

Geprüfte Industriemeister Fachrichtung Chemie

Ersatztermin für Mi. 18.9.

Freitag 27.9

TΣ

Plan für die Woche

Mo + Di

Wärmeübertragung, Leistung, Pumpen

Mi Übungsaufgaben /
Übungsklausur

Do Besprechung Aufgaben

WÄRMELEHRE

Wärmemenge
Verbrennungswärme
Wärmeübertragung

Tabellenbuch

S. 77-87 Kalorik

S. 235-250 Wärmeübertragung

Kapitel aus dem IHK-Rahmenplan
Verfahrenstechnik und Anlagentechnik

Wärmeübertragung

Wärmedurchgangskoeffizient



Der **Wärmedurchgangskoeffizient K** gibt an, wie viel Wärme pro Zeit und Fläche bei einer Temperaturdifferenz von 1 Kelvin (K) durch eine Wand übertragen wird, die zwei Medien trennt (z.B. Gas und Flüssigkeit). Der Wert von K hängt von den Wärmeübertragungsprozessen und der Wärmeleitfähigkeit des Materials der Wand ab. Die Formel kombiniert die Wärmeübergangskoeffizienten und Wärmeleitfähigkeiten sowie die Dicken der verschiedenen Schichten der Wand.

Der Nenner der Formel stellt den gesamten **Wärmewiderstand** dar, den das System bietet. Je größer dieser Widerstand, desto kleiner ist der Wärmedurchgangskoeffizient K.

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{\text{innen}}} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} (+ \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \dots) + \frac{1}{\alpha_{\text{außen}}}}$$

α_{innen}

Das ist der Wärmeübergangskoeffizient an der Innenseite des Systems, z.B. Flüssigkeit oder Gas, die die Wand von innen berühren.

Dicken der Schichten

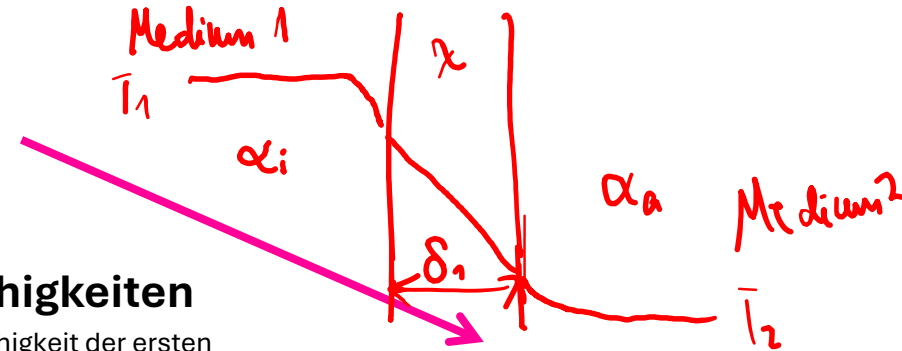
δ_1 : Das ist die Dicke der ersten Schicht der Wand (z.B. Isoliermaterial). Diese wird in Metern angegeben.
 δ_2 : Falls die Wand aus mehreren Schichten besteht, gibt es hier weitere Dickenparameter (z.B. für die zweite Schicht)

Wärmeleitfähigkeiten

λ_1 : Die Wärmeleitfähigkeit der ersten Schicht (in W/m·K), die beschreibt, wie gut oder schlecht das Material der Wand Wärme leitet.
 λ_2 : Falls es mehrere Schichten gibt, beschreibt λ_2 die Wärmeleitfähigkeit der zweiten Schicht.

$\alpha_{\text{außen}}$

Der Wärmeübergangskoeffizient an der Außenseite des Systems, z.B. Luft oder ein anderes Medium, das die Wand von außen berührt.



Wärmeübertragung

Wärmetauscher

$$Q = k \cdot A \cdot \Delta T_m$$

In einem **Wärmetauscher** wird Wärme von einem heißen Medium auf ein kälteres übertragen. Dabei kommen die beiden Medien nie direkt in Kontakt, sondern sind durch eine Wand getrennt (wie in der Abbildung gezeigt). Die Wärme wandert durch die Wand und wird auf das kühlere Medium übertragen.

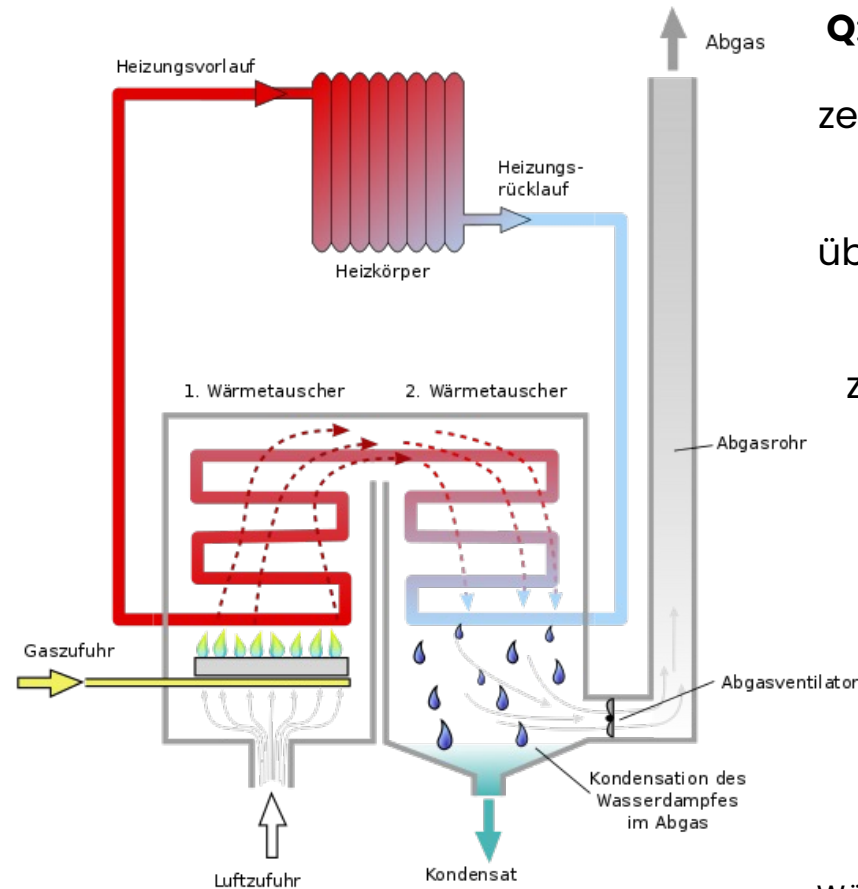
Und was passiert?

Heißes Medium (z.B. heißes Wasser oder Gas) fließt auf der einen Seite des Wärmetauschers.

Kühleres Medium (z.B. kaltes Wasser) fließt auf der anderen Seite.

Die Wärme fließt durch die **Wand** zwischen den Medien und erwärmt das kühlere Medium.

Die Wand ist wichtig, da sie bestimmt, wie gut die Wärme übertragen wird (abhängig von Material und Dicke der Wand).



Q: Das ist die Wärmemenge, die übertragen wird..

k: Das ist der **Wärmedurchgangskoeffizient**. Er zeigt, wie effizient die Wärme durch die Wand und zwischen den Medien übertragen wird.

A: Das ist die Fläche, durch die die Wärme übertragen wird. Je größer die Fläche, desto mehr Wärme kann übertragen werden.

ΔT_m : Das ist die **mittlere Temperaturdifferenz** zwischen den Medien. Je größer der Unterschied in den Temperaturen der beiden Medien, desto mehr Wärme kann übertragen werden.

Faktoren für die Effizienz

Material der Wand: Materialien mit guter Wärmeleitfähigkeit (wie Metall) übertragen die Wärme schneller.

Strömung: Wenn die Flüssigkeiten schneller durch den Wärmetauscher fließen, kann mehr Wärme übertragen werden.

Oberfläche: Je größer die Oberfläche (die Fläche A), desto mehr Wärme kann übertragen werden.

