

Geprüfte Industriemeister Fachrichtung Chemie

ΠΣ

Enthalpie

Reaktionsgleichungen



Enthalpie ist ein Maß für die Energie eines Systems. Sie umfasst die innere Energie und die Energie, die erforderlich ist, um das Volumen des Systems gegen einen äußeren Druck zu vergrößern. In chemischen Reaktionen betrachten wir **die Änderung der Enthalpie** ΔH , die den Energieunterschied zwischen den Reaktanten (Edukten) und Produkten beschreibt.

Die Reaktionsenthalpie H

Reaktionsenthalpie ΔH_R gibt an, ob bei einer chemischen Reaktion Wärme frei wird oder zugeführt werden muss. Sie wird als der Unterschied der Enthalpie der Produkte und der Edukte berechnet:

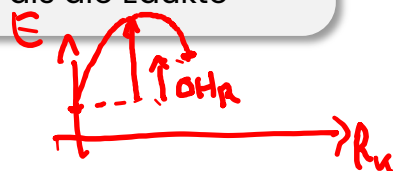
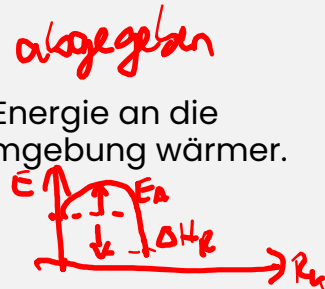
$$\Delta H_R = H_{\text{Produkte}} - H_{\text{Edukte}}$$

Negative Reaktionsenthalpie $\Delta H_R < 0$

Die Reaktion ist **exotherm** – in einer exothermen Reaktion wird Energie an die Umgebung abgegeben, meistens als Wärme. Daher wird die Umgebung wärmer. Die Produkte haben eine niedrigere Enthalpie als die Edukte

Positive Reaktionsenthalpie $\Delta H_R > 0$

Bei einer **endothermen** Reaktion muss dem System Energie zugeführt werden, damit die Reaktion abläuft. Die Umgebung kühlt sich ab, weil Energie aufgenommen wird. Die Produkte haben eine höhere Enthalpie als die Edukte



Aktivierungsenergie E_A

Die **Aktivierungsenergie** ist die minimale Energiemenge, die benötigt wird, damit eine chemische Reaktion überhaupt starten kann. Sie repräsentiert die Energie, die aufgebracht werden muss, um die Bindungen in den Edukten zu brechen, bevor neue Bindungen in den Produkten gebildet werden können.

Katalysatoren

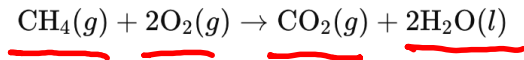
Katalysatoren wirken, indem sie die Aktivierungsenergie herabsetzen, wodurch die Reaktion leichter und schneller ablaufen kann.

→ keinen Einfluss auf die Reaktionsenthalpie

Enthalpie

Reaktionsgleichungen

Bei der Verbrennung von Methan (CH_4) mit Sauerstoff (O_2) entsteht Kohlenstoffdioxid (CO_2) und Wasser (H_2O):



Die molaren Standardbildungsenthalpien (ΔH_f^0) der beteiligten Stoffe betragen:

- $\Delta H_f^0(\text{CH}_4(g)) = -74,8 \text{ kJ/mol}$
- $\Delta H_f^0(\text{O}_2(g)) = 0 \text{ kJ/mol}$ (Elementarstoff)
- $\Delta H_f^0(\text{CO}_2(g)) = -393,5 \text{ kJ/mol}$
- $\Delta H_f^0(\text{H}_2\text{O}(l)) = -285,8 \text{ kJ/mol}$

Aufgabe:

Berechne die Reaktionsenthalpie ΔH_r^0 für die Verbrennung von 1 mol Methan unter Standardbedingungen.

→ Wie viel (m) Methan muss verbrannt werden, wenn 50 kg CO_2 freigesetzt werden?

$$M(\text{CH}_4) = 16,04 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$$

$$M(\text{CO}_2) = 44,01 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$$

Berechnung Reaktionsenthalpie

$$\Delta H_R = \sum H_o(\text{Produkte}) - \sum H_o(\text{Edukte})$$

$$= (-393,5 \text{ kJ}) + 2 \cdot (-285,8 \text{ kJ}) - (-74,8 \text{ kJ} + 0)$$

$$\Delta H_R = -965,1 \text{ kJ} - (-74,8 \text{ kJ})$$

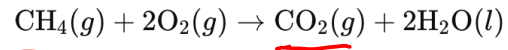
$$\Delta H_R = -890,3 \text{ kJ}$$

→ exotherme Reaktion

Enthalpie

Reaktionsgleichungen

Bei der Verbrennung von Methan (CH_4) mit Sauerstoff (O_2) entsteht Kohlenstoffdioxid (CO_2) und Wasser (H_2O):



Die molaren Standardbildungsenthalpien (ΔH_f^0) der beteiligten Stoffe betragen:

- $\Delta H_f^0(\text{CH}_4(g)) = -74,8 \text{ kJ/mol}$
- $\Delta H_f^0(\text{O}_2(g)) = 0 \text{ kJ/mol}$ (Elementarstoff)
- $\Delta H_f^0(\text{CO}_2(g)) = -393,5 \text{ kJ/mol}$
- $\Delta H_f^0(\text{H}_2\text{O}(l)) = -285,8 \text{ kJ/mol}$

Aufgabe:

Berechne die Reaktionsenthalpie ΔH_r^0 für die Verbrennung von 1 mol Methan unter Standardbedingungen.

50kg CO_2 werden freigesetzt

Wie viel m Methan

$$\Delta_m H_r = -890,3 \text{ kJ}$$

$$\Delta H_r = n \cdot \Delta_m H_r$$

$$n(\text{CH}_4) = n(\text{CO}_2)$$

$$\frac{m(\text{CH}_4)}{M(\text{CH}_4)} = \frac{m(\text{CO}_2)}{M(\text{CO}_2)}$$

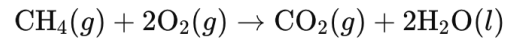
$$m(\text{CH}_4) = \frac{50 \text{ kg} \cdot 16,04 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}}{44,01 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}}$$

$$m(\text{CH}_4) = 18,22 \text{ kg}$$

Enthalpie

Reaktionsgleichungen

Bei der Verbrennung von Methan (CH_4) mit Sauerstoff (O_2) entsteht Kohlenstoffdioxid (CO_2) und Wasser (H_2O):



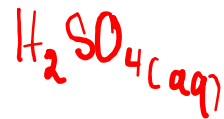
Die molaren Standardbildungsenthalpien (ΔH_f^0) der beteiligten Stoffe betragen:

- $\Delta H_f^0(\text{CH}_4(g)) = -74,8 \text{ kJ/mol}$
- $\Delta H_f^0(\text{O}_2(g)) = 0 \text{ kJ/mol}$ (Elementarstoff)
- $\Delta H_f^0(\text{CO}_2(g)) = -393,5 \text{ kJ/mol}$
- $\Delta H_f^0(\text{H}_2\text{O}(l)) = -285,8 \text{ kJ/mol}$

$$\Delta H^0(\text{H}_2\text{O}(g)) = -241,8 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$$

Aufgabe:

Berechne die Reaktionsenthalpie ΔH_r^0 für die Verbrennung von 1 mol Methan unter Standardbedingungen.



$$\Delta H_R = (-241,8 \text{ kJ}) - (-285,8 \text{ kJ}) = 44 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$$

Die Reaktionsenthalpie wird berechnet durch die Differenz der Standardbildungsenthalpien der Produkte und Edukte:

$$\Delta H_r^0 = \sum \Delta H_f^0(\text{Produkte}) - \sum \Delta H_f^0(\text{Edukte})$$

Berechnung der Reaktionsenthalpie ΔH_r^0 :

$$\Delta H_r^0 = [\Delta H_f^0(\text{CO}_2(g)) + 2 \cdot \Delta H_f^0(\text{H}_2\text{O}(l))] - [\Delta H_f^0(\text{CH}_4(g)) + 2 \cdot \Delta H_f^0(\text{O}_2(g))]$$

Einsetzen der Werte:

$$\Delta H_r^0 = [(-393,5) + 2 \cdot (-285,8)] - [(-74,8) + 2 \cdot 0]$$

Schrittweise Berechnung:

1. Produkte:

$$-393,5 + 2 \cdot (-285,8) = -393,5 - 571,6 = -965,1 \text{ kJ/mol}$$

2. Edukte:

$$-74,8 + 0 = -74,8 \text{ kJ/mol}$$

3. Reaktionsenthalpie:

$$\Delta H_r^0 = -965,1 - (-74,8) = -965,1 + 74,8 = -890,3 \text{ kJ/mol}$$



TIW GmbH ©

WÄRMELEHRE

Wärmemenge
Verbrennungswärme
Wärmeübertragung

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T + m \cdot h_v$$

Kapitel aus dem IHK-Rahmenplan
Verfahrenstechnik und Anlagentechnik

Wärmelehre

S. 77 - 87 Tabellenbuch

Wärmemenge



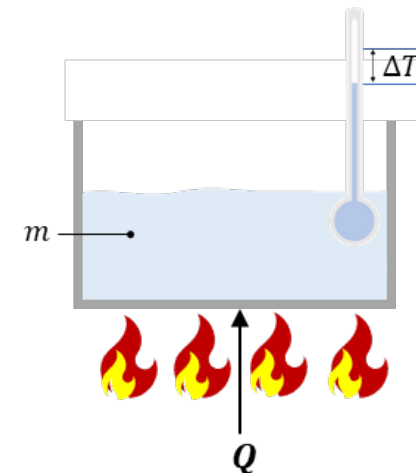
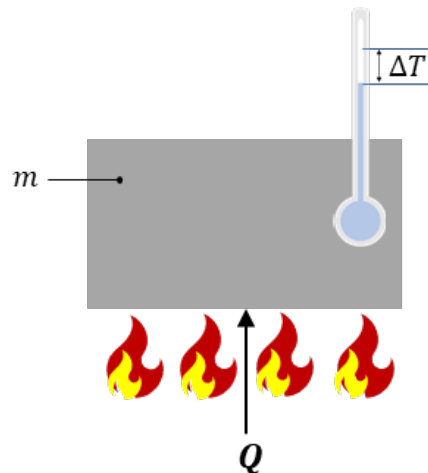
Beim Erhitzen von Stoffen wird eine Wärmemenge Q benötigt. Die Wärmemenge Q wird in kJ angegeben. Um auf die benötigte Wärmemenge Q zu kommen, muss die Masse eines Stoffes mit der spezifischen Wärmekapazität c sowie der Temperaturänderung ΔT verrechnet werden. Die spezifische Wärmekapazität kann aus einer Formelsammlung abgelesen werden. Die Wärmemenge Q ist i.d.R. die Wärmemenge, die an ein System abgegeben wird (Q_{AB}). Das hier berechnete Q entspricht der theoretischen Wärmemenge, um eine bestimmte Masse eines Stoffes um eine bestimmte Temperatur zu erhitzen.

S. 79 + 80

Chemietechnik
Europa

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T$$

$$Q = m \cdot h_v$$



Wärmemenge

Verbrennungswärme

$$Q_{zu} = Q_{ab}$$



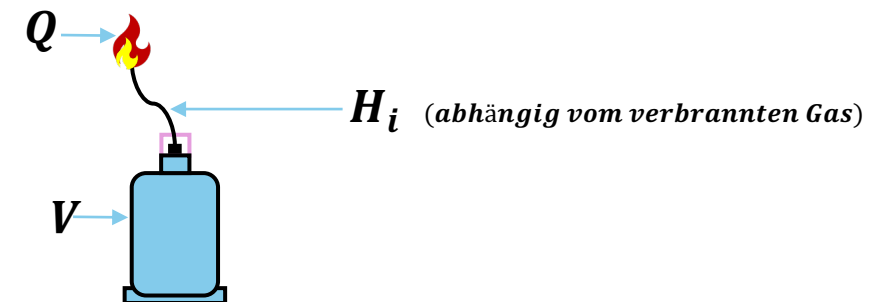
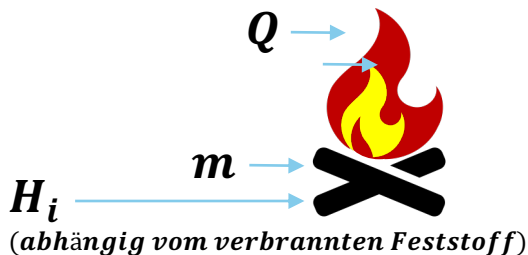
Einem System muss Energie, in Form von Wärme, zugefügt werden, damit sich die Masse eines Stoffes um eine bestimmte Temperatur erhöht. Einem System wird die Energie meistens durch Verbrennungswärme zugefügt.

Um die Verbrennungswärme zu berechnen, muss der Stoff bekannt sein, der verbrannt wird. Bei festen oder flüssigen Stoffen wird die Masse benötigt, bei Gasen das Volumen. Dadurch, dass der verbrannte Stoff bekannt ist, kann aus einer Formelsammlung der spezifische Heizwert H abgelesen werden.

