h_2'}$ (f. 3bar) $= \frac{695{,}2}{3232 - 2783} = \underline{1{,}548\ \frac{kg}{s}}$;

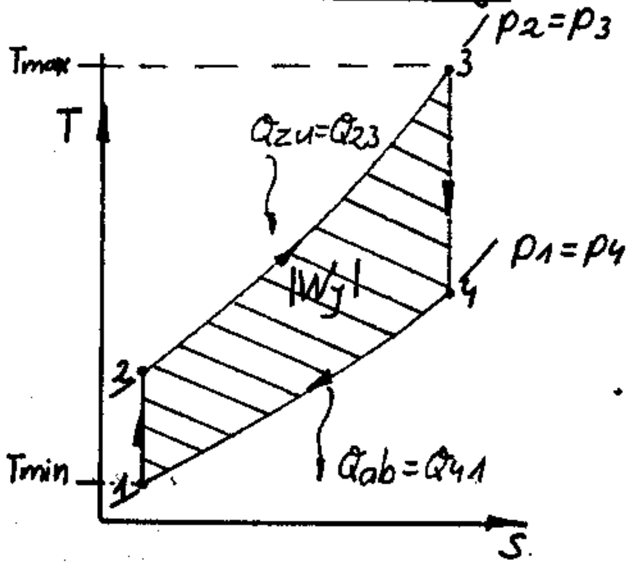
Nein!

Aufgabe: 2.19

Gasturbinenanlage:

Joule - Prozeß: Offene Anlage

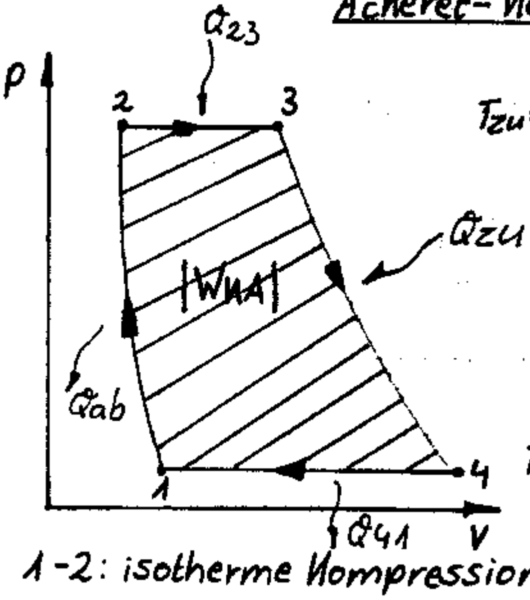


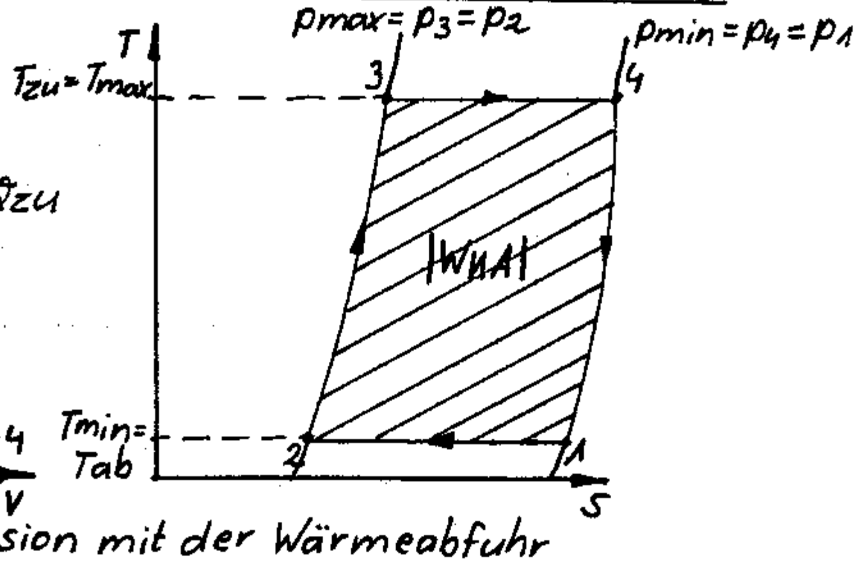


1→2: Isentrope 2→3: Isobare 3→4: Isentrope 4→1: Isobare

Gasturbinenanlage:

Ackeret - Keller - Prozeß: Geschlossene Anlage





1-2: isotherme Kompression mit der Wärmeabfuhr

2-3: isobare Wärmezufuhr Q_{23}

3-4: isotherme Expansion bei Wärmezufuhr

4-1: isobare Wärmeabfuhr Q_{41}

(Durch Regeneration könnte der Wirkungsgrad verbessert werden

Regeneration: Wiederverwendung der abgegebenen Wärme zur Aufheizung des gleichen Arbeitsmittels.)

zu Aufgabe: 2.19

1.) Berechnung der Wärmeleistung des Brennstoffes:

$\boxed{\dot{Q}_B = \dot{m}_B \cdot H_u}$ $\dot{Q}_B = \frac{2065\,kg/h}{3600\,sec} \cdot 41500\,kJ/kg = \underline{\underline{23804{,}86\,kW}} \approx$

$\approx \underline{\underline{23805\,kW}}$

2.) Berechnung des thermischen Wirkungsgrades des Joule Prozeß:

$\boxed{\eta th_{Luft} = 1 - \left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{\frac{\varkappa - 1}{\varkappa}}}$

$\varkappa = 1{,}401$ für Luft

$\frac{p_1}{p_2} = \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{-1} = 10^{-1}$

$\eta th = 1 - (10^{-1})^{\frac{1{,}401-1}{1{,}401}} = \underline{\underline{0{,}483}}$

3.) Berechnung der theoretischen Leistung der Anlage: (Joule)

$\boxed{\dot{Q}_B = \dot{m}_B \cdot H_u = \frac{Ptheo}{\eta th_{Luft}}}$ $\Rightarrow$ $Ptheo = \dot{Q}_B \cdot \eta th$

$Ptheo = 23805\,kW \cdot 0{,}483 = \underline{\underline{11498\,kW}}$

$Ptheo \approx \underline{\underline{11{,}5\,MW}}$

1. Lösung

4.) Berechnung des thermischen Wirkungsgrades des Ackeret Proz

$\boxed{\eta th'_{Helium} = 1 - \left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{\frac{\varkappa - 1}{\varkappa}}}$ $\eta th_{Helium} = 1 - (10^{-1})^{\frac{1{,}667-1}{1{,}667}} = \underline{\underline{0{,}602}}$

$\varkappa = 1{,}667$ für Helium

5.) Gleichsetzen der Verluste außer ηth und $\dot{m}_B$

$P_J = \dot{m}_B \cdot \cancel{H_u} \cdot \eta th \cdot \cancel{\eta m} \cdot \cancel{\eta ver} \cdot \cancel{\eta el} \cdot \cancel{\eta eig}$

$P_{Ac}' = \dot{m}_B' \cdot \cancel{H_u'} \cdot \eta th' \cdot \cancel{\eta m} \cdot \cancel{\eta ver'} \cdot \cancel{\eta el'} \cdot \cancel{\eta eig'}$

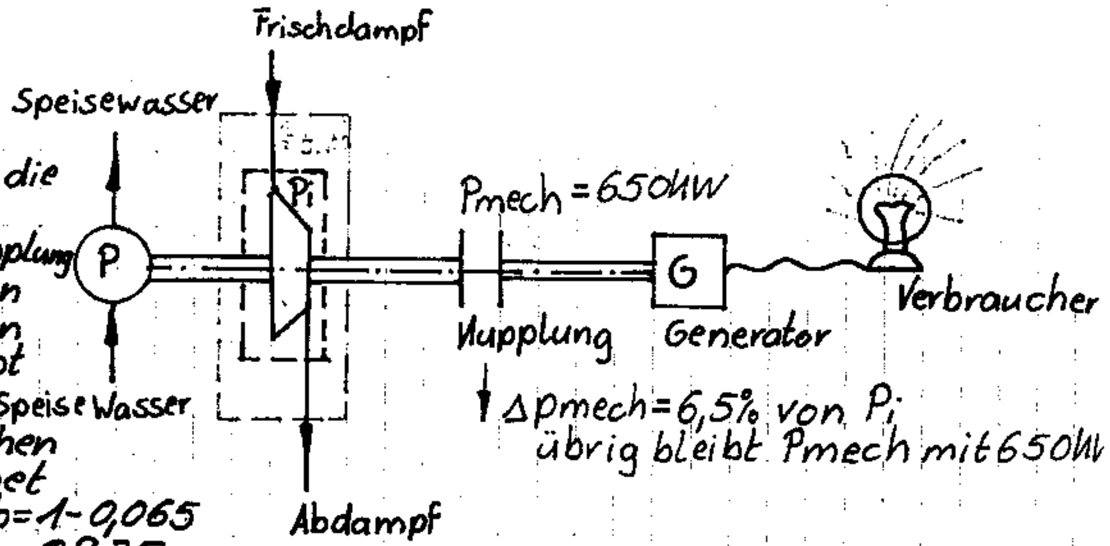
6.) Berechnung des Brennstoffmassenstromes beim Ackeret Proze

