

## Aufgabe 1:

- 1.1 ● *Massenwirkungsgesetz für den DEACON-Prozess:*

$$K_c = \frac{c^2(\text{Cl}_2) \cdot c^2(\text{H}_2\text{O})}{c^4(\text{HCl}) \cdot c(\text{O}_2)}$$

- *Erhöhung der Chlorausbeute durch Veränderung des Drucks:*

Bei 400-450°C liegen sowohl HCl als auch H<sub>2</sub>O gasförmig vor.  
Die Reaktion von HCl(g) und O<sub>2</sub>(g) zu Cl<sub>2</sub>(g) und H<sub>2</sub>O(g)  
verläuft unter Volumenabnahme  
(auf der HCl-Seite 5 Mol Gas, auf der Cl<sub>2</sub>-Seite 4 Mol Gas).  
Dadurch nimmt der Druck ab.

Nach LE CHATELIER weicht das System  
dem Zwang die niedrigeren Drucks aus  
und begünstigt die druckerhöhende Reaktion (Abbau des Zwangs),  
die unter Volumenabnahme läuft.  
Will man die Chlorausbeute erhöhen, muss man also den Druck erhöhen.

Alternative Antwort über Betrachtung des  $K_c$ -Wertes:

Wird der Druck erhöht (Begünstigung des Nenners im MWG),  
so stellt sich der ursprüngliche  $K_c$ -Wert wieder ein,  
wenn sich die Werte des Zählers erhöhen  
→ Cl<sub>2</sub>-Ausbeute steigt.

*Erhöhung der Chlorausbeute durch Veränderung der Temperatur:*

Die Reaktion von HCl(g) und O<sub>2</sub>(g) zu Cl<sub>2</sub>(g) und H<sub>2</sub>O(g)  
verläuft exotherm:  $\Delta_r H_m^0 = -116 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ .

Erniedrigt man die Temperatur,  
so begünstigt man die exotherme Hinreaktion.

Nach LE CHATELIER weicht das System  
dem Zwang der niedrigeren Temperatur aus  
und begünstigt die druckerhöhende Reaktion (Abbau des Zwangs).  
Das Gleichgewicht verschiebt sich also in Richtung HCl + H<sub>2</sub>O.  
Will man die Chlorausbeute erhöhen, muss man also die Temperatur erniedrigen.

Alternative Antwort über Betrachtung des  $K_c$ -Wertes:

Wird die Temperatur erniedrigt (Begünstigung des Nenners im MWG),  
so stellt sich der ursprüngliche  $K_c$ -Wert wieder ein,  
wenn sich die Werte des Zählers erhöhen  
→ Cl<sub>2</sub>-Ausbeute steigt.

- *Vorzeichen der Reaktionsentropie:*

Die Zahl der an der Reaktion beteiligten Moleküle nimmt ab  
(links 5 Moleküle, rechts 4 Moleküle).

Bei der Synthese von Cl<sub>2</sub> entsteht also ein Zustand höherer Ordnung.  
Damit nimmt die Entropie (Maß für die "Unordnung") ab  
und erhält ein negatives Vorzeichen.

Alternative Antwort über Berechnung des  $\Delta S^0$ -Wertes mithilfe von Anlage 3:

$$\begin{aligned}\Delta S^0 &= S^0(\text{Produkte}) - S^0(\text{Edukte}) \\ &= (2 \cdot 223 + 2 \cdot 189) \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} - (4 \cdot 187 + 205) \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \\ &= 824 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} - 953 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \\ &= \mathbf{-129 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}}\end{aligned}$$

5 VP

1.2 ● *Zuordnung des passenden Diagramms:*

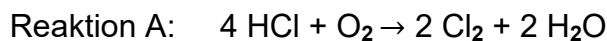
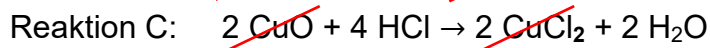
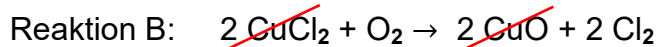
Die Bildung von  $\text{Cl}_2$  aus  $\text{HCl}$  und  $\text{O}_2$  verläuft exotherm ( $\Delta_r H_m^0 = -116 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ ). Steigende Temperatur verschiebt das Gleichgewicht deshalb auf die Seite der Edukte ( $\text{HCl}$  und  $\text{O}_2$ ).

Deshalb steigt bei Temperaturerhöhung die  $c(\text{HCl})$  an (vgl. 1.1, LE CHATELIER: Anstieg der  $c(\text{Cl}_2)$  bei Temperaturniedrigung). Für Reaktion A ist also Diagramm 3 charakteristisch.

