



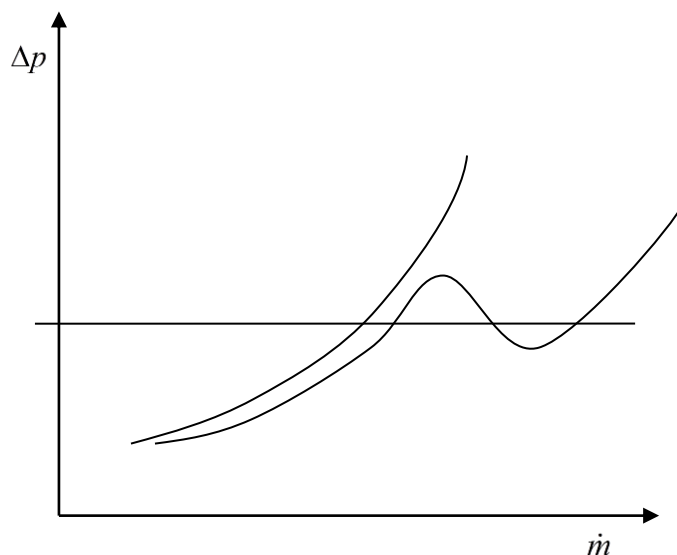
### Aufgabe 1 (1 Punkt)

Begründen Sie, warum in Kernkraftwerken der Sattdampfprozess angewandt wird?

Sicherheitsgründe,  $T$  zu hoch bei überhitztem Dampf.

### Aufgabe 2 (1,5 Punkte)

Stellen Sie qualitativ eine stabile und eine instabile Druckverlustkennlinie in einem zwangsdurchströmten Verdampferrohr dar und kennzeichnen Sie die beiden Linien. Warum sind instabile Druckverlustkennlinien problematisch?



unterschiedlich Massenströme  
bei gleichem Druckverlust →  
ungleichmäßige  
Beaufschlagung/Belastung der  
Rohre

### Aufgabe 3 (2 Punkte)

- Warum können in der Brennkammer eines Kohlekessels keine gasdurchströmten Heizflächen eingesetzt werden?
- Welche Formen der Wärmeübertragung findet man auf der Gas- und auf der Wasserseite der Brennkammerheizflächen eines Kohlekessels?
- Warum wird die Brennkammerheizfläche als Verdampferheizfläche ausgebildet?
- Warum sind die Heizflächen eines Abhitzekessels viel größer als die eines gefeuerten Kessels?

- a) kleines  $c_p$ , nicht genügend Wärmeabfuhr
- b) Gas: Strahlung, Wasser: Konvektion
- c) hohe Wärmeabfuhr durch 2-Phasen-Konvektion
- d) Temperatur niedriger erfordert Fläche größer

**Aufgabe 4** (1 Punkt)

Welchen Vorteil hätte ein mit Helium anstatt mit Luft betriebener einfacher Gasturbinenprozess? Begründen Sie Ihre Antwort.

$$\text{He: größeres } \kappa \rightarrow \eta_{th} = 1 - \frac{1}{\Pi^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}}$$

**Aufgabe 5** (1,5 Punkte)

Für welche Brennräume ist die Strahlungswärmeübertragung zwischen Gas und Wand wichtiger:

- a) Große oder kleine Brennräume?
- b) Brennräume mit hohem Druck oder solche mit Atmosphärendruck?

Begründen Sie Ihre Antworten.

- a) große Brennerräume
- b) hoher Druck

$$\varepsilon = f(s_{gl} \cdot \rho_{CO_2}) \quad \text{bzw.} \quad \varepsilon = f(s_{gl} \cdot \rho_{H_2O}) \quad \rightarrow \quad \varepsilon \uparrow \quad \text{für} \quad s_{gl} \uparrow \quad \text{und} \quad \rho \uparrow$$

**Aufgabe 6** (2 Punkte)

Vergleichen Sie die Amortisationszeiten für ein Kohlekraftwerk und eine Windkraftanlage anhand der folgenden Angaben:

<b>Kohlekraftwerk</b>	spezifische Brennstoffkosten:	3,2 ct/kWh
	Betriebsdauer:	6500 h/a
	Investitionskosten:	1100 €/kWh
	sonstige Betriebskosten:	20% der Brennstoffkosten
	erzielbarer Strompreis:	4,9 ct/kWh
<b>Windkraftanlage</b>	Betriebsdauer:	1800 h/a
	Investitionskosten:	2600 €/kWh
	spezifische Betriebskosten:	10% des Strompreises
	erzielbarer Strompreis:	9,6 ct/kWh (nach EEG)

$$\text{Kohle: } A = \frac{1100\text{€/kW} \cdot 100\text{ct/€}}{6500\text{h/a} \cdot (4,9 - 3,2 - 3,2 \cdot 0,2)\text{ct/kWh}} = 15,97\text{a}$$

$$\text{Wind: } A = \frac{2600\text{€/kW} \cdot 100\text{ct/€}}{1800\text{h/a} \cdot (9,6 - 0,96)\text{ct/kWh}} = 16,72\text{a}$$

### Aufgabe 7: (8 Punkte)

In einem GuD Kraftwerk (Kombiprozess) wird eine Gasturbine mit folgenden Daten betrieben:

- |  |   |                      |
|--|---|----------------------|
| ⇒ Druckverhältnis:                         | $\Pi = 12$  |                      |
| ⇒ Umgebungstemperatur:                     | $T_1 = 20^\circ\text{C}$                          |                      |
| ⇒ Umgebungsdruck                           | $p_U = 1 \text{ bar}$                             |                      |
| ⇒ Turbineneintrittstemperatur:             | $T_3 = 1400^\circ\text{C}$                        |                      |
| ⇒ Spez. Wärmekapazität:                    | $c_p = 1,0 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ |                      |
| ⇒ Isentropenexponent:                      | $\kappa = 1,4$                                    |                      |
| ⇒ Isentroper Wirkungsgrad des Verdichters: |   | $\eta_{V,s} = 0,90$  |
| ⇒ Isentroper Wirkungsgrad der Gasturbine:  |   | $\eta_{GT,s} = 0,88$ |

Der Gasturbine wird ein einfacher Dampfturbinenprozess mit folgenden Parametern nachgeschaltet:

- |   |                           |                      |
|---|---------------------------|----------------------|
| ⇒ Frischdampfdruck                          | $p_{FD} = 40 \text{ bar}$ |                      |
| ⇒ Kondensatordruck                          | $p_K = 0,08 \text{ bar}$  |                      |
| ⇒ elektrische Leistung                      | $P_{DT} = 80 \text{ MW}$  |                      |
| ⇒ Isentroper Wirkungsgrad der Dampfturbine: |                           | $\eta_{DT,s} = 0,91$ |

Annahmen:

- Der Frischdampf verlässt den Abhitzekegel mit einer Temperatur 100 K unter der Abgastemperatur der Gasturbine.
- Die Arbeit der Speisewasserpumpe ist zu vernachlässigen.

- a) Zeichnen Sie das Anlagenschema
- b) Tragen Sie den Gasturbinenprozess qualitativ in ein  $h,s$ -Diagramm und den Dampfturbinenprozess in ein  $T,s$ -Diagramm ein
- c) Bestimmen Sie folgende Daten der Gasturbine:
  - Temperatur am Austritt aus dem Verdichter
  - spezifische Verdichterarbeit
  - Temperatur am Austritt aus der Gasturbine
  - spezifische Turbinenarbeit
  - thermischer Wirkungsgrad

d) Bestimmen Sie folgende Daten der Dampfturbine:

- spezifische Turbinenarbeit
- thermischer Wirkungsgrad

Rechnen Sie mit einer Abgastemperatur nach der Gasturbine von  $650^{\circ}\text{C}$ , wenn Sie diese in Teil (c) nicht berechnet haben.

e) Berechnen Sie die gesamte Leistung und den thermischen Wirkungsgrad des Gesamtprozesses. Nehmen Sie eine Abgastemperatur nach dem Abhitzeessel von  $T_{\text{ab}} = 90^{\circ}\text{C}$  an.

