

**Aufgabe 1)**

Wodurch zeichnen sich Speicherkraftwerke im Vergleich zu Laufwasserkraftwerken aus?

**Aufgabe 2)**

Nennen Sie mindestens vier Primärmaßnahmen zur Reduktion der Stickoxidbildung in Kraftwerken.

**Aufgabe 3)**

Nennen Sie typische Einsatzbereiche für Kaplan-, Pelton- und Francis-Turbinen zur Wasserkraftnutzung. Geben Sie an, bis zu welchen Nennfallhöhen die jeweiligen Turbinenarten optimal eingesetzt werden. Verwenden Sie folgende Matrix:

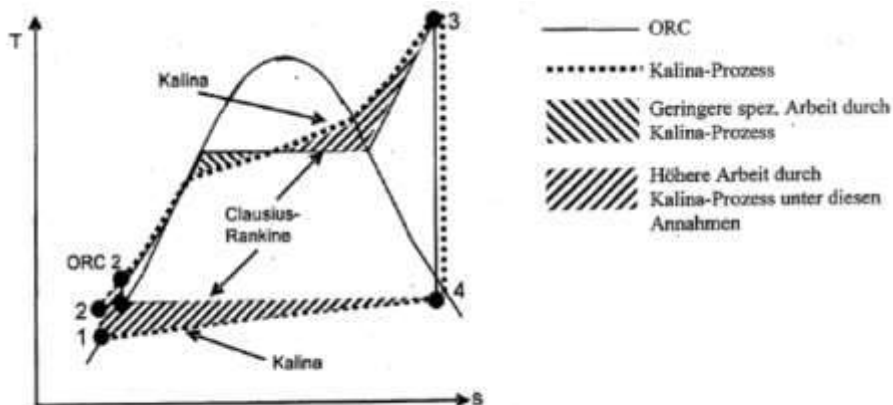
Name	Typ	Nennfallhöhe	Einsatzbereich
Kaplan-Turbine (mit und ohne spiralförmigen Einlauf)			
Francis-Spiralturbine			
Pelton-Turbine			

**Aufgabe 4)**

- a) Wie viel Energie kann bei vollständiger Spaltung von 1 g Uran frei werden? Annahme:  $\Delta EB = 200$  MeV. Angaben der Lösung in J und in MWd.
- b) Wie groß ist der Masseverlust bei den Reaktionsprodukten eines mit U 235 arbeitenden Reaktors in einem Jahr bei einer thermischen Kraftwerksleistung von 1000 MW? Angabe auch in kWh!
- c) Wie viel Tonnen Steinkohle muss man verbrennen, um die gleiche thermische Leistung 1 Jahr lang bereitzustellen? Der Heizwert der Steinkohle sei  $H_u = 29,3$  MJ/kg.
- d) Welcher Faktor ergibt sich als Verhältnis der Energiedichte von U 235 und Steinkohle?

**Aufgabe 5)**

Begründen Sie auf Basis der Abbildung grafisch durch Flächenbetrachtungen unter Angabe der zugeführten und abgeführten spezifischen Wärmen warum der Kalinaprozess im Vergleich zum ORC-Prozess bei gleichen Turbineneintrittszustand und gleichem Austrittszustand den besseren Wirkungsgrad aufweist.



**Aufgabe 6)**

Eine Insel im Nordatlantik wird zentral durch ein Heizkraftwerk mit Strom und Wärme, die über ein Wärmenetz verteilt wird, versorgt. Das Kraftwerk besteht aus drei baugleichen Gasmotoren-BHKW und zwei erdgasgasbefeuerten Spitzenlastkesseln. Technische Daten eines Motors: 16-Zylinder ( $z = 16$ ) 4-Takt, Bohrung  $d = 170$  mm, Hub  $s = 185$  mm, Nenndrehzahl  $1.500 \text{ min}^{-1}$ , Verdichtungsverhältnis  $\varepsilon = 10,5$ , effektiver Mitteldruck  $p_{me} = 22,5$  bar, mechanischer Wirkungsgrad  $\eta_m = 0,85$ , Generatorwirkungsgrad  $\eta_G = 0,94$ , Brennstoff: Erdgas  $H_u = 9,5 \text{ kWh/m}^3$ , Isentropenexponent  $\kappa = 1,35$

Berechnen Sie folgende Größen für einen Gasmotor:

- Gesamthubvolumen  $V_{hges}$  und Restvolumen eines Zylinders  $V_k$  in  $\text{dm}^3$
- Wirkungsgrad des Otto-Vergleichsprozesses  $\eta_{th,Otto}$  in %
- Elektrische Leistung  $P_{el,BHKW}$  des realen Motors in kW
- Elektrischen Wirkungsgrad  $\eta_{el,BHKW}$  des realen Motors in %
- Zugeführter Wärmestrom  $\dot{Q}_{zu}$  in kW
- zugeführte Gasmenge  $\dot{V}_{zu}$  in  $\text{m}^3/\text{h}$

Die nutzbare ausgekoppelte Wärme setzt sich zusammen aus der Gemischkühlung mit 538 kW, der Ölkühlung mit 153 kW und der Motorkühlung mit 228 kW. Die Abgastemperatur am Austritt des Motors beträgt  $380^\circ\text{C}$  und der Abgasmassenstrom  $7.992 \text{ kg/h}$ . Das Abgas soll auf  $130^\circ\text{C}$  abgekühlt werden. Die Wärmekapazität des Abgases beträgt  $1,0 \text{ kJ/kgK}$ .

