

Schriftliche Prüfung aus VO Kraftwerke am 22.06.2016

Name/Vorname: _____/_____ Matr.-Nr./Knz.: _____/_____

1. Beispiel 1: Gasturbine mit geschlossenem Kreislauf (25 Punkte)

Ein Joule-Prozess soll berechnet werden. Eine Gasturbine mit geschlossenem Kreislauf arbeitet mit Helium als Arbeitsmedium. Das Druckverhältnis ist $\frac{p_1}{p_4} = 10$. Die Anfangstemperatur ist $T_4 = 50^\circ\text{C}$. Die zugeführte Wärmemenge wird derart eingestellt, dass eine höchste Temperatur $T_2 = 1000^\circ\text{C}$ nicht überschritten wird. Helium kann als (eiatomiges) ideales Gas betrachtet werden.

Hinweis: $\frac{c_p}{c_v} = \kappa = 1 + \frac{2}{f}$; $c_p = 5,23 \text{ kJ}/(\text{kg K})$ für Helium

- a. (4) Wie groß ist der **thermische Wirkungsgrad**?
- b. (5) Wie groß sind die **Temperaturen** des Prozesses an den vier Punkten der Zustandsänderungen?
- c. (3) Wie groß ist der erforderliche **Wärmestrom** für eine abgegebene Nutzleistung Leistung von 1 MW?
- d. (4) Welcher **Massenstrom** des Helium-Gases in kg/s ist für diese Leistung erforderlich?
- e. (3) Wie groß ist die **Turbinenleistung**?
- f. (3) Wie groß ist die technische **Verdichterleistung**?
- g. (3) Wie groß ist das **Arbeitsverhältnis**?

2. Beispiel 2: Abgasstrom eines Gaskraftwerks (25 Punkte)

Ein mit Erdgas betriebenes Kraftwerk weist im Abgasstrom folgende Masseanteile der einzelnen Komponenten auf:

$$\dot{m}_{CO_2} = 5,89 \text{ kg/s} \quad c_p = 1,058 \text{ kJ/kgK}$$

$$\dot{m}_{H_2O} = 4,819 \text{ kg/s} \quad c_p = 2,073 \text{ kJ/kgK}$$

$$\dot{m}_{O_2} = 3,425 \text{ kg/s} \quad c_p = 1,015 \text{ kJ/kgK}$$

$$\dot{m}_{N_2} = 39,46 \text{ kg/s} \quad c_p = 1,096 \text{ kJ/kgK}$$

Hinweise:

Molmassen (alle in kg/kmol): C: 12; H: 1; O: 16; N: 14

Avogadro: $V_m = 22,4136$ Liter pro mol bei Normalbedingungen

Heizwert-Erdgas: $H_{i,V} = 35800 \text{ kJ/m}^3$

Luft: $\sim 21\%V O_2; \sim 79\%V N_2$

- (4) Wie groß ist der Luftvolumenstrom $\dot{V}_{Luft} [\text{m}^3/\text{s}]$, welcher der Verbrennung zugeführt wird?
- (4) Mit welcher Luftüberschusszahl λ wird der Kessel betrieben?
- (5) Wie groß ist der Brennstoffvolumenstrom $\dot{V}_{CH_4} [\text{m}^3/\text{s}]$?
- (4) Wie groß ist die thermische Kesselleistung P_{th} in [MW]?
- (3) Welche Verbrennungstemperatur stellt sich ein?
- (5) Wie ändert sich die Verbrennungstemperatur, wenn die Luftüberschusszahl auf $\lambda = 2,4$ erhöht wird?

3. Beispiel 3: Dampfkraftwerk (25 Punkte)

Untersucht werden soll ein Dampfkraftwerk dessen Dampfturbine aus zwei Teilen besteht; Einer Hochdruckturbine (HD) und einer Mittel/Niederdruckturbine (MD/ND). Der Dampf nach der Hochdruckturbine wird auf die Frischdampf­temperatur zwischen­überhitzt. Zudem wird ein Teil des Dampfes sowohl der Hochdruckturbine, als auch der Mittel/Niederdruckturbine zur Speisewasservorwärmung in einem Mischvorwärmer (MD/ND) bzw. Oberflächenvorwärmer (HD) abgezapft.

In Abbildung 1 ist das zugehörige TS-Diagramm des Dampfprozesses gezeigt, sowie die spezifischen Enthalpien der jeweiligen Zustände in Tabelle 1 zusammengefasst.

