



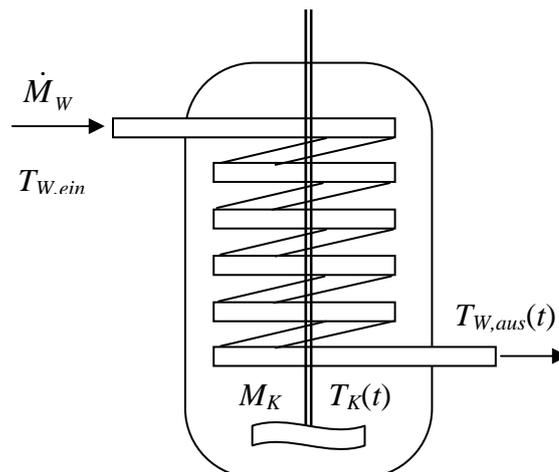
## Wärmeübertragung I

### 3. Übung (Differentielle Bilanz)

#### 1. Aufgabe (Klausuraufgabe)

In einem Rührkessel mit eingebauter Kühlschlange soll nach einer Reaktion die Reaktionsflüssigkeit mit der Temperatur  $T_{K,0} = 40\text{ °C}$  auf  $T_{K,l} = 25\text{ °C}$  abgekühlt werden. Zu diesem Zweck steht Kühlwasser mit der Temperatur  $T_{W, \text{ein}} = 20\text{ °C}$  zur Verfügung.

- Wie ist die Abhängigkeit der Temperatur im Rührkessel und am Kühlwasseraustritt von der Zeit?
- Berechnen Sie die erforderliche Wassermenge (kg) zur Abkühlung des Kesselinhaltes.
- Berechnen Sie die Zeit (s) nach der die Wasseraustrittstemperatur  $T_{W, \text{aus}} = 25\text{ °C}$  beträgt.



#### Hinweis:

Der Rührkessel sei ideal durchmischt, der Wärmedurchgangskoeffizient sei konstant. Die Wärmeverluste an die Umgebung und die Wärmekapazitäten der Metallteile seien vernachlässigbar. Die Verweilzeit des Kühlwassers ist viel kürzer als die Zeit der Abkühlung des Kesselinhaltes, es kann daher quasistationär gerechnet werden.

#### Angaben:

Massenstrom des Wassers

$$\dot{M}_W = 0,6 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

Wärmekapazität des Wassers

$$c_{p,W} = 4200 \frac{\text{J}}{\text{kg K}}$$

Eingangstemperatur des Wassers

$$T_{W, \text{ein}} = 20\text{ °C}$$

Wärmedurchgangskoeffizient

$$k = 800 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}}$$

Außenoberfläche der Kühlschlange

$$A = 6 \text{ m}^2$$

Masse des Kesselinhaltes

$$M_K = 2000 \text{ kg}$$

Wärmekapazität des Kesselinhaltes

$$c_{p,K} = 3500 \frac{\text{J}}{\text{kg K}}$$

## 2. Aufgabe

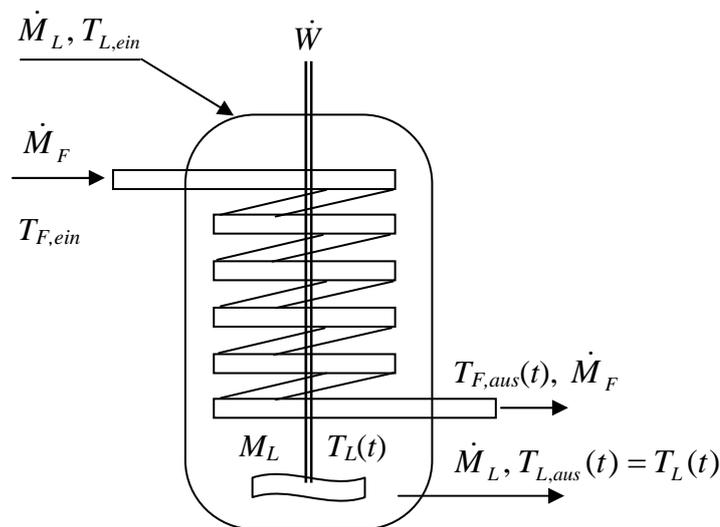
Einem flüssigkeitsbeheiztem Rührkessel (s. Skizze) gefüllt mit der konstanten Flüssigkeitsmasse  $M_L = 800 \text{ kg}$  der Anfangstemperatur  $T_{L,A} = 10^\circ\text{C}$  wird kontinuierlich ein