(Diagramm 1 steht im Widerspruch zum Prinzip von LE CHATELIER, Diagramm 2 würde bedeuten, dass eine Temperaturänderung keinen eindeutigen Effekt hat.)

3 VP

1.3 ● *Reaktionsgleichungen für Reaktion B und C:*



● *Gültigkeit des Energieerhaltungssatzes:*

$$\Delta_r H_m^0(\text{A}) = \mathbf{-116 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}}$$

$$\begin{aligned}\Delta_r H_m^0(\text{B}) &= \Delta_f H^0(\text{Produkte}) - \Delta_f H^0(\text{Edukte}) \\ &= \Delta_f H^0(2 \text{Cu} + 2 \text{Cl}_2) - \Delta_f H^0(2 \text{CuCl}_2 + \text{O}_2) \\ &= (2 \cdot (-157) + 2 \cdot 0) \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} - (2 \cdot (-206) + 0) \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} \\ &= -314 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} - (-412) \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} \\ &= \mathbf{+98 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta_r H_m^0(\text{C}) &= \Delta_f H^0(\text{Produkte}) - \Delta_f H^0(\text{Edukte}) \\ &= \Delta_f H^0(2 \text{Cu} + 2 \text{Cl}_2) - \Delta_f H^0(2 \text{CuCl}_2 + \text{O}_2) \\ &= (2 \cdot (-206) + 2 \cdot (-242)) \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} - (2 \cdot (-157) + 2 \cdot (-92)) \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} \\ &= -896 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} - (-682) \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} \\ &= \mathbf{-214 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta_r H_m^0(\text{B}) + \Delta_r H_m^0(\text{C}) &= 98 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} + (-214) \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} = -116 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} \\ \Rightarrow \Delta_r H_m^0(\text{B}) + \Delta_r H_m^0(\text{C}) &= \Delta_r H_m^0(\text{A})\end{aligned}$$

(Die Reaktion C kann auch " $\text{Cu} + 2 \text{HCl} \rightarrow \text{CuCl}_2 + \text{H}_2\text{O}$ " formuliert werden.  $\Delta_r H_m^0$  beträgt dann nur  $107 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ .

Dann ist in der Endberechnung allerdings bei  $\Delta_r H_m^0(\text{C})$  der doppelte Wert einzusetzen.)

- *Begründung für die Katalysatorwirkung von CuCl<sub>2</sub>:*

CuCl<sub>2</sub> nimmt an der Reaktion B teil,  
 liegt aber nach Reaktion C wieder unverbraucht und unverändert vor,  
 kann also die Reaktion B immer wieder ermöglichen.

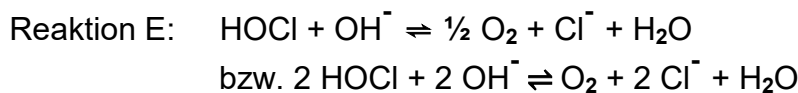
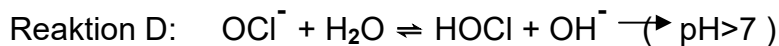
6 VP

- 2.1 ● *Formel von festem NaOCl unter Angabe aller Elektronenpaare:*

NaOCl ist ein Salz, festes NaOCl liegt also als Ionengitter vor:



- *Reaktionsgleichungen für die Gleichgewichtsreaktionen D und E:*



3 VP

- 2.2 ● *Berechnung des pH-Werts im Schwimmbecken:*

Ermittlung der molaren Konzentration von NaOCl:

$$M(\text{NaOCl}) = (23 + 16 + 35,5) \text{ g} = 74,5 \text{ g} \triangleq 1 \text{ mol}$$

$$9 \text{ m}^3 = 9.000 \text{ L}$$

$$c(\text{NaOCl}) = 148 \text{ g} / 9.000 \text{ L} = 0,0164 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$$

$$74,5 \text{ g NaOCl} \triangleq 1 \text{ mol NaOCl}$$

$$1 \text{ g NaOCl} \triangleq \frac{1}{74,5} \text{ mol NaOCl}$$

$$0,0164 \text{ g NaOCl} \triangleq \frac{0,0164}{74,5} \text{ mol NaOCl} = 0,00022 \text{ mol NaOCl} = \mathbf{2,2 \cdot 10^{-4} \text{ mol NaOCl}}$$

Löst man NaOCl in Wasser, so zerfällt das Ionengitter,

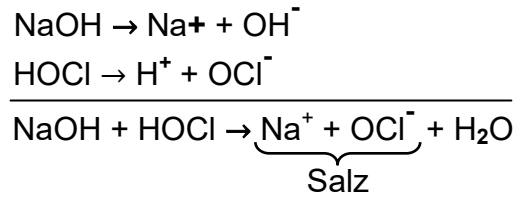
Na<sup>+</sup>-Ionen und OCl<sup>-</sup>Ionen bewegen sich frei in der Lösung.

