



Thermodynamik I HS 16

Prüfung

3. Februar 2017
9:00 – 11:00 Uhr

Name: _____ Vorname: _____

Legi-Nr.: _____

Anzahl abgegebener Blätter: _____

Hinweise:

- Verwenden Sie für jede Aufgabe ein neues Blatt.
- Schreiben Sie auf jedes Blatt Ihren Namen und Ihre Matrikelnummer.
- Legen Sie nach der Prüfung alle Lösungen in die Aufgabenstellung.
- Schreiben Sie NICHT mit Bleistift oder roten und grünen Farben.
- Schreiben Sie jeden Zwischenschritt und jedes Zwischenresultat auf.
- Runden Sie die Ergebnisse sinnvoll.
- Geben Sie bei Tabellenwerten immer an, aus welcher Tabelle sie stammen.
- Mehrfache Lösungsvarianten werden nicht bewertet.
- Unmotivierte Lösungsversuche bekommen keine Punkte.

Erlaubte Hilfsmittel: 4 A4-Blätter eigene Zusammenfassung, Taschenrechner (gemäss Einschränkungen), Tabellen, Zusammenfassung LTNT, keine Musterlösungen

Aufg.	Punkte	Max.	1.Korrektur	2. Korrektur
1		25		
2		16		
3		20		
4		18		
Total		79		

Aufgabe 1 – Kreisprozess mit idealem Gas (~30% der Punkte)

In einem geschlossenen System durchläuft ein unbekanntes ideales Gas ($\kappa = 1.24$) den folgenden Kreisprozess:

- 1-2: Isentrope Kompression ausgehend von $T_1 = 300 \text{ K}$ und $p_1 = 1 \text{ bar}$ mit einem Verdichtungsverhältnis $\varepsilon = \bar{v}_1 / \bar{v}_2 = 10$
- 2-3: Isochore Erwärmung auf $T_3 = 900 \text{ K}$
- 3-4: Isobare Erwärmung auf $T_4 = 1300 \text{ K}$
- 4-5: Isentrope Expansion
- 5-1: Isochore Abkühlung

- a) (7 Punkte) Geben Sie für jeden Zustand den Druck, das mol spezifische Volumen (Einheit m^3 / mol) und die Temperatur an.
- b) (9 Punkte) Berechnen Sie die übertragenen, mol spezifischen Arbeiten und mol spezifischen Wärmen für jeden Prozessschritt (Einheit J / mol).
- c) (3 Punkte) Berechnen Sie den thermischen Wirkungsgrad.
- d) (6 Punkte) Skizzieren Sie den Prozess in einem T-s Diagramm. Zeichnen Sie das Diagramm gross, unklare Prozessschritte geben keine Punkte.

Aufgabe 2 – Verdampfer in einem Dampfkraftwerk (~20% der Punkte)

Im perfekt nach aussen isolierten, stationär arbeitenden Verdampfer eines Dampfkraftwerks befinden sich Rohre in denen das hinein fließende Wasser (Massenstrom $\dot{m}_w = 50 \text{ kg/s}$, Eintrittstemperatur $T_{w,\text{ein}} = 20^\circ\text{C}$) isobar bei einem Druck von $p_w = 50 \text{ bar}$ erwärmt und verdampft wird bis zur Austrittstemperatur $T_{w,\text{aus}} = 320^\circ\text{C}$. Die dafür benötigte Wärme wird von Verbrennungsgas bereitgestellt, das über diese Rohre hinweg strömt und sich dabei isobar von seiner Eintrittstemperatur $T_{G,\text{ein}} = 1300 \text{ K}$ auf seine Austrittstemperatur $T_{G,\text{aus}} = 700 \text{ K}$ abkühlt. Das Verbrennungsgas kann als Luft mit Idealgasverhalten modelliert werden. Änderungen der potentiellen und kinetischen Energie sind vernachlässigbar. Die Umgebungsbedingungen sind $T_0 = 300 \text{ K}$ und $p_0 = 1 \text{ bar}$.