$\frac{\dot{m}_B'}{\dot{m}_B} = \frac{\eta th}{\eta th'}$ $\Rightarrow$ $\dot{m}_B' = \dot{m}_B \cdot \frac{\eta th}{\eta th'}$ $\dot{m}_B' = \frac{2065\,kg/h}{3600} \cdot \frac{0{,}483}{0{,}602}$

2 Lösung: $\dot{m}_B' = \underline{\underline{0{,}4593\,kg/s}} \approx \underline{\underline{1655\,kg}}$

Aufgabe: 2.20

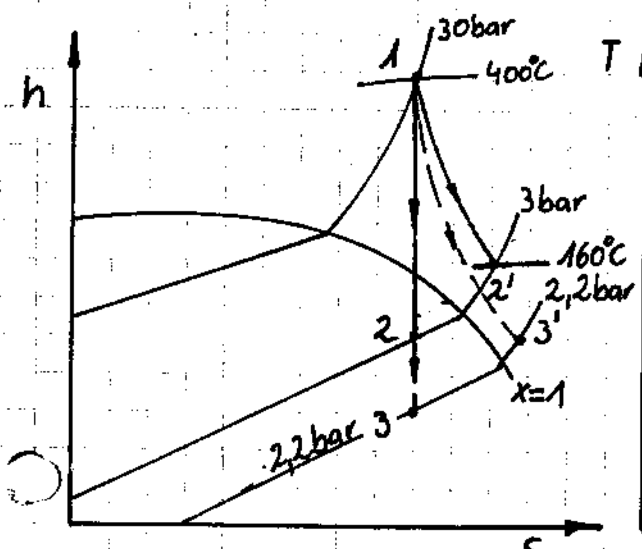
Prozeßschaltbild:



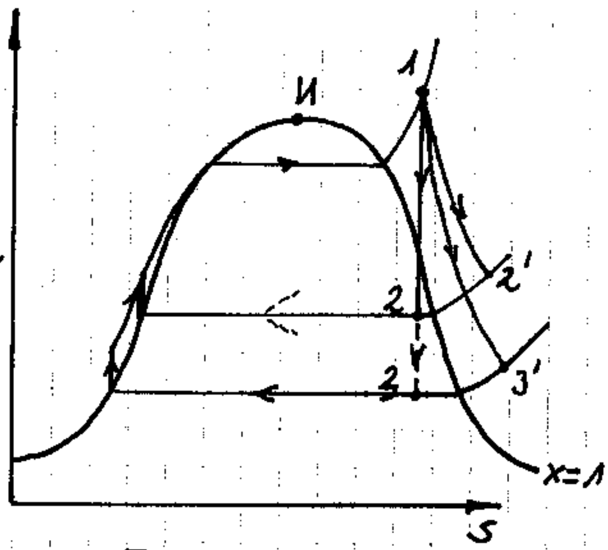
Erläuterung:
Aus der Turbine kommt die praktische Leistung P_i.
Diese kommt an die Kupplung. An der Kupplung gehen durch Verluste 6,5% von P_i verloren, übrig bleibt demnach noch P_{mech}.
Der Wirkungsgrad zwischen P_i und P_{mech} berechnet sich wie folgt: $\eta_{mech} = 1 - 0{,}065$

$\eta_{mech} = \underline{0{,}935}$

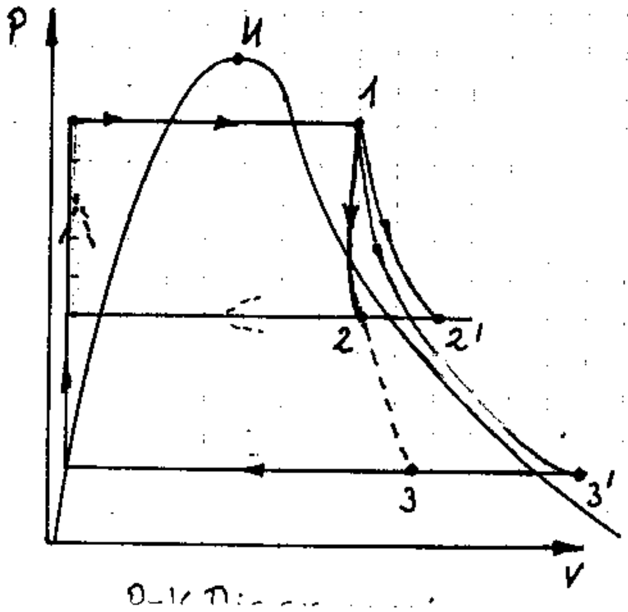
$P_{mech} = 650\,kW$



h-s Diagramm:



T-s Diagramm:



1.) Ablesen der Enthalpien aus dem h-s Diagramm:

Punkt 1: (30 bar/400°C) $h_1 = \underline{\underline{3230\,kJ/kg}}$

Punkt 2: (⊥ von Punkt 1 auf 3 bar Linie) $h_2 = \underline{\underline{2700\,kJ/kg}}$

Punkt 2': (3 bar/160°C) $h_2' = \underline{\underline{2780\,kJ/kg}}$

Punkt 3: (⊥ von Punkt 2 auf ~2,2 bar Linie) $h_3 = \underline{\underline{2640\,kJ/kg}}$

Die Ermittlung von h_3' im Punkt 3 kann man sich sparen, da der innere Wirkungsgrad gleich bleibt. Sie bitte Aufgabenstellung.

2.) Berechnung des inneren Wirkungsgrades der Turbine:

$$\boxed{\eta_i = \frac{h_1 - h_2'}{h_1 - h_2}} \qquad \eta_i = \frac{(3230-2780)\,kJ/kg}{(3230-2700)\,kJ/kg} = \underline{\underline{0{,}849}}$$

3.) Berechnung des Dampfmassenstromes:

Herleitung folgender Formel:

$$P_{theo} = \frac{P_{mech}}{\eta_i \cdot \eta_{mech}} \quad ; \quad P_{theo} = \dot{m}_D \cdot (h_1 - h_2)$$

aus Formelsammlung — beide Ausdrücke gleichsetzen!

$$\dot{m}_D \cdot (h_1 - h_2) = \frac{P_{mech}}{\eta_i \cdot \eta_{mech}}$$

umstellen nach $\dot{m}_D$

$$\boxed{\dot{m}_D = \frac{P_{mech}}{(h_1-h_2)\cdot\eta_i\cdot\eta_{mech}}}$$

$$\dot{m}_D = \frac{650\,kW}{(3230-2700)\,kJ/kg \cdot 0{,}849 \cdot 0{,}935} = \underline{\underline{1{,}532}}\ kg/s$$

4.) Berechnung der theoretischen Turbinenleistung, wenn die theoretische Expansion bis Punkt 3 geht (siehe Skizze)

$$\boxed{P_{theo\,\overline{13}} = \dot{m}_D \cdot (h_1 - h_3)} \qquad P_{theo\,\overline{13}} = 1{,}532\,kg/s \cdot (3230-2640)\,kJ/kg$$

$$P_{theo\,\overline{13}} = \underline{\underline{911{,}55}}\ kW$$

5.) Berechnung der neuen Kupplungsleistung wenn η_i und η_{mech} gleich bleiben:

I.) $P_{mech} = P_{theo} \cdot \eta_i \cdot \eta_m$; II.) $P_{theo} = \dot{m}_D \cdot (h_1 - h_3)$ einsetzen in Ausdruck I)

$$\boxed{P_{mech\,13} = \dot{m}_D \cdot (h_1 - h_3) \cdot \eta_i \cdot \eta_m}$$

Nicht allgemein gültig!

$$P_{mech\,13} = 1{,}532\,kg/s \cdot (3230 - 2640)\,kJ/kg \cdot 0{,}849 \cdot 0{,}935 = \underline{\underline{716{,}8\,kW}}$$

6.) Ablesen der spez. Volumina in den Punkten 2 und Punkt 3:

abgelesen: $v_2 = 0{,}65$

$v_3 = 0{,}83$

7.) Berechnung der relativen Geschwindigkeitsänderung:

$$\frac{v_3}{v_2} = \frac{\dot{V}_3 = \cancel{A} \cdot c_3}{\dot{V}_2 = \cancel{A} \cdot c_2}$$

