

**Übungsaufgaben 4: Kraft-Wärme-Kopplung (KWK)****1. Wärmebereitstellung mit Satttdampf oder Heizdampf**

Ein Verbraucher benötigt einen Wärmestrom  $\dot{Q} = 150 \text{ MW}$  mit einer Mindesttemperatur von  $t_D = 200 \text{ °C}$  Dampf (entsprechend  $p_D = 1,555 \text{ MPa}$ ).

- Welcher Massenstrom Dampf muss zur Verfügung gestellt werden, wenn der Dampf mit Satttdampfparametern in einem Dampfkessel erzeugt wird?
- Welcher Brennstoffmassenstrom ( $H_i = 18 \text{ MJ/kg}$ ) wird benötigt, wenn der Kessel mit einem Wirkungsgrad  $\eta_K = 0,92$  arbeitet?
- Wie ändern sich Dampfstrom und Brennstoffaufwand, wenn der Verbraucher durch gedrosselten Frischdampf ( $p_I = 10 \text{ MPa}$  und  $t_I = 450 \text{ °C}$ ) aus dem Dampferzeuger eines Kraftwerks mit gleichem Wirkungsgrad versorgt wird?

**2. Kondensationskraftwerk**

Ein Verbraucherschwerpunkt benötigt eine elektrische Leistung von  $P = 30 \text{ MW}$ , die mit einem DKP bereitgestellt wird.

Der Dampfkessel hat einen Wirkungsgrad von  $\eta_K = 0,92$ , er Frischdampf für die Turbinen wird mit  $p_I = 10 \text{ MPa}$  und  $t_I = 450 \text{ °C}$  erzeugt. Die Turbine arbeitet mit einem Isentropenwirkungsgrad von  $\eta_{is} = 0,88$ . Der Kondensatordruck beträgt  $p_K = 4 \text{ kPa}$ .

Als Brennstoff dient Biomasse mit einem Heizwert  $H_U = 18 \text{ MJ/kg}$ .

Bestimmen Sie die Enthalpien  $h_{1-3}$ , berechnen Sie den thermischen Wirkungsgrad und den benötigten Dampf- und Brennstoffmassenstrom.

**3. Vergleich getrennte Erzeugung und KWK**

Ein Verbraucherschwerpunkt benötigt eine elektrische Leistung von  $P = 30 \text{ MW}$  und einen Wärmestrom  $\dot{Q} = 150 \text{ MW}$  (Dampf mit  $p_D = 1,55 \text{ MPa}$ , Mindesttemperatur  $t = 200 \text{ °C}$ ).

Vergleichen Sie anhand des benötigten Dampf- und Brennstoffmassenstroms sowie der Brennstoffaufwandskennzahl

- getrennte Erzeugung in einem Heizwerk und einem Kondensationskraftwerk
- Bereitstellung in einer reinen Gegendruckanlage

Die Dampfkessel haben einen Wirkungsgrad von  $\eta_K = 0,92$  und die Turbine einen Wirkungsgrad von  $\eta_{is} = 0,88$ . Als Brennstoff dient Biomasse mit einem Heizwert  $H_U = 18 \text{ MJ/kg}$ . Der

Frischdampf für die Turbinen soll mit  $p_I = 10 \text{ MPa}$  und  $t_I = 450 \text{ °C}$  erzeugt werden. Der Kondensatordruck beträgt  $p_K = 4 \text{ kPa}$ . Die Umgebungstemperatur betrage  $t_U = 20 \text{ °C}$ . Als Nutzen des Heizdampfes wird seine Wärmeabgabe bei Abkühlung und Kondensation betrachtet. Die Speisepumpenarbeiten können vernachlässigt werden.

- Wie ändern sich die Verhältnisse, wenn der Wärmebedarf nur  $\dot{Q} = 60 \text{ MW}$  beträgt? Ermitteln Sie die Kennzahlen jetzt auch für
- die verbundene Gegendruckturbine.

#### 4. Elektroenergie- und Dampfversorgung eines chemischen Betriebes

Ein chemischer Betrieb ist mit einer elektrischen Leistung von  $P = 3,2$  MW, einem Dampfstrom von  $\dot{m}_{e1} = 1,1$  kg/s bei 1 MPa und einem Dampfstrom von  $\dot{m}_{e2} = 1,25$  kg/s bei 0,3 MPa zu versorgen. Als Frischdampf steht Dampf mit  $p_l = 3,5$  MPa und  $t_l = 400$  °C zur Verfügung.

Folgende Maschinensysteme sind hinsichtlich ihres Dampfverbrauches zu vergleichen:

1. Gegendruckturbine mit einer Entnahme bei 1 MPa und einem Gegendruck von 0,3 MPa.
2. Kondensationsturbine mit zwei Entnahmen bei 1 MPa und 0,3 MPa und mit einem Kondensatordruck von 8 kPa.

Vereinfachend sollen alle Turbinenwirkungsgrade mit  $\eta_l = 0,88$  angenommen werden.

Die Ergebnisse und die Auswahl der günstigsten Variante sind zu erläutern.