

# Thermodynamik I – Rechenübung 5

## Aufgabe 1

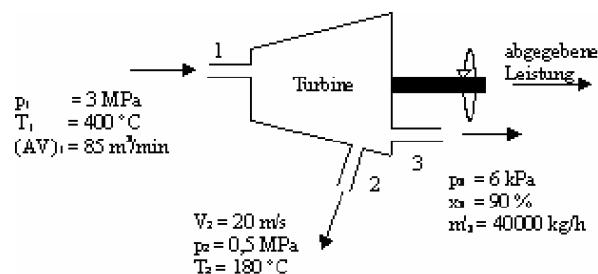


Abbildung 1: Turbine

Eine gut isolierte Turbine arbeitet im stationären Zustand wie in Bild 1 gezeichnet. Am Punkt 1 tritt Wasserdampf bei  $3 \text{ MPa}$ ,  $400^\circ\text{C}$ , mit einem Volumenstrom von  $85 \text{ m}^3/\text{min}$  in die Turbine ein. Am Punkt 2 wird Dampf bei einem Druck von  $0.5 \text{ MPa}$  und einer Temperatur von  $180^\circ\text{C}$  aus der Turbine entnommen. Der restliche Dampf expandiert auf einen Druck von  $6 \text{ kPa}$  und tritt mit einem Massenstrom von  $40\,000 \text{ kg/h}$  und einem Dampfgehalt von  $90\%$  aus. Kinetische und potentielle Energieeffekte können vernachlässigt werden. Bestimmen Sie:

- den Durchmesser des Rohres in  $m$ , durch welches der Dampf abgegeben wird, wenn die Geschwindigkeit dort  $20 \text{ m/s}$  beträgt (Punkt 2),
- die entwickelte Leistung der Turbine in  $kW$ .

## Aufgabe 2

Wasser fliesst in einer Dusche kontinuierlich mit  $10 \text{ l/min}$ . Eine elektrische Widerstandheizung im Wasserrohr heizt das Wasser von  $16^\circ\text{C}$  auf  $43^\circ\text{C}$  auf. Berechnen Sie die zugeführte Energie unter der Annahme, dass die Dichte des Wassers  $1 \text{ kg/l}$  ist.

Um Energie zu sparen wird vorgeschlagen, einen Wärmetauscher einzubauen, um das kalte Wasser mit dem noch warmen Abwasser ( $T = 39^\circ\text{C}$ ) vorzuwärmten. Es wird angenommen, dass der Wirkungsgrad des Wärmetauschers 50% beträgt, d.h. der Wärmetauscher überträgt nur die Hälfte der Energie des Abwassers auf das kalte Wasser. Bestimmen sie die elektrische Heizleistung auch in diesem Fall.

Wenn der Preis der elektrischen Energie  $8.5 \text{ Rp/kWh}$  ist, wieviel Geld kann während einer 10-minütigen Dusche mit einem Wärmetauscher eingespart werden?

## Aufgabe 3

Das Einlassrohr zu einem Düsenmotor formt einen Diffusor, der die Geschwindigkeit der Eintrittsluft relativ zur Maschine zu null verringert, bevor die Luft in den Kompressor eintritt. Betrachten Sie ein Düsenflugzeug, das mit einer Geschwindigkeit von  $1000 \text{ km/h}$  fliegt, wobei der örtliche Atmosphärendruck  $0.6 \text{ bar}$  und die Temperatur  $8^\circ\text{C}$  beträgt. Bestimmen Sie die Temperatur (in  $^\circ\text{C}$ ) der Luft beim Eintritt in den Kompressor unter Annahme von idealem Gasverhalten und der Vernachlässigung von potentiellen Energieeffekten. Das System ist als adiabat zu betrachten.

## Aufgabe 4

Gegeben ist ein mit Helium gefüllter Ballon, der mit der Umgebung im Gleichgewicht ist (Druck  $p_1 = 100 \text{ kPa}$ , Temperatur  $T_1 = 22^\circ\text{C}$ ). Sein Volumen beträgt  $65 \text{ m}^3$ . Der Ballon ist durch ein Ventil mit einem grossen Tank verbunden, welcher ebenfalls mit Helium gefüllt ist. Der Druck und die Temperatur im Tank sind  $p_i = 150 \text{ kPa}$ ,  $T_i = 25^\circ\text{C}$ . Das Ventil wird geöffnet, und das Helium strömt vom Tank in den Ballon, bis ein neuer Gleichgewichtszustand erreicht ist. Das Material des Ballons sei so, dass sein Volumen linear mit dem Druck anwächst.

Bestimmen Sie die Temperatur im Gleichgewichtszustand unter der Annahme, dass keine Wärmeübertragung während des Prozesses stattgefunden hat.

Werte für Helium:  $c_p = 5.1926 \text{ kJ/kg K}$

## Aufgabe 5

Gegeben ist ein Kreisprozess, bei dem  $1\text{ kg}$  des Kühlmittels Refrigerant 12 (R-12) folgende Zustandsänderungen durchläuft:

- 1–2: Isobare Kompression, ausgehend von  $p_1 = 2\text{ bar}$ ,  $T_1 = 60^\circ\text{C}$
- 2–3: Isochores Aufheizen, bis gesättigter flüssiger Zustand 3 erreicht ist
- 3–1: Isotherme Expansion unter Wärmezufuhr von der Umgebung von  $Q_{31} = 150\text{ kJ}$

- a) Skizzieren Sie den Zyklus im p-v- und T-v-Diagramm. Bestimmen Sie die drei Zustände quantitativ (Druck und Temperatur).
- b) Berechnen Sie die geleistete Nettoarbeit.

## Aufgabe 6

Betrachten Sie einen idealen Stirling-Zyklus in einem geschlossenen Zylinder-Kolben- System mit  $1.5\text{ kg}$  Stickstoff als Medium:

Schritt 1–2: Isotherme Expansion bei  $2000\text{ K}$  ( $p_1 = p_{max} = 20\text{ bar}$ )

Schritt 2–3: Isochore Wärmeabgabe

Schritt 3–4: Isotherme Kompression bei  $300\text{ K}$  ( $p_3 = p_{min} = 1\text{ bar}$ )

Schritt 4–1: Isochore Wärmeaufnahme, wobei  $|Q_{23}| = |Q_{41}|$

Die Wärme, die dem Medium in Schritt 2–3 entzogen wird, wird einem Wärmespeicher zwischengespeichert und im Schritt 4–1 wieder dem Medium zugeführt.

- a) Skizzieren Sie das p-v-Diagramm für den Zyklus.
- b) Berechnen Sie die fehlenden Drücke.
- c) Berechnen Sie  $|Q_{23}| = |Q_{41}|$ .
- d) Berechnen Sie die Arbeitsabgabe des Zyklus.