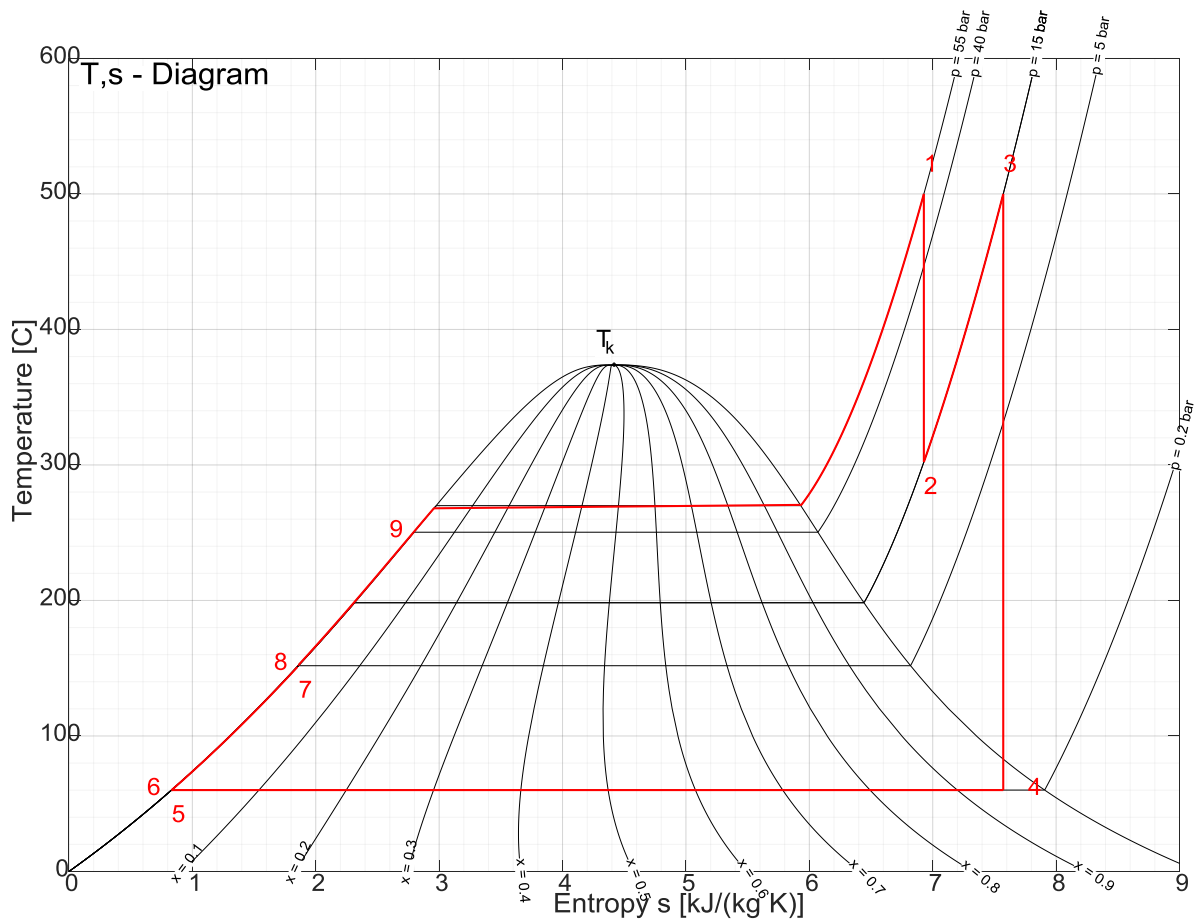


Abbildung 1: TS-Diagramm des Dampfturbinenprozesses

- (5) Zeichnen Sie ein **Ersatzschaltbild** des **Dampfkreisprozesses** und beschriften Sie die thermodynamisch relevanten Punkte in Übereinkunft mit dem gegebenen TS-Diagramm aus Abbildung 1.
- (4) Berechnen Sie den **Wirkungsgrad** des Dampfturbinenprozesses **ohne Berücksichtigung** der **Speisewasservorwärmung**.
- (3) Die Abzapfung eines Teils des Dampfes aus der HD-Turbine bzw. ND-Turbine führt zu einem verringerten Massenstrom im weiteren Prozess. Vollenden Sie das Blockschaltbild in Abbildung 2, sodass sämtliche Massenströme (über den Pfeilen), sowie Leistungen (unter den Pfeilen) in den jeweiligen Zuständen ersicht­lich werden.