S. 81 Tabellenbuch

$$Q = m \cdot H_i \text{ (feste und flüssige Stoffe)}$$

$$Q = V \cdot H_i \text{ (gasförmige Stoffe)}$$



Klausuraufgabe – Gasvolumen

$\text{Nm}^3 \hat{=} \text{m}^3$ unter Standardbedingungen

Das Aluminiumhydroxid wird im Drehrohrtrockner TR 100 zu Aluminiumoxid umgewandelt und bis zur Massenkonstanz getrocknet. Dabei müssen pro Stunde 315 kg Wasser entfernt werden.

Aufgabe:

Berechne mithilfe der folgenden Daten das erforderliche Gasvolumen an Methan in Normkubikmetern, das pro Stunde für die Trocknung benötigt wird. Dabei wird nur die Verdampfungswärme des Wassers berücksichtigt. Der Wirkungsgrad des eingesetzten Erdgases beträgt 70 %.

- Spezifische Verdampfungswärme von Wasser: $r(\text{H}_2\text{O}) = 2.257 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$
- Heizwert von Erdgas: $H_{u,n,\text{Erdgas}} = 35 \frac{\text{MJ}}{\text{m}^3}$
- Wirkungsgrad des Erdgases: $\eta = 70\% = 0,7$

$$Q_{zu} = V \cdot H_u \cdot \eta$$

$$Q_{auf} = m_{\text{Wasser}} \cdot r$$

$$Q_{zu} = Q_{auf}$$

$$V \cdot H_u \cdot \eta = m \cdot r$$

$$V = \frac{m \cdot r}{H_u \cdot \eta}$$

$$V = \frac{315 \text{ kg} \cdot 2.257 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}}{35.000 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^3} \cdot 0,7}$$

Erforderliches Volumen $\rightarrow V = 29,02 \text{ m}^3$

Klausuraufgabe – Gasvolumen

Das Aluminiumhydroxid wird im Drehrohrtrockner TR 100 zu Aluminiumoxid umgewandelt und bis zur Massenkonstanz getrocknet. Dabei müssen pro Stunde 315 kg Wasser entfernt werden.

Aufgabe:

Berechne mithilfe der folgenden Daten das erforderliche Gasvolumen an Methan in Normkubikmetern, das pro Stunde für die Trocknung benötigt wird. Dabei wird nur die Verdampfungswärme des Wassers berücksichtigt. Der Wirkungsgrad des eingesetzten Erdgases beträgt 70 %.

- Spezifische Verdampfungswärme von Wasser: $r(\text{H}_2\text{O}) = 2.257 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$
- Heizwert von Erdgas: $H_{u,n,\text{Erdgas}} = 35 \frac{\text{MJ}}{\text{m}^3}$
- Wirkungsgrad des Erdgases: $\eta = 70\% = 0,7$

Die zugeführte Wärmeenergie Q_{auf} entspricht der abgeführten Wärmeenergie Q_{ab} :

$$Q_{\text{ab}} = Q_{\text{auf}}$$

Die benötigte Wärmemenge zur Verdampfung des Wassers wird durch das Gasvolumen an Methan gedeckt:

$$H_{u,n,\text{Erdgas}} \cdot V_{n,\text{Erdgas}} \cdot \eta = m_{\text{Wasser}} \cdot r_{\text{Wasser}}$$

Umstellen nach dem erforderlichen Gasvolumen $V_{n,\text{Erdgas}}$:

$$V_{n,\text{Erdgas}} = \frac{m_{\text{Wasser}} \cdot r_{\text{Wasser}}}{H_{u,n,\text{Erdgas}} \cdot \eta}$$

Einsetzen der gegebenen Werte:

$$V_{n,\text{Erdgas}} = \frac{315 \text{ kg} \cdot 2.257 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}}{35.000 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^3} \cdot 0,7}$$

Das ergibt:

$$V_{n,\text{Erdgas}} = \frac{711.855 \text{ kJ}}{24.500 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^3}} = 29,02 \text{ m}^3$$

Das erforderliche Gasvolumen an Methan beträgt also **29,02 m³** pro Stunde.

Klausuraufgabe – Ofenanlage

Reaktionsgleichungen

In einer Ofenanlage sollen **300 kg** Brauchwasser mit einer Temperatur von **15 °C** erwärmt werden. Dafür werden **1,80 kg Heizöl** mit einem spezifischen Heizwert von **42,7 MJ/kg** verbrannt. Der Ofen arbeitet mit einem Wirkungsgrad von **80 %**.

Spezifische Wärmekapazität von Wasser: $c(H_2O) = 4,19 \frac{kJ}{kg \cdot K}$
Wirkungsgrad des Ofens: $\eta = 80\%$

Berechne die Endtemperatur des Brauchwassers nach der Erwärmung.

$$Q_{auf} = m \cdot c \cdot \Delta T$$

$$Q_{ab} = m \cdot H_u \cdot \eta$$

$$Q_{auf} = Q_{ab}$$

$$m_{H_2O} \cdot c \cdot \Delta T = m_{Heizöl} \cdot H_u \cdot \eta$$

$$\Delta T = \frac{m_{Heizöl} \cdot H_u \cdot \eta}{m_{H_2O} \cdot c_{H_2O}}$$

$$\Delta T = \frac{1,8 \text{ kg} \cdot 42.700 \frac{kJ}{kg} \cdot 0,8}{300 \text{ kg} \cdot 4,19 \frac{kJ}{kg \cdot K}}$$

$$\Delta T = 48,92 \text{ K}$$

Klausuraufgabe – Ofenanlage

Reaktionsgleichungen

In einer Ofenanlage sollen **300 kg** Brauchwasser mit einer Temperatur von **15 °C** erwärmt werden. Dafür werden **1,80 kg Heizöl** mit einem spezifischen Heizwert von **42,7 MJ/kg** verbrannt. Der Ofen arbeitet mit einem Wirkungsgrad von **80 %**.

Spezifische Wärmekapazität von Wasser: $c(H_2O) = 4,19 \frac{kJ}{kg \cdot K}$
Wirkungsgrad des Ofens: $\eta = 80\%$

Berechne die Endtemperatur des Brauchwassers nach der Erwärmung.

$$g_{\text{end}} = g_{\text{Anf}} + \Delta g$$
$$= 15^\circ\text{C} + 48,92^\circ\text{C}$$

$$g_{\text{end}} = 63,92^\circ\text{C}$$

Endtemperatur des Brauchwassers.

$$\Delta T = T_1 - T_2$$

Klausuraufgabe – Ofenanlage

In einer Ofenanlage sollen **300 kg** Brauchwasser mit einer Temperatur von **15 °C** erwärmt werden. Dafür werden **1,80 kg Heizöl** mit einem spezifischen Heizwert von **42,7 MJ/kg** verbrannt. Der Ofen arbeitet mit einem Wirkungsgrad von **80 %**.

