

# **Geprüfte Industriemeister Fachrichtung Chemie**

**ΠΣ**



TIW GmbH ©

# ÜBUNGSKLAUSUR



# Aufgabe 1

## Redox und Stöchiometrie

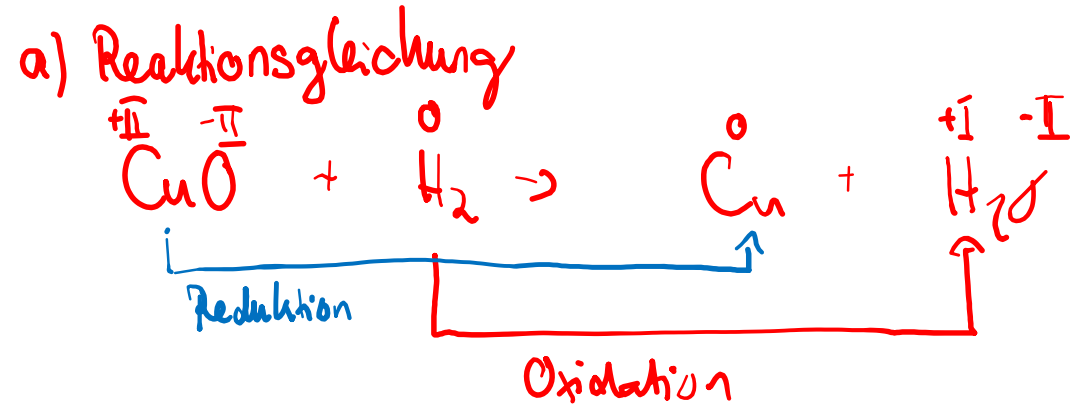
### 1 | Redox und Stöchiometrie (10 Punkte)

Redoxreaktionen gehören zu den grundlegenden Prozessen in der Chemie. Sie sind für viele wichtige Reaktionen in der Industrie und im Alltag verantwortlich.

#### Aufgabe:

In der vorliegenden Aufgabe reagiert Kupferoxid mit Wasserstoff zu Kupfer und Wasser.

- Stelle die Reaktionsgleichung auf. (4 Punkte)
- Bestimme die Oxidationszahlen jedes einzelnen Atoms. (4 Punkte)
- Formuliere die Teilreaktion der Oxidation. (3 Punkte)



Oxidation



Reduktion



# Aufgabe 1

## Redox und Stöchiometrie

### 1 | Redox und Stöchiometrie (10 Punkte)

Redoxreaktionen gehören zu den grundlegenden Prozessen in der Chemie. Sie sind für viele wichtige Reaktionen in der Industrie und im Alltag verantwortlich.

#### Aufgabe:

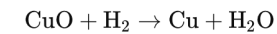
In der vorliegenden Aufgabe reagiert Kupferoxid mit Wasserstoff zu Kupfer und Wasser.

- Stelle die Reaktionsgleichung auf. (4 Punkte)
- Bestimme die Oxidationszahlen jedes einzelnen Atoms. (4 Punkte)
- Formuliere die Teilreaktion der Oxidation. (3 Punkte)

#### a) Stelle die Reaktionsgleichung auf

- Kupferoxid (CuO) reagiert mit Wasserstoff (H<sub>2</sub>).
- Die Produkte der Reaktion sind Kupfer (Cu) und Wasser (H<sub>2</sub>O).

Reaktionsgleichung:



#### b) Bestimme die Oxidationszahlen jedes einzelnen Atoms

- Bestimme die Oxidationszahlen in den Edukten:

- Kupferoxid (CuO):
  - Kupfer (Cu) hat die Oxidationszahl +2.
  - Sauerstoff (O) hat die Oxidationszahl -2.
- Wasserstoff (H<sub>2</sub>) ist ein Molekül aus zwei Wasserstoffatomen, jedes mit der Oxidationszahl 0.

- Bestimme die Oxidationszahlen in den Produkten:

- Kupfer (Cu) ist elementar und hat die Oxidationszahl 0.
- Im Wasser (H<sub>2</sub>O):
  - Sauerstoff (O) hat die Oxidationszahl -2.
  - Wasserstoff (H) hat die Oxidationszahl +1.

- Identifiziere das Teilchen, das oxidiert wird.

- Wasserstoff (H<sub>2</sub>) wird von einer Oxidationszahl von 0 auf +1 oxidiert.

- Formuliere die Oxidations-Halbreaktion:



# Aufgabe 1

## Redox und Stöchiometrie

### 1 | Redox und Stöchiometrie (10 Punkte) /

Redoxreaktionen gehören zu den grundlegenden Prozessen in der Chemie. Sie sind für viele wichtige Reaktionen in der Industrie und im Alltag verantwortlich.

#### Aufgabe:

In der vorliegenden Aufgabe reagiert Kupferoxid mit Wasserstoff zu Kupfer und Wasser.

- Stelle die Reaktionsgleichung auf. (4 Punkte)
- Bestimme die Oxidationszahlen jedes einzelnen Atoms. (4 Punkte)
- Formuliere die Teilreaktion der Oxidation. (3 Punkte)

### b) Bestimme die Oxidationszahlen jedes einzelnen Atoms

- Bestimme die Oxidationszahlen in den Edukten:
  - Kupferoxid (CuO):
    - Kupfer (Cu) hat die Oxidationszahl +2.
    - Sauerstoff (O) hat die Oxidationszahl -2.
  - Wasserstoff (H<sub>2</sub>) ist ein Molekül aus zwei Wasserstoffatomen, jedes mit der Oxidationszahl 0.
- Bestimme die Oxidationszahlen in den Produkten:
  - Kupfer (Cu) ist elementar und hat die Oxidationszahl 0.
  - Im Wasser (H<sub>2</sub>O):
    - Sauerstoff (O) hat die Oxidationszahl -2.
    - Wasserstoff (H) hat die Oxidationszahl +1.

### c) Formuliere die Teilreaktion der Oxidation

- Identifiziere das Teilchen, das oxidiert wird.
  - Wasserstoff (H<sub>2</sub>) wird von einer Oxidationszahl von 0 auf +1 oxidiert.
- Formuliere die Oxidations-Halbreaktion:



# Wie ist das mit Oxidationszahlen?

Reaktionsgleichungen



Die Oxidationszahl gibt die hypothetische Ladung eines Atoms in einer Verbindung an, wenn alle Bindungen rein ionisch wären. Sie hilft dabei, Redoxreaktionen zu analysieren und zu verstehen, welcher Stoff oxidiert und welcher reduziert wird.

## Elementare Stoffe (einatomig oder mehratomig):

Die Oxidationszahl eines elementaren Stoffs ist immer **0**.

Beispiel:  $H_2, O_2, N_2, Cl_2, P_4, S_8$

**Oxidationszahl = 0**

## Einatomige Ionen:

Die Oxidationszahl entspricht der Ladung des Ions.

Beispiel:  $Na^+$

**Oxidationszahl +1**

Beispiel:  $Cl^-$

**Oxidationszahl -1**

## Wasserstoff

In Verbindungen hat Wasserstoff fast immer die Oxidationszahl **+1**, außer in Metallhydriden, wo er **-1** hat.

Beispiel:  $H_2O$

**Oxidationszahl = +1**

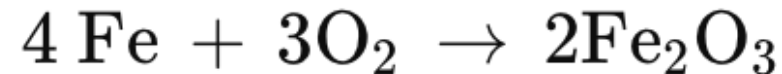
Beispiel:  $NaH$

**Oxidationszahl = -1**

# Was ist eine Oxidation?

Reaktionsgleichungen

Oxidation ist die Abgabe von Elektronen. Dabei erhöht sich die Oxidationszahl eines Elements.



## Was passiert hier chemisch?

Eisen (Fe) gibt Elektronen ab und wird oxidiert. Es geht von der Oxidationszahl **0** (elementares Eisen) auf **+III** (im Eisenoxid, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>).

## Wie schaut's in der Realität aus?

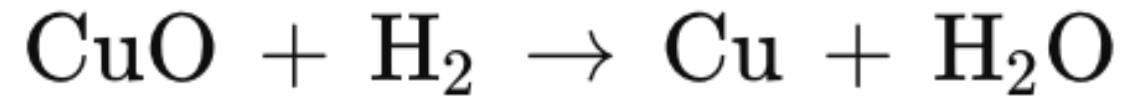
Dieser Prozess tritt bei der Rostbildung auf, wenn Eisen mit Sauerstoff in der Luft reagiert und oxidiert.

# Was ist eine Reduktion?

## Reaktionsgleichungen



Reduktion ist die Aufnahme von Elektronen. Dabei sinkt die Oxidationszahl eines Elements.



### Was passiert hier chemisch?

Kupfer (Cu) im Kupferoxid wird von der Oxidationszahl **+II** auf **0** reduziert, indem es Elektronen vom Wasserstoff erhält.

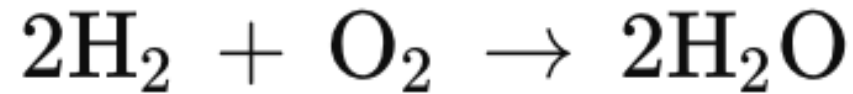
### Wie schaut's in der Realität aus?

Diese Reaktion wird in der Metallverarbeitung angewendet, um reines Kupfer durch Reduktion von Kupferoxiden zu gewinnen..

# Wie sehen die Teilreaktionen aus?

Reaktionsgleichungen

Klassische Redoxreaktion



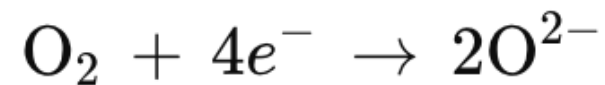
Teilreaktion 1: **Oxidation (Wasserstoff wird oxidiert):**

Wasserstoff wird oxidiert, indem es 2 Elektronen abgibt und von der Oxidationszahl 0 auf +I übergeht.



Teilreaktion 2: **Reduktion (Sauerstoff wird reduziert):**

Sauerstoff wird reduziert, indem es **4 Elektronen** aufnimmt und von der Oxidationszahl **0** auf **-II** übergeht.