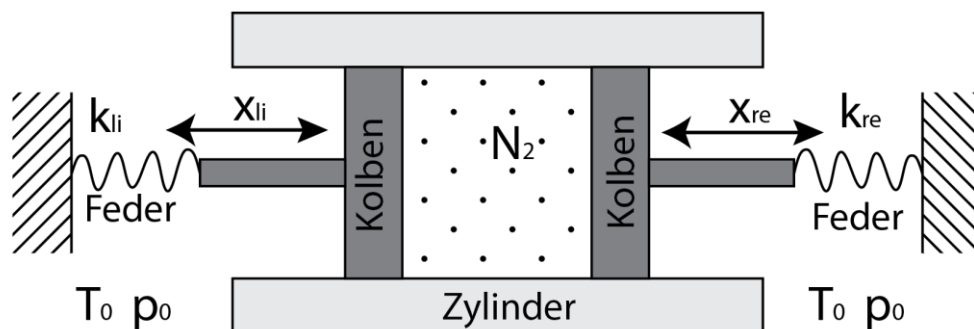
- a) (6 Punkte) Berechnen Sie den Massenstrom des Verbrennungsgases \dot{m}_G .
- b) (7 Punkte) Berechnen Sie die Exergieverlustrate des Verdampfers.
- c) (3 Punkte) Berechnen Sie den exergetischen Wirkungsgrad des Verdampfers.

Aufgabe 3 – Stickstoff im Doppelkolben-Zylinder-System (~25% der Punkte)

In einem Doppelkolben-Zylinder-System befindet sich Stickstoff (N_2 , Annahme: ideales Gas). Im Anfangszustand (Zustand 1) gilt $V_1 = 4 \text{ m}^3$, $p_1 = 1 \text{ bar}$, $T_1 = 700 \text{ K}$. Jeder der beiden Kolben ist nach aussen mit einer Feder verbunden (siehe Skizze). In Zustand 1 üben die Federn keine Kraft auf den jeweiligen Kolben aus. Je nach Auslenkung der Feder $|x|$ (Stauchung oder Dehnung) ist die Federrückstellkraft $|F| = k \cdot |x|$, mit den Federkonstanten $k_{li} = 10 \text{ kN/m}$ (linke Feder) und $k_{re} = 20 \text{ kN/m}$ (rechte Feder). Die Querschnittsfläche der Kolben beträgt jeweils $A = 1 \text{ m}^2$.

Nun gibt der Stickstoff Wärme an die Umgebung ab, wodurch sich das Stickstoffvolumen halbiert und das System Zustand 2 erreicht. Der Umgebungsdruck beträgt $p_0 = 1 \text{ bar}$, die Umgebungstemperatur beträgt $T_0 = 280 \text{ K}$.

