

Klausurteil Regenerative Wärmetechnik (Bittrich)

(Hilfsmittel: vorgegebene Formelsammlung, Taschenrechner)

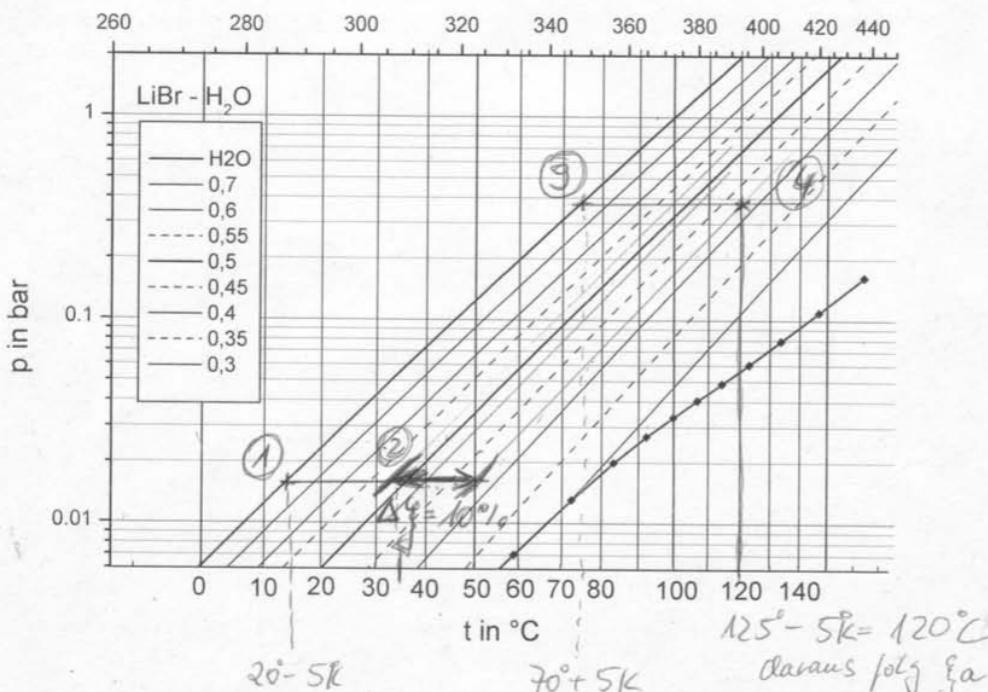
1.	Wie wirkt sich steigender Luftüberschuss bei der Verbrennung auf folgende Größen aus: (geben Sie jeweils eine kurze! verbale Begründung)
2P	a) adiabate Verbrennungstemperatur $T_{adv} \downarrow$ pro kg Brennstoff wird mehr Luft erwärmt oder aus $\eta = 1$ für ad. Verb. $T_{adv} = T_0 + \frac{H_i}{4M_G C_p G}$
2P	b) Kesselwirkungsgrad $\eta \downarrow$ mehr Luft tritt mit Endtemperatur T_{or} aus Kessel aus.
2P	c) Tautemperatur des Abgases und Wärmerückgewinnung bei der Brennwertnutzung $T_{tau} \downarrow$ $T_{tau} = f(B)$ $B = f(x)$ $x = \frac{m_w}{m_{T_e}}$ mäßiges Trau führt zu schlechteren Bedingungen für Brennwertnutzung
2.	Ist der prozentuale Unterschied zwischen Heizwert (H_i) und Brennwert (H_s) für Koks (nahezu reiner Kohlenstoff) oder Bioethanol (C_2H_5OH) größer? Begründen Sie kurz.
	ΔH (Unterschied zw. H_i und H_s) hängt von der Masse des Wassers im Rauchgas ab, die kondensiert wird. $C + O_2 \rightarrow CO_2$ kein H_2 kein ΔH $C_2H_5OH + 3O_2 = 2CO_2 + 3H_2O$ viel H_2O ΔH groß
3. 1P	a) Geben Sie das Schaltbild eines BHKW an und tragen Sie alle relevanten Stoff- und Energiestrome (ggf. einschließlich zugehöriger Temperaturniveaus) ein. b) Wie ist die Stromkennziffer definiert? (Bezeichnen Sie die Größen)
	$\alpha = \frac{P_{el}}{Q_H}$
4. 4P	Nennen Sie mindestens zwei energetisch bzw. exergetisch wesentliche Unterschiede zwischen Kompressions- und Absorptions-Wärmepumpen.
	<p style="text-align: center;">Antriebsenergie Wärme Antriebs. Strom</p> $E = \frac{Q_{Wutz} = Q_{ass} + Q_{kond}}{Q_{DES}} \quad \text{z2} \quad E = \frac{Q_{kond}}{W} \geq 3 - 4$

- 5.** Im Kondensator eines Heizkraftwerks wird durch die Aufheizung eines Heizwasserstroms ($c_p = 4,2 \text{ kJ/(kg K)}$) von $t_E = 60^\circ\text{C}$ auf $t_A = 90^\circ\text{C}$ eine Heizleistung von 2 MW bereitgestellt.
- Welcher Exergieverlust tritt im Wärmeübertrager auf, wenn der Turbinenabdampf bei $p = 1 \text{ bar}$ kondensiert. (Die Umgebungstemperatur betrage $t_U = 10^\circ\text{C}$)
 - Sinkt oder steigt der Exergieverlust im Wärmeübertrager, wenn der Dampf bei 1,5 bar kondensiert? Begründen Sie.