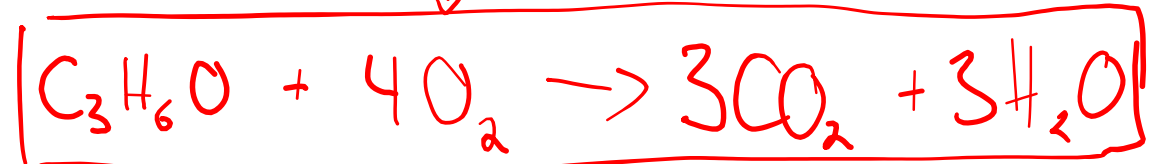
# Aufgabe 2

CSB

$$M(C_3H_6O) = 3 \cdot (12,01 \frac{g}{mol}) + 6 \cdot (1,008 \frac{g}{mol}) + 1 \cdot (16,00 \frac{g}{mol})$$
$$= 58,08 \frac{g}{mol}$$

4 Sauerstoffmoleküle

a)



b)

1. Masse Aceton

$$M_{Aceton} = m_{ges} \cdot w = 750 \text{ kg} \cdot 0,15$$
$$= 112,5 \text{ kg}$$

2. Stoffmenge Aceton

$$n = \frac{m}{M} = \frac{112,500 \text{ g}}{58,08 \frac{g}{mol}} = 1937,8 \text{ mol}$$

## 2 | CSB (14 Punkte)

Durch eine Leckage an einem Behälter sind 750 kg einer Aceton/Wasser-Phase ( $w(\text{Aceton}) = 0,15$ ) in den Abwasserkanal gelangt. Es wird angenommen, das Abwasservolumen beträgt 1.200 m<sup>3</sup>. Um die Belastung der biologischen Abwasserreinigungsanlage abzuschätzen, sollst du den CSB-Wert für Aceton ermitteln.

a) Formuliere die zugrunde liegende Reaktionsgleichung. (3 Punkte)

b) Berechne die Masse des Sauerstoffs, die für die Oxidation von Aceton benötigt wird. (5 Punkte)

c) Ermittle den CSB-Wert. (3 Punkte)

d) Erläutere den Unterschied zwischen CSB und BSB-Wert. (3 Punkte)

$$M(C_3H_6O) = 58,08 \frac{g}{mol}$$

$$m(\text{Lösung}) = 750 \text{ kg}$$

$$w = 0,15$$

# Aufgabe 2

CSB

## 2 | CSB (14 Punkte)

Durch eine Leckage an einem Behälter sind **750 kg** einer **Aceton/Wasser-Phase** ( $w(\text{Aceton}) = 0,15$ ) in den Abwasserkanal gelangt. Es wird angenommen, das Abwasservolumen beträgt **1.200 m<sup>3</sup>**. Um die Belastung der biologischen Abwasserreinigungsanlage abzuschätzen, sollst du den CSB-Wert für Aceton ermitteln.

- Formuliere die zugrunde liegende Reaktionsgleichung. (3 Punkte)
- Berechne die Masse des Sauerstoffs, die für die Oxidation von Aceton benötigt wird. (5 Punkte)
- Ermittle den CSB-Wert. (3 Punkte)
- Erläutere den Unterschied zwischen CSB und BSB-Wert. (3 Punkte)

$$M(\text{O}_2) = 32,00 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$$

$$\begin{aligned} \text{c) } \text{CSB} &= \frac{m_{\text{CO}_2}}{V_{\text{Abwasser}}} = \frac{248.038 \text{ g}}{1.200.000 \text{ L}} = 0,2067 \frac{\text{g}}{\text{L}} \\ &= 206,7 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \end{aligned}$$

3. Stoffmenge Sauerstoff

→ 4 Sauerstoffmoleküle für 1 Acetonmolekül

$$n_{\text{O}_2} = 4 \cdot n_{\text{Aceton}}$$

$$n_{\text{O}_2} = 4 \cdot 1937,8 \text{ mol}$$

$$n_{\text{O}_2} = 7751,2 \text{ mol}$$

4. Masse Sauerstoff

$$n = \frac{m}{M} \Rightarrow m = n \cdot M$$

$$= 7751,2 \text{ mol} \cdot 32,00 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$$

$$= 248.038,4 \text{ g}$$

$$= 248,04 \text{ kg}$$

# Aufgabe 2

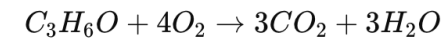
CSB

## 2 | CSB (14 Punkte)

Durch eine Leckage an einem Behälter sind **750 kg** einer **Aceton/Wasser-Phase** ( $w(\text{Aceton}) = 0,15$ ) in den Abwasserkanal gelangt. Es wird angenommen, das Abwasservolumen beträgt **1.200 m<sup>3</sup>**. Um die Belastung der biologischen Abwasserreinigungsanlage abzuschätzen, sollst du den CSB-Wert für Aceton ermitteln.

- Formuliere die zugrunde liegende Reaktionsgleichung. (3 Punkte)
- Berechne die Masse des Sauerstoffs, die für die Oxidation von Aceton benötigt wird. (5 Punkte)
- Ermittle den CSB-Wert. (3 Punkte)
- Erläutere den Unterschied zwischen CSB und BSB-Wert. (3 Punkte)

Aceton ( $C_3H_6O$ ) wird vollständig zu Kohlendioxid ( $CO_2$ ) und Wasser ( $H_2O$ ) oxidiert. Die Reaktionsgleichung lautet:



**Erklärung:**

- 1 Mol Aceton reagiert mit 4 Mol Sauerstoff, um zu 3 Mol Kohlendioxid und 3 Mol Wasser zu oxidieren.

# Aufgabe 2

CSB

## 2 | CSB (14 Punkte)

Durch eine Leckage an einem Behälter sind **750 kg** einer **Aceton/Wasser-Phase** ( $w(\text{Aceton}) = 0,15$ ) in den Abwasserkanal gelangt. Es wird angenommen, das Abwasservolumen beträgt **1.200 m<sup>3</sup>**. Um die Belastung der biologischen Abwasserreinigungsanlage abzuschätzen, sollst du den CSB-Wert für Aceton ermitteln.

- Formuliere die zugrunde liegende Reaktionsgleichung. (3 Punkte)
- Berechne die Masse des Sauerstoffs, die für die Oxidation von Aceton benötigt wird. (5 Punkte)
- Ermittle den CSB-Wert. (3 Punkte)
- Erläutere den Unterschied zwischen CSB und BSB-Wert. (3 Punkte)

$$\text{CSB} = \frac{m(\text{O}_2)}{V(\text{Abwasser})}$$

### 1. Berechne die Masse von Aceton in der Phase:

Der Massenanteil von Aceton beträgt  $w = 0,15$ , und die Gesamtmasse der Aceton/Wasser-Phase beträgt 750 kg. Daher ist die Masse von Aceton:

$$m_{\text{Aceton}} = 750 \text{ kg} \times 0,15 = 112,5 \text{ kg}$$

### 2. Berechne die Stoffmenge von Aceton:

Die molare Masse von Aceton ( $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$ ) ist:

$$M(\text{C}_3\text{H}_6\text{O}) = (3 \times 12,01 \text{ g/mol}) + (6 \times 1,008 \text{ g/mol}) + (16,00 \text{ g/mol}) = 58,08 \text{ g/mol}$$

Die Stoffmenge von Aceton ist dann:

$$n_{\text{Aceton}} = \frac{112,5 \text{ kg}}{58,08 \text{ g/mol}} = \frac{112,500 \text{ g}}{58,08 \text{ g/mol}} = 1937,8 \text{ mol}$$

### 3. Berechne die benötigte Sauerstoffmenge:

Aus der Reaktionsgleichung sehen wir, dass für 1 mol Aceton 4 mol Sauerstoff benötigt werden:

$$n_{\text{O}_2} = 1937,8 \text{ mol} \times 4 = 7751,2 \text{ mol}$$

### 4. Berechne die Masse des benötigten Sauerstoffs:

Die molare Masse von Sauerstoff ( $\text{O}_2$ ) ist:

$$M(\text{O}_2) = 32,00 \text{ g/mol}$$

Die Masse von Sauerstoff ist dann:

$$m_{\text{O}_2} = 7751,2 \text{ mol} \times 32,00 \text{ g/mol} = 248038,4 \text{ g} = 248,04 \text{ kg}$$

**Ergebnis:** Die Masse des Sauerstoffs, die für die vollständige Oxidation von 112,5 kg Aceton benötigt wird, beträgt **248,04 kg**.

# Aufgabe 2

## CSB

### 2 | CSB (14 Punkte)

Durch eine Leckage an einem Behälter sind **750 kg** einer **Aceton/Wasser-Phase** ( $w(\text{Aceton}) = 0,15$ ) in den Abwasserkanal gelangt. Es wird angenommen, das Abwasservolumen beträgt **1.200 m<sup>3</sup>**. Um die Belastung der biologischen Abwasserreinigungsanlage abzuschätzen, sollst du den CSB-Wert für Aceton ermitteln.

- Formuliere die zugrunde liegende Reaktionsgleichung. (3 Punkte)
- Berechne die Masse des Sauerstoffs, die für die Oxidation von Aceton benötigt wird. (5 Punkte)
- Ermittle den CSB-Wert. (3 Punkte)
- Erläutere den Unterschied zwischen CSB und BSB-Wert. (3 Punkte)

- Der Chemische Sauerstoffbedarf (CSB) ist die Menge an Sauerstoff, die benötigt wird, um die organischen Verbindungen vollständig zu oxidieren. Er wird in mg O<sub>2</sub>/L angegeben.
- Das Abwasservolumen beträgt 1.200 m<sup>3</sup>, was 1.200.000 Litern entspricht.
- Berechne den CSB-Wert:

$$\text{CSB} = \frac{248.040 \text{ g O}_2}{1.200.000 \text{ L}} = 0,2067 \text{ g/L} = 206,7 \text{ mg/L}$$

**Ergebnis:** Der CSB-Wert beträgt **206,7 mg/L**.

- CSB (Chemischer Sauerstoffbedarf):** Der CSB gibt die Menge an Sauerstoff an, die benötigt wird, um alle organischen Verbindungen in einem Abwasser chemisch vollständig zu oxidieren. Dies schließt sowohl biologisch abbaubare als auch nicht abbaubare Substanzen ein. Der CSB-Wert wird durch Zugabe starker Oxidationsmittel ermittelt.
- BSB (Biochemischer Sauerstoffbedarf):** Der BSB-Wert gibt die Menge an Sauerstoff an, die Mikroorganismen benötigen, um biologisch abbaubare organische Verbindungen in einem bestimmten Zeitraum (in der Regel 5 Tage) zu zersetzen. Der BSB-Wert bezieht sich nur auf den biologisch abbaubaren Teil der organischen Verbindungen.