**Beim Ablesen von Werten aus den Wasserdampf-Tabellen ist der naheste tabellierte Wert zu verwenden! Es sind KEINE Interpolationen durchzuführen (Ausnahme ND-Gebiet)!**

### Aufgabe 8 (7 Punkte)

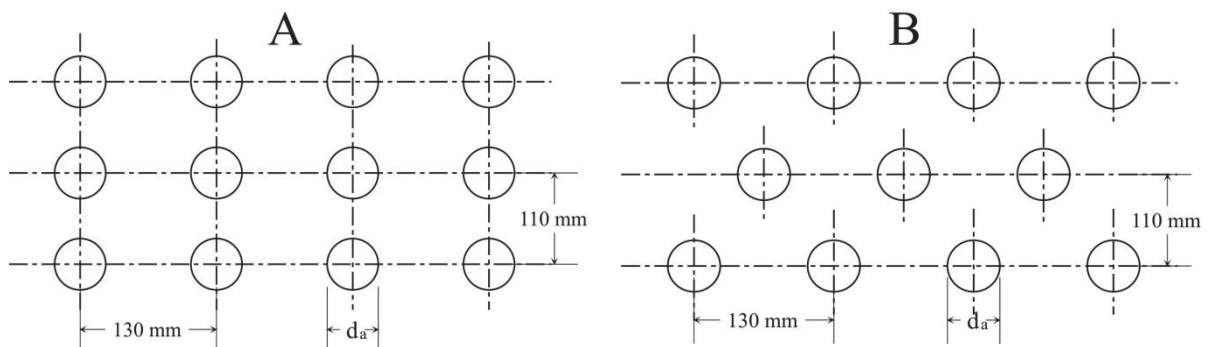
In einem Kraftwerksprozess soll Wasser bei der Siedetemperatur  $T_S = 320^\circ\text{C}$  verdampft werden. Dazu ist ein Wärmestrom von  $\dot{Q} = 500 \text{ kW}$  nötig, der von Rauchgas mit der mittleren Temperatur von  $T_m = 400^\circ\text{C}$  geliefert wird. Berechnen Sie für die beiden Rohrbündelheizflächen A, B (siehe Skizze) wie viele Rohrreihen in Strömungsrichtung nötig sind. Gehen Sie davon aus, dass mehr als 10 Rohrreihen benötigt werden. Die Oberflächentemperatur der Rohre kann in erster Näherung gleich der Siedetemperatur des Wassers gesetzt werden.

Es sind folgende Größen gegeben:

- |   |                             |
|---|-----------------------------|
| ⇒ Anströmwinkel:                                    | $\delta = 12^\circ$         |
| ⇒ Rohraußendurchmesser:                             | $d_a = 0,052 \text{ m}$     |
| ⇒ mittlere Anströmgeschwindigkeit:                  | $w_\infty = 13 \text{ m/s}$ |
| ⇒ Anzahl der Rohrreihen quer zur Strömungsrichtung: | $Z = 11$                    |
| ⇒ Länge der Rohre:                                  | $l = 4,5 \text{ m}$         |

Stoffwerte vom Rauchgas bei  $400^\circ\text{C}$ :

- |                          |  |
|--------------------------|--|
| ⇒ Dichte:                | $\rho = 0,517 \text{ kg/m}^3$                                |
| ⇒ Wärmeleitfähigkeit:    | $\lambda = 49,96 \cdot 10^{-3} \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$ |
| ⇒ Wärmekapazität:        | $c_p = 1069 \text{ J/(kg} \cdot \text{K)}$                   |
| ⇒ dynamische Viskosität: | $\eta = 33,35 \cdot 10^{-6} \text{ kg/(m} \cdot \text{s)}$   |
| ⇒                        |  |



**Aufgabe 9** (6 Punkte)

In einem Naturumlauf-Dampferzeuger wird gesättigter Dampf bei einem Druck von 110 bar erzeugt. Der Dampfmassenstrom beträgt  $\dot{m}_D = 174,71$  kg/s.

Der Kessel hat eine quadratische Grundfläche mit  $n_{\text{Seite}} = 100$  Siederohren an jeder der vier Wandflächen. Die Länge der Rohre bzw. die Höhe des Kessels beträgt  $L = H = 10$  m.