Wärmeübertragung – MLT

Wärmetauscher

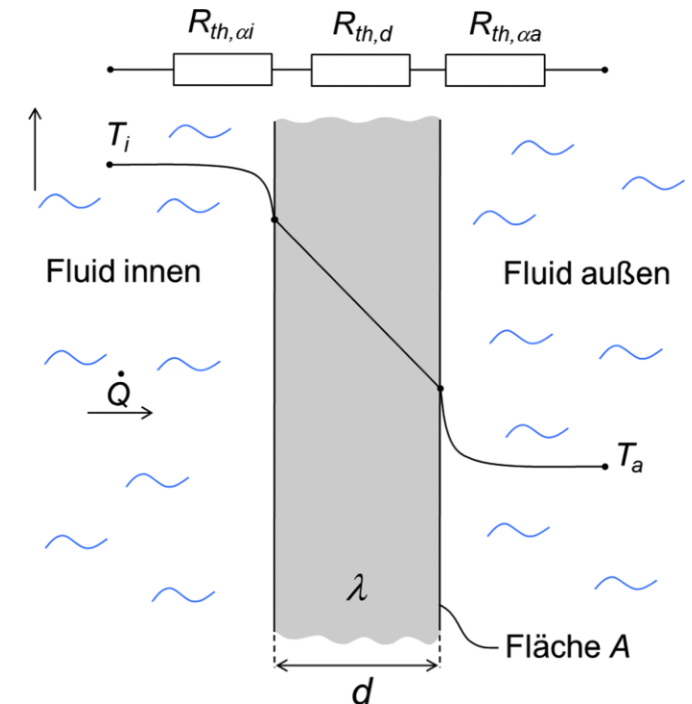


Die **mittlere logarithmische Temperaturdifferenz (MLT)** oder auf Englisch *log mean temperature difference (LMTD)* ist ein wichtiger Parameter in der Wärmeübertragung, speziell bei Wärmetauschern. Sie beschreibt die effektive Temperaturdifferenz, die über einen Wärmetauscher hinweg zwischen den beiden beteiligten Medien (z.B. Kühlwasser und ein Prozessfluid) existiert.

Warum machen wir das?

In einem Wärmetauscher ändert sich die Temperatur der beiden Medien kontinuierlich entlang des Wärmetauschers. An einem Ende des Wärmetauschers (Eintrittspunkt) kann die Temperaturdifferenz groß sein, am anderen Ende (Austrittspunkt) aber deutlich kleiner. Daher reicht es nicht aus, nur eine durchschnittliche Temperaturdifferenz zu verwenden. Stattdessen wird die **mittlere logarithmische Temperaturdifferenz** verwendet, um die nichtlineare Abnahme der Temperaturdifferenz über die Länge des Wärmetauschers zu berücksichtigen.

$$T_m = \frac{\Delta T_{\text{groß}} - \Delta T_{\text{klein}}}{\ln \left(\frac{\Delta T_{\text{groß}}}{\Delta T_{\text{klein}}} \right)}$$



Wärmeübertragung – MLT

Wärmetauscher



Ähnlich wie bei der **Temperaturdifferenz** in einem Wärmetauscher, nimmt auch die **Wärmeübertragung** über die Wand eines Rohres **nicht linear** mit dem Durchmesser zu. Die Wärmeübertragung hängt von der Fläche ab, und diese Fläche ist bei einem kreisförmigen Rohr proportional zum Durchmesser. Da es eine exponentielle Abnahme der Wärmeflussdichte von der Innen- zur Außenfläche gibt, wird der **logarithmische Mittelwert** des Durchmessers verwendet.

Der **logarithmische mittlere Rohrdurchmesser** d_m wird durch folgende Formel berechnet:

$$d_m = \frac{d_{\text{außen}} - d_{\text{innen}}}{\ln\left(\frac{d_{\text{außen}}}{d_{\text{innen}}}\right)}$$

Dabei ist:

- d_{innen} : Innendurchmesser des Rohres
- $d_{\text{außen}}$: Außendurchmesser des Rohres
- \ln : Natürlicher Logarithmus

Übertragungsfläche Rohr A:

$$\begin{aligned} \text{Kreisumfang } u &= \pi \cdot d \\ &= 2 \cdot \pi \cdot r \end{aligned}$$

$$A = \pi \cdot d_m \cdot L$$

S.239

Klausuraufgabe - Wärmeübertragung

Wärmedurchgangskoeffizient

In einem Kondensator sollen stündlich 1.000 kg Ammoniak kondensiert werden. Die Austauschfläche des Kondensators beträgt 18 m². Aufgrund von Undichtigkeiten, die durch Korrosionsschäden verursacht wurden, müssen fünf Rohre des Rohrbündels zugeschweißt werden. Ein Rohr hat einen Außendurchmesser von 22 mm, eine Wanddicke von 2,2 mm und eine Länge von 1,50 m.

- Dampfeintrittstemperatur: **35 °C**
- Kondensationstemperatur: **35 °C**
- Kondensationswärme Ammoniak: 1.123,44 kJ/kg
- Wärmedurchgangskoeffizient: 2.500 W/m²·K
- Mittlere Temperaturdifferenz: $\Delta T_m = 8 \text{ K}$

Ermittle rechnerisch, ob die verkleinerte Fläche zur Kondensation des Ammoniaks noch ausreicht.

1. Berechnung der neuen Wärmeaustauschfläche
2. Berechnung der benötigten Austauschfläche

$$Q = \underline{K} \cdot \underline{A} \cdot \underline{\Delta T_m}$$

3. Wärmemenge bestimmen (Nur Kondensationswärme)

Klausuraufgabe - Wärmeübertragung

Wärmedurchgangskoeffizient

In einem Kondensator sollen stündlich **1.000 kg** Ammoniak kondensiert werden. Die Austauschfläche des Kondensators beträgt **18 m²**. Aufgrund von Undichtigkeiten, die durch Korrosionsschäden verursacht wurden, müssen fünf Rohre des Rohrbündels zugeschweißt werden. Ein Rohr hat einen Außendurchmesser von **22 mm**, eine Wanddicke von **2,2 mm** und eine Länge von **1,50 m**.

- Dampfeintrittstemperatur: **35 °C**
- Kondensationstemperatur: **35 °C**
- Kondensationswärme Ammoniak: **1.123,44 kJ/kg**
- Wärmedurchgangskoeffizient: **2.500 W/m²·K**
- Mittlere Temperaturdifferenz: **ΔT_m=8 K**

Ermittle rechnerisch, ob die verkleinerte Fläche zur Kondensation des Ammoniaks noch ausreicht.

1. Berechnung der neuen Wärmeaustauschfläche

→ mittlere Rohrdicke

$$d_m = \frac{d_a \cdot d_i}{\ln\left(\frac{d_a}{d_i}\right)}$$



$$d_a = 22 \text{ mm}$$

$$d_i = 22 \text{ mm} - 2 \cdot 2,2 \text{ mm} = 17,6 \text{ mm}$$

$$d_m = \frac{22 - 17,6}{\ln\left(\frac{22}{17,6}\right)}$$

$$d_m = 19,72 \text{ mm} = 0,01972 \text{ m}$$

Klausuraufgabe - Wärmeübertragung

Wärmedurchgangskoeffizient

In einem Kondensator sollen stündlich **1.000 kg** Ammoniak kondensiert werden. Die Austauschfläche des Kondensators beträgt **18 m²**. Aufgrund von Undichtigkeiten, die durch Korrosionsschäden verursacht wurden, müssen fünf Rohre des Rohrbündels zugeschweißt werden. Ein Rohr hat einen Außendurchmesser von **22 mm**, eine Wanddicke von **2,2 mm** und eine Länge von **1,50 m**.

- Dampfeintrittstemperatur: **35 °C**
- Kondensationstemperatur: **35 °C**
- Kondensationswärme Ammoniak: **1.123,44 kJ/kg**
- Wärmedurchgangskoeffizient: **2.500 W/m²·K**
- Mittlere Temperaturdifferenz: **ΔT_m=8 K**

Ermittle rechnerisch, ob die verkleinerte Fläche zur Kondensation des Ammoniaks noch ausreicht.

2. Berechnung neue Austauschfläche

$$d_m = 0,01972 \text{ m}$$

$$A = \pi \cdot d \cdot L \cdot 5$$

$$= \pi \cdot 0,01972 \text{ m} \cdot 1,5 \text{ m} \cdot 5$$

$$= 0,465 \text{ m}^2 \rightarrow \text{Austauschfläche, die nicht mehr zur Verfügung steht}$$

$$A_{\text{neu}} = 18 \text{ m}^2 - 0,465 \text{ m}^2 = 17,54 \text{ m}^2$$

Klausuraufgabe - Wärmeübertragung

Wärmedurchgangskoeffizient

In einem Kondensator sollen stündlich 1.000 kg Ammoniak kondensiert werden. Die Austauschfläche des Kondensators beträgt **18 m²**. Aufgrund von Undichtigkeiten, die durch Korrosionsschäden verursacht wurden, müssen fünf Rohre des Rohrbündels zugeschweißt werden. Ein Rohr hat einen Außendurchmesser von **22 mm**, eine Wanddicke von **2,2 mm** und eine Länge von **1,50 m**.