# Spezielle Redoxreaktionen: CSB

## Reaktionsgleichungen



Der **CSB-Wert (Chemische Sauerstoffbedarf)** ist ein Maß für die Menge an **Sauerstoff**, die benötigt wird, um die organischen Verbindungen in einer wässrigen Probe vollständig zu oxidieren. Er wird häufig verwendet, um die **Belastung von Abwasser** durch organische Stoffe zu bewerten. Der CSB-Wert gibt an, wie viel **Sauerstoff (O<sub>2</sub>)** in Milligramm pro Liter (mg/L) benötigt wird, um die **organischen Stoffe** in einer Wasserprobe **chemisch zu oxidieren**. Je höher der CSB-Wert, desto mehr organische Substanzen sind im Wasser enthalten, was auf eine höhere Umweltbelastung hinweist. Ein hoher CSB-Wert kann auf stark verschmutztes Abwasser hinweisen, das gereinigt werden muss, bevor es in die Umwelt abgegeben werden kann.

## Berechnung CSB

Um den CSB zu berechnen, wird die Menge des benötigten Sauerstoffs für die vollständige Oxidation einer organischen Verbindung verwendet. In der Praxis wird oft die Reaktionsgleichung der Oxidation der organischen Verbindung verwendet, um den CSB zu berechnen.

$$\text{CSB} = \frac{\text{Masse des Sauerstoffs (g)}}{\text{Volumen der Wasserprobe (L)}}$$

## BSB (Biochemischer Sauerstoffbedarf)

- Der **BSB-Wert** gibt die Menge an Sauerstoff an, die Mikroorganismen benötigen, um organische Verbindungen in einem Wasser oder Abwasser biologisch abzubauen.
- Er wird in der Regel als **BSB<sub>5</sub>** angegeben, was bedeutet, dass die Messung nach **5 Tagen** erfolgt.
- **Unterschied zum CSB:** Der **BSB** berücksichtigt den biologischen Abbau durch Mikroorganismen, während der **CSB** die **chemische Oxidation** aller organischen Verbindungen misst. CSB-Werte sind daher in der Regel höher als BSB-Werte.

## TOC (Total Organic Carbon, Gesamter organischer Kohlenstoff)

- Der **TOC-Wert** misst die Menge an **organischem Kohlenstoff** in einer Probe. Dabei wird der gesamte Kohlenstoff, der in organischen Verbindungen vorhanden ist, erfasst.
- Er ist ein direkter Indikator für die Menge an **organischen Verbindungen** im Wasser.
- **Unterschied zum CSB:** Der **TOC** gibt nur den organischen Kohlenstoff an, während der **CSB** den gesamten Sauerstoffbedarf zur vollständigen Oxidation der organischen Verbindungen beschreibt.

# Aufgabe 3

## Gleichgewicht

### 3 | Gleichgewicht (12 Punkte)

- Nenne vier verschiedene Möglichkeiten, wie du eine Gleichgewichtsreaktion auf die Produktseite verschieben kannst. (4 Punkte)
- Nenne vier Möglichkeiten, wie du während der Reaktion die Konzentration des Produkts niedrig halten und somit das Gleichgewicht zur Produktseite verschieben kannst. Erkläre jede Möglichkeit (8 P.)

a)

Einflussfaktoren

- Konzentration
- Druck
- Temperatur

- Wärmezufuhr bei endothermen Reaktionen
- Kühlung bei exothermen Reaktionen
- Erhöhung der Konzentration der Edukte
- Verringerung der Konzentration der Produkte
-

# Aufgabe 3

## Gleichgewicht

### 3 | Gleichgewicht (12 Punkte)

- a) Nenne vier verschiedene Möglichkeiten, wie du eine Gleichgewichtsreaktion auf die Produktseite verschieben kannst. (4 Punkte)
- b) Nenne vier Möglichkeiten, wie du während der Reaktion die Konzentration des Produkts niedrig halten und somit das Gleichgewicht zur Produktseite verschieben kannst. Erkläre jede Möglichkeit (8 P.)

#### a. Gleichgewichtsbeeinflussung

- Erhöhung der Konzentration eines Edukts.
- Erniedrigung der Konzentration eines Produkts.
- Wärmeabfuhr bei exothermen Reaktionen.
- Druckerhöhung bei Reaktionen mit Volumenabnahme

# Aufgabe 3

## Gleichgewicht

### 3 | Gleichgewicht (12 Punkte)

- Nenne vier verschiedene Möglichkeiten, wie du eine Gleichgewichtsreaktion auf die Produktseite verschieben kannst. (4 Punkte)
- Nenne vier Möglichkeiten, wie du während der Reaktion die Konzentration des Produkts niedrig halten und somit das Gleichgewicht zur Produktseite verschieben kannst. Erkläre jede Möglichkeit (8 P.)

- **1. Abdestillieren eines Produkts**
  - Wenn das Produkt flüchtiger ist als die Edukte, kannst du es während der Reaktion abdestillieren. Das bedeutet, du erhitzt das Reaktionsgemisch, bis das Produkt verdampft und dann in einem Kondensator wieder verflüssigt wird. Dadurch sinkt seine Konzentration im Reaktionsgemisch. Beispiel: Bei der Herstellung von Ethanol durch Fermentation wird Ethanol abdestilliert, da es bei niedrigeren Temperaturen als die meisten anderen Komponenten siedet.
- **2. Fällung des Produkts**
  - Man kann ein Fällungsmittel zugeben, das mit dem Produkt eine unlösliche Verbindung bildet. Diese fällt dann als Feststoff aus der Lösung aus, und die Konzentration des Produkts in der Lösung sinkt. **Beispiel:** Wenn Calciumcarbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) gebildet wird, fällt es als Feststoff aus der Lösung aus. Dadurch wird die Konzentration der gelösten Ionen vermindert, und die Reaktion wird weiter zur Produktseite verschoben.
- **3. Extraktion des Produkts**
  - Du kannst ein Lösungsmittel verwenden, das das Produkt löst, aber nicht mit der Reaktion selbst interagiert. Durch diese Trennung wird das Produkt kontinuierlich aus dem Reaktionsgemisch entfernt. **Beispiel:** Bei organischen Reaktionen wird oft ein nicht mischbares Lösungsmittel wie Diethylether verwendet, um Produkte zu extrahieren.
- **4. Weiterreaktion des Produkts**
  - Wenn das Produkt sofort in eine Folge-Reaktion involviert wird, sinkt seine Konzentration im Reaktionsgemisch. Dies verschiebt das Gleichgewicht zugunsten der Produktherstellung.
  - **Beispiel:** Beim Haber-Bosch-Verfahren kann Ammoniak weiterverwendet werden, z.B. für die Herstellung von Düngemitteln, sodass es aus dem Reaktionssystem entfernt wird.

# Reaktionsgleichgewicht

## Reaktionsgleichungen



Das chemische Gleichgewicht ist ein Zustand, bei dem die Geschwindigkeit der Hinreaktion genauso groß ist wie die Geschwindigkeit der Rückreaktion. In einem geschlossenen System bleiben die Konzentrationen der Edukte und Produkte konstant, obwohl Reaktionen weiterhin ablaufen. Das Gleichgewicht stellt sich bei bestimmten Bedingungen ein und kann durch äußere Einflüsse wie Temperatur, Druck oder Konzentration beeinflusst werden. Das chemische Gleichgewicht folgt dem **Prinzip von Le Chatelier**, das besagt, dass ein System, das sich im Gleichgewicht befindet, auf Änderungen seiner Bedingungen so reagiert, dass es versucht, die Störung zu minimieren und wieder ins Gleichgewicht zu kommen.

### Faktoren, die das Gleichgewicht beeinflussen

Konzentration  
Druck  
Temperatur

### Faktoren, die das Gleichgewicht nicht beeinflussen

Katalysatoren  
Zugabe eines Inertgases bei konstantem Druck

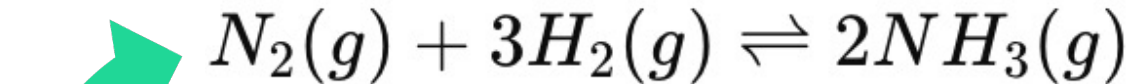
Katalysatoren beschleunigen Hin- und Rückreaktion in gleichem Maße  
↳ kein Einfluss auf Gleichgewichtsposition

# Reaktionsgleichgewicht – Konzentration


## Reaktionsgleichungen

**Erhöhung der Konzentration eines Edukts:** Wenn die Konzentration eines Edukts erhöht wird, verschiebt sich das Gleichgewicht in Richtung Produkte, um die erhöhte Menge an Edukten zu „verbrauchen“.

**Erniedrigung der Konzentration eines Produkts:** Wird die Konzentration eines Produkts verringert, verschiebt sich das Gleichgewicht ebenfalls in Richtung der Produktseite, um die reduzierte Menge auszugleichen.



Erhöht man die Konzentration von Stickstoff ( $N_2$ ), wird mehr Ammoniak ( $NH_3$ ) produziert.



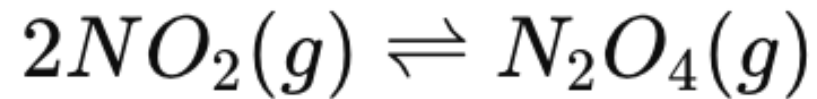
Die **Erniedrigung der Konzentration eines Produkts** bedeutet, dass du das Produkt aus der Reaktionsmischung entfernst, während die Reaktion noch läuft. Das hat den Effekt, dass das Gleichgewicht wieder in Richtung **Produkte** verschoben wird, um den „Verlust“ des Produkts auszugleichen. Das System versucht also, mehr Produkt zu bilden, um die verminderte Konzentration auszugleichen.

# Reaktionsgleichgewicht – Druck

## Reaktionsgleichungen

**Erhöhung des Drucks:** Bei Reaktionen, die mit einer Volumenabnahme einhergehen, verschiebt sich das Gleichgewicht bei erhöhtem Druck in Richtung der Seite mit weniger Gasteilchen.

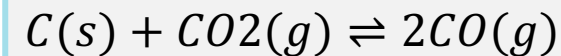
**Verringerung des Drucks:** Bei Reaktionen mit Volumenzunahme verschiebt sich das Gleichgewicht bei verringertem Druck auf die Seite der Edukte.



Da zwei Moleküle Stickstoffdioxid ( $NO_2$ ) zu einem Molekül Distickstofftetroxid ( $N_2O_4$ ) reagieren, führt eine Druckerhöhung dazu, dass mehr  $N_2O_4$  gebildet wird.



Ein gutes Beispiel für die Verschiebung des Gleichgewichts bei **Druckverringerung** ist die **Bildung von Kohlenstoffmonoxid** (CO) aus Kohlendioxid ( $CO_2$ ) und festem Kohlenstoff (C).