Spezifische Wärmekapazität von Wasser: $c(H_2O) = 4,19 \frac{kJ}{kg \cdot K}$
Wirkungsgrad des Ofens: $\eta = 80\%$

Berechne die Endtemperatur des Brauchwassers nach der Erwärmung.

Zuerst wird die zugeführte Wärmeenergie durch das Heizöl berechnet und mit der Wärme aufgenommen durch das Brauchwasser gleichgesetzt:

$$Q(\text{Heizöl}) = Q(\text{Wasser})$$

Mit eingesetzten Werten gilt:

$$m(\text{Heizöl}) \cdot H_u \cdot \eta = m(\text{Wasser}) \cdot c \cdot \Delta\vartheta$$

Umstellen der Gleichung nach der Temperaturerhöhung $\Delta\vartheta$

$$\Delta\vartheta = \frac{m(\text{Heizöl}) \cdot H_u \cdot \eta}{m(\text{Wasser}) \cdot c} \longrightarrow \Delta\vartheta = \frac{1,8 \text{ kg} \cdot 42,7 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} \cdot 0,80}{300 \text{ kg} \cdot 4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}}$$

$$\longrightarrow \Delta\vartheta = 48,92 \text{ K}$$

$$\vartheta_{\text{end}} = \Delta\vartheta + \vartheta_{\text{Anfang}} = 48,92 \text{ °C} + 15 \text{ °C} = 63,92 \text{ °C}$$

Klausuraufgabe – Volumenstrom

Bei der Herstellung von Ethansäurebutylester aus Ethansäure und n-Butanol wird nach der Reaktion das Reaktionsgemisch in einer Rektifikationskolonne getrennt. Am Kopf der Kolonne wird der reine Ester abgenommen. Am Kolonnenkopf werden **15 t** Ethansäurebutylester pro Stunde durch einen Kondensator kondensiert. Ein nachgeschalteter Wärmetauscher kühlt das Kondensat auf eine Temperatur von **35 °C** ab. Das erforderliche Kühlwasser durchströmt zuerst den Wärmetauscher und anschließend den Kondensator.

Die mittlere Temperaturdifferenz des Kühlwassers zwischen der Ein- und Ausgangsseite darf einen Wert von **24 °C** nicht überschreiten.

Berechne den erforderlichen Gesamtvolumenstrom des Kühlwassers.

Spezifische Verdampfungswärme von Ethansäurebutylester:	$r_{\text{(Ethansäurebutylester)}} = 312 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$
Siedepunkt von Ethansäurebutylester	126 °C
Spezifische Wärmekapazität von Ethansäurebutylester	$C_{\text{(Ethansäurebutylester)}} = 1,938 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$
Spezifische Wärmekapazität von Wasser:	$C_{\text{(Wasser)}} = 4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$
Dichte von Wasser	$\rho = 1 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3}$

$$Q_{\text{ab}} = \dot{m} \cdot c \cdot \Delta T + \dot{m} \cdot r$$

$$Q_{\text{auf}} = \dot{m} \cdot c \cdot \Delta T$$

$$Q_{\text{auf}} = Q_{\text{ab}}$$

$$\dot{m}_{\text{Ester}} \cdot C_{\text{Ester}} \cdot \Delta T_{\text{Ester}} + \dot{m}_{\text{Ester}} \cdot r_{\text{Ester}} = \dot{m}_{\text{H}_2\text{O}} \cdot C_{\text{H}_2\text{O}} \cdot \Delta T_{\text{H}_2\text{O}}$$

$$\dot{m}_{\text{Ester}} \cdot C_{\text{Ester}} \cdot \Delta T_{\text{Ester}} + \dot{m}_{\text{Ester}} \cdot r_{\text{Ester}} = \dot{m}_{\text{H}_2\text{O}}$$

$$C_{\text{H}_2\text{O}} \cdot \Delta T_{\text{H}_2\text{O}}$$

$$\frac{15.000 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \cdot 1,938 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot (126 - 35) \text{K} + 15.000 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \cdot 312 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}}{4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 24 \text{K}} = \dot{m}_{\text{H}_2\text{O}}$$

Klausuraufgabe – Volumenstrom

Bei der Herstellung von Ethansäurebutylester aus Ethansäure und n-Butanol wird nach der Reaktion das Reaktionsgemisch in einer Rektifikationskolonne getrennt. Am Kopf der Kolonne wird der reine Ester abgenommen. Am Kolonnenkopf werden **15 t** Ethansäurebutylester pro Stunde durch einen Kondensator kondensiert. Ein nachgeschalteter Wärmetauscher kühlt das Kondensat auf eine Temperatur von **35 °C** ab. Das erforderliche Kühlwasser durchströmt zuerst den Wärmetauscher und anschließend den Kondensator.

Die mittlere Temperaturdifferenz des Kühlwassers zwischen der Ein- und Ausgangsseite darf einen Wert von **24 °C** nicht überschreiten.

Berechne den erforderlichen Gesamtvolumenstrom des Kühlwassers.

Spezifische Verdampfungswärme von Ethansäurebutylester:	$r_{\text{(Ethansäurebutylester)}} = 312 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$
Siedepunkt von Ethansäurebutylester	126 °C
Spezifische Wärmekapazität von Ethansäurebutylester	$C_{\text{(Ethansäurebutylester)}} = 1,938 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$
Spezifische Wärmekapazität von Wasser:	$C_{\text{(Wasser)}} = 4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$
Dichte von Wasser	$\rho = 1 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3}$

$$\frac{\dot{m}_{\text{Ester}} \cdot C_{\text{Ester}} \cdot \Delta T_{\text{Ester}} + \dot{m}_{\text{Ester}} \cdot r_{\text{Ester}}}{C_{\text{H}_2\text{O}} \cdot \Delta \hat{T}_{\text{H}_2\text{O}}} = \dot{m}_{\text{H}_2\text{O}}$$

$$\frac{15.000 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \cdot 1,938 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot (126 - 35) \text{K} + 15.000 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \cdot 312 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}}{4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 24 \text{K}} = \dot{m}_{\text{H}_2\text{O}}$$

$$\dot{V}_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{72.846 \frac{\text{kg}}{\text{h}}}{1 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3}} = 72.846 \frac{\text{dm}^3}{\text{h}} = 72,85 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Klausuraufgabe – Volumenstrom

Bei der Herstellung von Ethansäurebutylester aus Ethansäure und n-Butanol wird nach der Reaktion das Reaktionsgemisch in einer Rektifikationskolonne getrennt. Am Kopf der Kolonne wird der reine Ester abgenommen. Am Kolonnenkopf werden **15 t** Ethansäurebutylester pro Stunde durch einen Kondensator kondensiert. Ein nachgeschalteter Wärmetauscher kühlt das Kondensat auf eine Temperatur von **35 °C** ab. Das erforderliche Kühlwasser durchströmt zuerst den Wärmetauscher und anschließend den Kondensator.