- Dampfeintrittstemperatur: 35 °C
- Kondensationstemperatur: 35 °C
- Kondensationswärme Ammoniak: **1.123,44 kJ/kg**
- Wärmedurchgangskoeffizient: **2.500 W/m²·K**
- Mittlere Temperaturdifferenz: $\Delta T_m = 8 \text{ K}$

Ermittle rechnerisch, ob die verkleinerte Fläche zur Kondensation des Ammoniaks noch ausreicht.

3. Berechnung benötigte Austauschfläche

$$\dot{Q} = \underline{K} \cdot A \cdot \underline{\Delta T_m}$$

$$\dot{Q} = \cancel{\dot{m} \cdot c \cdot \Delta T} + \dot{m} \cdot r$$

$$= 1000 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \cdot 1.123,44 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 1.123.440 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}$$

$$\text{Einheit: } 1 \text{ W} = 1 \frac{\text{J}}{\text{s}}$$

$$\dot{Q} = 1.123.440 \frac{\text{kJ}}{\text{h}} \cdot \frac{1 \text{ h}}{3.600 \text{ s}} = 312,07 \text{ kW} = \frac{\text{kJ}}{\text{s}}$$

Klausuraufgabe - Wärmeübertragung

Wärmedurchgangskoeffizient

In einem Kondensator sollen stündlich **1.000 kg** Ammoniak kondensiert werden. Die Austauschfläche des Kondensators beträgt **18 m²**. Aufgrund von Undichtigkeiten, die durch Korrosionsschäden verursacht wurden, müssen fünf Rohre des Rohrbündels zugeschweißt werden. Ein Rohr hat einen Außendurchmesser von **22 mm**, eine Wanddicke von **2,2 mm** und eine Länge von **1,50 m**.

- Dampfeintrittstemperatur: **35 °C**
- Kondensationstemperatur: **35 °C**
- Kondensationswärme Ammoniak: **1.123,44 kJ/kg**
- Wärmedurchgangskoeffizient: **2.500 W/m²·K**
- Mittlere Temperaturdifferenz: **ΔT_m=8 K**

Ermittle rechnerisch, ob die verkleinerte Fläche zur Kondensation des Ammoniaks noch ausreicht.

Benötigte Austauschfläche

$$\dot{Q} = 312.070 \text{ W}$$

$$K = 2.500 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

$$\Delta T_m = 8 \text{ K}$$

$$\dot{Q} = K \cdot A \cdot \Delta T_m$$

$$A = \frac{312.070 \text{ W}}{2500 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \cdot 8 \text{ K}} = 15,6 \text{ m}^2 < 17,54 \text{ m}^2$$

⇒ Die Fläche reicht zur Kondensation des Ammoniaks aus.

Klausuraufgabe - Wärmeübertragung

Wärmedurchgangskoeffizient

In einem Kondensator sollen stündlich **1.000 kg** Ammoniak kondensiert werden. Die Austauschfläche des Kondensators beträgt **18 m²**. Aufgrund von Undichtigkeiten, die durch Korrosionsschäden verursacht wurden, müssen fünf Rohre des Rohrbündels zugeschweißt werden. Ein Rohr hat einen Außendurchmesser von **22 mm**, eine Wanddicke von **2,2 mm** und eine Länge von **1,50 m**.

- Dampfeintrittstemperatur: **35 °C**
- Kondensationstemperatur: **35 °C**
- Kondensationswärme Ammoniak: **1.123,44 kJ/kg**
- Wärmedurchgangskoeffizient: **2.500 W/m²·K**
- Mittlere Temperaturdifferenz: **ΔT_m=8 K**

Ermittle rechnerisch, ob die verkleinerte Fläche zur Kondensation des Ammoniaks noch ausreicht.

Die mittlere Rohrdicke wird mit der logarithmischen Mittelung der Durchmesser berechnet:

$$d_m = \frac{d_a - d_i}{\ln\left(\frac{d_a}{d_i}\right)} = \frac{22 \text{ mm} - 17,6 \text{ mm}}{\ln\left(\frac{22 \text{ mm}}{17,6 \text{ mm}}\right)} = 19,72 \text{ mm} = 0,01972 \text{ m}$$

Nun berechnen wir die Fläche der fünf Rohre:

$$A = d_m \cdot \pi \cdot L \cdot n = 0,01972 \text{ m} \cdot \pi \cdot 1,5 \text{ m} \cdot 5 = 0,465 \text{ m}^2$$

Die ursprüngliche Fläche des Kondensators beträgt **18 m²**, also bleibt nach Abzug der Fläche der fünf Rohre:

$$A_{\text{vorh.}} = 18 \text{ m}^2 - 0,465 \text{ m}^2 = 17,54 \text{ m}^2$$

Klausuraufgabe - Wärmeübertragung

Wärmedurchgangskoeffizient

In einem Kondensator sollen stündlich **1.000 kg** Ammoniak kondensiert werden. Die Austauschfläche des Kondensators beträgt **18 m²**. Aufgrund von Undichtigkeiten, die durch Korrosionsschäden verursacht wurden, müssen fünf Rohre des Rohrbündels zugeschweißt werden. Ein Rohr hat einen Außendurchmesser von **22 mm**, eine Wanddicke von **2,2 mm** und eine Länge von **1,50 m**.

- Dampfeintrittstemperatur: **35 °C**
- Kondensationstemperatur: **35 °C**
- Kondensationswärme Ammoniak: **1.123,44 kJ/kg**
- Wärmedurchgangskoeffizient: **2.500 W/m²·K**
- Mittlere Temperaturdifferenz: **ΔT_m=8 K**

Ermittle rechnerisch, ob die verkleinerte Fläche zur Kondensation des Ammoniaks noch ausreicht.

Die Kondensationswärme wird wie folgt berechnet:

$$\Phi = \dot{m} \cdot r = 1.000 \text{ kg} \cdot 1.123,44 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 1.123.440 \text{ kJ/h}$$

Um die benötigte Fläche zu berechnen, verwenden wir die Formel:

$$A = \frac{\Phi}{K \cdot \Delta T_m} = \frac{1.123.440 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}}{3.600 \frac{\text{s}}{\text{h}} \cdot 2.500 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \cdot 8 \text{ K}}$$

Umrechnung von kJ/h in kW:

$$A = \frac{1.123.440}{3.600 \cdot 2.500 \cdot 8} = 15,6 \text{ m}^2$$

Klausuraufgabe - Wärmeübertragung

Wärmedurchgangskoeffizient

Ein Edelstahlwärmetauscher WT 700 wird verwendet, um 5 m^3 Schwefelsäure (96%) abzukühlen. Die maximale Temperatur der Schwefelsäure im Tank BE 300 ist 50°C , während die Temperatur des Kühlwassers zwischen 21°C und 28°C schwankt. Es wird eine Kühlwasseraustrittstemperatur von maximal 45°C gefordert. Berechne die erforderliche Austauschfläche des Wärmetauschers, damit die maximale Lagertemperatur von 50°C nicht überschritten wird.

Gegeben:

- Wärmedurchgangskoeffizient: $k = 1200 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$
- Volumenstrom Schwefelsäure: $\dot{V} = 5 \text{ m}^3/\text{h}$
- Dichte Schwefelsäure: $\rho_{\text{H}_2\text{SO}_4} = 1,8068 \text{ kg/L}$
- Spezifische Wärmekapazität: $c(\text{H}_2\text{SO}_4) = 1,386 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$
- Temperatur Schwefelsäure: $T_{\text{Schwefelsäure}} = 80^\circ\text{C} \rightarrow 50^\circ\text{C}$
- Temperatur Kühlwasser: $T_{\text{Kühlwasser}} = 21^\circ\text{C} \rightarrow 28^\circ\text{C}$
- Kühlwasseraustrittstemperatur: $T_{\text{max}} \leq 45^\circ\text{C}$

Aufgabe:

Berechne die Mindestfläche des Wärmetauschers.