Flüssigkeitsmassenstrom  $\dot{M}_{L, \text{ein}}$  mit der Eintrittstemperatur  $T_{L, \text{ein}} = 10^\circ\text{C}$  zugeführt. Ein

gleichgroßer Massenstrom  $\dot{M}_{L, \text{aus}} = \dot{M}_{L, \text{ein}} = \dot{M}_L = 0,5 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$  verlässt den Kessel mit der

Temperatur des Kesselinhaltes  $T_{L, \text{aus}} = T_L(t)$ . Die Heizschlange wird von

Wärmeträgerflüssigkeit mit einem Massenstrom  $\dot{M}_F = 0,75 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$  und einer Eintrittstemperatur von  $T_{F, \text{ein}} = 100^\circ\text{C}$  durchströmt.



Gegebene Daten:

Oberfläche der Heizschlange

$$A_H = 4 \text{ m}^2$$

Wärmedurchgangskoeffizient der Heizschlange

$$k_H = 750 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ K}}$$

spezifische Wärmekapazität der Wärmeträgerflüssigkeit

$$c_{p,F} = 2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$$

spezifische Wärmekapazität des Kesselinhaltes

$$c_{p,L} = 4 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$$

spezifische Wärmekapazität des Kesselmaterials (Stahl)

$$c_{p,S} = 0,5 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$$

Stahlmasse des Kessels

$$S = 200 \text{ kg}$$

mechanische Rührerleistung

$$\dot{W} = 1 \text{ kW}$$

äußere Oberfläche des Kessels

$$A_V = 5 \text{ m}^2$$

Wärmedurchgangskoeffizient für den (nicht isolierten) Kessel

$$k_V = 10 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ K}}$$

Umgebungstemperatur

$$T_U = 20\text{ °C}$$

Siedetemperatur des Kesselinhalts bei  $p = 1\text{ bar}$ 

$$T_{L,S} = 100\text{ °C}$$

Verdampfungsenthalpie des Kesselinhalts

$$\Delta h_{v,L} = 2000 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

1.
  - a) Berechnen Sie die Beharrungstemperatur  $T_{L,\infty}$ , die sich im stationären Betrieb einstellt (falls unter den gegebenen Bedingungen ein Beharrungszustand existiert). Diskutieren Sie die Wirkung der verschiedenen Einflussgrößen auf die Beharrungstemperatur.
  - b) Innerhalb welcher Grenzen könnte  $T_{L,\infty}$  variieren, wenn der kontinuierlich durchgesetzte Massenstrom  $\dot{M}_L$  von Null zu sehr großen Werten verändert würde?
2. Berechnen Sie den zeitlichen Verlauf der Temperatur des Kesselinhalts  $T_L(t)$  und den zeitlichen Verlauf der Austrittstemperatur der Wärmeträgerflüssigkeit  $T_{F,aus}(t)$ . Skizzieren Sie den Verlauf der Temperaturen  $T_F(z,t)$ ,  $T_L(t)$  über dem Strömungsweg  $z$  der Wärmeträgerflüssigkeit (abgewinkelte Länge der Rohrschlange) für verschiedene Zeiten!  
Wie lange dauert es, bis die Differenz zur Beharrungstemperatur  $(T_L - T_{L,\infty})$  nur noch 1% der Anfangsdifferenz  $T_{L,A} - T_{L,\infty}$  beträgt? ( $t = t_{99\%}$ )  
Hinweis:  $\frac{\partial T_F}{\partial t} \ll \frac{u_F \partial T_F}{\partial z}$
3. Versuchen Sie die Aufgaben 1 und 2 auch für den Fall zu lösen, dass die Eintrittstemperatur der Wärmeträgerflüssigkeit auf  $T_{F,ein} = 250\text{ °C}$  gesteigert wird. Der für  $T_L = T_{L,S}$  im Kessel entstehende Dampf wird über das Ventil (3) abgelassen. Kann man trotz Verdampfung noch einen stationären Betrieb („Beharrungszustand“) erreichen, indem man den Flüssigkeitsabfluss (Ventil (2)) drosselt?