Eigenschaften von Wasser auf der Siede- und Kondensationslinie

p	t	h'	h''	s'	s''
bar	°C	kJ/kg		kJ/(kg K)	
1	99,6	417,43	2674,95	1,303	7,359
1,5	111,4	467,08	2693,11	1,433	7,223

- 6.** Eine Absorptionswärmepumpe arbeitet mit dem Arbeitsmittelgemisch $\text{H}_2\text{O-LiBr}$ und wird zur Rückgewinnung von Abwärme aus Industrieabwasser eingesetzt. Das Abwasser wird von 50 auf 20°C zurückgekühlt, der so ausgekoppelte Abwärmestrom beträgt $\dot{Q} = 500 \text{ kW}$. Als Heizmedium steht kondensierender Satt dampf mit $t^{\text{LV}} = 125^\circ\text{C}$ zur Verfügung. Durch die Wärmepumpe soll ein Heizwasserstrom auf eine Vorlauftemperatur $t_V = 70^\circ\text{C}$ erwärmt werden. In allen Apparaten sind die minimalen Temperaturdifferenzen für die Wärmeübertragung mit jeweils 5 K vorzusehen.
- 4P** a) Zeichnen Sie den Prozess in das untenstehende Diagramm ein.
- 1P** b) Welche maximale Rücklauftemperatur (Eintrittstemperatur in den Absorber) darf der Heizwasserstrom haben, wenn die Entgasungsbreite der Lösung $\Delta\xi = 10\%$ beträgt?
- 5P** c) Welcher Massenstrom Heizwasser ($c_p = 4,2 \text{ kJ/(kg K)}$) kann aufgeheizt werden, wenn das Wärmeverhältnis der Wärmepumpe $\varepsilon = 1,6$ ist?



Summe: 30
 $15 \text{ P} = 4$

$$30^\circ\text{C} = T_2 - 5\text{K} = \text{Rücklauftemp}$$

$$5.) \quad \dot{E}_V = \left(\frac{T_{\text{kond}} - T_u}{T_{\text{kond}}} - \frac{T_{m_{HW}} - T_u}{T_{m_{HW}}} \right) \dot{Q}_{\text{WÜ}}$$

$$T_{\text{kond}} = 99,6^\circ\text{C} = 372,9 \text{ K}$$

$$T_{m_{HW}} = \frac{30}{\ln \frac{363}{333}} = 377,9 \text{ K} \quad T_u = 283 \text{ K}$$

$$\dot{E}_V = 108,3 \text{ kW}$$

$\dot{E}_V \uparrow$ wenn $T_{\text{kond}} \uparrow$ auf 111°C

$$6. \quad c) \quad \epsilon = \frac{Q_{\text{PBS}} + Q_{\text{KOND}}}{Q_{\text{DES}}} = \frac{Q_{\text{NUTZ}}}{Q_{\text{DES}}}$$

$$Q_{\text{DES}} + Q_{\text{VERD}} = Q_{\text{ABS}} + Q_{\text{KOND}}$$

$$\frac{Q_{\text{ABS}} + Q_{\text{kond}}}{\epsilon} + Q_{\text{VERD}} = Q_{\text{ASS}} + Q_{\text{KOND}}$$

$$Q_{\text{VERD}} = Q_N \left(1 - \frac{1}{\epsilon} \right)$$

$$Q_N = Q_{\text{VER}} \left(\frac{\epsilon}{\epsilon - 1} \right) = 1333 \text{ kW}$$

$$\dot{m}_W = \frac{Q_N}{C_{p_W} \Delta T_W} = 7,9 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \quad (70^\circ - 30^\circ)$$

- 1.** Berechnen Sie die adiabate Verbrennungstemperatur eines Brennstoffes mit einem Heizwert von 18 MJ/kg, der einen minimalen Luftbedarf von $M_{Lmin} = \dot{m}_L / \dot{m}_{Br} = 5$ hat und mit einem Luftüberschuss $\lambda = 1,2$ verbrannt wird. Die mittlere spezifische Wärmekapazität des Rauchgases kann mit $c_{pm} = 1.2 \text{ kJ/(kg K)}$ angenommen werden.
Welcher spezifische Exnergieverlust Δe_v tritt bei der Verbrennung auf? ($T_U = 280 \text{ K}$)

$$\begin{aligned} T_{adv} &= ? \\ M_{Br} &= \lambda \cdot M_{Lmin} = 1,2 \cdot 5 = 6 \\ M_A &= \lambda - M_{Lmin} + 1 = 1,2 - 5 + 1 = 1 \\ m_{air} \cdot H_i &= M_A \cdot c_p \cdot (T_{adv} - T_n) \\ \approx T_{adv} &= \frac{M_{Br}}{M_A} \cdot \frac{H_i}{c_p} + T_n = \frac{6}{1} \cdot \frac{18 \text{ MJ/kg}}{1,2 \text{ kJ/kg}} + 280 \text{ K} = 370 \text{ K} \\ \Delta e_v &= \frac{T_{adv} - T_n}{T_n} \cdot c_p \cdot (T_{adv} - T_n) - T_n (c_p \cdot \ln \frac{T_{adv}}{T_n}) = 424007,658 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

- 2.** Was verstehen Sie unter Brennwertnutzung? Welche Randbedingung ist im angeschlossenen Heizkreislauf einzuhalten, damit ein Brennwertkessel einen hohen Wirkungsgrad erreicht?

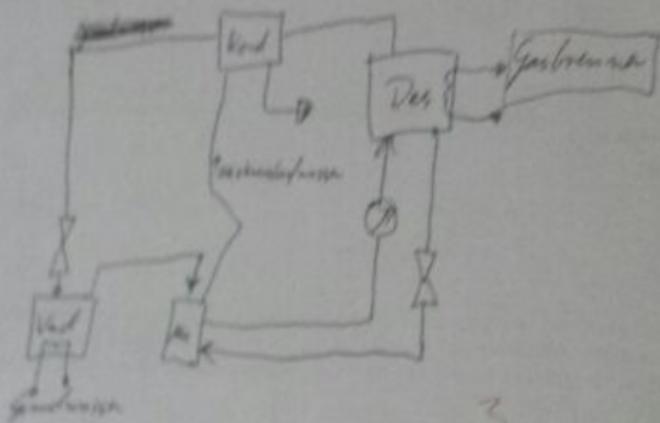
Einen Heizkessel mit Nutzung der Kondensationswärme des Rauchgases. Dies wird durch eine möglichst hohen Anteil am Rückkondensation der bei der Verbrennung verdampften Brennstofffeuchtigkeit erreicht, wodurch der Wirkungsgrad bei gleicher Brennstoffmenge steigt.