Gesucht: Austauschfläche A , bei der die maximale Lagertemperatur nicht überschritten wird

$$\dot{Q} = k \cdot A \cdot \Delta T_m$$

1. Temperatur betrachten

$$T_{\text{S,g}} = 80^\circ\text{C}$$

$$T_{\text{S,k}} = 50^\circ\text{C}$$

$$T_{\text{KW,g}} = 45^\circ\text{C}$$

$$T_{\text{KW,k}} = 28^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_g = 35\text{K}$$

$$\Delta T_k = 22\text{K}$$

$$\Delta T_m = \frac{\Delta T_g - \Delta T_k}{\ln\left(\frac{\Delta T_g}{\Delta T_k}\right)} = \frac{35\text{K} - 22\text{K}}{\ln\left(\frac{35\text{K}}{22\text{K}}\right)} = 28\text{K}$$

Klausuraufgabe - Wärmeübertragung

Wärmedurchgangskoeffizient

Ein Edelstahlwärmetauscher WT 700 wird verwendet, um 5 m^3 Schwefelsäure (96%) abzukühlen. Die maximale Temperatur der Schwefelsäure im Tank BE 300 ist 50°C , während die Temperatur des Kühlwassers zwischen 21°C und 28°C schwankt. Es wird eine Kühlwasseraustrittstemperatur von maximal 45°C gefordert. Berechne die erforderliche Austauschfläche des Wärmetauschers, damit die maximale Lagertemperatur von 50°C nicht überschritten wird.

Gegeben:

- Wärmedurchgangskoeffizient: $k = 1200 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$
- Volumenstrom Schwefelsäure: $\dot{V} = 5 \text{ m}^3/\text{h}$
- Dichte Schwefelsäure: $\rho_{\text{H}_2\text{SO}_4} = 1,8068 \text{ kg/L}$
- Spezifische Wärmekapazität: $c(\text{H}_2\text{SO}_4) = 1,386 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$
- Temperatur Schwefelsäure: $T_{\text{Schwefelsäure}} = 80^\circ\text{C} \rightarrow 50^\circ\text{C}$
- Temperatur Kühlwasser: $T_{\text{Kühlwasser}} = 21^\circ\text{C} \rightarrow 28^\circ\text{C}$
- Kühlwasseraustrittstemperatur: $T_{\text{max}} \leq 45^\circ\text{C}$

Aufgabe:

Berechne die Mindestfläche des Wärmetauschers.

$$\dot{Q} = 13 \frac{\text{W}}{\text{s}}$$

2. Wärmemenge bestimmen

$$\dot{Q} = \dot{m} \cdot c \cdot \Delta T$$

$$\dot{m} = \dot{V} \cdot \rho = 5 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \cdot 1806,8 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 9034 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

$$\Delta T = 80 - 50 = 30 \text{ K}$$

$$\dot{Q} = 9034 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \cdot 1,386 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 30 \text{ K}$$

$$= 375.633,72 \frac{\text{kJ}}{\text{h}} \cdot \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}}$$

$$= 104,34 \text{ kW}$$

Klausuraufgabe - Wärmeübertragung

Wärmedurchgangskoeffizient

Ein Edelstahlwärmetauscher WT 700 wird verwendet, um 5 m^3 Schwefelsäure (96%) abzukühlen. Die maximale Temperatur der Schwefelsäure im Tank BE 300 ist 50°C , während die Temperatur des Kühlwassers zwischen 21°C und 28°C schwankt. Es wird eine Kühlwasseraustrittstemperatur von maximal 45°C gefordert. Berechne die erforderliche Austauschfläche des Wärmetauschers, damit die maximale Lagertemperatur von 50°C nicht überschritten wird.

Gegeben:

- Wärmedurchgangskoeffizient: $k = 1200 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$
- Volumenstrom Schwefelsäure: $\dot{V} = 5 \text{ m}^3/\text{h}$
- Dichte Schwefelsäure: $\rho_{\text{H}_2\text{SO}_4} = 1,8068 \text{ kg/L}$
- Spezifische Wärmekapazität: $c(\text{H}_2\text{SO}_4) = 1,386 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$
- Temperatur Schwefelsäure: $T_{\text{Schwefelsäure}} = 80^\circ\text{C} \rightarrow 50^\circ\text{C}$
- Temperatur Kühlwasser: $T_{\text{Kühlwasser}} = 21^\circ\text{C} \rightarrow 28^\circ\text{C}$
- Kühlwasseraustrittstemperatur: $T_{\text{max}} \leq 45^\circ\text{C}$

Aufgabe:

Berechne die Mindestfläche des Wärmetauschers.

3. Fläche Wärmetauscher

$$\dot{Q} = k \cdot A \cdot \Delta T_m$$

$$A = \frac{\dot{Q}}{k \cdot \Delta T_m} = \frac{104.340 \text{ W}}{1200 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \cdot 28 \text{ K}}$$

$$A = 3,105 \text{ m}^2$$

Mindestfläche des Wärmetauschers, damit die maximale Lagertemperatur von 50°C nicht überschritten wird beträgt $3,105 \text{ m}^2$.

Klausuraufgabe - Wärmeübertragung

Wärmedurchgangskoeffizient

Ein Edelstahlwärmetauscher WT 700 wird verwendet, um 5 m^3 Schwefelsäure (96%) abzukühlen. Die maximale Temperatur der Schwefelsäure im Tank BE 300 ist 50°C , während die Temperatur des Kühlwassers zwischen 21°C und 28°C schwankt. Es wird eine Kühlwasseraustrittstemperatur von maximal 45°C gefordert. Berechne die erforderliche Austauschfläche des Wärmetauschers, damit die maximale Lagertemperatur von 50°C nicht überschritten wird.

Gegeben:

- Wärmedurchgangskoeffizient: $k = 1200 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$
- Volumenstrom Schwefelsäure: $\dot{V} = 5 \text{ m}^3/\text{h}$
- Dichte Schwefelsäure: $\rho_{\text{H}_2\text{SO}_4} = 1,8068 \text{ kg/L}$
- Spezifische Wärmekapazität: $c_{\text{H}_2\text{SO}_4} = 1,386 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$
- Temperatur Schwefelsäure: $T_{\text{Schwefelsäure}} = 80^\circ\text{C} \rightarrow 50^\circ\text{C}$
- Temperatur Kühlwasser: $T_{\text{Kühlwasser}} = 21^\circ\text{C} \rightarrow 28^\circ\text{C}$
- Kühlwasseraustrittstemperatur: $T_{\text{max}} \leq 45^\circ\text{C}$

Aufgabe:

Berechne die Mindestfläche des Wärmetauschers.

Schritt 1: Berechnung des Massenstroms der Schwefelsäure

$$\dot{m} = \dot{V} \cdot \rho$$

$$\dot{m} = 5 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 1806,8 \text{ kg/m}^3 = 9034 \text{ kg/h}$$

$$\dot{m} = \frac{9034 \text{ kg}}{3600 \text{ s}} = 2,51 \text{ kg/s}$$

Schritt 2: Berechnung der abzuführenden Wärmemenge

$$\dot{Q} = \dot{m} \cdot c \cdot \Delta T$$

$$\Delta T = 80^\circ\text{C} - 50^\circ\text{C} = 30 \text{ K}$$

$$\dot{Q} = 2,51 \text{ kg/s} \cdot 1386 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K}) \cdot 30 \text{ K}$$

$$\dot{Q} = 104,34 \text{ kW}$$

Klausuraufgabe - Wärmeübertragung

Wärmedurchgangskoeffizient

Ein Edelstahlwärmetauscher WT 700 wird verwendet, um 5 m^3 Schwefelsäure (96%) abzukühlen. Die maximale Temperatur der Schwefelsäure im Tank BE 300 ist 50°C , während die Temperatur des Kühlwassers zwischen 21°C und 28°C schwankt. Es wird eine Kühlwasseraustrittstemperatur von maximal 45°C gefordert. Berechne die erforderliche Austauschfläche des Wärmetauschers, damit die maximale Lagertemperatur von 50°C nicht überschritten wird.