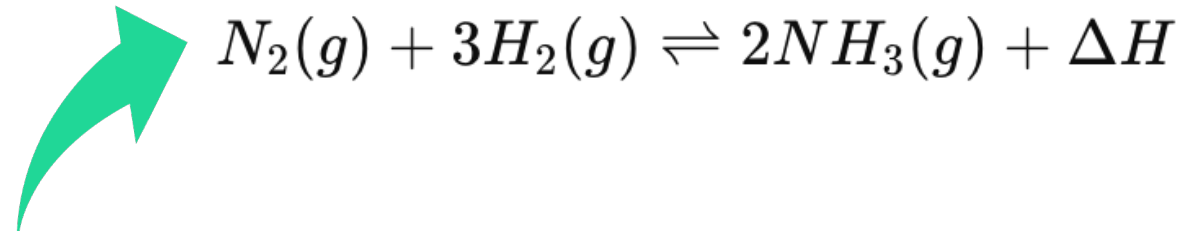
Auf der **linken Seite** der Reaktionsgleichung haben wir **1 Molekül** gasförmiges  $CO_2$ . Auf der **rechten Seite** der Reaktion entstehen **2 Moleküle** CO. Das bedeutet, dass auf der rechten Seite **mehr gasförmige Teilchen** vorhanden sind, was zu einer **Volumenzunahme** führt.

# Reaktionsgleichgewicht – Temperatur

## Reaktionsgleichungen

**Exotherme Reaktionen:** Bei exothermen Reaktionen (Wärme wird freigesetzt) verschiebt sich das Gleichgewicht bei einer Temperaturerhöhung auf die Seite der Edukte, da das System versucht, die zusätzliche Wärme „abzubauen“.

**Endotherme Reaktionen:** Bei endothermen Reaktionen (Wärme wird aufgenommen) verschiebt sich das Gleichgewicht bei Temperaturerhöhung auf die Produktseite.



Das Haber-Bosch-Verfahren zur Ammoniaksynthese ist exotherm, daher würde eine Temperaturerhöhung das Gleichgewicht in Richtung Edukte verschieben.

# Aufgabe 4

## Statische Prozesskontrolle

### 4 | Statistische Prozesskontrolle (10 Punkte)

Statistische Prozesskontrolle (SPC) ist ein wichtiges Werkzeug im Qualitätsmanagement. Erläutern Sie das Prinzip der SPC und beschreiben Sie zwei Werkzeuge, die in der SPC verwendet werden.

- Qualitätsregelkarte / Kontrollkarte
  - Mittelwert
  - Obere und untere Kontrollgrenze
- Grenzwerte / Spezifikation
- Histogramm
- CAQ rechnergestützte Qualitätssicherung
- Maschinendatenerfassung

→ Prinzip der SPC

- Nutzung statistischer Methoden zur Erhaltung eines vordefinierten Maßes an Qualität
- kontinuierliche Überwachung der Prozessvariabilität
- Sicherstellung, dass Prozess in definierten Kontrollgrenzen bleibt

# Aufgabe 4

## Statische Prozesskontrolle

### 4 | Statistische Prozesskontrolle (10 Punkte)

Statistische Prozesskontrolle (SPC) ist ein wichtiges Werkzeug im Qualitätsmanagement. Erläutern Sie das Prinzip der SPC und beschreiben Sie zwei Werkzeuge, die in der SPC verwendet werden.

- Das grundlegende Prinzip der SPC ist die kontinuierliche Überwachung der Prozessvariabilität, um sicherzustellen, dass der Prozess innerhalb vordefinierter Kontrollgrenzen bleibt. Diese Grenzen werden auf der Grundlage statistischer Daten festgelegt. Sobald der Prozess eine bestimmte Abweichung von diesen Grenzen zeigt, deutet dies darauf hin, dass der Prozess außer Kontrolle geraten ist und möglicherweise Eingriffe erforderlich sind.
- SPC dient dazu, ein vordefiniertes Maß an Qualität möglichst kostengünstig einzuhalten.

# Aufgabe 4

## Statische Prozesskontrolle

### 4 | Statistische Prozesskontrolle (10 Punkte)

Statistische Prozesskontrolle (SPC) ist ein wichtiges Werkzeug im Qualitätsmanagement. Erläutern Sie das Prinzip der SPC und beschreiben Sie zwei Werkzeuge, die in der SPC verwendet werden.

- **Kontrollkarten (Control Charts):**
- Kontrollkarten sind das zentrale Werkzeug der SPC. Sie ermöglichen es, den Verlauf eines Prozesses grafisch darzustellen und zu überwachen, ob er sich innerhalb der vordefinierten statistischen Kontrollgrenzen bewegt. Eine typische Kontrollkarte besteht aus einer Mittellinie (Prozessmittelwert), einer oberen Kontrollgrenze (UCL) und einer unteren Kontrollgrenze (LCL). Diese Grenzwerte basieren auf statistischen Berechnungen und dienen dazu, normale Schwankungen von ungewöhnlichen Abweichungen zu unterscheiden.
- **Nutzen:** Kontrollkarten helfen, Abweichungen zu erkennen, die auf systematische Fehler hindeuten, bevor Mängel in der Produktion entstehen. Dies ermöglicht eine rechtzeitige Anpassung des Prozesses.

# Aufgabe 4

## Statische Prozesskontrolle

### 4 | Statistische Prozesskontrolle (10 Punkte)

Statistische Prozesskontrolle (SPC) ist ein wichtiges Werkzeug im Qualitätsmanagement. Erläutern Sie das Prinzip der SPC und beschreiben Sie zwei Werkzeuge, die in der SPC verwendet werden.

- **Histogramme:**
- Ein Histogramm ist eine grafische Darstellung der Verteilung von Prozessdaten über einen bestimmten Zeitraum. Es zeigt die Häufigkeitsverteilung von Messwerten und ermöglicht eine Analyse der Prozessstreuung. Histogramme helfen dabei zu erkennen, ob die Daten normal verteilt sind und ob es Ausreißer oder systematische Abweichungen gibt.
- **Nutzen:** Histogramme bieten eine schnelle Visualisierung der Verteilung und Streuung von Prozessdaten, wodurch es einfacher wird, den Zustand des Prozesses zu verstehen und gegebenenfalls Verbesserungsmaßnahmen zu ergreifen.

# Aufgabe 6

Heizwert

## 6 | Heizwert (6 Punkte)

In einer Heizungsanlage sollen **400 kg** einer **Salzlösung** mit einer Temperatur von **20 °C** erwärmt werden. Dafür werden **2,10 kg Erdgas** mit einem spezifischen Heizwert von **50,0 MJ/kg** verbrannt. Der Ofen arbeitet mit einem Wirkungsgrad von **85 %**.

- Spezifische Wärmekapazität der Salzlösung:  $c=3,95 \text{ kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$
- Wirkungsgrad des Ofens:  $\eta=85\%$

Berechne die Endtemperatur der Salzlösung nach der Erwärmung.

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

$$Q_{\text{zu}} = m \cdot H_i$$

1. Verbrennungswärme

$$\begin{aligned} Q_{\text{zu}} &= m \cdot H_i \\ &= 2,10 \text{ kg} \cdot 50.000 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \end{aligned}$$

$$Q_{\text{zu}} = 105.000 \text{ kJ}$$

$$Q_{\text{zu}} \cdot \eta = Q_{\text{ab}}$$

$$105.000 \text{ kJ} \cdot 0,85 = Q_{\text{ab}}$$

$$89.250 \text{ kJ} = Q_{\text{ab}}$$

⇒ Die an die Salzlösung abgegebene Wärmemenge

$$Q_{\text{zu}} \cdot \eta = Q_{\text{ab}}$$

$$m_E \cdot H_i \cdot \eta = m_S \cdot c_S \cdot \Delta T$$

$$\Delta T = \frac{m_E \cdot H_i \cdot \eta}{m_S \cdot c_S}$$

# Aufgabe 6

Heizwert

## 6 | Heizwert (6 Punkte)

In einer Heizungsanlage sollen **400 kg** einer **Salzlösung** mit einer Temperatur von **20 °C** erwärmt werden. Dafür werden **2,10 kg Erdgas** mit einem spezifischen Heizwert von **50,0 MJ/kg** verbrannt. Der Ofen arbeitet mit einem Wirkungsgrad von **85 %**.

- Spezifische Wärmekapazität der Salzlösung:  $c=3,95 \text{ kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$
- Wirkungsgrad des Ofens:  $\eta=85\%$

Berechne die Endtemperatur der Salzlösung nach der Erwärmung.

$20^\circ\text{C} = \text{Anfangstemperatur}$



← Wärme  $\Delta T = 56,5^\circ\text{C}$

$76,5^\circ\text{C} = \text{Endtemperatur}$

$$Q_{ab} = 89.250 \text{ kJ}$$

2. Temperaturdifferenz bestimmen

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

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

$$= \frac{89.250 \text{ kJ}}{400 \text{ kg} \cdot 3,95 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}}$$

$$\Delta T = 56,5 \text{ K}$$

→ Endtemperatur  $20^\circ\text{C} + 56,5^\circ\text{C} = 76,5^\circ\text{C}$

# Aufgabe 6

## Heizwert

### 6 | Heizwert (6 Punkte)

In einer Heizungsanlage sollen **400 kg** einer **Salzlösung** mit einer Temperatur von **20 °C** erwärmt werden. Dafür werden **2,10 kg Erdgas** mit einem spezifischen Heizwert von **50,0 MJ/kg** verbrannt. Der Ofen arbeitet mit einem Wirkungsgrad von **85 %**.