- 3.** **5P** a) Ein BHKW hat einen Brennstoffnutzungsgrad von $\eta_{ges} = 80\%$ und einen elektrischen Wirkungsgrad von $\eta_{el} = 80\%$. Welchen Wert haben Stromkennziffer σ und thermischer Wirkungsgrad η_{th} ? 38
b) Ist eine hohe Stromkennziffer ein ausreichendes Merkmal für einen hohen exergetischen Wirkungsgrad des Gesamtsystems? Begründen Sie.

$$\begin{aligned} a) \quad \sigma &= \frac{P_{el}}{Q_{HGez}} \quad ; \quad Q_B = \frac{P_{el}}{\eta_{ges}} + \frac{Q_{HGez}}{\eta_{ges}} \\ \sigma &= \frac{\eta_{el}}{\eta_{th}} = \frac{38\%}{M_{HGez} - M_L} = 42 \approx \frac{38\%}{42\%} = 0,9 \approx \eta_{th} = 42\% \end{aligned}$$

- b) Nicht zwingend, da es nur das Verhältnis aus Strom zu Wärme darstellt. Der exergetische Wirkungsgrad hängt vom vom thermischen Wirkungsgrad ab.

- 4
3 P Skizzieren Sie das Schaltbild einer direkt beheizten Absorptionswärmepumpe und ordnen Sie die Versorgungsmedien Grundwasser, Heizkreislaufwasser und Gasbrenner den entsprechenden Apparaten zu. In welcher Größenordnung liegt das Wärmeverhältnis der AWP?



3

Großschreibung maximaler Wärmeverhältnis ist zuo

Fachbereich I / Master RE

Klausur Regenerative Wärmetechnik (Giese/Bittrich)

1. Fragen ohne Unterlagen) 20 min

1. Nennen Sie bitte als Stichwort jeweils zwei Bauteile (oder ein Bauteil und ein Zubehör),
3P wenn folgende Umweltwärmesachen für eine Wärmepumpe verwendet werden:

	Bauteil 1	Bauteil 2 oder Zubehör
Grundwasser	- Pumpe (✓)	- Wasseraufschwung ✓
Boden (1: vertikal; 2: horizontal)	- Spülstein (Wärmetauscher) -	- Wärmetauscher
Luft	- Verdichter ✓ - Schalldämpfer	- Luftheizung (z.B. Ventil) ✓

2. Wie groß muss die Leistungsziffer einer Kompressions-Wärmepumpe mindestens sein, damit der Gesamtbrennstoffaufwand geringer ist als bei der Wärmebereitstellung mit einem Heizkessel? Begründen Sie anhand einer Gleichung und nehmen Sie für die benötigten Kennziffern sinnvolle Werte an.

$$\frac{E_{WP}}{E_{HK}} = \left(\frac{\eta_{HK}}{\eta_{WP}} \right)_{\text{vergl}} \Rightarrow \frac{1}{\eta_{WP}} = \frac{\eta_{HK}}{\eta_{HK}}$$

(1)

$$\eta_{WP} = \frac{\eta_{HK}}{\eta_{HK}}$$

$$\underline{\eta_{HK} = 1}$$

$$\underline{\eta_{HK} = 0,9}$$

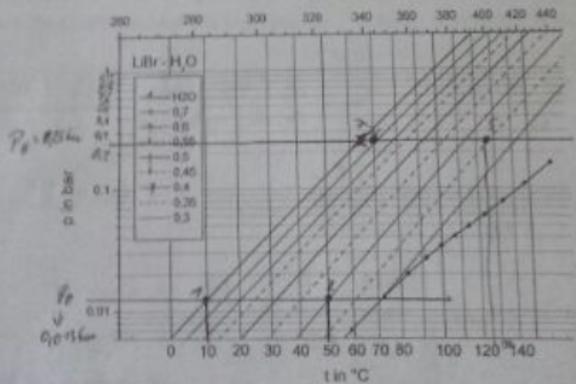
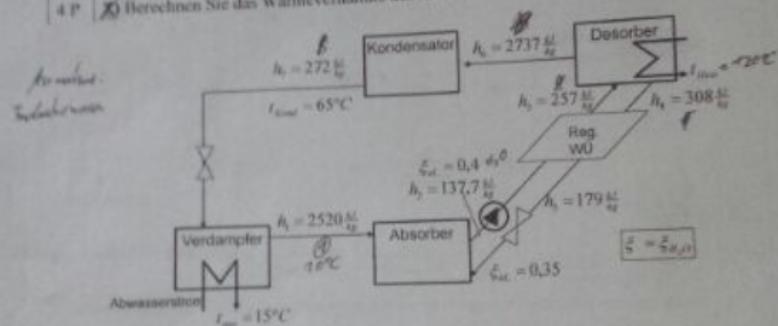
$$\underline{\eta_{WP} = \frac{1}{0,9}}$$

$$\underline{\eta_{WP} \leq 1,11}$$

3. Vergleichen Sie die Verlustquellen in einem Wärmeüberträger aus energetischer und exergetischer Sicht. Geben Sie dafür die entsprechenden Bilanzgleichungen an.

