



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

Moderne Gasturbinen zur Stromerzeugung (ohne Zwischenüberhitzung) sind mit einem Druckverhältnis von ca. 17 und einer Turbineneintrittstemperatur von ca. 1250°C ausgeführt.

- a) Warum sind diese Gasturbinen mit einem Druckverhältnis von 17 ausgeführt?
- b) Sie sollen den Wirkungsgrad der Gasturbine erhöhen. Welche Prozessgröße ändern Sie primär? Begründen Sie Ihre Antworten!

**Aufgabe 2** (1,5 Punkte)

Welche Vorteile zeichnet die Wirbelschichtfeuerung gegenüber anderen konventionellen Feuerungsarten aus?

**Aufgabe 3** (1 Punkt)

Welche Aufgaben haben die so genannten „Sammler“ in Dampferzeugern?

**Aufgabe 4** (1,5 Punkte)

Der Wirkungsgrad von kombinierten Gas- und Dampfturbinenkraftwerken mit Kohlevergasung ist deutlich geringer, als derjenige von konventionellen GuD-Kraftwerken. Nennen Sie die Gründe hierfür.

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

- a) Welche Gasbestandteile müssen bei der Gasstrahlung in Verbrennungsgasen fossiler Brennstoffe berücksichtigt werden?
- b) Warum ist Ruß in Abgasen für den Strahlungsaustausch besonders wichtig?

Die Antworten der Kurzfragen können dem Skript entnommen werden!

**Aufgabe 6** (2 Punkte)

Zur Beheizung einer Gussform sollen in einem Stahlwerk vier Gasbrenner mit einer thermischen Leistung von jeweils 1 MW angeschafft werden. Am Einsatzort liegen sowohl eine Erdgasleitung als auch eine Gichtgasleitung vor.

Ein Vorteil des im Werk als Prozessprodukt anfallenden Gichtgases ist die kostenlose Verfügbarkeit. Im Gegensatz dazu beträgt der Erdgaspreis 0,039 €/kWh. Für den Betrieb der Anlage mit dem Gichtgas ist ein einmaliger Umbau der Brenner erforderlich, der mit Kosten in Höhe von jeweils 30.000 € verbunden ist.

Die Amortisationszeit soll ein Jahr betragen. Dabei sind die Brenner 360 Tage á 24 Stunden im Einsatz. Berechnen sie die günstigere der beiden Alternativen! (Für die Berechnung müssen Zinseffekte nicht berücksichtigt werden).

**Gichtgas ist mit 120.000 €/a im Vergleich zu Erdgas 1.347.840 €/a günstiger!**

**Aufgabe 7** (7 Punkte)

Ein Steinkohlekraftwerk wird aus prozesstechnischen Gründen mit einer Mischung aus den Steinkohlen China ( $H_U = 30998 \text{ kJ/kg}$ ) und Walsum ( $H_U = 32022 \text{ kJ/kg}$ ) gefeuert. Die Massenströme der beiden Steinkohlen werden zu  $\dot{m}_{\text{China}} = 16,3 \text{ kg/s}$  und  $\dot{m}_{\text{Walsum}} = 32,7 \text{ kg/s}$  eingestellt.

Weitere Daten sind:

⇒ Frischdampfdruck:	$p_{\text{FD}} = 170 \text{ bar}$
⇒ Kondensatordruck	$p_{\text{K}} = 0,025 \text{ bar}$
⇒ Frischdampftemperatur:	$T_{\text{FD}} = 560 \text{ °C}$
⇒ Frischdampfmassenstrom:	$\dot{m}_{\text{FD}} = 1540 \text{ t/h}$
⇒ Turbinenwirkungsgrad:	$\eta_{\text{T}} = 0,82$
⇒ Pumpenwirkungsgrad:	$\eta_{\text{P}} = 0,93$

Vereinfachungen:

- ⇒ Der Zustand des Kondensates (Zustandspunkt 1) liegt auf der Siedelinie.
- ⇒ Beim Ablesen von Werten aus den Wasserdampf Tafeln ist der nächste tabellierte Wert zu verwenden! Es sind – außer im Nassdampfgebiet – **keine** Interpolationen durchzuführen.

Zeichnen Sie:

- a) ein Schema des Kreisprozesses mit allen wesentlichen Komponenten und tragen Sie den Kreisprozess qualitativ in ein T,s-Diagramm ein.

Berechnen Sie:

- a) den Kesselwirkungsgrad.
- b) die Turbinen- und Pumpenleistung.
- c) den thermischen Wirkungsgrad.