- Spezifische Wärmekapazität der Salzlösung:  $c=3,95 \text{ kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$
- Wirkungsgrad des Ofens:  $\eta=85\%$

**Berechne die Endtemperatur der Salzlösung nach der Erwärmung.**

#### 1. Berechnung der freigesetzten Wärmeenergie durch das Erdgas:

Die vom Erdgas freigesetzte Energie beträgt:

$$Q_{\text{freigesetzt}} = m_{\text{Erdgas}} \times H$$

Dabei beachten, dass  $H$  in MJ/kg angegeben ist und in kJ/kg umgerechnet werden muss:

$$Q_{\text{freigesetzt}} = 2,10 \text{ kg} \times 50,0 \text{ MJ/kg} = 105,0 \text{ MJ} = 105,000 \text{ kJ}$$

#### 2. Berücksichtigung des Wirkungsgrades des Ofens:

Da der Ofen mit einem Wirkungsgrad von  $\eta = 85\%$  arbeitet, wird nur ein Teil der freigesetzten Energie genutzt:

$$Q_{\text{nutzbar}} = Q_{\text{freigesetzt}} \times \eta = 105,000 \text{ kJ} \times 0,85 = 89,250 \text{ kJ}$$

#### 3. Bestimmung der Endtemperatur:

Die zugeführte Wärme  $Q_{\text{nutzbar}}$  wird verwendet, um die Temperatur der Salzlösung zu erhöhen. Die Formel für die Wärmeenergie ist:

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

Umgestellt nach der Temperaturdifferenz  $\Delta T$ :

$$\Delta T = \frac{Q_{\text{nutzbar}}}{m \times c}$$

Einsetzen der Werte:

$$\Delta T = \frac{89,250 \text{ kJ}}{400 \text{ kg} \times 3,95 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})} = \frac{89,250}{1580} = 56,5 \text{ K}$$

#### 4. Berechnung der Endtemperatur:

Die Endtemperatur ergibt sich aus der Anfangstemperatur und der Temperaturerhöhung  $\Delta T$ :

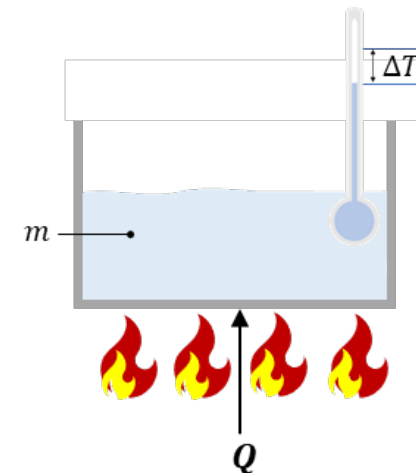
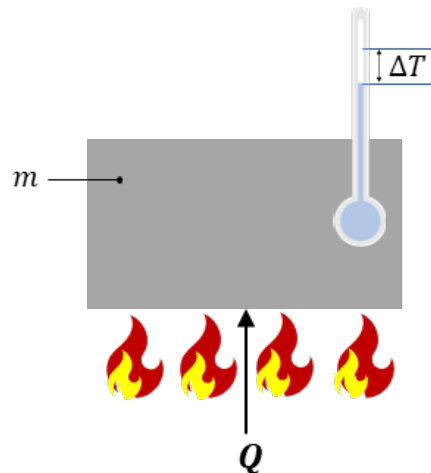
$$T_{\text{Ende}} = T_{\text{Anfang}} + \Delta T = 20 \text{ °C} + 56,5 \text{ K} = 76,5 \text{ °C}$$

# 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  $\Delta T$  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.

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



# Wärmemenge

## Verbrennungswärme

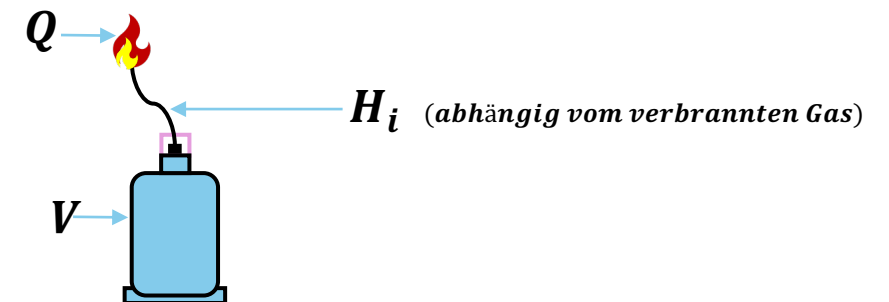
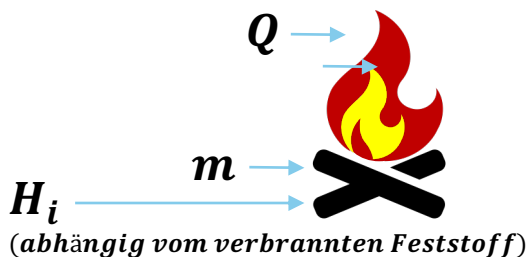


Einem System muss Energie, in Form von Wärme, zugefügt werden, damit sich die Masse eines Stoffes um eine bestimmte Temperatur erhöht. Einem System wird die Energie meistens durch Verbrennungswärme zugefügt.

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.

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

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



# Aufgabe 7

## Wärmeübertragung

gesucht



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

1. Wärmestrom

$$\frac{50.800 \text{ kJ}}{2.100 \text{ s}} = 24,19 \frac{\text{kJ}}{\text{s}}$$

$$24,19 \text{ kW}$$

$$24.190 \text{ W}$$

2. Wärmedurchgangskoeffizient

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_a}} = \frac{1}{\frac{1}{1273} + \frac{0,0045 \text{ m}}{175} + \frac{1}{2655}}$$

$$K = 842,6 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

### 7 | Wärmeübertragung (8 Punkte)

Für eine geplante Kapazitätserweiterung soll über den WT 400 in 35 Minuten eine Wärmeenergie von 50,8 MJ 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:

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

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

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

Wandstärke  $s=4,5 \text{ mm}$

- Berechne die notwendige Wärmeaustauschfläche.
- Beurteile die Durchführbarkeit der Kapazitätserweiterung. *verfügbar 1 m<sup>2</sup>*
- Beschreibe 3 Möglichkeiten zur Beeinflussung der Wärmeübertragungsleistung

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

# Aufgabe 7

## Wärmeübertragung

### 7 | Wärmeübertragung (8 Punkte)

Für eine geplante Kapazitätserweiterung soll über den WT 400 in 35 Minuten eine Wärmeenergie von **50,8 MJ** 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:**

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

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

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

Wandstärke  $s=4,5 \text{ mm}$

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

3.  $\Delta \bar{T}_m$

$$\Delta \bar{T}_{gr} = 66^\circ\text{C} - 26^\circ\text{C} = 40\text{K}$$

$$\Delta \bar{T}_{kl} = 66^\circ\text{C} - 35^\circ\text{C} = 31\text{K}$$

$$\Delta \bar{T}_m = \frac{\Delta \bar{T}_{gr} - \Delta \bar{T}_{kl}}{\ln\left(\frac{\Delta \bar{T}_{gr}}{\Delta \bar{T}_{kl}}\right)} = \frac{40\text{K} - 31\text{K}}{\ln\left(\frac{40}{31}\right)}$$

$$\Delta \bar{T}_m = 35,8\text{K}$$

~~35,8K~~  
35,31K

# Aufgabe 7

## Wärmeübertragung

### 7 | Wärmeübertragung (8 Punkte)

Für eine geplante Kapazitätserweiterung soll über den WT 400 in 35 Minuten eine Wärmeenergie von 50,8 MJ 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:

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

$$\frac{\text{kJ}}{\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{K}}$$

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

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

Wandstärke  $s=4,5 \text{ mm}$

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

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

$$A = \frac{\dot{Q}}{K \cdot \Delta \bar{T}_m} = \frac{24.190 \text{ W}}{842,6 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \cdot 35,31 \text{ K}} = 0,81 \text{ m}^2$$

$$A = \frac{87.086 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}}{842,6 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{K}} \cdot 35,31} = 2,93 \text{ m}^2$$

$$\dot{Q} = 24.190 \text{ W}$$

$$K = 842,6 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

$$\Delta \bar{T}_m = 35,31 \text{ K}$$

$$\dot{Q} = 87.086 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}$$

- Wandstärke / Wandmaterial

- Fahrweise / Strömungsgeschwindigkeit

- Temperatur der Kühlwasser

- Kühlmedium - Übertragungsfläche

# Aufgabe 7

## Wärmeübertragung

### 7 | Wärmeübertragung (8 Punkte)

Für eine geplante Kapazitätserweiterung soll über den WT 400 in 35 Minuten eine Wärmeenergie von **50,8 MJ** 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. Berechnung der logarithmischen mittleren Temperaturdifferenz:

$$\Delta T_{\log} = \frac{(T_{\text{Destillat}} - T_{\text{Eintritt}}) - (T_{\text{Destillat}} - T_{\text{Austritt}})}{\ln \left( \frac{T_{\text{Destillat}} - T_{\text{Eintritt}}}{T_{\text{Destillat}} - T_{\text{Austritt}}} \right)}$$

Einsetzen der gegebenen Werte:

$$\Delta T_{\log} = \frac{(66 - 26) - (66 - 35)}{\ln \left( \frac{66 - 26}{66 - 35} \right)} = \frac{40 - 31}{\ln \left( \frac{40}{31} \right)} = \frac{9}{0,2513} = 35,8$$

### 2. Berechnung des Wärmeübertragungskoeffizienten $K$ :

Der Wärmeübertragungskoeffizient  $K$  wird berechnet durch:

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{\alpha_{\text{Kühlwasser}}} + \frac{s}{\lambda_{\text{Stahl}}} + \frac{1}{\alpha_{\text{Destillat}}}$$

Einsetzen der gegebenen Werte:

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{1273} + \frac{0,0045}{175} + \frac{1}{2655}$$

$$\frac{1}{K} = 0,000785 + 0,0000257 + 0,0003767 = 0,001187$$

$$K = \frac{1}{0,001187} = 842,6 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

# Aufgabe 7

## Wärmeübertragung

### 7 | Wärmeübertragung (8 Punkte)

Für eine geplante Kapazitätserweiterung soll über den WT 400 in 35 Minuten eine Wärmeenergie von **50,8 MJ** 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. Berechnung der Wärmeübertragungsfläche $A$ :

Die Wärmeübertragungsfläche kann nun berechnet werden durch:

$$A = \frac{Q}{K \cdot \Delta T_{\text{log}} \cdot t}$$

Einsetzen der Werte:

$$A = \frac{50.800}{842,6 \cdot 35,8 \cdot 2.100} = 0,8 \text{ m}^2$$

Die notwendige Wärmeübertragungsfläche beträgt also **0,8m<sup>2</sup>**

# 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.

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

**$\alpha_{\text{innen}}$**

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

## Dicken der Schichten

$\delta_1$  : Das ist die Dicke der ersten Schicht der Wand (z.B. Isoliermaterial). Diese wird in Metern angegeben.  
 $\delta_2$  : Falls die Wand aus mehreren Schichten besteht, gibt es hier weitere Dickenparameter (z.B. für die zweite Schicht)

## Wärmeleitfähigkeiten

$\lambda_1$  : Die Wärmeleitfähigkeit der ersten Schicht (in W/m·K), die beschreibt, wie gut oder schlecht das Material der Wand Wärme leitet.  
 $\lambda_2$  : Falls es mehrere Schichten gibt, beschreibt  $\lambda_2$  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.