- 3P - *Übersicht Verluste*

3. Eine Absorptionswärmepumpe die zur Rückgewinnung von Abwärme aus Industrieabwasser eingesetzt wird, arbeitet mit dem Arbeitsmittelgemisch Wasser-LiBr unter den im Schema angegebenen Bedingungen. In allen Apparaten können die minimalen Temperaturdifferenzen mit jeweils 5 K angenommen werden.
- 2 P a) Bestimmen Sie den spezifischen Lösungsumlauf f im Prozess. $\Rightarrow 3,4 \text{ l/K}$
- $\Sigma 40$ b) Berechnen Sie die im Desorber zuzuführende spezifische Wärme. $\Rightarrow Q_{04} = 2153 \frac{\text{J}}{\text{K}}$
- c) Skizzieren Sie den Prozess im entstehenden im $\lg p, 1/T$ -Diagramm.
- d) Welche Heizmittelttemperatur muss im Desorber mindestens zur Verfügung stehen? $\Rightarrow 100^\circ\text{C}$
- e) Auf welche Temperatur kann der Vorlauf eines angeschlossenen Nutzwirkmekreislaufs maximal erwärmt werden?
- 4 P f) Berechnen Sie das Wärneverhältnis der AWP (Die Arbeit der Lösungspumpe ist zu vernachlässigen).



4. Ein Wohngebäude soll energetisch modernisiert und hierbei mit Regenerativer Wärmetechnik ausgestattet werden. Bitte umreißen Sie kurz Handlungsablauf und Akteure (Beratung, Planung, Bauausführung, Bauüberwachung, Fördermittel)?

10 P ○ 2 ^ 2 ○ 2 ○ 2 ○

\Rightarrow Antwort siehe Blatt 1

1.	Ein Kompressions-Wärmepumpen-Heizungssystem hat eine Leistung von $\dot{Q} = 30 \text{ kW}_\text{th}$, die Vorlauftemperatur beträgt unter Auslegungsbedingungen 35°C . Als Umweltwärmesquelle werden Erdwärmesonden (1: auf 90 m; 2: auf 134 m) genutzt. Berechnen Sie mit $\eta_{HP} = 0,5$ die reale Leistungszahl ε ($= \text{COP}$). Welche elektrische Leistung wird zu diesem Zeitpunkt aufgenommen? Welches Genehmigungsrecht kommt jeweils zur Anwendung (1 bzw. 2)?
8P	

(4)

$$\text{COP} = \frac{\dot{Q}_{\text{HP}}}{\dot{P}_{\text{el}}} \quad \text{oder} \quad \text{COP} = \frac{\dot{Q}_{\text{HP}} + \dot{P}_{\text{el}}}{(\dot{Q}_{\text{HP}} - \dot{P}_{\text{el}})} \cdot 0,5$$

$$1 = 90 \text{ m} \rightarrow T_1 = 35^\circ\text{C}$$

$$2 = 134 \text{ m} \rightarrow T_2 = 5^\circ\text{C}$$

$$\dot{Q}_{\text{HP}} = 30 \text{ kW}$$

$$\text{COP} = 0,2!$$

$$\text{COP} = 5,131$$

$$\dot{P}_{\text{el}} = \frac{\dot{Q}_{\text{HP}}}{\text{COP}}$$

$$\dot{P}_{\text{el}} = \frac{30 \text{ kW}}{5,131} = 5,849 \text{ kW}$$

Arbeitsaufwand groß (WkW > Wirkleistung)

2.	Im Heizkessel (Wärmeübertrager) eines Biomassekraftwerkes wird ein Thermoölstrom $m_{\text{th}} = 20 \text{ kg/s}$ ($c_p = 2,8 \text{ kJ/(kg K)}$) von $t_1 = 200^\circ\text{C}$ auf $t_2 = 300^\circ\text{C}$ isobar erwärmt. Im Verbrennungsraum kann eine konstante Temperatur von $t_v = 950^\circ\text{C}$ angenommen werden. Welcher Exergieverluststrom \dot{E}_v tritt insgesamt auf, wenn ein Wärmeverlust von 5% über die Kesseloberfläche berücksichtigt wird? ($T_0 = 273,15 \text{ K}$)
10P	

$$\dot{E}_v = \frac{T_{\text{th}} - T_{\text{U}}}{T_{\text{th}}} \cdot \Delta H$$

$$T_{\text{th}} = \frac{c_p \cdot (T_{\text{th}} - T_{\text{U}})}{c_p \cdot \ln\left(\frac{T_{\text{th}}}{T_{\text{U}}}\right)} = \frac{2,8 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot (950^\circ\text{C} - 273,15 \text{ K})}{2,8 \cdot \ln\left(\frac{950}{273,15}\right)}$$

$$= \frac{(547,01 - 273,15)}{549,02} \cdot C \cdot 5600 \frac{\text{J}}{\text{kg}} = 2793,19 \quad \approx 543,02^\circ\text{C}$$