Gegeben:

- Wärmedurchgangskoeffizient: $k = 1200 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$
- Volumenstrom Schwefelsäure: $\dot{V} = 5 \text{ m}^3/\text{h}$
- Dichte Schwefelsäure: $\rho_{\text{H}_2\text{SO}_4} = 1,8068 \text{ kg/L}$
- Spezifische Wärmekapazität: $c_{\text{H}_2\text{SO}_4} = 1,386 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$
- Temperatur Schwefelsäure: $T_{\text{Schwefelsäure}} = 80^\circ\text{C} \rightarrow 50^\circ\text{C}$
- Temperatur Kühlwasser: $T_{\text{Kühlwasser}} = 21^\circ\text{C} \rightarrow 28^\circ\text{C}$
- Kühlwasseraustrittstemperatur: $T_{\text{max}} \leq 45^\circ\text{C}$

Aufgabe:

Berechne die Mindestfläche des Wärmetauschers.

Schritt 3: Berechnung der logarithmischen mittleren Temperaturdifferenz

ΔT_m

$$\Delta T_m = \frac{(T_{\text{Schwefelsäure groß}} - T_{\text{Kühlwasser klein}}) - (T_{\text{Schwefelsäure klein}} - T_{\text{Kühlwasser groß}})}{\ln \left(\frac{T_{\text{Schwefelsäure groß}} - T_{\text{Kühlwasser klein}}}{T_{\text{Schwefelsäure klein}} - T_{\text{Kühlwasser groß}}} \right)}$$

Setze die Werte ein:

$$T_{\text{Schwefelsäure groß}} = 80^\circ\text{C}, \quad T_{\text{Schwefelsäure klein}} = 50^\circ\text{C}$$

$$T_{\text{Kühlwasser groß}} = 45^\circ\text{C}, \quad T_{\text{Kühlwasser klein}} = 28^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_m = \frac{(80 - 45) - (50 - 28)}{\ln \left(\frac{80 - 45}{50 - 28} \right)} = \frac{35 - 22}{\ln \left(\frac{35}{22} \right)}$$

$$\Delta T_m = \frac{13}{\ln(1,5909)} = \frac{13}{0,464} = 28,0 \text{ K}$$

Klausuraufgabe - Wärmeübertragung

Wärmedurchgangskoeffizient

Ein Edelstahlwärmetauscher WT 700 wird verwendet, um 5 m^3 Schwefelsäure (96%) abzukühlen. Die maximale Temperatur der Schwefelsäure im Tank BE 300 ist 50°C , während die Temperatur des Kühlwassers zwischen 21°C und 28°C schwankt. Es wird eine Kühlwasseraustrittstemperatur von maximal 45°C gefordert. Berechne die erforderliche Austauschfläche des Wärmetauschers, damit die maximale Lagertemperatur von 50°C nicht überschritten wird.

Gegeben:

- Wärmedurchgangskoeffizient: $k = 1200 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$
- Volumenstrom Schwefelsäure: $\dot{V} = 5 \text{ m}^3/\text{h}$
- Dichte Schwefelsäure: $\rho_{\text{H}_2\text{SO}_4} = 1,8068 \text{ kg/L}$
- Spezifische Wärmekapazität: $c_{\text{H}_2\text{SO}_4} = 1,386 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$
- Temperatur Schwefelsäure: $T_{\text{Schwefelsäure}} = 80^\circ\text{C} \rightarrow 50^\circ\text{C}$
- Temperatur Kühlwasser: $T_{\text{Kühlwasser}} = 21^\circ\text{C} \rightarrow 28^\circ\text{C}$
- Kühlwasseraustrittstemperatur: $T_{\text{max}} \leq 45^\circ\text{C}$

Aufgabe:

Berechne die Mindestfläche des Wärmetauschers.

Schritt 4: Berechnung der benötigten Wärmetauscherfläche A

$$A = \frac{\dot{Q}}{k \cdot \Delta T_m}$$

$$A = \frac{104,34 \text{ kW}}{1200 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}) \cdot 28 \text{ K}}$$

$$A = \frac{104340 \text{ W}}{33600 \text{ W}/\text{m}^2} = 3,105 \text{ m}^2$$

PUMPEN

Förderhöhe
Leistung
Wirkungsgrad

Allgemein mit Theorie

Fördern von Stoffen 180-234

Formeln Pumpen 227-232

Kapitel aus dem IHK-Rahmenplan
Verfahrenstechnik und Anlagentechnik

S.229



Pumpen müssen Leistung erbringen, damit sie eine bestimmte Masse eines Stoffes über eine gewisse Zeit auf eine Höhe befördern. In den meisten Formelsammlungen wird der Massenstrom \dot{m} mit der Erdbeschleunigung g und der Höhe h multipliziert.

$$P = \dot{m} \cdot g \cdot h$$

Der Massenstrom \dot{m} ist nichts anderes als die Masse m des Stoffes, die sich pro Zeiteinheit t bewegt und lässt sich mit folgender Formel berechnen:

$$\dot{m} = \frac{m}{t}$$

Wird die Formel für den Massenstrom in die obige Formel für die Pumpenleistung eingesetzt, ergibt sich:

$$P = \frac{m}{t} \cdot g \cdot h$$

Alternativ lässt sich die Pumpenleistung auch mithilfe des Volumenstroms Q berechnen. Der Volumenstrom Q gibt an, wie viel Volumen pro Zeiteinheit mit der Pumpe transportiert wird. Die Pumpenleistung ist abhängig von der Masse, deshalb wird die Dichte ρ berücksichtigt. Es macht einen Unterschied, ob man eine „leichte“ Flüssigkeit wie Wasser pumpt oder eine „schwere“ Flüssigkeit wie Quecksilber.

$$P = Q \cdot \rho \cdot g \cdot h$$





Die Förderhöhe H_A einer Pumpe ist eine wichtige Kenngröße, die beschreibt, wie hoch eine Pumpe das Fördermedium heben kann. Sie setzt sich aus der geodätischen Höhe, also der Differenz der Höhenlage zwischen Saug- und Druckseite, und den Verlusthöhen zusammen, die durch Reibung in den Rohrleitungen sowie durch Druckunterschiede zwischen den Behältern entstehen. Je höher die Förderhöhe, desto mehr Energie (Leistung) muss die Pumpe aufbringen, um das Medium zu fördern.

$$H_A = z + \frac{p_{A2} - p_{A1}}{\rho \cdot g} + h_J \rightarrow h_J = \text{Verlusthöhe}$$

Druckdifferenz

p_{A2} = Auslassdruck der Anlage

p_{A1} = Einlassdruck der Anlage

z = geodätische Höhe

= Höhenunterschied Pumpe und Entnahmestelle

Klausuraufgabe - Pumpen

Pumpen

Mithilfe der Pumpe **PL 201** wird eine Kochsalzlösung mit einem Volumenstrom von 20 L/h in den Behälter **BE 200** gepumpt.

Aufgrund eines Defekts muss diese Pumpe durch eine Ersatzpumpe mit einer Leistung von 0,1 kW ersetzt werden.

Die **geodätische Förderhöhe** beträgt 5 m, und die gesamte Druckverlusthöhe der Anlage wird mit 2,4 m angegeben.

Im Behälter **BE 201** herrscht kein Druck, während im Behälter **BE 200** ein Überdruck von 0,2 bar besteht.

Der Wirkungsgrad der Pumpe beträgt 60 %.

Die Dichte der Kochsalzlösung $\rho(\text{NaCl}; \omega = 0,05)$ beträgt 1,034 kg/m³.

- Berechne für die angegebenen Bedingungen den Volumenstrom der Ersatzpumpe in L/h.
- Macht der Einsatz der neuen Pumpe Sinn?

$$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa} = 100.000 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ Pa} = 1 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 1 \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}^2}$$

Druck in Pa !!!

gesucht

$$P = \dot{V} \cdot \rho \cdot g \cdot H_A \quad \text{fehlt}$$

$$H_A = z + \frac{P_{A2} - P_{A1}}{\rho \cdot g} + H_g$$

$$= 5 \text{ m} + \frac{(20.000 \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}^2} - 0)}{1,034 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} + 2,4 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} H_A &= 5 \text{ m} + 1,97 \text{ m} + 2,4 \text{ m} \\ &= 9,37 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\frac{\frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}^2}}{\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}^2} \cdot \frac{\text{m}^2 \cdot \text{s}^2}{\text{kg}} = 1$$

$$z = 5 \text{ m}$$

$$H_g = 2,4 \text{ m}$$

$$P_{A2} = 0,2 \text{ bar}$$

Ausstrichdruck

$$P_{A1} = 0 \text{ bar}$$

Einstrichdruck

$$\rho = 1,034 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$g = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Klausuraufgabe - Pumpen

Pumpen

Mithilfe der Pumpe **PL 201** wird eine Kochsalzlösung mit einem Volumenstrom von 20 L/h in den Behälter **BE 200** gepumpt.