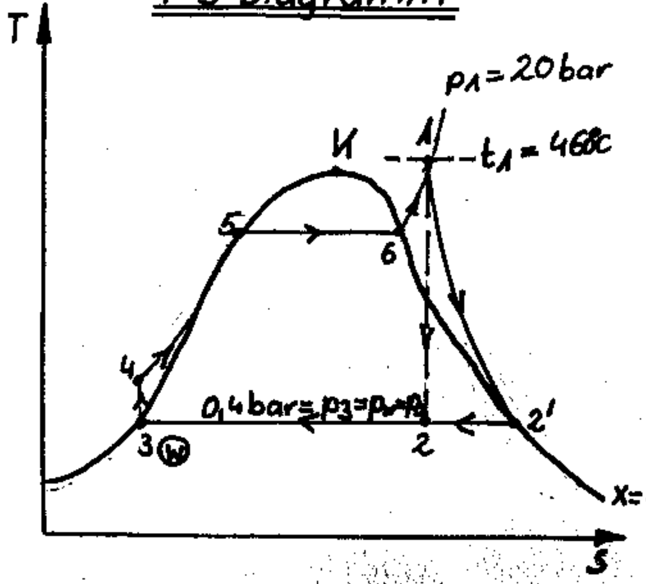
Da der Rohrquerschnitt der Abdampf-Leitung gleich bleibt, kann dieser herausgekürzt werden.

$$\boxed{\frac{\dot{V}_3}{\dot{V}_2} = \frac{c_3}{c_2} = \frac{v_3}{v_2}}$$

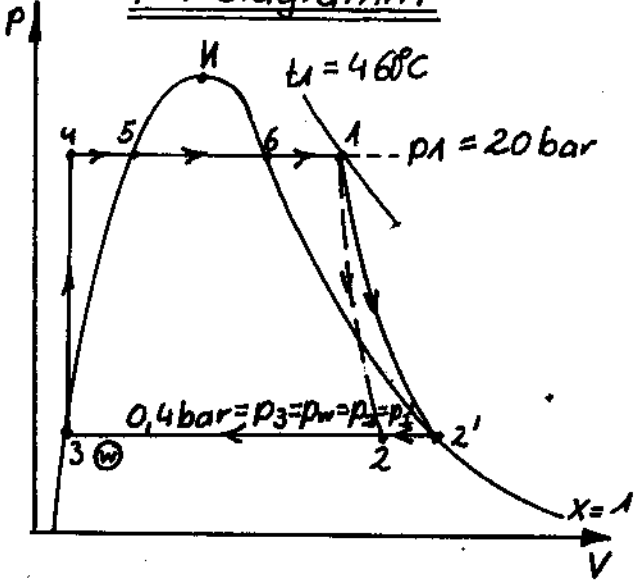
$$\frac{c_3}{c_2} = \frac{v_3}{v_2} = \frac{0{,}83}{0{,}65} = \underline{\underline{1{,}277}}$$