Folgende Daten sind gegeben:

⇒ Dichte der siedenden Flüssigkeit:	$\rho' = 671,73$ kg/m <sup>3</sup>
⇒ Dichte des gesättigten Dampfes:	$\rho'' = 62,48$ kg/m <sup>3</sup>
⇒ Verdampfungsenthalpie:	$r_V = 1258,7$ kJ/kg
⇒ Erdbeschleunigung:	$g = 9,81$ m/s <sup>2</sup>
⇒ Rohrinnendurchmesser:	$d_i = 0,05$ m
⇒ Rohraußendurchmesser:	$d_a = 0,07$ m
⇒ Druckverlustbeiwert:	$\lambda = 0,15$
⇒ Massenstromdichte:	$\Phi_{SR} = 825,64$ kg/m <sup>2</sup> s

a) Skizzieren Sie das Prinzip des Kessels und beschriften Sie die Bestandteile

Berechnen Sie:

- den zugeführten Wärmestrom  $\dot{Q}_{zu}$   
und die spezifische Heizflächenbelastung  $\dot{q}_{zu}$
- die Umlaufzahl  $U$
- die treibende Druckdifferenz  $\Delta p$

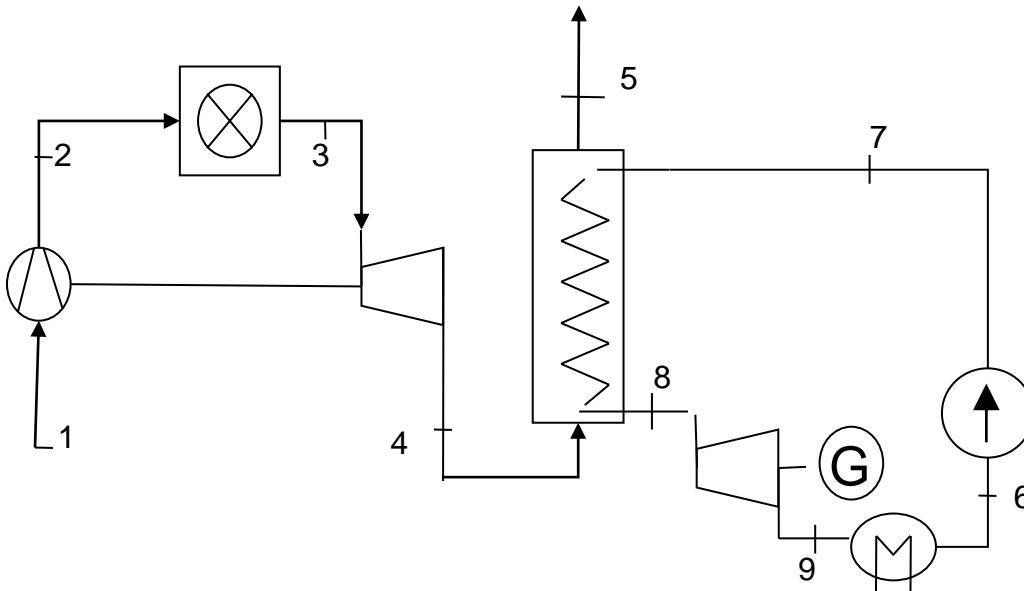
**Verwenden Sie nicht die Näherung für dünne Rohrwände und benutzen Sie nicht die Vereinfachung für die mittlere Dichte in der Zweiphasenströmung!**



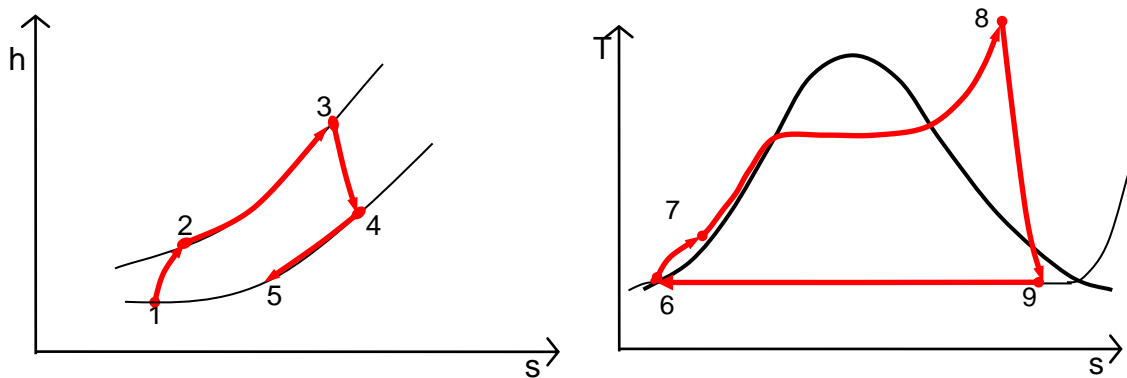
## Lösungen

### Aufgabe 7: (8 Punkte)

a)