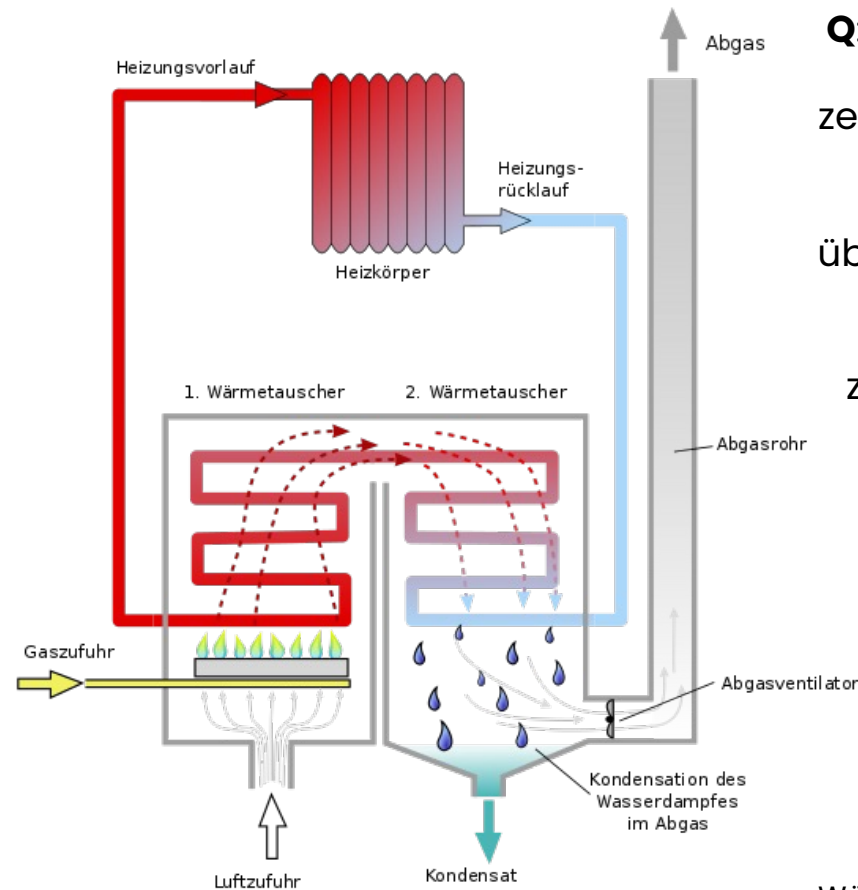
### Und was passiert?

**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.

**$\Delta T_m$ :** 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

$$\Delta T_m$$




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.

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



**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!**

# Aufgabe 8

## Maschinenstundensatz

### 8 | Maschinenstundensatz (8 Punkte)

Die TIW-GmbH hat für eine CNC-Fräsmaschine im vergangenen Jahr einen Maschinenstundensatz in Höhe von 62,80 €/h auf der Basis von 1.200 Maschinenstunden pro Jahr kalkuliert.

Die Berechnung erfolgte auf Basis folgender Daten:

- Nutzungsdauer	15 Jahre
- Jährliche Einsatzzeit	1.200 h
- Instandhaltungskostensatz	4 %
- Kalkulatorische Abschreibungen	28 €/h
- Kalkulatorische Zinsen	14,50 €/h
- Raumkosten	2,80 €/h
- Energiekosten	3,30 €/h
- Instandhaltungskosten	14,20 €/h
- Maschinenstundensatz	62,80 €/h

26,25 €/h  
 14,50 €/h  
 2,80 €/h  
 3,30 €/h  
 14,20 €/h + 1,58 €/h

Aufgrund der gestiegenen Nachfrage infolge der Globalisierung geht die Geschäftsführung in diesem Jahr von einer jährlichen Laufzeit von 1.600 h aus.

Außerdem lagen die tatsächlichen Instandhaltungskosten über den geplanten Kosten, sodass eine Erhöhung des Instandhaltungssatzes auf 6 % eingeplant werden muss.

Weiterhin wird die geplante Nutzungsdauer auf 12 Jahre herabgesetzt.

Berechne den neuen Maschinenstundensatz für die CNC-Fräsmaschine

Instandhaltungskosten

$$26,25 \text{ €/h} \cdot 0,06 = 1,58 \text{ €/h}$$

1. Aus kalkulatorischen Abschreibungen  
 → Abschaffungskosten

$$\text{Kalk. Abschreibung} = \frac{AK}{\text{Nutzungsdauer}}$$

$$\text{Kalk. Abschreibung} \cdot \text{Nutzungsdauer} = AK$$

$$28 \text{ €/h} \cdot 1.200 \text{ h} \cdot 15 \text{ a} = AK$$

$$504.000 \text{ €} = AK$$

neuen kalkulatorischen Abschreibungen

$$\text{Kalk. Abschreibung} = \frac{504.000}{12} = 42.000 \text{ €/a}$$

$$\frac{42.000}{1.600} - 26,25 \text{ €/h}$$

# Aufgabe 8

## Maschinenstundensatz

### 8 | Maschinenstundensatz (8 Punkte)

Die TIW-GmbH hat für eine CNC-Fräsmaschine im vergangenen Jahr einen Maschinenstundensatz in Höhe von 62,80 €/h auf der Basis von 1.200 Maschinenstunden pro Jahr kalkuliert.

Die Berechnung erfolgte auf Basis folgender Daten:

- Nutzungsdauer	15 Jahre
- Jährliche Einsatzzeit	1.200 h
- Instandhaltungskostensatz	4 %
- Kalkulatorische Abschreibungen	28 €/h
- Kalkulatorische Zinsen	14,50 €/h
- Raumkosten	2,80 €/h
- Energiekosten	3,30 €/h
- Instandhaltungskosten	14,20 €/h
- Maschinenstundensatz	62,80 €/h

Aufgrund der gestiegenen Nachfrage infolge der Globalisierung geht die Geschäftsführung in diesem Jahr von einer jährlichen Laufzeit von 1.600 h aus.

Außerdem lagen die tatsächlichen Instandhaltungskosten über den geplanten Kosten, sodass eine Erhöhung des Instandhaltungssatzes auf 6 % eingeplant werden muss.

Weiterhin wird die geplante Nutzungsdauer auf 12 Jahre herabgesetzt.

**Berechne den neuen Maschinenstundensatz für die CNC-Fräsmaschine**

Maschinenstundensatz

Kalk. Abschreibung	26,25 €/h
+ Kalk. Zinsen	14,50 €/h
+ Raumkosten	2,80 €/h
+ Energiekosten	3,30 €/h
+ Instandhaltungskosten	14,20 €/h
	+ 1,58 €/h
	<hr/>
	62,63 €/h

# Aufgabe 8

## Maschinenstundensatz

### 8 | Maschinenstundensatz (8 Punkte)

Die TIW-GmbH hat für eine CNC-Fräsmaschine im vergangenen Jahr einen Maschinenstundensatz in Höhe von 62,80 €/h auf der Basis von 1.200 Maschinenstunden pro Jahr kalkuliert.

Die Berechnung erfolgte auf Basis folgender Daten:

– Nutzungsdauer	15 Jahre
– Jährliche Einsatzzeit	1.200 h
– Instandhaltungskostensatz	4 %
– Kalkulatorische Abschreibungen	28 €/h
– Kalkulatorische Zinsen	14,50 €/h
– Raumkosten	2,80 €/h
– Energiekosten	3,30 €/h
– Instandhaltungskosten	14,20 €/h
– Maschinenstundensatz	62,80 €/h

Aufgrund der gestiegenen Nachfrage infolge der Globalisierung geht die Geschäftsführung in diesem Jahr von einer jährlichen Laufzeit von 1.600 h aus.

Außerdem lagen die tatsächlichen Instandhaltungskosten über den geplanten Kosten, sodass eine Erhöhung des Instandhaltungssatzes auf 6 % eingeplant werden muss.

Weiterhin wird die geplante Nutzungsdauer auf 12 Jahre herabgesetzt.

**Berechne den neuen Maschinenstundensatz für die CNC-Fräsmaschine**

# Aufgabe 8

## Maschinenstundensatz

### 8 | Maschinenstundensatz (8 Punkte)

Die TIW-GmbH hat für eine CNC-Fräsmaschine im vergangenen Jahr einen Maschinenstundensatz in Höhe von 62,80 €/h auf der Basis von 1.200 Maschinenstunden pro Jahr kalkuliert.

Die Berechnung erfolgte auf Basis folgender Daten:

– Nutzungsdauer	15 Jahre
– Jährliche Einsatzzeit	1.200 h
– Instandhaltungskostensatz	4 %
– Kalkulatorische Abschreibungen	28 €/h
– Kalkulatorische Zinsen	14,50 €/h
– Raumkosten	2,80 €/h
– Energiekosten	3,30 €/h
– Instandhaltungskosten	14,20 €/h
– Maschinenstundensatz	62,80 €/h

Aufgrund der gestiegenen Nachfrage infolge der Globalisierung geht die Geschäftsführung in diesem Jahr von einer jährlichen Laufzeit von 1.600 h aus.

Außerdem lagen die tatsächlichen Instandhaltungskosten über den geplanten Kosten, sodass eine Erhöhung des Instandhaltungssatzes auf 6 % eingeplant werden muss.

Weiterhin wird die geplante Nutzungsdauer auf 12 Jahre herabgesetzt.

**Berechne den neuen Maschinenstundensatz für die CNC-Fräsmaschine**

#### 1. Berechnung der neuen kalkulatorischen Abschreibungen:

Die kalkulatorischen Abschreibungen ändern sich durch die Verkürzung der Nutzungsdauer von 15 auf 12 Jahre.

Die jährliche kalkulatorische Abschreibung bei einer Nutzungsdauer von 12 Jahren beträgt:

$$\text{Neue jährliche Abschreibung} = \frac{504.000 \text{ €}}{12 \text{ Jahre}} = 42.000 \text{ €/Jahr}$$

#### 2. Berechnung der neuen kalkulatorischen Abschreibungen pro Stunde:

Da sich die jährliche Einsatzzeit auf 1.600 Stunden erhöht, müssen wir die neuen kalkulatorischen Abschreibungen pro Stunde berechnen:

$$\text{Neue kalkulatorische Abschreibungen pro Stunde} = \frac{42.000 \text{ €}}{1.600 \text{ Stunden}} = 26,25 \text{ €/h}$$

#### 3. Berechnung der neuen Instandhaltungskosten:

Der Instandhaltungskostensatz wurde von 4 % auf 6 % erhöht. Die neuen Instandhaltungskosten pro Stunde ergeben sich durch Anwendung des neuen Satzes auf die kalkulatorischen Abschreibungen:

$$\text{Neue Instandhaltungskosten} = 0,06 \times 26,25 \text{ €/h} = 1,575 \text{ €/h}$$

# Aufgabe 8

## Maschinenstundensatz

### 8 | Maschinenstundensatz (8 Punkte)

Die TIW-GmbH hat für eine CNC-Fräsmaschine im vergangenen Jahr einen Maschinenstundensatz in Höhe von 62,80 €/h auf der Basis von 1.200 Maschinenstunden pro Jahr kalkuliert.

