

Lösungen zur schriftlichen Prüfung aus VO Kraftwerke am 10.10.2016

Hinweis: Bei den Berechnungen wurden alle Zwischenergebnisse in der technischen Notation¹ (Format ENG) dargestellt und auf drei Nachkommastellen gerundet. Für die weitere Rechnung wurde das gerundete Ergebnis verwendet.

Abhängig vom Rechenweg kann es aber dennoch zu leicht abweichenden Ergebnissen kommen!

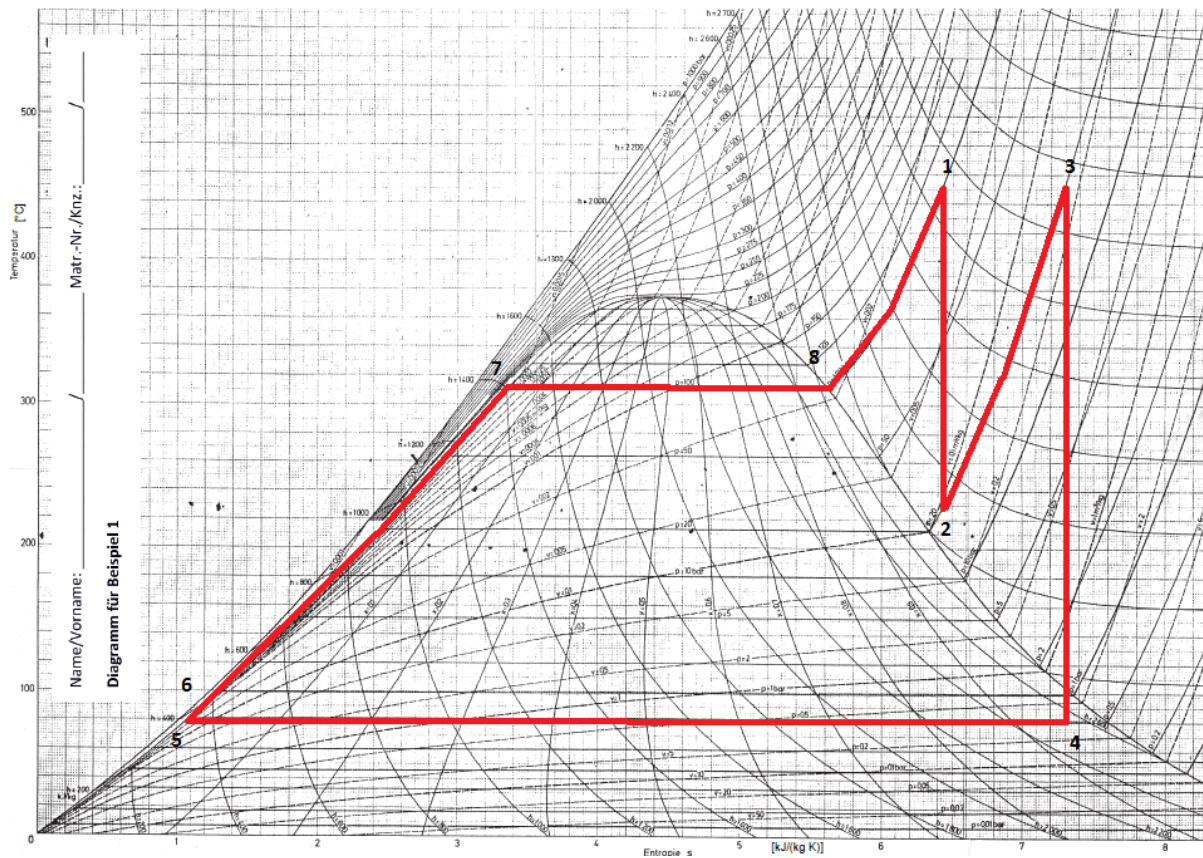
1. Beispiel 1: Auslegung eines Dampfkraftwerks

a. Gegeben sind folgende Werte einer Momentaufnahme eines Kohlekraftwerkes. **Vervollständigen** Sie folgende Tabelle, soweit es **ohne Berechnung** möglich ist.