2-3

3-6

4-5

18

$$\dot{E}_v = \dot{E}_B - \dot{E}_{B_1} + \dot{E}_{B_2}$$

$$\dot{E}_B = \frac{778,03}{1000} \times \frac{C}{55,5\%}$$

$$C = \frac{778,03 \cdot 55,5\%}{100} = 437,09 \text{ J/K}$$

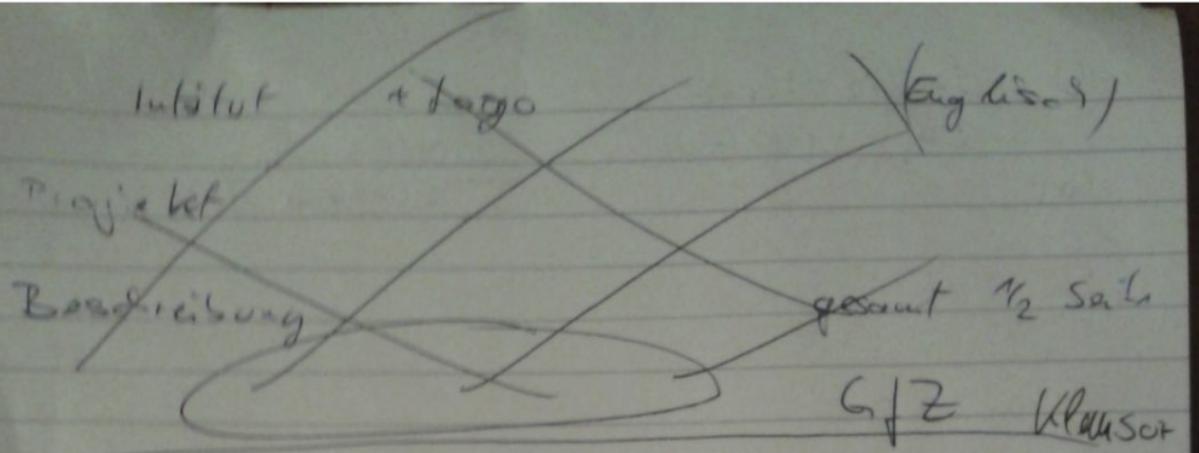
$$C = 7613,39$$

$$\Delta H = c_p \cdot m_{\text{th}} \cdot \Delta t$$

$$= 2,8 \cdot 10,6 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \cdot (300 - 200 \text{ K})$$

$$= 7,1 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \cdot 10,6 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 100 \text{ K}$$

$$= 9500,52$$



① adiabat \Rightarrow keine Wärme
 $(P_1 \neq T_1) ?$ $\lambda = 1,6$ $m_{\text{min}} =$
 $T_w = 2$

② a) BWN^{Was} heißt.
 b) Was kann man im Prozess machen um den γ zu erhöhen

③ UW

$$*) \eta_{\text{ther}} = 80\% \quad \gamma_{\text{rel}} = 38\% \quad \rightarrow \gamma_{\text{rel}}$$

$$\Gamma = \frac{P_{\text{rel}}}{Q_{\text{ther}}}$$

b) ist eine
 eine Wärme & alleine
 ausgeschlieflich für einen hohen gas. Wirkung.

④ Energiebilanz

$$Q_{\text{P,DAS}} = 100 \text{ Lw}$$

WP

$$\frac{Q_v}{T_u} = 0,2 \cdot Q_{\text{DAS}}$$

$$\frac{Q_v}{T_u} = 200 \cdot 2804$$

$$\epsilon_{\text{KWP}} = 1,7$$

⑤ Energij. laut

$$\begin{cases} \xi_{\text{er}} \cdot \eta_{\text{DAS}} = 0,358 \\ \xi_{\text{rc}} = 1,45 \end{cases} \quad | Q_{\text{AGS}}$$

$$\dot{m}_D \cdot \underline{q}_{\text{AGS}}$$

P₀

Dampftafel

gültig

h_1^i

$$\dot{m}_D \cdot h_1^i + \xi_{\text{er}} \cdot h_{\text{rc}} = \xi_{\text{rc}} \cdot h_{\text{rc}} + Q_{\text{AGS}}$$

$$\dot{m}_D =$$

$$\frac{Q_{\text{AGS}}}{\dot{m}_D} = q_{\text{AGS}}$$

- 1.** Berechnen Sie die adiabate Verbrennungstemperatur eines Brennstoffes mit einem Heizwert von 18 MJ/kg, der einen minimalen Luftbedarf von $M_{Lmin} = \dot{m}_L / \dot{m}_{Br} = 5$ hat und mit einem Luftüberschuss $\lambda = 1,2$ verbrannt wird. Die mittlere spezifische Wärmekapazität des Rauchgases kann mit $c_{pm} = 1.2 \text{ kJ/(kg K)}$ angenommen werden.
Welcher spezifische Exnergieverlust Δe_v tritt bei der Verbrennung auf? ($T_U = 280 \text{ K}$)

$$\begin{aligned} T_{adv} &=? \\ M_{Br} &= \lambda \cdot M_{Lmin} = 1,2 \cdot 5 = 6 \\ M_A &= \lambda - M_{Lmin} + 1 = 1,2 - 5 + 1 = 1 \\ m_{air} \cdot H_i &= M_A \cdot c_p \cdot (T_{adv} - T_n) \\ \approx T_{adv} &= \frac{M_{Br}}{M_A} \cdot \frac{H_i}{c_p} + T_n = \frac{6}{1} \cdot \frac{18 \text{ MJ/kg}}{1,2 \text{ kJ/kg}} + 280 \text{ K} = 370 \text{ K} \\ \Delta e_v &= \frac{T_{adv} - T_n}{T_n} \cdot c_p \cdot (T_{adv} - T_n) - T_n (c_p \cdot \ln \frac{T_{adv}}{T_n}) = 424007,658 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

- 2.** Was verstehen Sie unter Brennwertnutzung? Welche Randbedingung ist im angeschlossenen Heizkreislauf einzuhalten, damit ein Brennwertkessel einen hohen Wirkungsgrad erreicht?

Einen Heizkessel mit Nutzung der Kondensationswärme des Rauchgases. Dies wird durch eine möglichst hohe Anteil am Rückkondensation der bei der Verbrennung verdampften Brennstoffenthalpie erreicht, wodurch der Wirkungsgrad bei gleicher Brennstoffmenge steigt.