b)



c)

$$T_2 = 629,93 \text{ K} \quad T_{2s} = 596,25 \text{ K}$$

$$a_v = 336,78 \text{ kJ/kg}$$

$$T_4 = 924,68 \text{ K} \quad T_{4s} = 822,62 \text{ K}$$

$$a_T = -748,47 \text{ kJ/kg}$$

$$\eta_{th} = 0,3946$$

d)

$$h_8 = h(40 \text{ bar}, T_8) = 3558,6 \text{ kJ/kg}$$

$$h_{9s} = 2263,58 \text{ kJ/kg} \quad h_9 = 2380,14 \text{ kJ/kg}$$

$$a_T = -1178,46 \text{ kJ/kg}$$

$$h_6 = h_6 = h'(0,08 \text{ bar}) = 173,86 \text{ kJ/kg}$$

$$\eta_{th} = 0,3482$$

e) (Energiebilanz um Wärmetauscher)

$$P_{ges} = P_{GT} + P_{DT} = 248,46 \text{ MW}$$

$$P_{GT} = 168,46 \text{ MW}$$

$$Q_{Zu,GT} = 426,88 \text{ MW}$$

$$\eta_{th} = 0,582$$

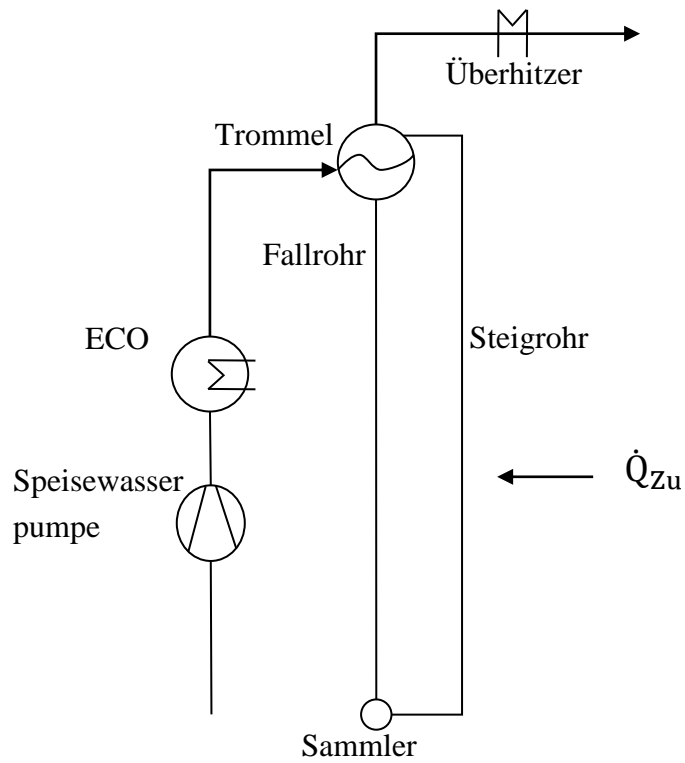
**Aufgabe 8** (7 Punkte)

$$\dot{Q} = \alpha \cdot A \cdot \Delta T \text{ mit } A = \pi \cdot d_a \cdot l \cdot \underline{n} \cdot Z$$

	a)	b)
$\alpha$ [W/(m <sup>2</sup> K)]	40,004	41,066
$Nu_B$ [-]	65,40	67,14
$Nu_L$ [-]	51,057	
$Nu_{L,lam}$ [-]	40,661	
$Nu_{L,turb}$ [-]	30,381	
$f_A$	1,281	1,315
$Re_L$	4990,188	
$Pr$	0,714	
$n$	20 (19,3)	19 (18,8)

**Aufgabe 9** (6 Punkte)

a)



b)

$$\dot{Q}_{Zu} = 219907 \text{ kW}$$

$$A = 439,8 \text{ m}^2$$

$$\dot{q}_{Zu} = 500 \text{ kW/m}^2$$

c)

$$U = 3,712$$

d)

$$\Delta p = 23864,8 \text{ Pa (a. 0,239 bar)}$$