**Aufgabe 8** (6 Punkte)

In einem Naturumlauf-Dampferzeuger wird Frischdampf bei einem Druck von  $p = 120$  bar erzeugt. Der gesamte Dampfmassenstrom beträgt  $\dot{m}_D = 183,66$  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:	$\rho' = 654,96$ kg/m <sup>3</sup>
⇒ Dichte des gesättigten Dampfes:	$\rho'' = 70,01$ kg/m <sup>3</sup>
⇒ Verdampfungsenthalpie:	$r_v = 1197,4$ kJ/kg
⇒ Erdbeschleunigung:	$g = 9,81$ m/s <sup>2</sup>
⇒ Rohrinne Durchmesser:	$d_i = 0,05$ m
⇒ Rohraußendurchmesser:	$d_a = 0,07$ m
⇒ Druckverlustbeiwert:	$\lambda = 0,15$
⇒ Massenstromdichte:	$\Phi_{SR} = 801,28$ kg/m <sup>2</sup> s

Berechnen Sie:

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

### Aufgabe 9 (8 Punkte)

Für ein einzelnes Siederohr der Länge  $L = 1 \text{ m}$  ist der resultierende Druckverlust aus der Summe der Verluste in Vorwärm- und Verdampferabschnitt zu berechnen. Dazu sind folgende Größen gegeben:

- |                         |   |
|-------------------------|---|
| ⇒ Leitungsdruck:        | $p = 15 \text{ bar}$                          |
| ⇒ Unterkühlung:         | $\Delta h_V = (h' - h_E) = 300 \text{ kJ/kg}$ |
| ⇒ Massenstrom:          | $\dot{m} = 2 \text{ kg/s}$                    |
| ⇒ Rohrinne Durchmesser: | $D = 0,05 \text{ m}$                          |
| ⇒ Druckverlustbeiwert:  | $\lambda = 0,15$                              |

Stoffgrößen bei 15 bar:

- ⇒  $v' = 0,0011539 \text{ m}^3/\text{kg}$
- ⇒  $v'' = 0,1317 \text{ m}^3/\text{kg}$
- ⇒  $h' = 844,67 \text{ kJ/kg}$
- ⇒  $r = 1945,2 \text{ kJ/kg}$

Das spezifische Volumen am Eintritt entspricht etwa dem Zustand auf der Siedelinie ( $v_E = v'$ ).

- a) Bestimmen Sie die benötigte Beheizung  $\dot{Q}$  und den aus der Vorwärm- und der Verdampferstrecke resultierenden Druckverlust  $\Delta p$  für einen Dampfgehalt am Austritt von  $x_A = 0,1028$ .
- b) Berechnen Sie den resultierenden Druckverlust bei einer Unterkühlung  $\Delta h_V = 0$ . Der Leitungsdruck, die Beheizung, der Rohrinne Durchmesser und der Druckverlustbeiwert bleiben unverändert. Der Dampfgehalt am Austritt beträgt jetzt  $x_A = 0,257$ .
- c) Durch welche prozesstechnischen und konstruktiven Maßnahmen kann die Stabilität der Druckverlust-Kennlinie eines durchströmten Verdampferrohres positiv beeinflusst werden? Begründen Sie ihre Antwort!
- d) Ermitteln Sie die dynamische Viskosität  $\eta$  des Wassers im Vorwärmabschnitt ( $v = v'$ ). Den gültigen Zusammenhang zwischen Druckverlustbeiwert und Reynolds-Zahl verrät Ihnen das Nikuradse-Diagramm. Erscheint Ihnen der Wert für  $\eta$  eher zu hoch oder zu niedrig?

## Lösungen

### Aufgabe 7:

b)  $\eta_K = 0,9242$

c)  $P_t = -544,409 \text{ MW}$ ,  $P_t = 5,176 \text{ MW}$

d)  $\eta_{th} = 0,376$

### Aufgabe 8:

a)  $\dot{q}_{zu} = 0,5 \text{ MW/m}^2$ ,  $\dot{Q}_{zu} = 219,914 \text{ MW}$

b)  $x = 0,292$

c)  $\Delta p = 22782,5 \text{ Pa}$

### Aufgabe 9:

a)  $\dot{Q} = 999,93 \text{ kJ/s}$ ,  $\Delta p = 5972,95 \text{ Pa}$

b)  $\Delta p_v = 27902,87 \text{ Pa}$

d)  $\eta = 0,119 \text{ kg/(s m)} \rightarrow \text{hoch!}$