- 3.** **5P** a) Ein BHKW hat einen Brennstoffnutzungsgrad von $\eta_{ges} = 80\%$ und einen elektrischen Wirkungsgrad von $\eta_{el} = 80\%$. Welchen Wert haben Stromkennziffer σ und thermischer Wirkungsgrad η_{th} ? 38

- b) Ist eine hohe Stromkennziffer ein ausreichendes Merkmal für einen hohen exergetischen Wirkungsgrad des Gesamtsystems? Begründen Sie.

$$\begin{aligned} a) \quad \sigma &= \frac{P_{el}}{Q_{HGez}} \quad ; \quad Q_B = \frac{P_{el}}{\eta_{ges}} + \frac{Q_{HGez}}{\eta_{ges}} \\ \sigma &= \frac{\eta_{el}}{\eta_{th}} = \frac{38\%}{M_{HGez} - M_d} = 42 \approx \frac{38\%}{42\%} = 0,9 \approx \eta_{th} = 42\% \end{aligned}$$

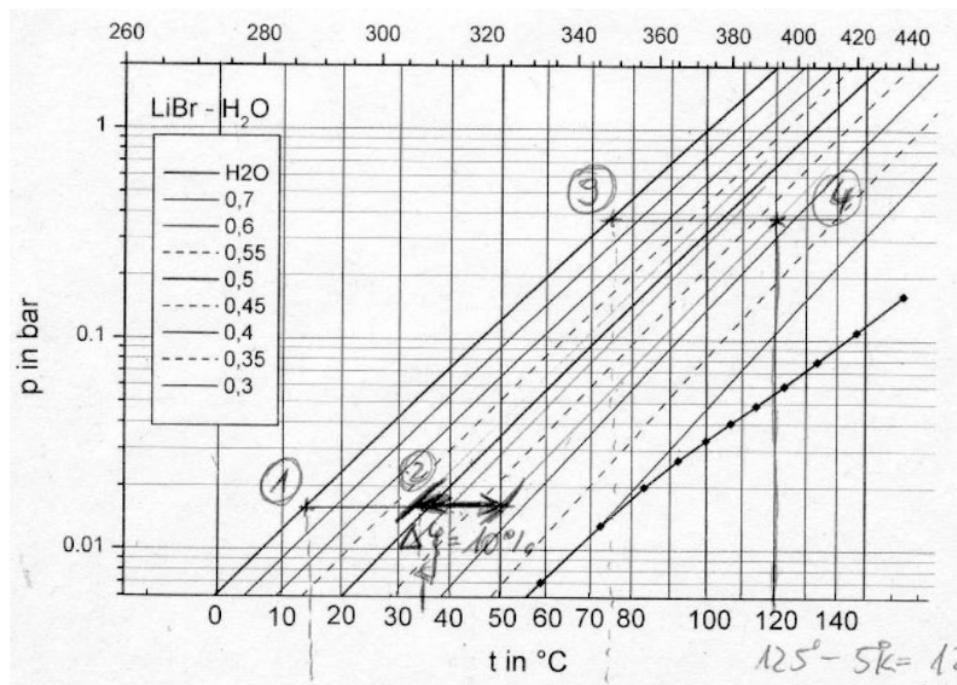
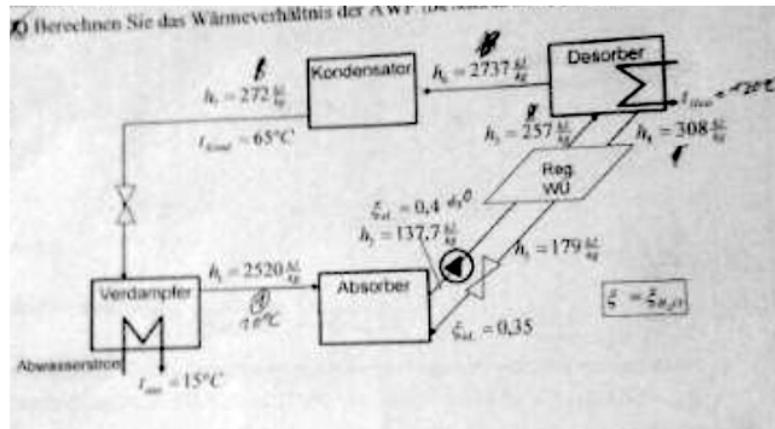
- b) Nicht zwingend, da es nur das Verhältnis aus Strom zu Wärme darstellt. Der exergetische Wirkungsgrad hängt vom thermischen Wirkungsgrad ab.

- Skizzieren Sie das Schaltbild einer direkt beheizten Absorptionswärmepumpe und ordnen Sie die Versorgungsmedien Grundwasser, Heizkreislaufwasser und Gasbrenner den entsprechenden Apparaten zu. In welcher Größenordnung liegt das Wärmeverhältnis der AWP?
- Nennen Sie als Stichwort jeweils ein Bauteil (oder ein Bauteil und ein Zubehör) wenn folgende Umweltwärmesquelnen für eine Wärmepumpe verwendet werden:

	Bauteil 1	Bauteil 2 oder Zubehör
Grundwasser		
Boden (1: vertikal; 2: horizontal)		
Luft		

- Wie groß muss die Leistungskennziffer einer Kompressions-Wärmepumpe sein, damit der Gesamtbrennstoffaufwand geringer ist als bei der Wärmebereitstellung mit einem Heizkessel? Begründen Sie anhand einer Gleichung und nehmen Sie für die benötigten Kennziffern sinnvolle Werte an.
- Vergleichen Sie die Verlustquellen in einem Wärmeübertrager aus energetischer und exergetischer Sicht. Geben Sie dafür die entsprechenden Bilanzgleichungen an.
- Ein Kompressions-Wärmepumpen-Heizungssystem hat eine Leistung von $Q_{punkt} = 30 \text{ kWth}$, die Vorlauftemperatur beträgt unter Auslegungsbedingungen 35°C . Als Umweltwärmesquelle wenden Erdwärmesonden (1: auf 90 m, 2: auf 134 m) genutzt. Berechnen Sie mit $\eta_{WP}=0,5$ die reale Leistungszahl epsilon (=COP). Welche elektrische Leistung wird zu diesem Zeitpunkt aufgenommen? Welches Genehmigungsrecht kommt jeweils zur Anwendung (1 bzw. 2)?
- Im Heizkessel (Wärmeübertrager) eines Biomassekraftwerks wird ein Thermoölstrom $m_{Punkt_Öl} = 20 \text{ kg/s}$ ($c_p = 2,8 \text{ kJ/(kg K)}$) von $t_1 = 200^\circ\text{C}$ auf $t_2 = 300^\circ\text{C}$ isobar erwärmt. Im Verbrennungsraum kann eine konstante Temperatur vom $tg = 950^\circ\text{C}$ angenommen werden. Welcher Exergieverluststrom ΔE_{punkt_V} tritt insgesamt auf, wenn ein Wärmeverlust von 5% über die Kesseloberfläche berücksichtigt wird? ($T_U = 273,15 \text{ K}$)