Berechnen Sie folgende Größen:

- nutzbare Abgaswärme  $Q_{th,Abgas}$  in kW
- gesamte thermische Leistung  $Q_{th,BHKW}$  eines Motors in kW
- thermischer Wirkungsgrad  $\eta_{th,BHKW}$  (gesamte thermische Leistung/zugeführte Leistung) in %
- Gesamtwirkungsgrad oder Brennstoffnutzungsgrad  $\eta_{ges,BHKW}$  in %
- Stromkennzahl  $S$

In den Monaten Oktober bis März (180 Tage) werden  $15,5 \text{ GWh}$  Strom und  $25,0 \text{ GWh}$  Wärme benötigt. Berechnen Sie für diesen Zeitraum unter der Annahme, dass die Motoren-Kenndaten im Voll- und Teillastbereich gleich sind und die Strom- und Wärmelast gleichmäßig auf alle Tage verteilt ist

- die mittleren Betriebsstunden  $B_{hBHKW}$  je BHKW in h
- die Wärmeerzeugung der beiden Spitzenlastkessel in GWh
- den Anteil der gesamten BHKW-Wärmeerzeugung am Gesamtbedarf in %

Es soll der Einsatz einer Hochtemperaturwärmepumpe in dem o.g. Zeitraum überprüft werden. Die Hochtemperaturwärmepumpe kann die ungenutzte Abwärme aus der 2. Stufe des Gemischkühlers (ca.  $40^\circ\text{C}$ ) auf die Vorlauftemperatur des Wärmenetzes anheben.

Informationen und Daten zur Wärmepumpe: Kalte Seite 40 °C entspricht der Gemischkühler Temperatur, heiße Seite 90 °C entspricht der Vorlauftemperatur im Wärmenetz, Verdampferleistung (kalte Seite)  $Q_{zu} = 510 \text{ kW}$ , Leistungszahl  $\varepsilon = 3,9$

Berechnen Sie:

- o) die elektrische Leistungsaufnahme  $P_m$  der Wärmepumpe in kW
- p) sowie die Heizleistung  $\dot{Q}_{WP}$  der Wärmepumpe in kW

Durch die Nutzung der Wärmepumpe werden Gesamtstrombedarf und weitere Kenndaten beeinflusst. Berechnen Sie hierzu erneut:

- q) mittleren Betriebsstunden  $Bh_{BHKW}$  der BHKW in h
- r) den Anteil der BHKW-Wärmeerzeugung am Gesamtbedarf in %
- s) den Anteil der Wärmeerzeugung aus der Wärmepumpe am Gesamtbedarf in %
- t) erzeugte Wärme aus den Spitzenlastkessel

### Aufgabe 7)

Zeichnen Sie das Anlagenschema eines Kalkwaschverfahrens für den Einsatz bei der Reinigung von Kraftwerksrauchgasen. Geben Sie die wesentlichen chemischen Reaktionsgleichungen an.

### Aufgabe 8)

Für ein Fernwärmenetz liefert ein GUD-Heizkraftwerk 28500 kg/h Dampf von 5 bar. Der Dampf wird restlos aus dem Abdampf einer einstufigen Gegendruck-Dampfturbine gedeckt. Die Druck- und Temperaturverluste in den Leitungen des Fernwärmenetzes sollen vernachlässigt werden. Der Dampf soll im Verbraucher auf 20 °C abgekühlt werden (Zustandspunkt III) und anschließend wieder dem Dampferzeuger zugeführt werden. Der Dampf tritt in die adiabate Turbine mit 50 bar und 500 °C (Zustandspunkt I) ein. Die Pumpenarbeit soll im Eigenbedarf berücksichtigt werden. Die Rohrleitungsverluste im Dampferzeuger und die Änderungen der kinetischen und der potenziellen Energien sollen vernachlässigt werden.

Die Turbinenabgase der vorgeschalteten Gasturbinenanlage werden als Sauerstoffträger dem Dampferzeuger mit einer Heizöl-Zusatzfeuerung von 25,18 MW zugeführt. Der Ausnutzungsgrad beträgt 70 %. Die Gasturbinenanlage wird mit leichtem Heizöl betrieben. Die zugeführte Brennstoffleistung beträgt 18 MW. Sie soll gleich der zugeführten Wärmeleistung sein. Der Verdichter und die Turbine der Gasturbinenanlage sind adiabat. Wirkungsgrade:  $\eta_m = 0,98$ ;  $\eta_{gen} = 0,99$ ;  $\eta_{ei} = 0,95$  (für beide Prozesse).

- a) Berechnen Sie die Nettoleistung der Dampfturbinenanlage. (Verwenden Sie dazu das  $h,s$  Diagramm im Lehrbuch Thermodynamik)
- b) Welche Wärmeleistung wird im Fernwärmenetz abgegeben?
- c) Welche Wärmeleistung wird vom Wasser/Dampfkreislauf der Dampfkraftanlage im Dampferzeuger aufgenommen?
- d) Wie groß ist die Nettoleistung der Gasturbinenanlage?
- e) Wie groß ist der Gesamtwirkungsgrad des GUD-Heizkraftwerks (einschließlich der ausgenutzten Wärme ins Fernwärmenetz!)