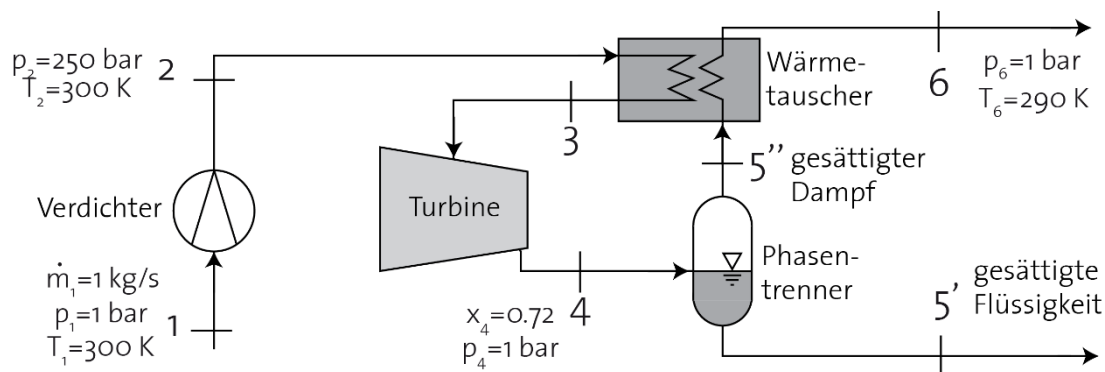
- (8 Punkte) Bestimmen Sie die Masse des Stickstoffs, sowie den Druck p_2 und die Temperatur T_2 des Stickstoffs in Zustand 2.
- (5 Punkte) Bestimmen Sie die gesamte Arbeit W_{12} , die der Stickstoff mit seiner Umgebung während der Zustandsänderung 1 nach 2 austauscht. Geben Sie an, ob der Stickstoff Arbeit leistet, oder Arbeit an ihm geleistet wird.
- (4 Punkte) Bestimmen Sie die Wärme Q_{12} der Zustandsänderung 1 nach 2.
- (3 Punkte) Berechnen Sie die vom System erzeugte Entropie S_{erz} während der Zustandsänderung 1 nach 2.



Aufgabe 4 – Gasverflüssigung (~25% der Punkte)

Gasförmiger Sauerstoff wird in einem stationären Fließprozess verflüssigt. Der eintretende Massenstrom beträgt $\dot{m}_1 = 1 \text{ kg/s}$. Der gasförmige Sauerstoff (1) wird zunächst isotherm und reversibel unter Wärmeabfuhr verdichtet (2) und anschliessend im isobaren Wärmetauscher vorgekühlt (3). In einer adiabaten Turbine wird der Sauerstoff in das Zweiphasengebiet entspannt (4) und im folgenden, isobaren Phasentrenner nach Gasphase und Flüssigphase getrennt. Die gesättigte Gasphase (5'') wird dazu genutzt, den verdichteten Sauerstoff vorzukühlen. Danach wird die Gasphase aus dem Prozess an die Umgebung entlassen (6). An der Unterseite des Phasentrenners wird der gesättigte flüssige Sauerstoff abgeführt (5'). Der Anteil des Sauerstoffs, der die Turbine als Gas verlässt, beträgt $x_4 = \dot{m}_4^{\text{gasförmig}} / \dot{m}_4^{\text{ges}} = 0.72$, der restliche Sauerstoff wurde verflüssigt. Der Wärmetauscher und der Phasentrenner sind nach aussen adiabat. Änderungen der kinetischen und potentiellen Energie sind vernachlässigbar. Verwenden Sie nur die untenstehenden Tabellen. Die Umgebungstemperatur beträgt $T_0 = 300 \text{ K}$.

- (5 Punkte) Berechnen Sie die Verdichterleistung.
- (8 Punkte) Berechnen Sie die Turbinenleistung.
- (5 Punkte) Berechnen Sie den isentropen Wirkungsgrad der Turbine.



Sauerstoff im Sättigungszustand: $p_s = 1 \text{ bar}$, $T_s = 90.06 \text{ K}$

$h' = hf$ [kJ/kg]	-133.58	$s' = sf$ [kJ/(kgK)]	2.9395
$h'' = hg$ [kJ/kg]	79.597	$s'' = sg$ [kJ/(kgK)]	5.3065

Sauerstoff bei $p = 1 \text{ bar}$

T [K]	100	140	180	220	260	300
h [kJ/kg]	88.986	126.11	162.84	199.43	236.02	272.71
s [kJ/(kgK)]	5.4054	5.7178	5.9486	6.1322	6.2850	6.4163

Sauerstoff bei $p = 250 \text{ bar}$

T [K]	100	140	180	220	260	300
h [kJ/kg]	-103.57	-38.182	31.487	104.05	168.18	222.66
s [kJ/(kgK)]	3.0265	3.5760	4.0130	4.3772	4.6457	4.8409