7. Eine Absorptionswärmepumpe, die zur Rückgewinnung von Abwärme aus Industrieabwasser eingesetzt wird, arbeitet mit dem Arbeitsmittelgemisch Wasser-LiBr unter den im Schema angegebenen Bedingungen. In allen Apparaten können die minimalen Temperaturdifferenzen mit jeweils 5 K angenommen werden.
- Bestimmen Sie den spezifischen Lösungsumlauf (?) f im Prozess.
 - Bestimmen Sie die im Desorber zuzuführende spezifische Wärme.
 - Skizzieren Sie den Prozess im untenstehenden lg p/T-Diagramm. (Eingetragene Lösung ist nicht unbedingt richtig)
 - Welche Heizmitteltemperatur muss im Desorber mindestens zur Verfügung stehen?
 - Auf welche Temperatur kann der Vorlauf eines angeschlossenen Nutzwärmekreislaufs maximal erwärmt werden?
 - Berechnen Sie das Wärmeverhältnis der AWP (Die Arbeit der Lösungspumpe ist zu vernachlässigen)



8. Ein Wohngebäude soll energetisch modernisiert und hierbei mit Regenerativer Wärmetechnik ausgestattet werden. Bitte umreißen Sie kurz Handlungsablauf und Akteure (Beratung, Planung, Bauausführung, Bauüberwachung, Fördermittel).
9. Eine Absorptions-WP hat ein Wärmeverhältnis von $\epsilon_{WP} = 1,7$ und nimmt die Umgebungswärme gerade bei Umgebungstemperatur $T_U = 280\text{ K}$ auf. Die Desorberwärme $Q\text{-Punkt}_{Des} = 100\text{ kW}$ wird bei $t_{Des} = 177^\circ\text{C}$ zugeführt, der Exergieverlust beträgt 20 % der im Desorber zugeführten Exergie. Bei welcher Temperatur kann die Mitteltemperaturwärme zur Verfügung gestellt werden?
10. Im Absorber einer Absorptionskältemaschine wird durch Kühlwasser ein Wärmestrom von 300 kW abgeführt. Der Absorber arbeitet bei einem Druck von 2 kPa, der aus dem Verdampfer zuströmende Dampf ist trocken gesättigt. Die spezifische Enthalpie der eintretenden armen Lösung mit einem Wassermassenanteil von $X_i,a = 35\%$ beträgt $h_{aL} = 184\text{ kJ/kg}$, die der abströmenden reichen Lösung $h_{rL} = 131\text{ kJ/kg}$. Die Entgasungsbreite des Prozesses ist $\Delta X_i = 10\%$.
Bestimmen Sie die spezifische Absorberwärme und den umlaufenden Dampfmassenstrom.

Eigenschaften von Wasser und Wasserdampf aus der Tabelle 1							
p kPa	t $^\circ\text{C}$	v'	v''	h'	h''	s'	s''
		m^3/kg		kJ/kg		$\text{kJ}/(\text{kg K})$	
0,0757	3	0,001	168,2	12,6	2507	0,046	9,079
1	6,98	0,001	129,2	29,3	2514,4	0,106	8,977
1,4	12	0,001	93,8	50,37	2524	0,180	8,854
2	17,51	0,001001	67,0	73,5	2533,6	0,261	8,725
3	24,1	0,001003	45,7	101,0	2545,6	0,354	8,578

11. Berechnen Sie die adiabate Verbrennungstemperatur eines Brennstoffes mit einem Heizwert von 18 MJ/kg, der einen minimalen Luftbedarf von $M_{L,min} = m\text{-Punkt}_L / m\text{-Punkt}_{Br} = 5$ hat und mit einem Luftüberschuss $\lambda = 1,2$ verbrannt wird. Die mittlere spezifische Wärmekapazität des Rauchgases kann mit $c_{pm} = 1,2\text{ kJ/(kg K)}$ angenommen werden.
Welcher spezifische Exergieverlust Δe_V tritt bei der Verbrennung auf? ($T_U = 280\text{ K}$)
12. Was verstehen Sie unter Brennwertnutzung? Welche Randbedingung ist im angeschlossenen Heizkreislauf einzuhalten, damit ein Brennwertkessel einen hohen Wirkungsgrad erreicht?
- 13.
- Ein BHKW hat einen Brennstoffnutzungsgrad von $\eta_{ges} = 80\%$ und einen elektrischen Wirkungsgrad von $\eta_{el} = 38\%$. Welchen Wert haben Stromkennziffer ρ und thermischer Wirkungsgrad η_{th} ?
 - Ist eine hohe Stromkennziffer ein ausreichendes Merkmal für einen hohen exergetischen Wirkungsgrad des Gesamtsystems? Begründen Sie.
14. In einem Biomasse-Heizkessel wird ein Rauchgasstrom von $m_G = 5\text{ kg/s}$ ($c_p = 1,1\text{ kJ/(kg K)}$) von $t_1 = 900^\circ\text{C}$ auf $t_2 = 200^\circ\text{C}$ isobar bei Normaldruck abgekühlt. Dabei wird ein Wassermassenstrom bei $t^{\text{LV}} = 150^\circ\text{C}$ gerade vollständig verdampft ($\Delta h^{\text{LV}} = 2110\text{ kJ/kg}$). Welcher Exergieverluststrom ΔE_V tritt bei der Wärmeübertragung auf? ($T_U = 273,15\text{ K}$)