Die mittlere Temperaturdifferenz des Kühlwassers zwischen der Ein- und Ausgangsseite darf einen Wert von **24 °C** nicht überschreiten.

Berechne den erforderlichen Gesamtvolumenstrom des Kühlwassers.

Spezifische Verdampfungswärme von Ethansäurebutylester:	$r_{\text{(Ethansäurebutylester)}} = 312 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$
Siedepunkt von Ethansäurebutylester	126 °C
Spezifische Wärmekapazität von Ethansäurebutylester	$c_{\text{(Ethansäurebutylester)}} = 1,938 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$
Spezifische Wärmekapazität von Wasser:	$c_{\text{(Wasser)}} = 4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$
Dichte von Wasser	$\rho = 1 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3}$

Die zugeführte Wärme Q_{auf} ist gleich der abgeführten Wärme Q_{ab} :

$$\dot{m} \cdot c_{\text{Wasser}} \cdot \Delta T = \dot{m} \cdot r_{\text{Ethansäurebutylester}} + \dot{m} \cdot c_{\text{Ethansäurebutylester}} \cdot \Delta T$$

Daraus ergibt sich der Volumenstrom:

$$\dot{V} = \frac{\dot{m} \cdot r_{\text{Ethansäurebutylester}} + \dot{m} \cdot c_{\text{Ethansäurebutylester}} \cdot \Delta T}{\rho_{\text{Wasser}} \cdot c_{\text{Wasser}} \cdot \Delta T_{\text{Wasser}}}$$

Einsetzen der gegebenen Werte:

$$\dot{V} = \frac{15.000 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \cdot 312 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} + 15.000 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \cdot 1,938 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot (126 - 35) \text{K}}{1,000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 24 \text{K}}$$

$$\dot{V} = \frac{4.680.000 \text{ kJ} + 1.647.930 \text{ kJ}}{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 24 \text{K}} \longrightarrow \dot{V} = 72,846 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Klausuraufgabe – Volumenstrom

Bei der Herstellung von Ethansäurebutylester aus Ethansäure und n-Butanol wird nach der Reaktion das Reaktionsgemisch in einer Rektifikationskolonne getrennt. Am Kopf der Kolonne wird der reine Ester abgenommen. Am Kolonnenkopf werden **15 t** Ethansäurebutylester pro Stunde durch einen Kondensator kondensiert. Ein nachgeschalteter Wärmetauscher kühlt das Kondensat auf eine Temperatur von **35 °C** ab. Das erforderliche Kühlwasser durchströmt zuerst den Wärmetauscher und anschließend den Kondensator.

Die mittlere Temperaturdifferenz des Kühlwassers zwischen der Ein- und Ausgangsseite darf einen Wert von **24 °C** nicht überschreiten.

Berechne den erforderlichen Gesamtvolumenstrom des Kühlwassers.

Spezifische Verdampfungswärme von Ethansäurebutylester:	$r_{\text{(Ethansäurebutylester)}} = 312 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$
Siedepunkt von Ethansäurebutylester	126 °C
Spezifische Wärmekapazität von Ethansäurebutylester	$c_{\text{(Ethansäurebutylester)}} = 1,938 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$
Spezifische Wärmekapazität von Wasser:	$c_{\text{(Wasser)}} = 4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$
Dichte von Wasser	$\rho = 1 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3}$

Die zugeführte Wärme Q_{auf} ist gleich der abgeführten Wärme Q_{ab} :

$$\dot{m} \cdot c_{\text{Wasser}} \cdot \Delta T = \dot{m} \cdot r_{\text{Ethansäurebutylester}} + \dot{m} \cdot c_{\text{Ethansäurebutylester}} \cdot \Delta T$$

Daraus ergibt sich der Volumenstrom:

$$\dot{V} = \frac{\dot{m} \cdot r_{\text{Ethansäurebutylester}} + \dot{m} \cdot c_{\text{Ethansäurebutylester}} \cdot \Delta T}{\rho_{\text{Wasser}} \cdot c_{\text{Wasser}} \cdot \Delta T_{\text{Wasser}}}$$

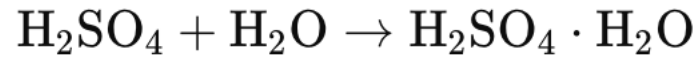
Einsetzen der gegebenen Werte:

$$\dot{V} = \frac{15.000 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \cdot 312 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} + 15.000 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \cdot 1,938 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot (126 - 35) \text{ K}}{1,000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 24 \text{ K}}$$

$$\dot{V} = \frac{4.680.000 \text{ kJ} + 1.647.930 \text{ kJ}}{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 24 \text{ K}} \longrightarrow \dot{V} = 72,846 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Klausuraufgabe – Temperaturerhöhung

Durch einen Fehler werden **400 kg** Wasser in einen Vorratstank für Schwefelsäure gepumpt, in dem sich **7,5 m³** Schwefelsäure befinden. Der Massenanteil der Schwefelsäure ist $w(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,98$. Die Reaktion lautet:



$$\Delta H_R = -73 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$$

$$M(\text{H}_2\text{O}) = 18 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$$

$$c(\text{H}_2\text{O}) = 4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

$$c(\text{H}_2\text{SO}_4) = 1,386 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

$$\rho(\text{H}_2\text{SO}_4) = 1.836,1 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Berechne die entstehende Temperaturerhöhung.

Gesucht: ΔT

1. Schritt: Stoffmenge Wasser

$$n_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{400 \text{ kg}}{18 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}} = 22,2 \text{ kmol}$$

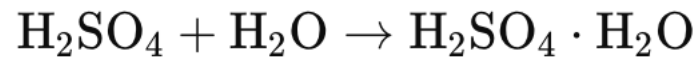
$$n_{\text{H}_2\text{SO}_4} = 22,2 \text{ kmol}$$

$$m_{\text{H}_2\text{SO}_4} = V \cdot \rho = 7,5 \text{ m}^3 \cdot 1.836,1 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$m_{\text{H}_2\text{SO}_4} = 13.770,8 \text{ kg}$$

Klausuraufgabe – Temperaturerhöhung

Durch einen Fehler werden **400 kg** Wasser in einen Vorratstank für Schwefelsäure gepumpt, in dem sich **7,5 m³** Schwefelsäure befinden. Der Massenanteil der Schwefelsäure ist $w(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,98$. Die Reaktion lautet:



$$\Delta H_R = -73 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$$

$$c(\text{H}_2\text{O}) = 4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

$$c(\text{H}_2\text{SO}_4) = 1,386 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

$$\rho(\text{H}_2\text{SO}_4) = 1.836,1 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Berechne die entstehende Temperaturerhöhung.