Nr.	Komponente	Temperatur danach	Druck danach
5	Kondensator	81,32° C	0,5 bar
6	Speisewasserpumpe	81.8° C	100bar
7	Vorwärmer	311° C	100bar
8	Verdampfer	311° C	100bar
1	Überhitzer	450° C	100bar
2	Hochdruckturbine		20 bar
3	Zwischenüberhitzer	450° C	20 bar
4	Niederdruckturbine	81,32° C	0,5 bar

¹ http://de.wikipedia.org/wiki/Wissenschaftliche_Notation

b. Tragen Sie die Punkte 1–8 aus obiger Tabelle in das beiliegende T-s Diagramm ein. **Vervollständigen** Sie anschließend das T-s Diagramm.



c. Berechnen Sie den **Dampfgehalt** in % vor dem Kondensator.

$$x = 0,953 \tag{1.1}$$

Der Dampfgehalt am Ende der Expansion sollte einen Wert von $x = 0,9$ kg/kg (Dampfanteil zu Wasseranteil) nicht unterschreiten. Sonst besteht die Gefahr von Tropfenschlag auf die Turbinenschaufeln. Hierdurch werden die Endschaufeln (letzte Schaufelreihe der Niederdruckturbinen) durch Tropfenschlag erodiert, d.h. es wird Material aus den Schaufeln herausgelöst. Der Dampfanteil liegt hier über 90%, sodass keine Probleme mit Tropfenschlag auftreten.

d. Berechnen Sie die spezifische Arbeit zur Verdichtung durch die Speisewasserpumpe.

$$w_{56} = 10,248 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \tag{1.2}$$

e. Berechnen Sie die spezifische Energie, welche maximal zur Fernwärmeauskopplung herangezogen werden kann.

$$q_{45} = -2196,398 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \tag{1.3}$$

f. Berechnen sie den **Wirkungsgrad** des Kreisprozesses mit Zwischenüberhitzung und unter Berücksichtigung der Fernwärmeauskopplung aus e.

Der Wirkungsgrad lässt sich jetzt aus den einzelnen Enthalpieänderungen und der Berücksichtigung von Speisewasserpumpe und Fernwärmeauskopplung berechnen:

$$\eta = 84,2\% \quad (1.4)$$

2. Kohlekraftwerk mit Entschwefelung

a. Welche **Brennstoffzufuhr** ist für das Fahren unter Nennleistung notwendig?

$$\dot{m}_{\text{Kohle}} = 20,5 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \quad (2.1)$$

b. Welche **Volllaststundenzahl** ergibt sich im Durchschnitt?

$$t_{\text{Vollast}} = 5420,054 \text{ h} \quad (2.2)$$

c. Welcher **Schwefelmassenstrom** ergibt sich im Abgas bei Nennleistung?

$$\dot{m}_{\text{S}} = 0,205 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \quad (2.3)$$

d. Welche **Gipsmenge** und **Volumen** fällt pro Stunde bei Volllast an ($\rho_{\text{Gips}} = 2,3 \text{ t/m}^3$)?

$$\dot{m}_{\text{gips}} = 3570,75 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \quad (2.4)$$

$$\dot{V}_{\text{gips}} = 1,552 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \quad (2.5)$$

e. Wie viele **LKW-Fahrten** sind **pro Jahr** nötig, um die, bei oben angegebenen Jahresbedarf an Steinkohle, anfallende Gipsmenge abzutransportieren (Nutzlast eines LKW = 20t)?

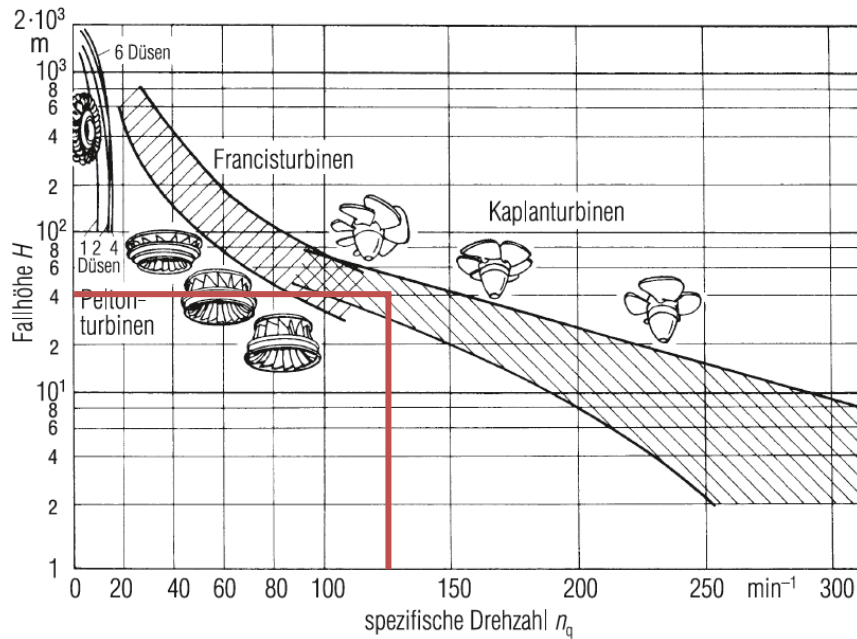
$$\text{Fahrten} \approx 968 \text{ LKW} \quad (2.6)$$