15. Eine Absorptionswärmepumpe mit LiBr wird zur Rückgewinnung von Abwärme aus Industriewasser eingesetzt, das von 50°C auf 20°C abgekühlt wird. Als Heizmedium steht kondensierter Satt dampf mit $\Delta\text{LV} = 150^{\circ}\text{C}$ zur Verfügung. Delta-T beträgt überall 5 K.
- In welchem Temperaturbereich kann der Frischwasserstrom durch die Wärmepumpe erwärmt werden, bei max. LiBr = 65 Ma%?
 - Zeichnen Sie den Prozess im Diagramm und je eine Bedingung für die Eintritts- und Austrittstemperatur des Frischwassers in die WP ein.
 - Ist es sinnvoll das Abwasser bis auf 10°C auszukühlen, wenn das zu erwärmende Frischwasser mit $t=15^{\circ}\text{C}$ aus der Leitung entnommen wird? Begründen Sie.
16. Wie wirkt sich ein verringrigerer Luftüberschuss bei der Verbrennung auf folgende Größen aus? Geben Sie jeweils eine kurze (!) Begründung.
- Adiabate Verbrennungstemperatur
 - Verbrennungsgüte der realen Verbrennung (CO und NOx-Anteile)
 - Tautemperatur des Abgases und Wärmerückgewinnung bei der Brennwertnutzung
17. Ist der prozentuale Unterschied zwischen Heizwert (H_i) und Brennwert (H_s) für Koks (nahezu reiner Kohlenstoff) oder Bioethanol ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) größer? Begründen Sie kurz.
- 18.
- Geben Sie ein Schaltbild für eine verbundene Gegendruckturbine (Dampf-Kraft-Prozess) und die Gleichung für die Berechnung der abgegebenen Arbeit an.
 - Was ist die Stromkennziffer definiert? (Bezeichnen Sie die Größen)
19. Nennen Sie mind. Zwei energetisch bzw. exergetisch wesentliche Unterschiede zwischen Kompressions- und Absorptions-Wärmepumpen.
20. Im Kondensator eines Heizkraftwerks kondensiert m-Punkt_D = 0,9 kg/s Turbinenabdampf bei $p = 1 \text{ bar}$ ($\Delta\text{LV} h = 2257 \text{ kJ/kg}$, $t_{\text{Kond}} = 100^{\circ}\text{C}$) und erwärmt einen Heizwasserstrom ($c_p = 4,2 \text{ kJ/(kg K)}$) von $t_E = 60^{\circ}\text{C}$ auf $t_A = 90^{\circ}\text{C}$. $t_U = 10^{\circ}\text{C}$
- Welcher Exnergieverlust ΔE_V tritt im Wärmeübertrager auf?
 - Sinkt oder steigt der Exnergieverluststrom im Wärmeübertrager, wenn der Dampf bei $p = 1,5 \text{ bar}$ kondensiert? Begründen Sie.
- 21.
- Geben Sie das Schaltbild eines BHKW an und tragen Sie alle relevanten Stoff- und Energieströme (ggf. einschließlich zugehöriger Temperaturniveaus) ein.
 - Was ist die Stromkennziffer definiert? (Bezeichnen Sie die Größen)
22. Im Kondensator eines Heizkraftwerks wird durch die Aufheizung eines Heizwasserstroms ($c_p = 4,2 \text{ kJ/(kg K)}$) von $t_E = 60^{\circ}\text{C}$ auf $t_A = 90^{\circ}\text{C}$ eine Heizleistung von 2 MW bereitgestellt. $t_U = 10^{\circ}\text{C}$. Welcher Exnergieverlust tritt im Wärmeübertrager auf, wenn der Turbinenabdampf bei $p = 1 \text{ bar}$ kondensiert?

Eigenschaften von Wasser auf der Siede- und Kondensationslinie

p	t	h'	h''	s'	s''
bar	$^{\circ}\text{C}$	kJ/kg		kJ/(kg K)	
1	99,6	417,43	2674,95	1,303	7,359
1,5	111,4	467,08	2693,11	1,433	7,223

24. Eine Absorptionswärmepumpe arbeitet mit H₂O-LiBr und wird zur Rückgewinnung von Abwärme aus Industrieabwasser eingesetzt. Das Abwasser wird von 50°C auf 20°C zurückgekühlt, der so ausgekoppelte Abwärmestrom beträgt Q-Punkt = 500 kW. Als Heizmedium steht kondensierender Sattdampf mit t^{LV} = 125°C zur Verfügung. Durch die Wärmepumpe soll ein Heizwasserstrom auf eine Vorlauftemperatur t_V = 70°C erwärmt werden. In allen Apparaten sind die minimalen Temperaturdifferenzen für die Wärmeübertragung mit jeweils 5 K vorzusehen.

- Zeichnen Sie den Prozess in das untenstehende Diagramm ein.
- Welche maximale Rücklauftemperatur (Eintrittstemperatur in den Absorber) darf der Heizwasserstrom haben, wenn die Entgasungsbreite der Lösung delta Xi = 10% beträgt?
- Welcher Massenstrom Heizwasser ($c_p = 4,2 \text{ kJ/(kg K)}$) kann aufgeheizt werden, wenn das Wärmeverhältnis der Wärmepumpe epsilon = 1,6 ist?