Prozeßverlauf in Diagrammen: T-s; p-v; h-s

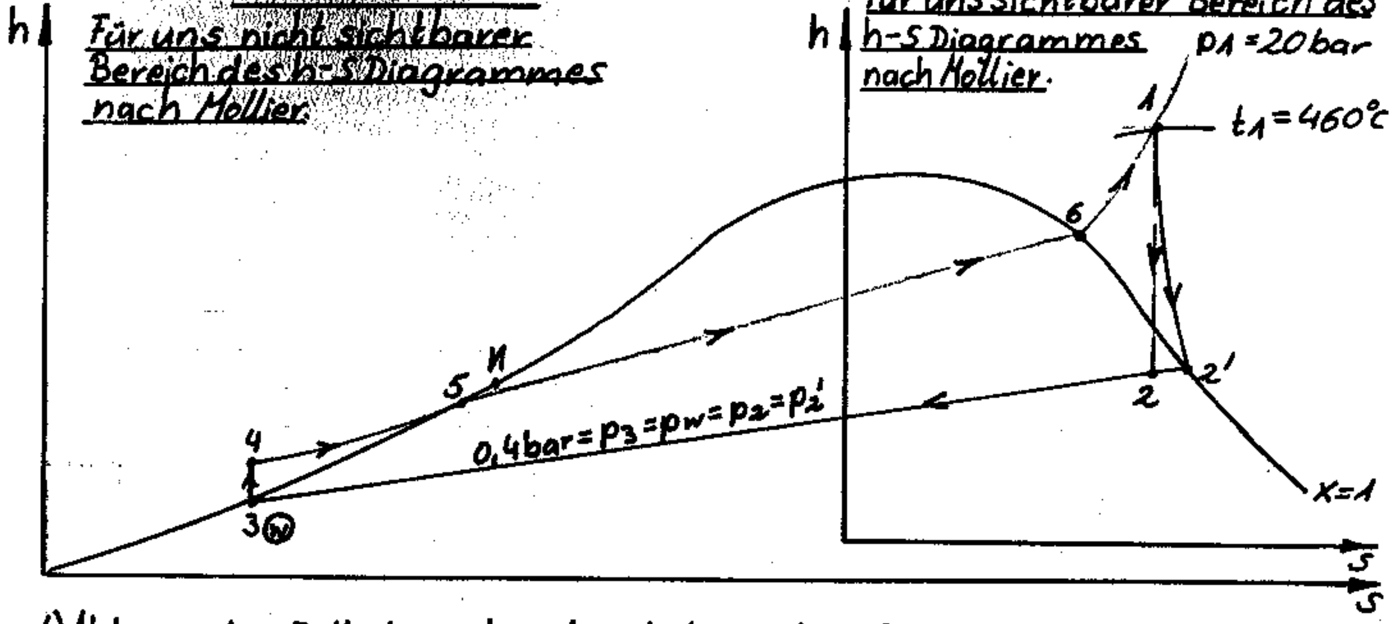
T-S Diagramm



P-V Diagramm



h-S Diagramm



1.) Ablesen der Enthalpien h_1; h_2; h_2' aus h-s Diagramm nach Mollier für die Punkte 1; 2; 2':

		abgelesen
Punkt 1: (20 bar; 460°C)	:	$h_1 = \underline{\underline{3380\,kJ/kg}}$
Punkt 2: (⊥ von Punkt 1 auf 0,4 bar)	:	$h_2 = \underline{\underline{2510\,kJ/kg}}$
Punkt 2': (Schnittpunkt x=1 mit p=0,4 bar)	:	$h_2' = \underline{\underline{2640\,kJ/kg}}$

2.) Berechnung des Volumenstromes Dampf in der Anlage:

$$\boxed{\dot V = A \cdot c = \frac{d^2 \pi}{4} \cdot c} \qquad \dot V = \frac{(0{,}2\,m)^2 \pi}{4} \cdot 3\,m/s = \underline{\underline{0{,}094\,m^3/s}}$$

3.) Ablesen des spez. Volumens aus TB 54 CelHo für das Kondensat Wasser. Also v':

abgelesen (interpoliert):

$$v(0{,}4\,bar) = v' = \underline{\underline{0{,}0010265 \ \tfrac{m^3}{kg}}}$$

Bemerkung: Ablesung für v' da Kondensat gleich Was.

4.) Berechnung des Dampf b.z.w Kondensatmassenstrome

$$\boxed{\dot{m}_D = \frac{\dot{V}}{v}}$$

$$\dot{m}_D = \frac{0{,}094\,m^3/s}{0{,}0010265\,\frac{m^3}{kg}} = \underline{\underline{91{,}57\,kg/s}}$$

---

5) Berechnung der verlustlosen Turbinenleistung:

$$\boxed{P_{theo} = \dot{m}_D \cdot (h_1 - h_2)}$$

$$P_{theo} = 91{,}6\,kg/s \cdot (3380 - 2510)\,kJ/kg$$

$$P_{theo} = \underline{\underline{79{,}692\,MW}} = \underline{\underline{79{,}7\,MW}} \mathrel{\hat{=}} \underline{\underline{79692\,kW}}$$

1. Lösung der Aufgabe

6.) Berechnung des thermischen Wirkungsgrades:

$$\boxed{\eta_{th} = \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_w}}$$

[illegible]

$$\eta_{th} = \frac{3380\,kJ/kg - 2510\,kJ/kg}{3380\,kJ/kg - 318\,kJ/kg} = \underline{\underline{0{,}2841}}$$

2. Lösung der Aufgabe

7.) Berechnung des inneren Wirkungsgrades der Turbine:

$$\boxed{\eta_i = \frac{h_1 - h_2'}{h_1 - h_2}}$$

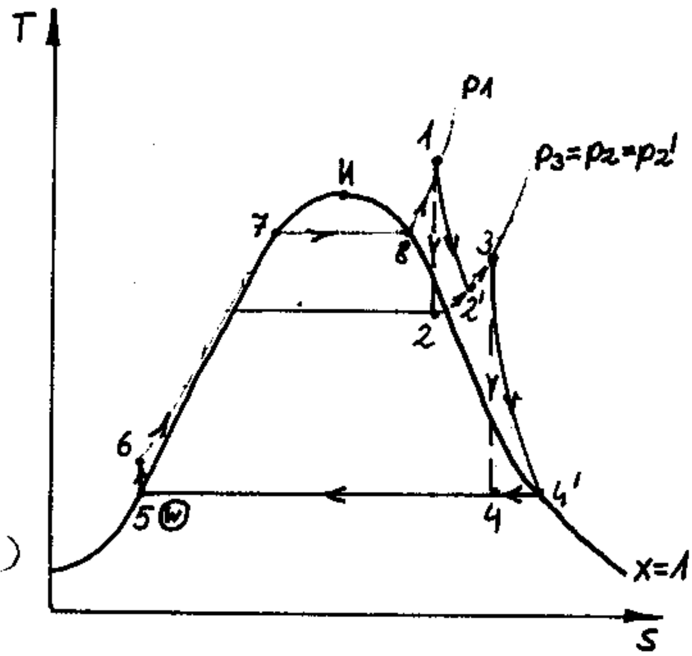
$$\eta_i = \frac{(3380 - 2640)\,kJ/kg}{(3380 - 2510)\,kJ/kg} = \underline{\underline{0{,}85}}$$