Hinweis: $[\dot{m} \cdot h] = \frac{kg}{s} \cdot \frac{kJ}{kg} = kW = [P]$

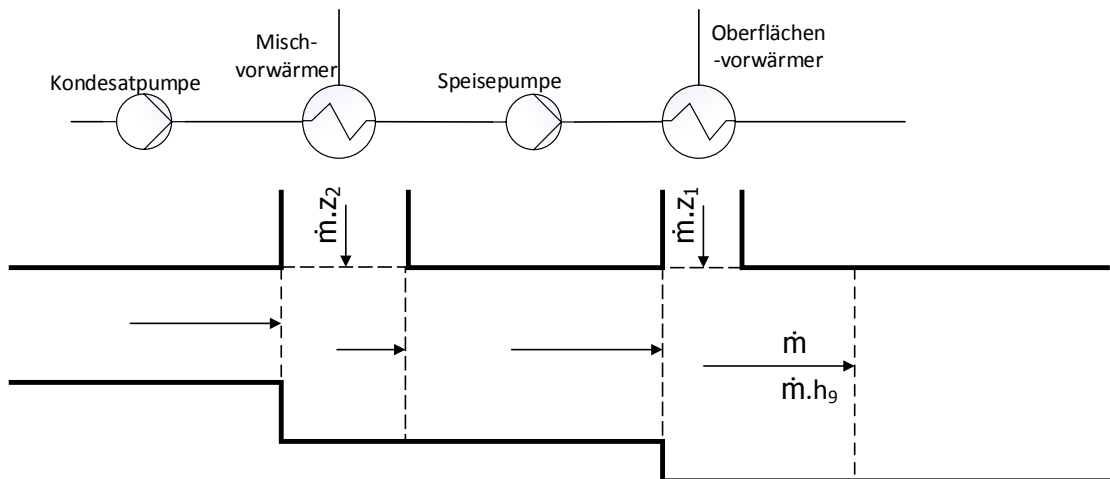


Abbildung 2: Blockschaltbild Speisewasservorwärmung

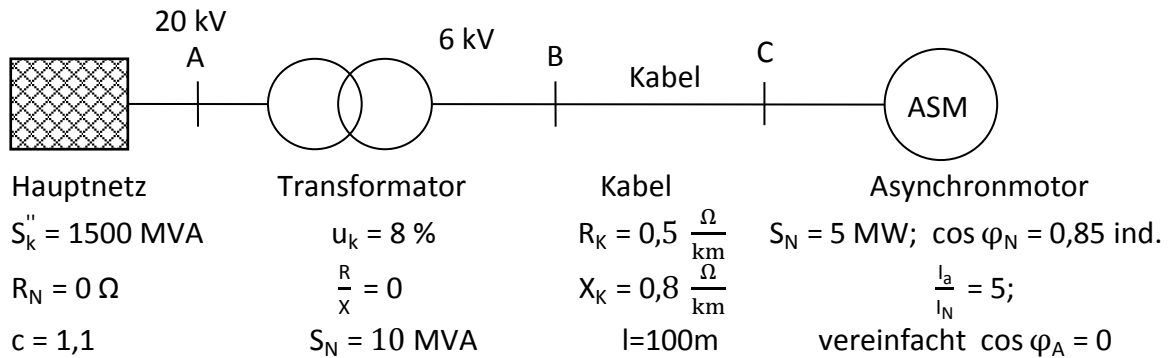
- d. (5) Leiten Sie anhand des Blockschaltbilds aus Abbildung 12 ein **Leistungsgleichgewicht** für den Mischvorwärmer, sowie den Oberflächenvorwärmer her. Berechnen Sie anhand der beiden Leistungsgleichgewichte die Anteile der **Abzapfungen** z_1 und z_2 .
- e. (8) Berechnen Sie den **Wirkungsgrad** des Dampfturbinenprozesses **mit Berücksichtigung** der **Speisewasservorwärmung**.

Zustand	h (kJ/kg)	Zustand	h (kJ/kg)
1	3428,73	5	251,40
2	3043,03	6	251,89
2a	3323,68	7	640,19
3	3473,57	8	645,65
4	2497,10	9	1087,43
4a	3129,42	9a	256,97

Tabelle 1: Die Zustände 2a und 4a beschreiben jeweils die abgezapften Anteile zur Speisewasservorwärmung. Der Zustand 9a beschreibt den Zustand vor dem Dampfkessel ohne Speisewasservorwärmung.

5. Beispiel 4: Eigenbedarf eines Kraftwerks (25 Punkte)

Ein Asynchronmotor eines Wärmekraftwerks wird für den Antrieb der Speisewasserpumpen durch das Haupt- und Reservenetz versorgt. Für die Berechnungen des Eigenbedarfsnetzes soll nur das Hauptnetz herangezogen werden.



- a. (3) Wie groß ist die **mechanische Leistung** der **Speisewasserpumpe** bei einem elektrischen Wirkungsgrad des Motors von 97%?
- b. (6) Wie groß ist der **Gesamtkurzschlussstrom** für einen **dreipoligen Kurzschluss** an der Sammelschiene C unter Berücksichtigung des Kurzschlussstrombeitrags des Motors (entspricht dem Anlaufstrom)? Ist eine 13kA Schaltanlage ausreichend?
- c. (6) Wie groß ist der **Spannungseinbruch** an der Sammelschiene C beim Anlauf des Motors?

Hinweis: Vernachlässigen Sie den Widerstandsbelag des Kabels für die weiteren Unterpunkte.

- d. (6) Wie groß darf die **bezogene Kurzschlussspannung** des **Transformators** höchstens sein, damit beim Anlauf des Motors des Spannungseinbruch an der Sammelschiene C unter 15% bleibt?
- e. (4) Eine alternative Maßnahme zur Spannungsbegrenzung beim Anlauf des Motors stellt das automatische Zuschalten einer **Kondensatorbatterie** an der Sammelschiene C dar, die die Gesamtreaktanz verringert. Wie groß muss dann die **resultierende Gesamtreaktanz** beim Anlauf des Motors sein, damit der Spannungseinbruch am Sammelschiene C 15% nicht überschreitet?