2. Wärmemenge der Reaktion

$$\begin{aligned} \Delta H_R &= n \cdot \Delta_m H_R \\ &= \underline{22,2 \text{ kmol}} \cdot \left(-73 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} \right) \end{aligned}$$

$$\Delta H_R = Q = 1.620.600 \text{ kJ}$$

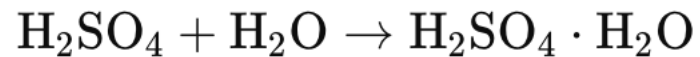
5. Einfluss der Wärmemenge auf Stoffe

$$Q = m_{\text{H}_2\text{O}} \cdot c_{\text{H}_2\text{O}} \cdot \Delta T + m_{\text{H}_2\text{SO}_4} \cdot c_{\text{H}_2\text{SO}_4} \cdot \Delta T$$

$$Q = \Delta T \cdot (m_{\text{H}_2\text{O}} \cdot c_{\text{H}_2\text{O}} + m_{\text{H}_2\text{SO}_4} \cdot c_{\text{H}_2\text{SO}_4})$$

Klausuraufgabe – Temperaturerhöhung

Durch einen Fehler werden **400 kg** Wasser in einen Vorratstank für Schwefelsäure gepumpt, in dem sich **7,5 m³** Schwefelsäure befinden. Der Massenanteil der Schwefelsäure ist $w(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,98$. Die Reaktion lautet:



$$\Delta H_R = -73 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$$

$$c(\text{H}_2\text{O}) = 4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

$$c(\text{H}_2\text{SO}_4) = 1,386 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

$$\rho(\text{H}_2\text{SO}_4) = 1.836,1 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Berechne die entstehende Temperaturerhöhung.

$$Q = \Delta T \cdot (m_{\text{H}_2\text{O}} \cdot c_{\text{H}_2\text{O}} + m_{\text{H}_2\text{SO}_4} \cdot c_{\text{H}_2\text{SO}_4})$$

$$\Delta T = \frac{Q}{(m_{\text{H}_2\text{O}} \cdot c_{\text{H}_2\text{O}} + m_{\text{H}_2\text{SO}_4} \cdot c_{\text{H}_2\text{SO}_4})}$$

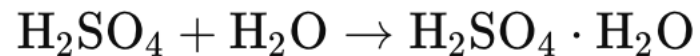
$$\Delta T = \frac{1.620.600 \text{ kJ}}{4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 400 \text{ kg} + 1,386 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 13.770,8 \text{ kg}}$$

$$\Delta T = 78,1 \text{ K}$$

Temperaturerhöhung um 78,1°C / 78K

Klausuraufgabe – Temperaturerhöhung

Durch einen Fehler werden **400 kg** Wasser in einen Vorratstank für Schwefelsäure gepumpt, in dem sich **7,5 m³** Schwefelsäure befinden. Der Massenanteil der Schwefelsäure ist $w(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,98$. Die Reaktion lautet:



$$\Delta H_R = -73 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$$

$$c(\text{H}_2\text{O}) = 4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

$$c(\text{H}_2\text{SO}_4) = 1,386 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

$$\rho(\text{H}_2\text{SO}_4) = 1.836,1 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Berechne die entstehende Temperaturerhöhung.

Zuerst berechnen wir die Stoffmenge des Wassers. Da jede Stoffmenge Wasser mit der gleichen Stoffmenge Schwefelsäure reagiert, ist auch die Stoffmenge von Schwefelsäure:

$$n_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{m_{\text{H}_2\text{O}}}{M_{\text{H}_2\text{O}}} = \frac{400 \text{ kg}}{18 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}} = 22,2 \text{ kmol} \rightarrow \underline{n_{\text{H}_2\text{SO}_4} = 22,2 \text{ kmol}}$$

Nun berechnen wir die Masse der Schwefelsäure:

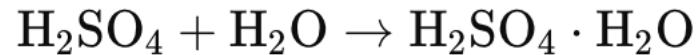
$$m_{\text{H}_2\text{SO}_4} = V \cdot \rho = 7,5 \text{ m}^3 \cdot 1.836,1 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 13.770,8 \text{ kg}$$

Die Reaktionswärme Q ergibt sich aus der Stoffmenge und der Reaktionsenthalpie:

$$Q = \Delta H_R \cdot n_{\text{H}_2\text{SO}_4} = -73 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} \cdot 22,2 \text{ kmol} = \underline{1.620.600 \text{ kJ}}$$

Klausuraufgabe – Temperaturerhöhung

Durch einen Fehler werden **400 kg** Wasser in einen Vorratstank für Schwefelsäure gepumpt, in dem sich **7,5 m³** Schwefelsäure befinden. Der Massenanteil der Schwefelsäure ist $w(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,98$. Die Reaktion lautet:



$$\Delta H_R = -73 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$$

$$c(\text{H}_2\text{O}) = 4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$$

$$c(\text{H}_2\text{SO}_4) = 1,386 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$$

$$\rho(\text{H}_2\text{SO}_4) = 1.836,1 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Berechne die entstehende Temperaturerhöhung.

Um die Temperaturerhöhung ΔT zu berechnen, setzen wir die gesamte Wärmemenge ins Verhältnis zur Wärmekapazität der beteiligten Stoffe:

$$\Delta T = \frac{Q}{(c_{\text{H}_2\text{O}} \cdot m_{\text{H}_2\text{O}} + c_{\text{H}_2\text{SO}_4} \cdot m_{\text{H}_2\text{SO}_4})}$$

Mit eingesetzten Werten

$$\Delta T = \frac{1.620.600 \text{ kJ}}{(4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}} \cdot 400 \text{ kg} + 1,386 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}} \cdot 13.770,8 \text{ kg})} = 78,1 \text{ K}$$

Die Temperaturerhöhung beträgt also 78,1 °C.

S. 85 Chemie Technik /
S. 239 + 240

Wärmeübertragung

Wärmedurchgangskoeffizient

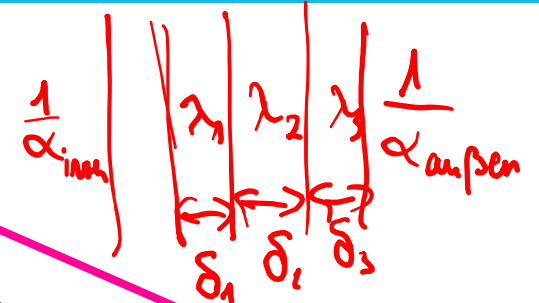


Der **Wärmedurchgangskoeffizient K** gibt an, wie viel Wärme pro Zeit und Fläche bei einer Temperaturdifferenz von 1 Kelvin (K) durch eine Wand übertragen wird, die zwei Medien trennt (z.B. Gas und Flüssigkeit). Der Wert von K hängt von den Wärmeübertragungsprozessen und der Wärmeleitfähigkeit des Materials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

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

$\delta_1 = \text{Schichtdicke}$



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.