3. Auslegung einer Turbine für ein Wasserkraftwerk

a. Wie groß ist die **spezifische Drehzahl** der Turbine?

$$n_q = 125,00 \text{ min}^{-1} \quad (3.1)$$

b. Welcher **Turbinentyp** soll für das Kraftwerk verwendet werden? Benutzen Sie die untere Abbildung und das Ergebnis von Unterpunkt a. für Ihre Argumentation. **Zeichnen** Sie ihre Auswahl **in die Abbildung** ein:



➔ Auswahl: Kaplanturbine

c. Wie groß ist der **Turbinenwirkungsgrad** bei einer mechanischen Turbinenleistung $P_t = 29,17 \text{ MW}$, wenn der hydraulischer Wirkungsgrad $\eta_H = 93\%$ beträgt?

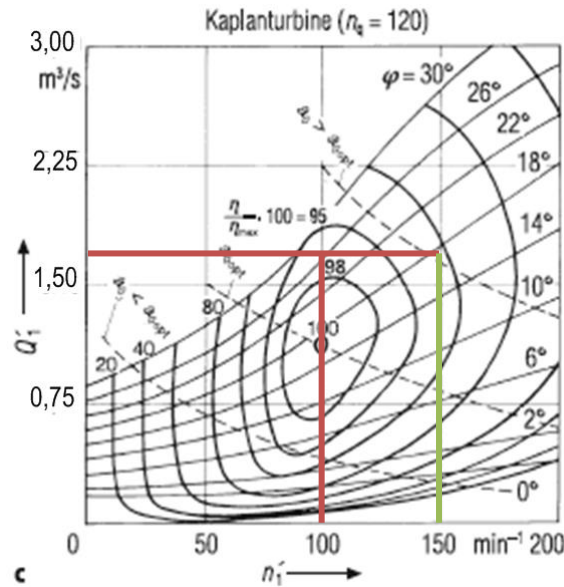
$$\eta_t = 900,02 \cdot 10^{-3} = 90\% \quad (3.2)$$

d. Welche **elektrische Leistung** weist der Turbinen-Generatorsatz auf, wenn die folgenden Wirkungsgrade gegeben sind:

Generatorwirkungsgrad	$\eta_G = 98\%$
Eigenbedarf	$\epsilon = 2,5\%$

$$P_{el} = 27,87 \text{ MW} \quad (3.3)$$

e. Wie groß ist der **Durchmesser** der Turbine für **einen optimalen Betrieb bei Nennleistung** und gegebener Drehzahl (d.h. Auslegung über n_1')?



Aus Diagramm: $n_1' \approx 100 \text{ min}^{-1}$ (= Punkt mit maximal möglichem Wirkungsgrad)

$$\frac{D}{m} = 3,00 \tag{3.4}$$

$$Q_1 = 1,56 \tag{3.5}$$

Es ergibt sich bei dieser Drehzahl ein Wirkungsgrad von ca. 96,5% des maximal möglichen Wirkungsgrades (rote Linien in Muscheldiagramm)!

f. Aufgrund eines Bestellfehlers wird ein Generator mit 2/3 der ursprünglichen Polpaarzahl geliefert. Um welchen **Faktor** ändert sich der **Turbinenwirkungsgrad** bei sonst gleichen Parametern?

n erhöht sich um den Faktor 1,5 $\rightarrow n_1' = 150 \text{ min}^{-1} \rightarrow$ Diagramm (grüne Linie)

$$\eta_{T,neu} = 94,3\% \cdot \eta_{T,alt} \tag{3.6}$$

Der Turbinenwirkungsgrad nimmt um 5,7% ab!

4. Stirlingmotor

a. Wie groß ist die erforderliche **untere Temperatur**?

$$T_1 = 338,517 \text{ K} \tag{4.1}$$

b. Wie groß sind der erforderliche **Volumenstrom in Punkt 3** und die erforderliche **obere Temperatur**?

$$\dot{V}_3 = 0,005 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \tag{4.2}$$

$$T_3 = 735,15 \text{ K} \quad (4.3)$$

c. Wie groß ist der **thermische Wirkungsgrad**?

$$\eta_{th} = 0,54 \quad (4.4)$$

d. Wie groß ist das **Arbeitsverhältnis**?

$$r_w = 0,424 \quad (4.5)$$

e. Wie groß ist die **Wellenleistung**?

$$P_{st} = -7,871 \text{ kW} \quad (4.6)$$

f. Wie groß ist die **Heizleistung des Kühlwasserkreislaufs (P_{ab})**?

$$-P_{ab} = -6,717 \text{ kW} \quad (4.7)$$

g. Wie **viele Pole** soll der verwendete Generator aufweisen, wenn das Volumen vor der Verdichtung 3,5l beträgt?

$$p = 10 \quad (4.8)$$