Die Berechnung erfolgte auf Basis folgender Daten:

– Nutzungsdauer	15 Jahre
– Jährliche Einsatzzeit	1.200 h
– Instandhaltungskostensatz	4 %
– Kalkulatorische Abschreibungen	28 €/h
– Kalkulatorische Zinsen	14,50 €/h
– Raumkosten	2,80 €/h
– Energiekosten	3,30 €/h
– Instandhaltungskosten	14,20 €/h
– Maschinenstundensatz	62,80 €/h

Aufgrund der gestiegenen Nachfrage infolge der Globalisierung geht die Geschäftsführung in diesem Jahr von einer jährlichen Laufzeit von 1.600 h aus.

Außerdem lagen die tatsächlichen Instandhaltungskosten über den geplanten Kosten, sodass eine Erhöhung des Instandhaltungssatzes auf 6 % eingeplant werden muss.

Weiterhin wird die geplante Nutzungsdauer auf 12 Jahre herabgesetzt.

**Berechne den neuen Maschinenstundensatz für die CNC-Fräsmaschine**

### 4. Berechnung des gesamten Maschinenstundensatzes:

Um den neuen Maschinenstundensatz zu berechnen, addieren wir die fixen und variablen Kosten:

- Neue kalkulatorische Abschreibungen: 26,25 €/h
- Kalkulatorische Zinsen: 14,50 €/h (unverändert)
- Raumkosten: 2,80 €/h (unverändert)
- Energiekosten: 3,30 €/h (unverändert)
- Neue Instandhaltungskosten: 14,20 €/h + 1,575 €/h = 15,775 €/h

Neuer Maschinenstundensatz = 26,25 + 14,50 + 2,80 + 3,30 + 15,775 = 62,625 €/h

### Ergebnis:

Der neue Maschinenstundensatz beträgt **62,63 €/h** (aufgerundet).

- **1.Schritt: Bestimmen der Maschinenlaufzeit**

- Die Maschinenlaufzeit ist die Zeit in der die Maschine in der betrachteten Zeitperiode (Monat/ Jahr) tatsächlich läuft
- Sie ergibt sich indem von der gesamten Maschinenzeit, also der theoretisch möglichen Maschinenlaufzeit bei durchgängigem Betrieb, alle Stillstandzeiten abgezogen werden
- Stillstandszeiten umfassen sowohl geplante Standzeiten wie Instandhaltungs- und Rüstzeiten, als auch ungeplante Standzeiten in Folge von kurzfristig fehlendem Material oder Personal oder einem Stromausfall

$$\text{Maschinenlaufzeit} = \text{gesamte Maschinenzeit} - \text{Stillstandszeit}$$

## 2. Schritt Berechnung der maschinenabhängigen Kosten

Berechnung Maschinenstundensatz	
Maschinenabhängige Fertigungsgemeinkosten	Rechnung
+ Kalkulatorische Abschreibung	$\text{Kalk. Abschreibungen} = \frac{\text{Anschaffungs bzw. Wiederbeschaffungswert} - \text{Restwert}}{\text{Nutzungsdauer in Monaten}}$
+ Kalkulatorische Zinsen	$\text{Kalk. Zinsen} = \frac{(\text{Anschaffungskosten} + \text{Restwert})}{2} \cdot \text{kalkulatorischer Zinsen}$
+ Platzkosten/Miete	$\text{Platzkosten} = \text{Platzkosten je m}^2 \cdot \text{Fläche}$
+ Energiekosten	$\text{Energiekosten} = \text{Grundgebühr} + \text{Verbrauch}$
+ Instandhaltungskosten/ Reparaturkosten	$\text{Verbrauch} = \text{Energiebedarf} \cdot \text{Kosten je Energieeinheit}$
+ Werkzeugkosten	
+ Betriebsstoffkosten	
= maschinenabhängige Gemeinkosten gesamt	

*Instandhaltungskostenatz · kalk. Abschreibungen*

# Aufgabe 9

## Pumpen

### 9 | Pumpen (14 Punkte)

Mit der Pumpe PL 300 wird eine Klebstoff-Emulsion aus dem Vorlagebehälter BE 300 zum Tank BE 310 gefördert. Um sicherzustellen, dass die Emulsion schonend transportiert wird, muss die Strömung laminar bleiben, um unerwünschte Scherkräfte zu vermeiden. Daher soll der Rohrdurchmesser so gewählt werden, dass die Strömung innerhalb des Rohres laminar bleibt.

#### Wichtige Informationen:

- Dynamische Viskosität der Klebstoff-Emulsion: 25 mPas
  - Die Reynolds-Zahl soll bei 210 liegen.
  - Die Fördermenge beträgt 800 kg/h. =  $\dot{m}$
- a. Berechne den benötigten Rohrdurchmesser und gib die nächstliegende passende Nennweite an. (10)
- b. Erläutere, welchen Einfluss die Reynolds-Zahl auf die Wahl der Pumpe hat. (4)

S. 227 / 240

Ansatz  $\rightarrow V = \frac{\dot{V}}{A}$  ← einsetzen

$$\dot{V} = \frac{\dot{m}}{\rho} \quad | \quad A = \frac{d^2 \cdot \pi}{4}$$

$$V = \frac{\dot{m} \cdot 4}{\rho \cdot d^2 \cdot \pi}$$

$$Re = \frac{V \cdot d \cdot \rho}{\eta} = \frac{\frac{\dot{m} \cdot 4}{\rho \cdot d^2 \cdot \pi} \cdot d \cdot \rho}{\eta} = \frac{\frac{\dot{m} \cdot 4}{d \cdot \pi}}{\eta}$$

# Aufgabe 9

## Pumpen

### 9 | Pumpen (14 Punkte)

Mit der Pumpe PL 300 wird eine Klebstoff-Emulsion aus dem Vorlagebehälter BE 300 zum Tank BE 310 gefördert. Um sicherzustellen, dass die Emulsion schonend transportiert wird, muss die Strömung laminar bleiben, um unerwünschte Scherkräfte zu vermeiden. Daher soll der Rohrdurchmesser so gewählt werden, dass die Strömung innerhalb des Rohres laminar bleibt.

#### Wichtige Informationen:

- Dynamische Viskosität der Klebstoff-Emulsion: 25 mPas
  - Die Reynolds-Zahl soll bei 210 liegen.
  - Die Fördermenge beträgt 800 kg/h.
- a. Berechne den benötigten Rohrdurchmesser und gib die nächstliegende passende Nennweite an. (10)
- b. Erläutere, welchen Einfluss die Reynolds-Zahl auf die Wahl der Pumpe hat. (4)

$$Re = \frac{\dot{m} \cdot 4}{d \cdot \pi \cdot \eta}$$

$$d = \frac{\dot{m} \cdot 4}{Re \cdot \eta \cdot \pi} = \frac{800 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \cdot \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} \cdot 4}{210 \cdot 0,025 \text{ Pa} \cdot \text{s} \cdot \pi}$$

$$d = 0,0539 \text{ m} = 53,9 \text{ mm}$$

Nächstgrößere Nennweite DN 60

# Aufgabe 9

## Pumpen

### 9 | Pumpen (14 Punkte)

Mit der Pumpe **PL 300** wird eine **Klebstoff-Emulsion** aus dem Vorlagebehälter **BE 300** zum Tank **BE 310** gefördert. Um sicherzustellen, dass die Emulsion schonend transportiert wird, muss die Strömung laminar bleiben, um unerwünschte Scherkräfte zu vermeiden. Daher soll der Rohrdurchmesser so gewählt werden, dass die Strömung innerhalb des Rohres laminar bleibt.

#### Wichtige Informationen:

- Dynamische Viskosität der Klebstoff-Emulsion: **25 mPas**
  - Die Reynolds-Zahl soll bei **210** liegen.
  - Die Fördermenge beträgt **800 kg/h**.
- a. **Berechne den benötigten Rohrdurchmesser und gib die nächstliegende passende Nennweite an. (10)**
  - b. **Erläutere, welchen Einfluss die Reynolds-Zahl auf die Wahl der Pumpe hat. (4)**

# Aufgabe 9

## Pumpen

### 9 | Pumpen (14 Punkte)

Mit der Pumpe PL 300 wird eine Klebstoff-Emulsion aus dem Vorlagebehälter BE 300 zum Tank BE 310 gefördert. Um sicherzustellen, dass die Emulsion schonend transportiert wird, muss die Strömung laminar bleiben, um unerwünschte Scherkräfte zu vermeiden. Daher soll der Rohrdurchmesser so gewählt werden, dass die Strömung innerhalb des Rohres laminar bleibt.

#### Wichtige Informationen:

- Dynamische Viskosität der Klebstoff-Emulsion: **25 mPas**
  - Die Reynolds-Zahl soll bei **210** liegen.
  - Die Fördermenge beträgt **800 kg/h**.
- a. **Berechne den benötigten Rohrdurchmesser und gib die nächstliegende passende Nennweite an. (10)**
- b. **Erläutere, welchen Einfluss die Reynolds-Zahl auf die Wahl der Pumpe hat. (4)**

#### Lösungsschritte:

1. Reynolds-Zahl Formel:

$$Re = \frac{v \cdot d \cdot \rho}{\eta}$$

Hier wollen wir den Durchmesser  $d$  finden.

2. Umstellung der Formel für den Durchmesser  $d$ :

$$d = \frac{Re \cdot \eta}{v \cdot \rho}$$

Jetzt brauchen wir die Geschwindigkeit  $v$ . Die bekommen wir über das Volumenstrom  $\dot{V}$  und den Querschnitt  $A$ .

3. Volumenstrom  $\dot{V}$ :

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

$\dot{m} = 1.000 \text{ kg/h}$  und  $\rho$  ist die Dichte der Suspension (das müssen wir als bekannt annehmen).

4. Querschnitt des Rohres  $A$ :

$$A = \frac{d^2 \cdot \pi}{4}$$

# Aufgabe 9

## Pumpen

### 9 | Pumpen (14 Punkte)

Mit der Pumpe **PL 300** wird eine **Klebstoff-Emulsion** aus dem Vorlagebehälter **BE 300** zum Tank **BE 310** gefördert. Um sicherzustellen, dass die Emulsion schonend transportiert wird, muss die Strömung laminar bleiben, um unerwünschte Scherkräfte zu vermeiden. Daher soll der Rohrdurchmesser so gewählt werden, dass die Strömung innerhalb des Rohres laminar bleibt.