3. Lösung der Aufgabe

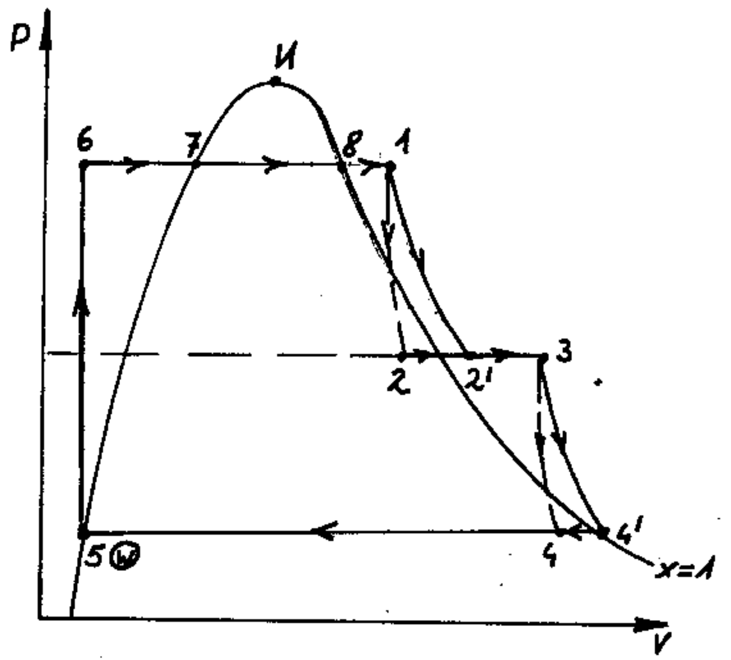
Markus Pinz
91340

Aufgabe: 2.22

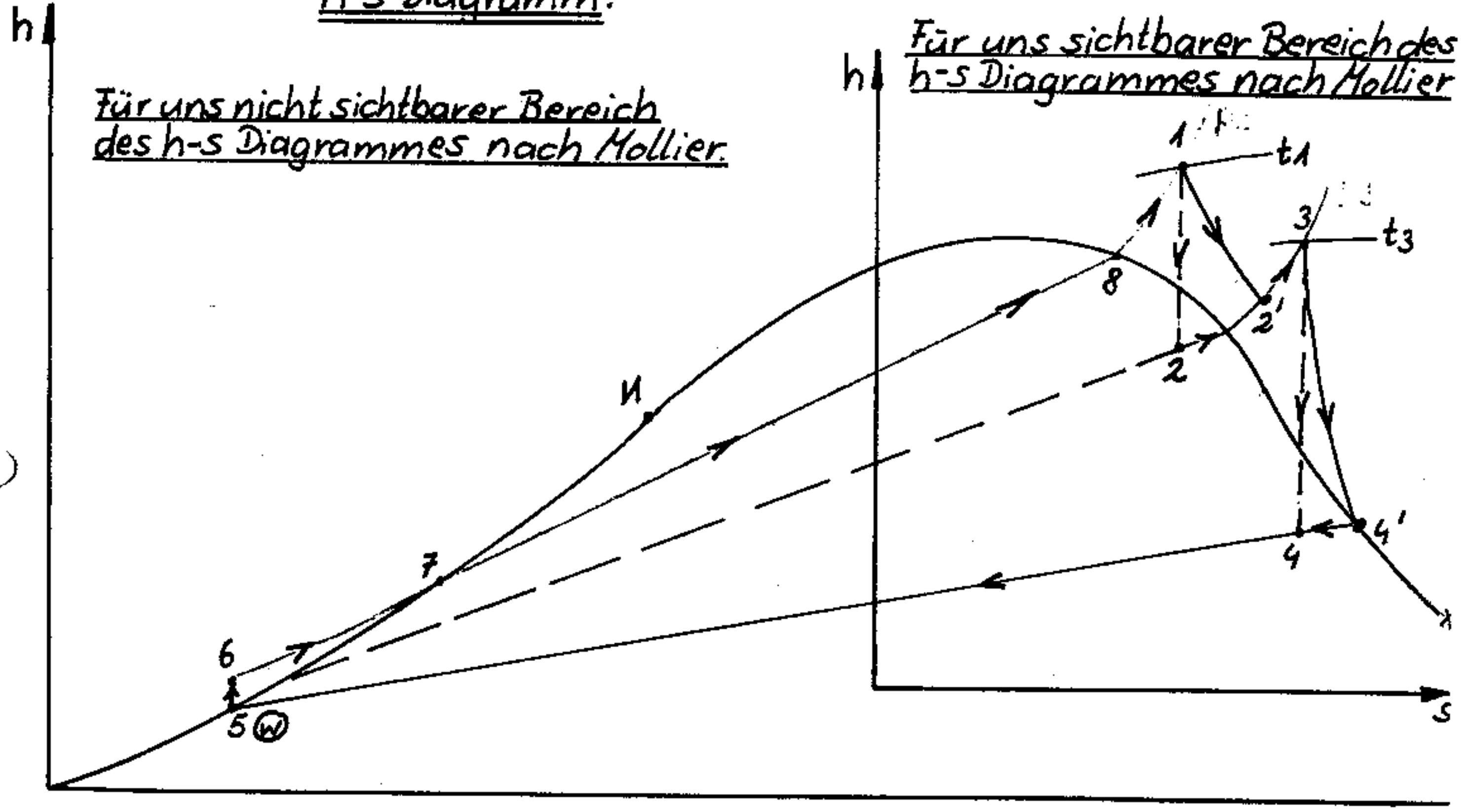
T-S Diagramm:



p-V Diagramm:



h-s Diagramm:



1. Ablesen der Enthalpien h_1; h_2; h_3; h_4; h_4' aus h-s Diagramm nach Mollier:

Punkt 1: (100 bar/550°C)	: h_1 = 3500 kJ/kg
Punkt 2: (⊥ von Pkt. 1 auf 3 bar Linie)	: h_2 = 2629 kJ/kg
Punkt 3: (3 bar/400°C)	: h_3 = 3275 kJ/kg
Punkt 4: (⊥ von Pkt. 3 auf 0,03 bar	: h_4 = 2385 kJ/kg

Markus Pinz
91340

2.) Berechnen der Enthalpie h_2' im Punkt: 2' über "Inneren Gesamtwirkungsgrad." $\eta_i \approx 0{,}8$

$$\boxed{\eta_i = \frac{h_1 - h_2' + h_3 - h_4'}{h_1 - h_2 + h_3 - h_4}}$$

$$\Downarrow \quad h_2' = h_1 + h_3 - h_4' - \eta_i \cdot (h_1 - h_2 + h_3 - h_4)$$

$$h_2' = [3500 + 3275 - 2545 - 0{,}8 \cdot (3500 - 2629 + 3275 - 2385)]\ kJ/kg = \underline{\underline{2821\ kJ}}$$

3.) Berechnung der spezifischen inneren Turbinenarbeit beider Turbinenteile zusammen.

$$\boxed{w_{ik} = h_1 - h_2' + h_3 - h_4'}$$

$$w_{ik} = (3500 - 2821 + 3275 - 2545)\ kJ/kg = \underline{\underline{1409\ kJ/kg}}$$

1. Lösung der Aufgabe

4.) Berechnung der Wärme für die Zwischenüberhitzung von Pkt 2' → Pk

$$\boxed{\dot{q}_{üb} = h_3 - h_2'} \qquad \dot{q}_{üb} = (3275 - 2821)\ kJ/kg = \underline{\underline{454\ kJ/kg}}$$

2. Lösung der Aufgabe

5.) Berechnung des thermischen Wirkungsgrades

$$\boxed{\eta_{th} = \frac{h_1 - h_2 + h_3 - h_4}{h_1 - h_w + h_3 - h_2}}$$

$h_w = h' = 101\ kJ/kg$ aus Ko/No TD 5.4 für 0,03 bar

$$\eta_{th} = \frac{(3500 - 2629 + 3275 - 2385)\ kJ/kg}{(3500 - 101 + 3275 - 2629)\ kJ/kg} = \underline{\underline{0{,}435}}$$

3. Lösung der Aufgabe

6.) Berechnung der spezifischen Kondensationsarbeit

$$\boxed{\dot{q}_{ko} = h_4' - h_w} \qquad \dot{q}_{ko} = (2545 - 101)\ kJ/kg = \underline{\underline{2444\ kJ/kg}}$$

4. Lösung der Aufgab