Aufgrund eines Defekts muss diese Pumpe durch eine Ersatzpumpe mit einer Leistung von 0,1 kW ersetzt werden. Die **geodätische Förderhöhe** beträgt 5 m, und die gesamte Druckverlusthöhe der Anlage wird mit 2,4 m angegeben.

Im Behälter **BE 201** herrscht kein Druck, während im Behälter **BE 200** ein Überdruck von 0,2 bar besteht.

Der Wirkungsgrad der Pumpe beträgt 60 %.

Die Dichte der Kochsalzlösung $\rho(\text{NaCl}; \omega = 0,05)$ beträgt $1,034 \text{ kg/m}^3$.

- Berechne für die angegebenen Bedingungen den Volumenstrom der Ersatzpumpe in L/h.
- Macht der Einsatz der neuen Pumpe Sinn?

$$P = 100 \text{ W} \quad \omega = \frac{3}{5}$$

$$\rho = \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^3}{\text{m}^3} \quad \omega = \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^2}$$

Leistung in Watt !!!

$$H_A = 9,37 \text{ m}$$

2. Volumenstrom über die Formel der Pumpenleistung berechnen

$$P = \dot{V} \cdot \rho \cdot g \cdot H_A$$

$$P \cdot \eta = \dot{V} \cdot \rho \cdot g \cdot H_A$$

$$\dot{V} = \frac{P \cdot \eta}{\rho \cdot g \cdot H_A} = \frac{100 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^2} \cdot 0,6}{1,034 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}$$

$$\dot{V} = 6,3 \cdot 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 0,63 \frac{\text{dm}^3}{\text{s}} \cdot 3600 \frac{\text{s}}{\text{h}}$$

$$\dot{V} = \underline{\underline{2,268 \frac{\text{l}}{\text{h}}}}$$

Klausuraufgabe – Pumpen

Pumpen

Mithilfe der Pumpe **PL 201** wird eine Kochsalzlösung mit einem Volumenstrom von 20 L/h in den Behälter **BE 200** gepumpt.

Aufgrund eines Defekts muss diese Pumpe durch eine Ersatzpumpe mit einer Leistung von 0,1 kW ersetzt werden. Die **geodätische Förderhöhe** beträgt 5 m, und die gesamte Druckverlusthöhe der Anlage wird mit 2,4 m angegeben. Im Behälter **BE 201** herrscht kein Druck, während im Behälter **BE 200** ein Überdruck von 0,2 bar besteht.

Der Wirkungsgrad der Pumpe beträgt 60 %.

Die Dichte der Kochsalzlösung $\rho(\text{NaCl}; \omega = 0,05)$ beträgt $1,034 \text{ kg/m}^3$.

Berechne für die angegebenen Bedingungen den Volumenstrom der Ersatzpumpe in L/h.

Werte

- Volumenstrom: $\dot{V} = 20 \text{ L/h}$
- Geodätische Förderhöhe: $z = 5 \text{ m}$
- Druckverlusthöhe: $H_J = 2,4 \text{ m}$
- Überdruck in Behälter BE 200: $p_{A2} = 0,2 \text{ bar} = 20000 \text{ Pa}$
- Druck in Behälter BE 201: $p_{A1} = 0 \text{ bar}$
- Wirkungsgrad der Pumpe: $\eta = 60\% = 0,6$
- Dichte der Kochsalzlösung: $\rho = 1034 \text{ kg/m}^3$
- Ersetzte Pumpenleistung: $P = 0,1 \text{ kW} = 100 \text{ W}$

Schritt 1: Gesamthöhe der Anlage berechnen

Die Förderhöhe H_A setzt sich aus der geodätischen Förderhöhe, der Druckdifferenz und dem Druckverlust zusammen.

$$H_A = z + \frac{p_{A2} - p_{A1}}{\rho \cdot g} + H_J$$

$$H_A = 5 \text{ m} + \frac{(20.000 - 0) \text{ kg} \cdot \text{m} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{s}^2}{\text{s}^2 \cdot \text{m}^2 \cdot 1.034 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m}} + 2,4 \text{ m} = 9,37 \text{ m}$$

Klausuraufgabe – Pumpen

Pumpen

Mithilfe der Pumpe **PL 201** wird eine Kochsalzlösung mit einem Volumenstrom von 20 L/h in den Behälter **BE 200** gepumpt.

Aufgrund eines Defekts muss diese Pumpe durch eine Ersatzpumpe mit einer Leistung von 0,1 kW ersetzt werden. Die **geodätische Förderhöhe** beträgt 5 m, und die gesamte Druckverlusthöhe der Anlage wird mit 2,4 m angegeben. Im Behälter **BE 201** herrscht kein Druck, während im Behälter **BE 200** ein Überdruck von 0,2 bar besteht.

Der Wirkungsgrad der Pumpe beträgt 60 %.

Die Dichte der Kochsalzlösung $\rho(\text{NaCl}; \omega = 0,05)$ beträgt $1,034 \text{ kg/m}^3$.

Berechne für die angegebenen Bedingungen den Volumenstrom der Ersatzpumpe in L/h.

Jetzt berechnen wir den Volumenstrom \dot{V} , den die Ersatzpumpe liefert, mit folgender Formel:

$$\dot{V} = \frac{P \cdot \eta}{\rho \cdot g \cdot H_A}$$

$$\dot{V} = \frac{100 \text{ kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}^3 \cdot 0,6}{1034 \text{ kg/m}^3 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 9,37 \text{ m}}$$

$$\dot{V} = \frac{60 \text{ kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}^3}{95273,84 \text{ kg} \cdot \text{m/s}^3} = 6,3 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

Umrechnen in L/h:

$$\dot{V} = 6,3 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s} \cdot 3600 \text{ s/h} = 2272,61 \text{ L/h}$$

Klausuraufgabe – Pumpen

Pumpen

Mithilfe der Pumpe **PL 201** wird eine Kochsalzlösung mit einem Volumenstrom von 20 L/h in den Behälter **BE 200** gepumpt.

Aufgrund eines Defekts muss diese Pumpe durch eine Ersatzpumpe mit einer Leistung von 0,1 kW ersetzt werden. Die **geodätische Förderhöhe** beträgt 5 m, und die gesamte Druckverlusthöhe der Anlage wird mit 2,4 m angegeben. Im Behälter **BE 201** herrscht kein Druck, während im Behälter **BE 200** ein Überdruck von 0,2 bar besteht.

Der Wirkungsgrad der Pumpe beträgt 60 %.

Die Dichte der Kochsalzlösung $\rho(\text{NaCl}; \omega = 0,05)$ beträgt $1,034 \text{ kg/m}^3$.

Berechne für die angegebenen Bedingungen den Volumenstrom der Ersatzpumpe in L/h.

Jetzt berechnen wir den Volumenstrom \dot{V} , den die Ersatzpumpe liefert, mit folgender Formel:

$$\dot{V} = \frac{P \cdot \eta}{\rho \cdot g \cdot H_A}$$
$$\dot{V} = \frac{100 \text{ kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}^3 \cdot 0,6}{1034 \text{ kg}/\text{m}^3 \cdot 9,81 \text{ m}/\text{s}^2 \cdot 9,37 \text{ m}}$$
$$\dot{V} = \frac{60 \text{ kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}^3}{95273,84 \text{ kg} \cdot \text{m}/\text{s}^3} = 6,3 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

Umrechnen in L/h:

$$\dot{V} = 6,3 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s} \cdot 3600 \text{ s/h} = 2272,61 \text{ L/h}$$

Aufgabe 6b:

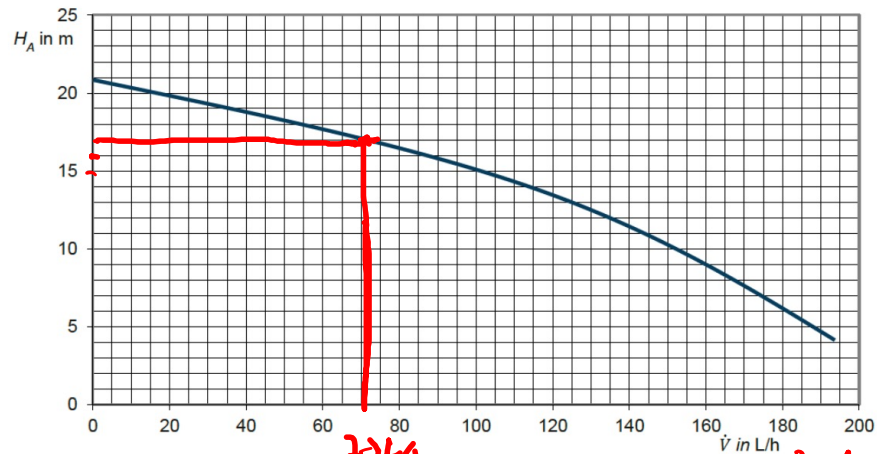
Die Pumpe ist für den Ersatz der defekten Pumpe **nicht** geeignet. Der Volumenstrom ist mehr als das 100-fache des gewünschten Wertes von 20 L/h. Dies könnte nur durch einen massiven Eingriff reduziert werden, was nicht praktikabel ist.