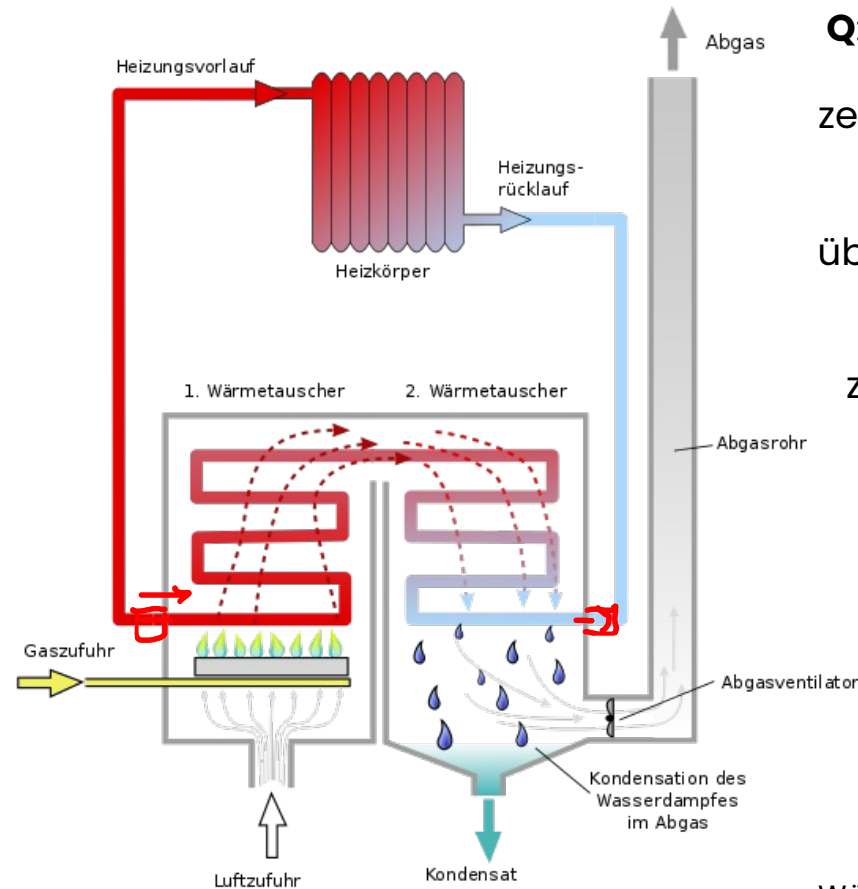
Und was passiert?

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.

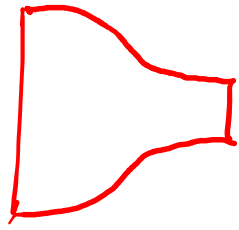
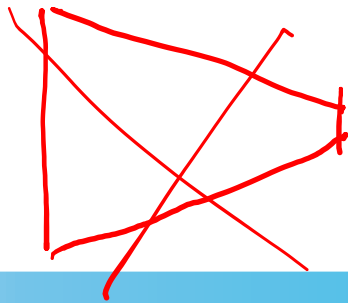
Faktoren für die Effizienz

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.

$$\Delta T_m$$



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.

S. 85 FS

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

Je größer die MLT, desto mehr Wärme kann übertragen werden, da eine höhere Temperaturdifferenz einen höheren Wärmefluss durch den Wärmetauscher ermöglicht.

Gleiches Spiel gilt auch für die mittlere Rohrdicke!

Klausuraufgabe - Wärmeübertragung

Wärmedurchgangskoeffizient

Für eine geplante Kapazitätserweiterung soll über den WT 400 in 45 Minuten eine Wärmeenergie von **55.678 kJ** abgeführt werden. Das Kühlwasser wird mit einer Temperatur von 26 °C in den Wärmetauscher eingeleitet und verlässt diesen mit einer Temperatur von 35 °C. Das Destillat kondensiert bei 66 °C.

Gegeben:

$$\alpha_{\text{Kühlwasser}} = 1.273 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{K}}$$

$$\alpha_{\text{Destillat}} = 2.655 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{K}}$$

$$\lambda_{\text{Stahl}} = 175 \frac{\text{kJ}}{\text{m} \cdot \text{h} \cdot \text{K}}$$

Wandstärke $s = 4,5 \text{ mm}$

- Berechne die notwendige Wärmeaustauschfläche.
- Beurteile die Durchführbarkeit der Kapazitätserweiterung. $A_{\text{WT400}} = 2,0 \text{ m}^2$
- Beschreibe 3 Möglichkeiten zur Beeinflussung der Wärmeübertragungsleistung

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

$$K = \frac{\lambda}{\frac{s}{\alpha_i} + \frac{s}{\lambda_{\text{Stahl}}} + \frac{s}{\alpha_a}}$$

1. Temperaturdifferenzen zu

$$\Delta T_{\text{gr}} = 66^\circ\text{C} - 26^\circ\text{C} = 40^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_{\text{kl}} = 66^\circ\text{C} - 35^\circ\text{C} = 31^\circ\text{C}$$

2. Mittlere logarithmische Temperaturdifferenz

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

$$\Delta T_m = \frac{40 - 31}{\ln\left(\frac{40}{31}\right)} = 35,31^\circ\text{C} / 35,31 \text{ K}$$

Klausuraufgabe - Wärmeübertragung

Wärmedurchgangskoeffizient

Für eine geplante Kapazitätserweiterung soll über den WT 400 in 45 Minuten eine Wärmeenergie von 55.678 kJ abgeführt werden. Das Kühlwasser wird mit einer Temperatur von **26 °C** in den Wärmetauscher eingeleitet und verlässt diesen mit einer Temperatur von **35 °C**. Das Destillat kondensiert bei **66 °C**.