#### Wichtige Informationen:

- Dynamische Viskosität der Klebstoff-Emulsion: **25 mPas**
  - Die Reynolds-Zahl soll bei **210** liegen.
  - Die Fördermenge beträgt **800 kg/h**.
- a. **Berechne den benötigten Rohrdurchmesser und gib die nächstliegende passende Nennweite an. (10)**
- b. **Erläutere, welchen Einfluss die Reynolds-Zahl auf die Wahl der Pumpe hat. (4)**

### 2. Berechnung der Strömungsgeschwindigkeit:

Die Strömungsgeschwindigkeit  $v$  wird aus der Massenstrommenge und dem Querschnitt des Rohres ermittelt. Zunächst konvertieren wir die Massenstrommenge in SI-Einheiten:

$$\dot{m} = \frac{800 \text{ kg/h}}{3600 \text{ s/h}} = 0,2222 \text{ kg/s}$$

Die Volumenstrommenge ist:

$$\dot{V} = \frac{\dot{m}}{\rho} = \frac{0,2222 \text{ kg/s}}{1000 \text{ kg/m}^3} = 0,0002222 \text{ m}^3/\text{s}$$

Der Querschnitt eines Rohres ist gegeben durch:

$$A = \frac{\pi \cdot d^2}{4}$$

Die Strömungsgeschwindigkeit ergibt sich dann zu:

$$v = \frac{\dot{V}}{A} = \frac{0,0002222}{\frac{\pi \cdot d^2}{4}} = \frac{0,0002222 \cdot 4}{\pi \cdot d^2}$$

# Aufgabe 9

## Pumpen

### 9 | Pumpen (14 Punkte)

Mit der Pumpe **PL 300** wird eine **Klebstoff-Emulsion** aus dem Vorlagebehälter **BE 300** zum Tank **BE 310** gefördert. Um sicherzustellen, dass die Emulsion schonend transportiert wird, muss die Strömung laminar bleiben, um unerwünschte Scherkräfte zu vermeiden. Daher soll der Rohrdurchmesser so gewählt werden, dass die Strömung innerhalb des Rohres laminar bleibt.

#### Wichtige Informationen:

- Dynamische Viskosität der Klebstoff-Emulsion: **25 mPas**
  - Die Reynolds-Zahl soll bei **210** liegen.
  - Die Fördermenge beträgt **800 kg/h**.
- a. **Berechne den benötigten Rohrdurchmesser und gib die nächstliegende passende Nennweite an. (10)**
- b. **Erläutere, welchen Einfluss die Reynolds-Zahl auf die Wahl der Pumpe hat. (4)**

### 3. Einsetzen in die Reynolds-Formel:

Nun setzen wir diese Werte in die Formel für die Reynolds-Zahl ein und lösen nach dem Durchmesser  $d$  auf:

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot d}{\eta} = \frac{1000 \cdot \frac{0,0002222 \cdot 4}{\pi \cdot d^2} \cdot d}{0,025} = 210$$

Lösen dieser Gleichung nach  $d$  ergibt:

$$d \approx 0,054\text{m} = 54\text{mm}$$

### 4. Bestimmen der passenden Nennweite:

Der Rohrdurchmesser  $d \approx 31$  mm entspricht einer Nennweite von **DN 32**, die am nächsten liegt.

# Reynolds Zahl

Pumpen



Die Reynolds-Zahl ist eine dimensionslose Zahl, die in der Strömungsmechanik verwendet wird, um das Strömungsverhalten von Flüssigkeiten und Gasen zu beschreiben. Sie ist benannt nach Osborne Reynolds, der ihre Bedeutung erforschte. Die Reynolds-Zahl gibt an, ob eine Strömung laminar (geordnet) oder turbulent (chaotisch) ist.

$v$ : Strömungsgeschwindigkeit

$L$ : Charakteristische Länge (z. B. Rohrdurchmesser)

$\rho$ : Dichte des Fluids

$\mu$ : Dynamische Viskosität des Fluids

$\nu$ : Kinematische Viskosität (Verhältnis von Viskosität zur Dichte)

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot L}{\mu}$$

oder

$$Re = \frac{v \cdot L}{\nu}$$

## Was sagen die Zahlen?

**Kleine Reynolds-Zahlen ( $Re < 2.300$ ):** Laminarströmung, die Flüssigkeit fließt in geordneten Bahnen.

**Große Reynolds-Zahlen ( $Re > 4.000$ ):** Turbulenz, die Strömung ist unregelmäßig und chaotisch.

**Zwischenbereich ( $2.300 < Re < 4.000$ ):** Übergangsbereich, wo die Strömung zwischen laminar und turbulent wechseln kann.

Die Reynolds-Zahl ist besonders wichtig, um das Verhalten von Strömungen in Rohren, Kanälen oder um Objekte wie Flugzeuge oder Autos zu verstehen.

# Aufgabe 10

## Digitalisierung

### 10 | Digitalisierung (8 Punkte)

Durch eine moderne und effiziente IT-Infrastruktur sowie den Einsatz von Cloud-Technologien können chemische Produktionsprozesse optimiert und Kosteneinsparungen realisiert werden. Die Geschäftsführung überlegt, Teile der internen IT und des chemischen Produktionsmanagements in die Cloud zu verlagern und bittet dich um fachliche Unterstützung.

a)

Für die Chemie GmbH stellt sich die Frage, welche Art von Cloud-Lösung geeignet ist.

**Nenne zwei mögliche Cloud-Lösungen und beschreibe jeweils einen Vorteil. (4 Punkte)**

b)

Auch Teile des unternehmenseigenen ERP-Systems (Enterprise Resource Planning) für die chemische Produktion sollen in die Cloud überführt werden.

**Empfehle vier im ERP-System integrierte Unternehmensbereiche der chemischen Produktion, die du für die Cloud-Migration in Betracht ziehen würdest. (4 Punkte)**

# Aufgabe 10

## Digitalisierung

### 10 | Digitalisierung (8 Punkte)

Durch eine moderne und effiziente IT-Infrastruktur sowie den Einsatz von Cloud-Technologien können chemische Produktionsprozesse optimiert und Kosteneinsparungen realisiert werden. Die Geschäftsführung überlegt, Teile der internen IT und des chemischen Produktionsmanagements in die Cloud zu verlagern und bittet dich um fachliche Unterstützung.

a)

Für die Chemie GmbH stellt sich die Frage, welche Art von Cloud-Lösung geeignet ist.

**Nenne zwei mögliche Cloud-Lösungen und beschreibe jeweils einen Vorteil. (4 Punkte)**

b)

- Auch Teile des unternehmenseigenen ERP-Systems (Enterprise Resource Planning) für die chemische Produktion sollen in die Cloud überführt werden.

**Empfehle vier im ERP-System integrierte Unternehmensbereiche der chemischen Produktion, die du für die Cloud-Migration in Betracht ziehen würdest. (4 Punkte)**

#### 1. Private Cloud:

Eine Private Cloud ist eine IT-Infrastruktur, die ausschließlich für ein Unternehmen bereitgestellt und von diesem oder einem Drittanbieter betrieben wird. Der Zugriff auf die Daten und Anwendungen ist nur für autorisierte Benutzer innerhalb des Unternehmens möglich.

#### Vorteil:

Die Private Cloud bietet ein hohes Maß an Sicherheit und Datenschutz, da die gesamte Infrastruktur für das Unternehmen exklusiv genutzt wird. Dies ist besonders in der chemischen Industrie wichtig, da sensible Produktionsdaten geschützt werden müssen.

#### 2. Public Cloud:

Eine Public Cloud wird von einem externen Anbieter bereitgestellt und die Infrastruktur wird von mehreren Unternehmen gemeinsam genutzt. Die Dienstleistungen wie Speicherplatz und Rechenleistung werden flexibel über das Internet bereitgestellt.

#### Vorteil:

Die Public Cloud ist kostengünstiger als eine Private Cloud, da Unternehmen nur für die tatsächlich genutzten Ressourcen zahlen. Dies ermöglicht es, die IT-Kosten zu senken und flexibel auf wachsende Anforderungen zu reagieren, insbesondere bei Schwankungen in der chemischen Produktion.

# Aufgabe 10

## Digitalisierung

### 10 | Digitalisierung (8 Punkte)

Durch eine moderne und effiziente IT-Infrastruktur sowie den Einsatz von Cloud-Technologien können chemische Produktionsprozesse optimiert und Kosteneinsparungen realisiert werden. Die Geschäftsführung überlegt, Teile der internen IT und des chemischen Produktionsmanagements in die Cloud zu verlagern und bittet dich um fachliche Unterstützung.

a)

Für die Chemie GmbH stellt sich die Frage, welche Art von Cloud-Lösung geeignet ist.

**Nenne zwei mögliche Cloud-Lösungen und beschreibe jeweils einen Vorteil. (4 Punkte)**

b)

Auch Teile des unternehmenseigenen ERP-Systems (Enterprise Resource Planning) für die chemische Produktion sollen in die Cloud überführt werden.

**Empfehle vier im ERP-System integrierte Unternehmensbereiche der chemischen Produktion, die du für die Cloud-Migration in Betracht ziehen würdest. (4 Punkte)**

#### 1. Lagerverwaltung (Materialwirtschaft):

Die Lagerverwaltung erfordert eine Echtzeitüberwachung von Rohstoffen, Zwischen- und Endprodukten. Durch die Cloud-Migration können Bestandsdaten zentralisiert und von jedem Standort aus zugänglich gemacht werden, was zu einer verbesserten Effizienz und Nachverfolgbarkeit führt.

#### 2. Produktionsplanung und -steuerung:

Die Produktionsplanung kann durch Cloud-basierte ERP-Systeme optimiert werden. Planung, Steuerung und Kontrolle von Produktionsprozessen in Echtzeit über eine zentrale Plattform können zu einer effizienteren Ressourcennutzung führen und Produktionsengpässe verhindern.

#### 3. Qualitätsmanagement:

Im Bereich der chemischen Produktion ist das Qualitätsmanagement entscheidend. Mit einer Cloud-basierten Lösung können Qualitätsdaten zentral gespeichert und für alle Abteilungen zugänglich gemacht werden, um sicherzustellen, dass die erforderlichen Standards eingehalten werden.

#### 4. Instandhaltungsmanagement:

Die Cloud ermöglicht eine effiziente Verwaltung und Nachverfolgung von Wartungsarbeiten und Instandhaltungsmaßnahmen. Historische Wartungsdaten und geplante Instandhaltungsarbeiten können leicht abgerufen werden, um den Produktionsbetrieb möglichst störungsfrei zu halten.