Klausuraufgabe – Pumpen

Förderhöhe

Mit der Pumpe PL 200 soll eine schwefelsäurehaltige Lösung aus den Behältern BE 200 und BE 201 mit einem Volumenstrom von mindestens 110 L/h in den Behälter BR 210 gepumpt werden. Die vorhandene Pumpe ist defekt und muss ausgetauscht werden.

Im Lager befindet sich eine andere Pumpe, die ohne weitere Anpassungen eingebaut werden kann. Die Pumpenkennlinie dieser Pumpe liegt dir vor:



Gegebene Daten für die Beurteilung:

Geodätische Förderhöhe: $z=15$ m

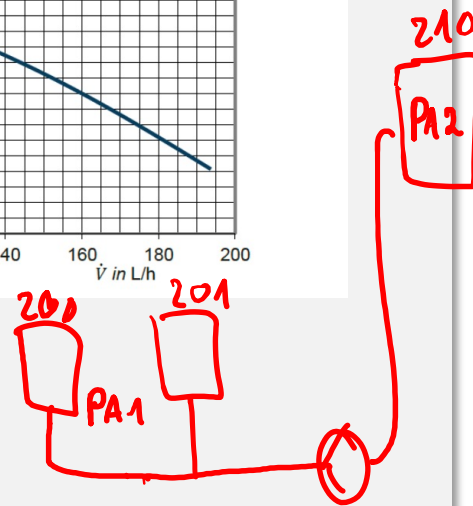
Gesamtdruckverlusthöhe: $H_J=2,15$

Druck Behälter BE 200/201: $p_{BE200/201}=0,12$ bar

Druck Reaktor BR 210: $p_{BR210}=0,10$ bar

Dichte der schwefelsäurehaltigen Lösung: $\rho=1,414$ kg/L = $1,414 \frac{kg}{m^3}$

Ermittle rechnerisch, ob die neue Pumpe für den Austausch geeignet ist, und begründe deine Entscheidung.



$$H_A = z + \frac{p_{A2} - p_{A1}}{\rho \cdot g} + H_J$$

$$= 15m + \frac{(10.000 - 42.000) Pa}{1,414 \frac{kg}{m^3} \cdot 9,81 \frac{m}{s^2}} + 2,15m$$

$$= 15m - 0,14m + 2,15m$$

$$H_A = 17,01m$$

$$V \approx 70 \frac{L}{h} < 110 \frac{L}{h}$$

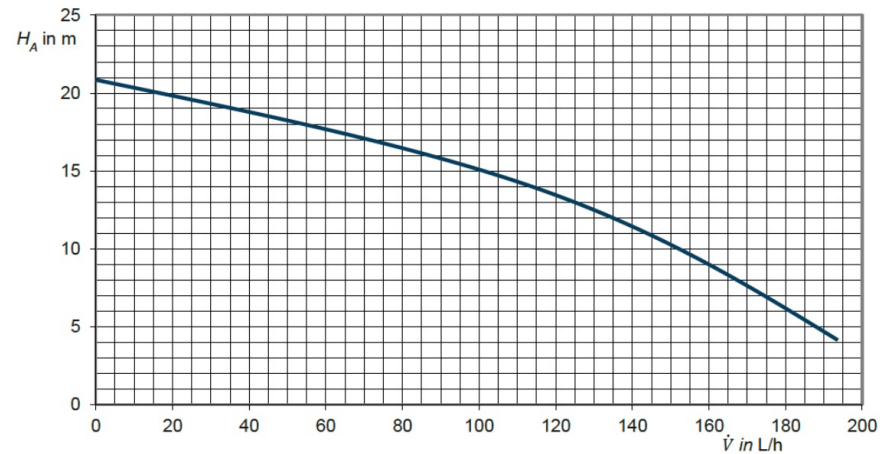
→ Pumpe ist nicht geeignet

Klausuraufgabe – Pumpen

Förderhöhe

Mit der Pumpe PL 200 soll eine schwefelsäurehaltige Lösung aus den Behältern BE 200 und BE 201 mit einem Volumenstrom von mindestens 110 L/h in den Behälter BR 210 gepumpt werden. Die vorhandene Pumpe ist defekt und muss ausgetauscht werden.

Im Lager befindet sich eine andere Pumpe, die ohne weitere Anpassungen eingebaut werden kann. Die Pumpenkennlinie dieser Pumpe liegt dir vor:



Gegebene Daten für die Beurteilung:

Geodätische Förderhöhe: $z=15$ m

Gesamtdruckverlusthöhe: $H_f=2,15$

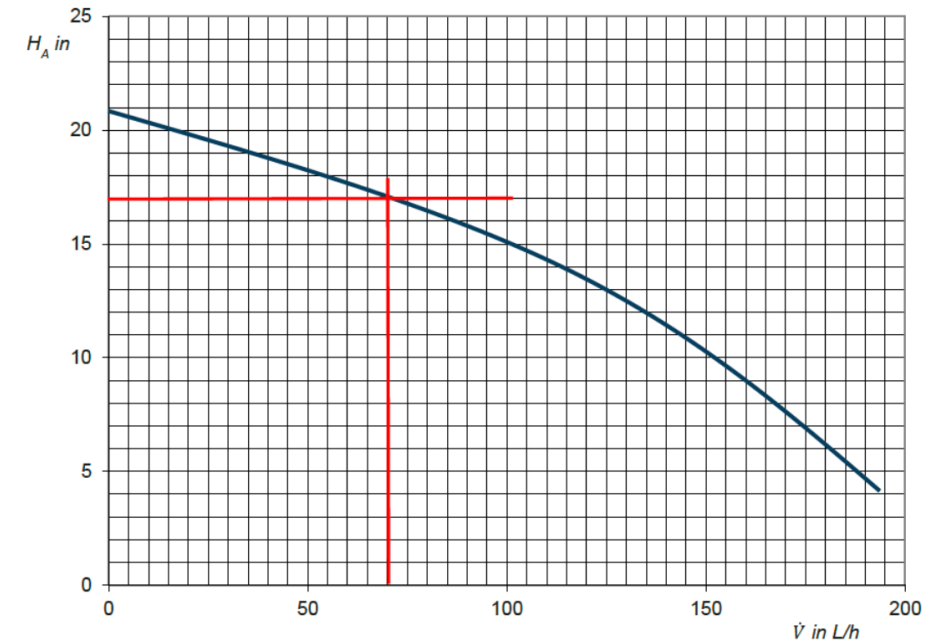
Druck Behälter BE 200/201: $p_{BE200/201}=0,12$ bar

Druck Reaktor BR 210: $p_{BR210}=0,10$ bar

Dichte der schwefelsäurehaltigen Lösung: $\rho=1,414$ kg/L

Ermittle rechnerisch, ob die neue Pumpe für den Austausch geeignet ist, und begründe deine Entscheidung.

$$H_A = z + \frac{p_{A2} - p_{A1}}{\rho \cdot g} + H_f = 15 \text{ m} + \frac{(10.000 - 12.000) \text{ kg} \cdot \text{m} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{s}^2}{\text{s}^2 \cdot \text{m}^2 \cdot 1414 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m}} + 2,15 \text{ m} = 17,01 \text{ m}$$



Die Pumpe kann nicht eingesetzt werden, da sie bei den gegebenen Bedingungen maximal 70 L/h fördern kann und somit den geforderten Volumenstrom von mindestens 110 L/h nicht erreicht.