Gegeben:

$$\alpha_{\text{Kühlwasser}} = 1.273 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{K}}$$

$$\alpha_{\text{Destillat}} = 2.655 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{K}}$$

$$\lambda_{\text{Stahl}} = 175 \frac{\text{kJ}}{\text{m} \cdot \text{h} \cdot \text{K}}$$

Wandstärke $s = 4,5 \text{ mm}$

- Berechne die notwendige Wärmeaustauschfläche.
- Beurteile die Durchführbarkeit der Kapazitätserweiterung.
- Beschreibe 3 Möglichkeiten zur Beeinflussung der Wärmeübertragungsleistung

3. Wärmedurchgangskoeffizient

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \frac{s}{\lambda_{\text{Stahl}}} + \frac{1}{\alpha_a}}$$

$$= \frac{1}{\frac{1}{1.273 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{K}}} + \frac{0,0045 \text{ m}}{175 \frac{\text{kJ}}{\text{m} \cdot \text{h} \cdot \text{K}}} + \frac{1}{2.655 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{K}}}}$$

$$K = 841,82 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{K}}$$

Klausuraufgabe - Wärmeübertragung

Wärmedurchgangskoeffizient

Für eine geplante Kapazitätserweiterung soll über den WT 400 in 45 Minuten eine Wärmeenergie von **55.678 kJ** abgeführt werden. Das Kühlwasser wird mit einer Temperatur von **26 °C** in den Wärmetauscher eingeleitet und verlässt diesen mit einer Temperatur von **35 °C**. Das Destillat kondensiert bei **66 °C**.

Gegeben:

$$\alpha_{\text{Kühlwasser}} = 1.273 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{K}}$$

$$\alpha_{\text{Destillat}} = 2.655 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{K}}$$

$$\lambda_{\text{Stahl}} = 175 \frac{\text{kJ}}{\text{m} \cdot \text{h} \cdot \text{K}}$$

Wandstärke $s = 4,5 \text{ mm}$

- Berechne die notwendige Wärmeaustauschfläche.
- Beurteile die Durchführbarkeit der Kapazitätserweiterung. $A_{\text{WT 400}} = 2,0 \text{ m}^2$
- Beschreibe 3 Möglichkeiten zur Beeinflussung der Wärmeübertragungsleistung

Wärmeenergie pro Stunde 45 min = 0,75 h

$$Q_h = \frac{55.678 \text{ kJ}}{0,75 \text{ h}} = 74.237,33 \text{ kJ}$$

$$Q = K \cdot A \cdot \Delta \bar{T}_m$$

$$A = \frac{Q}{K \cdot \Delta \bar{T}_m}$$

$$A = \frac{74.237,33 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}}{841,82 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{K}} \cdot 35,31 \text{ K}} = 2,5 \text{ m}^2$$

b) $2,5 \text{ m}^2 > 2,0 \text{ m}^2 \rightarrow$ nicht durchführbar

Klausuraufgabe - Wärmeübertragung

Wärmedurchgangskoeffizient

Für eine geplante Kapazitätserweiterung soll über den WT 400 in 45 Minuten eine Wärmeenergie von **55.678 kJ** abgeführt werden. Das Kühlwasser wird mit einer Temperatur von **26 °C** in den Wärmetauscher eingeleitet und verlässt diesen mit einer Temperatur von **35 °C**. Das Destillat kondensiert bei **66 °C**.

Gegeben:

$$\alpha_{\text{Kühlwasser}} = 1.273 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{K}}$$

$$\alpha_{\text{Destillat}} = 2.655 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{K}}$$

$$\lambda_{\text{Stahl}} = 175 \frac{\text{kJ}}{\text{m} \cdot \text{h} \cdot \text{K}}$$

Wandstärke $s = 4,5 \text{ mm}$

- Berechne die notwendige Wärmeaustauschfläche.
- Beurteile die Durchführbarkeit der Kapazitätserweiterung.
- Beschreibe 3 Möglichkeiten zur Beeinflussung der Wärmeübertragungsleistung

1. Temperaturdifferenzen:

$$\Delta\vartheta_{\text{gr}} = 66 \text{ °C} - 26 \text{ °C} = 40 \text{ °C}$$

$$\Delta\vartheta_{\text{kl}} = 66 \text{ °C} - 35 \text{ °C} = 31 \text{ °C}$$

2. Mittlere logarithmische Temperaturdifferenz:

$$T_m = \frac{\Delta\vartheta_{\text{gr}} - \Delta\vartheta_{\text{kl}}}{\ln\left(\frac{\Delta\vartheta_{\text{gr}}}{\Delta\vartheta_{\text{kl}}}\right)} = \frac{40 - 31}{\ln\left(\frac{40}{31}\right)} = 35,31 \text{ K}$$

3. Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten k :

$$k = \frac{1}{\frac{s}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2}} = \frac{1}{\frac{0,0045}{175} + \frac{1}{2.655} + \frac{1}{1.273}} = 841,82 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{K}}$$

4. Berechnung der notwendigen Fläche A :

$$A = \frac{Q}{k \cdot t \cdot T_m} = \frac{55.678 \text{ kJ}}{841,82 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{K}} \cdot 0,75 \text{ h} \cdot 35,31 \text{ K}}$$

Das ergibt:

$$A = 2,5 \text{ m}^2$$

Klausuraufgabe - Wärmeübertragung

Wärmedurchgangskoeffizient

Für eine geplante Kapazitätserweiterung soll über den WT 400 in 45 Minuten eine Wärmeenergie von **55.678 kJ** abgeführt werden. Das Kühlwasser wird mit einer Temperatur von **26 °C** in den Wärmetauscher eingeleitet und verlässt diesen mit einer Temperatur von **35 °C**. Das Destillat kondensiert bei **66 °C**.

Gegeben:

$$\alpha_{\text{Kühlwasser}} = 1.273 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{K}}$$

$$\alpha_{\text{Destillat}} = 2.655 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{K}}$$

$$\lambda_{\text{Stahl}} = 175 \frac{\text{kJ}}{\text{m} \cdot \text{h} \cdot \text{K}}$$

Wandstärke $s=4,5 \text{ mm}$

- Berechne die notwendige Wärmeaustauschfläche.
- Beurteile die Durchführbarkeit der Kapazitätserweiterung.
- Beschreibe 3 Möglichkeiten zur Beeinflussung der Wärmeübertragungsleistung

b) Bewertung der Durchführbarkeit:

Der WT 400 verfügt laut Datenblatt über eine Austauschfläche von **2,0 m²**.

Beurteilung:

Da die berechnete Fläche **2,5 m²** beträgt und der WT 400 nur **2,0 m²** bietet, kann die Wärmeenergie nicht in der vorgegebenen Zeit vollständig abgeführt werden. Somit ist die geplante Kapazitätserweiterung **nicht** durchführbar.

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

c) Nennen Sie drei grundsätzliche Möglichkeiten zur Beeinflussung der Wärmeübertragungsleistung:

- Erhöhung der mittleren Temperaturdifferenz (z.B. durch Senkung der Kühlmitteltemperatur).
- Vergrößerung der Wärmeaustauschfläche.
- Veränderung des Strömungsverhaltens (z.B. durch Erhöhung der Turbulenz im Kühlmedium).