S. 231



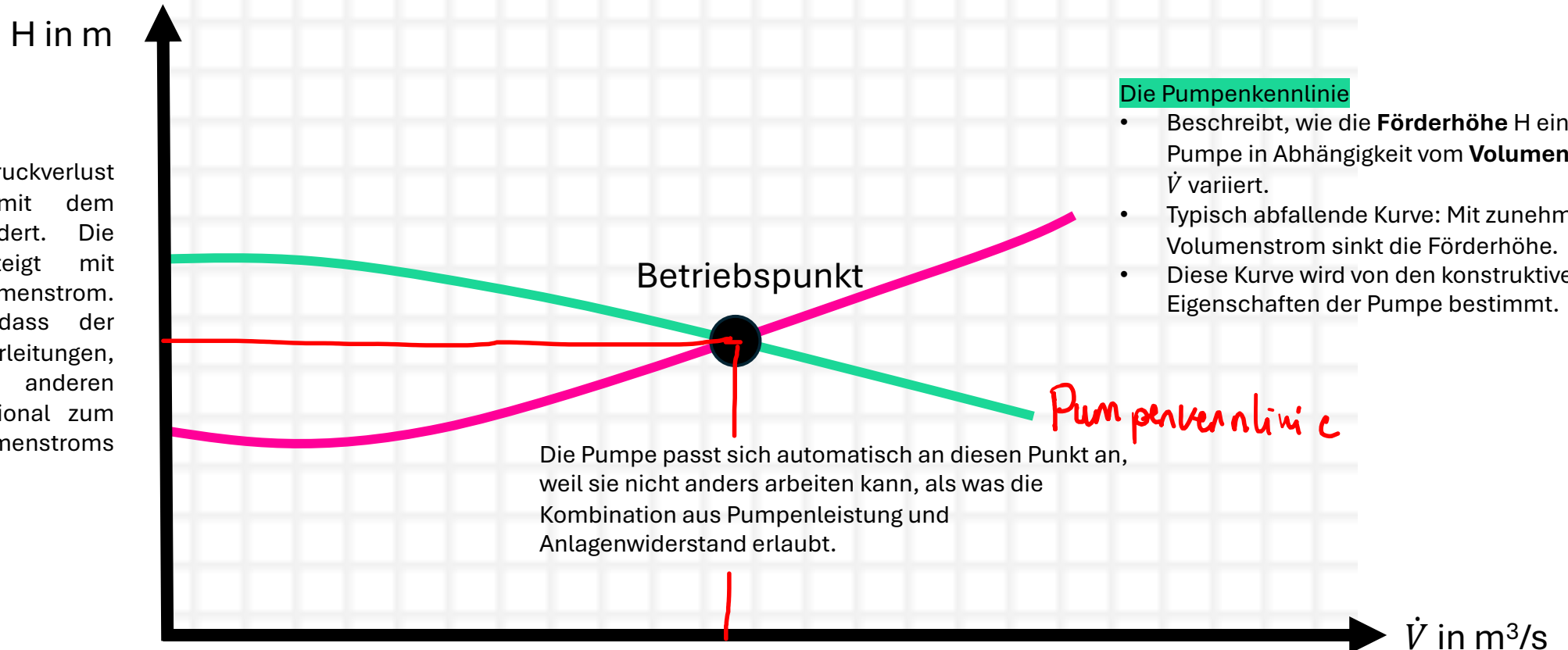
Der **Betriebspunkt** einer Pumpe ist der **Schnittpunkt** zwischen der **Pumpenkennlinie** und der **Anlagenkennlinie**. Er beschreibt den Punkt, an dem die Pumpe und die angeschlossene Anlage im Gleichgewicht arbeiten. An diesem Punkt entspricht der **von der Pumpe erzeugte Druck** (Förderhöhe) genau dem **Druckverlust** in der Anlage. Gleichzeitig ist der **durch die Pumpe geförderte Volumenstrom** identisch mit dem **Volumenstrom**, der aufgrund der Eigenschaften der Anlage durch die Rohrleitungen, Ventile und andere Bauteile fließen kann.

Die Anlagenkennlinie

Gibt an, wie sich der Druckverlust in einer Anlage mit dem Volumenstrom verändert. Die **Anlagenkennlinie** steigt mit zunehmendem Volumenstrom. Dies liegt daran, dass der Druckverlust in Rohrleitungen, Ventilen und anderen Komponenten proportional zum Quadrat des Volumenstroms zunimmt.

Die Pumpenkennlinie

- Beschreibt, wie die **Förderhöhe** H einer Pumpe in Abhängigkeit vom **Volumenstrom** \dot{V} variiert.
- Typisch abfallende Kurve: Mit zunehmendem Volumenstrom sinkt die Förderhöhe.
- Diese Kurve wird von den konstruktiven Eigenschaften der Pumpe bestimmt.



Klausuraufgabe - Pumpenleistung

Pumpen

Die Pumpe **PL 600** soll **Oleum** in die Kolonne **KO 200** pumpen.

Für die Dimensionierung der Pumpe sind folgende Daten gegeben:

- Maximale Fördermenge $\dot{m} = 35 \text{ t/h}$
- Maximale geodätische Förderhöhe: $H_{geo} = 12 \text{ m}$
- Gesamtdruckverlust: $\Delta p = 0,42 \text{ bar}$
- Wirkungsgrad der Pumpe: $\eta = 67 \%$
- Dichte von Oleum: $\rho = 1,99 \text{ kg/L}$

Berechne die notwendige Pumpenleistung

1. Förderhöhe

$$H_A = z + \frac{p_{A2} - p_{A1}}{\rho \cdot g} + \frac{v^2}{2g}$$
$$= 12 \text{ m} + \frac{42.000 \text{ Pa}}{1.990 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}$$

$$H_A = 12 \text{ m} + 2,15 = 14,15 \text{ m}$$

2. Leistung

$$P = \underbrace{\dot{V}}_{\dot{m}} \cdot \rho \cdot g \cdot H_A = \dot{m} \cdot g \cdot H_A$$
$$= \frac{35.000 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m} \cdot 14,15 \text{ m}}{3.600 \text{ s}} = 1.349,56 \text{ W}$$

$$P_{\text{not}} = \frac{1.349,56 \text{ W}}{0,67} = 2.014,26 \text{ W}$$

Klausuraufgabe – Pumpenleistung

Pumpen

Die Pumpe **PL 600** soll **Oleum** in die Kolonne **KO 200** pumpen.

Für die Dimensionierung der Pumpe sind folgende Daten gegeben:

- Maximale Fördermenge $\dot{m} = 35 \text{ t/h}$
- Maximale geodätische Förderhöhe: $H_{geo} = 12 \text{ m}$
- Gesamtdruckverlust: $\Delta p = 0,42 \text{ bar}$
- Wirkungsgrad der Pumpe: $\eta = 67 \%$
- Dichte von Oleum: $\rho = 1,99 \text{ kg/L}$

Klausuraufgabe - Pumpenleistung

Pumpen

Die Pumpe **PL 600** soll **Oleum** in die Kolonne **KO 200** pumpen.

Für die Dimensionierung der Pumpe sind folgende Daten gegeben:

- Maximale Fördermenge $\dot{m}=35 \text{ t/h}$
- Maximale geodätische Förderhöhe: $H_{geo} = 12 \text{ m}$
- Gesamtdruckverlust: $\Delta p = 0,42 \text{ bar}$
- Wirkungsgrad der Pumpe: $\eta = 67 \%$
- Dichte von Oleum: $\rho = 1,99 \text{ kg/L}$

Werte

$$H_A = H_{geo} + \frac{\Delta p}{\rho \cdot g} = 12 \text{ m} + \frac{42.000 \text{ kg} \cdot \text{m} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{s}^2}{\text{s}^2 \cdot \text{m}^2 \cdot 1.990 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m}} = 14,15 \text{ m}$$

$$P = \frac{\dot{V} \cdot \rho \cdot g \cdot H_A}{\eta} = \frac{\dot{m} \cdot g \cdot H_A}{\eta} = \frac{35.000 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m} \cdot 14,15 \text{ m}}{3.600 \text{ s} \cdot 0,67 \text{ s}^2} = 2.014,26 \text{ W}$$