Bei Salzen, die sich aus einer starken Säure und einem Metallhydroxid ableiten,  
 werden die Ionen hydratisiert, weiter geschieht nichts,  
 die Lösung bleibt neutral.

Oft stellt man jedoch fest, dass Salzlösungen einen pH ≠ 7 besitzen.

Dies kommt zustande, wenn die aus dem Ionengitter freigesetzten Ionen  
 mit dem Wasser eine Protolysereaktion eingehen können.

Aus der starken Base NaOH und der schwachen Säure HOCl  
 (pK<sub>s</sub> = 2,88 · 10<sup>-8</sup>, Anlage 2) entsteht das Salz Natriumhypochlorit, NaOCl.



Löst man das Salz in Wasser, so gehen  $\text{OCl}^-$ -Ionen unter Aufnahme eines Protons in HOCl über. Da HOCl jedoch eine schwache Säure ist, ist die dazu konjugierte Base  $\text{OCl}^-$  eine starke BRÖNSTED-Base. Alle  $\text{OCl}^-$ -Ionen vermögen  $\text{H}_2\text{O}$ -Molekülen  $\text{H}^+$  zu entziehen und HOCl zu bilden. HOCl reagiert nicht mehr weiter, die Rückreaktion kommt zum Stillstand, ein Gleichgewicht stellt sich ein, das (fast) vollständig auf der Seite von HOCl liegt.

Für solche Salzlösungen gilt:

$$\begin{aligned} c(\text{OH}^-) &= \sqrt{\frac{K_w}{K_a} \cdot c_s} \\ &= \sqrt{\frac{10^{-14}}{2,88 \cdot 10^{-8}} \cdot 2,4 \cdot 10^{-14}} \\ &= \sqrt{\frac{2,4}{2,88} \cdot \frac{10^{-14} \cdot 10^{-14}}{10^{-8}}} \\ &= \sqrt{0,83 \cdot 10^{(-14+(-4))-(8)}} \\ &= \sqrt{0,83 \cdot 10^{-10}} \\ &= 0,91 \cdot 10^{-5} \\ &= \mathbf{9,1 \cdot 10^{-6}} \end{aligned}$$

$K_a$  = Säurekonstante  
 $K_b$  = Basenkonstante  
 $K_w$  = Ionenprodukt des Wassers  
 $c_s$  = Salzkonzentration

$$\begin{aligned} \text{pOH} &= -\lg(9,1 \cdot 10^{-6}) \\ &= \mathbf{5,0} \end{aligned}$$

$$\text{pH} + \text{pOH} = 14$$

$$\text{pH} = 14 - \text{pOH} = 14 - 5$$

$$\underline{\underline{\text{pH} = 9}}$$

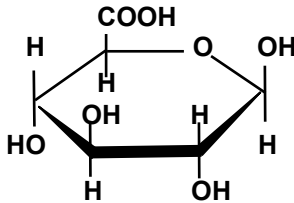
3 VP  


---

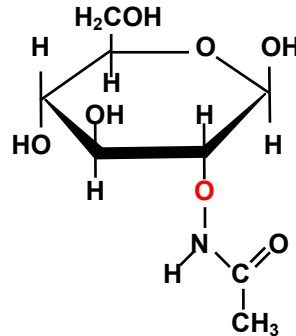
 20 VP

## Aufgabe 2:

### 1.1 ● HAWORTH-Projektion der Monomeren der Hyaluronsäure:



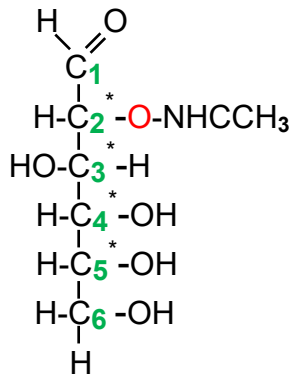
Baustein A  
D-Glucuronsäure



Baustein B  
N-Acetyl-D-glucosamin

(Anmerkung des Bearbeiters: Baustein B der Hyaluronsäure ist das N-Acetyl-D-glucosamin,  $C_8H_{15}NO_6$ . Die bei der Aufgabenstellung benutzte Formel ist falsch, es ist 1 Sauerstoffatom zuviel eingezeichnet, oben rot markiert. C und N sind direkt miteinander verbunden. Für die Lösung der Aufgabe ist dieser Fehler aber ohne Relevanz.)

- FISCHER-Projektion des Monomeren B
- mit Kennzeichnung der asymmetrischen C-Atome sowie der D- bzw. L-Form:



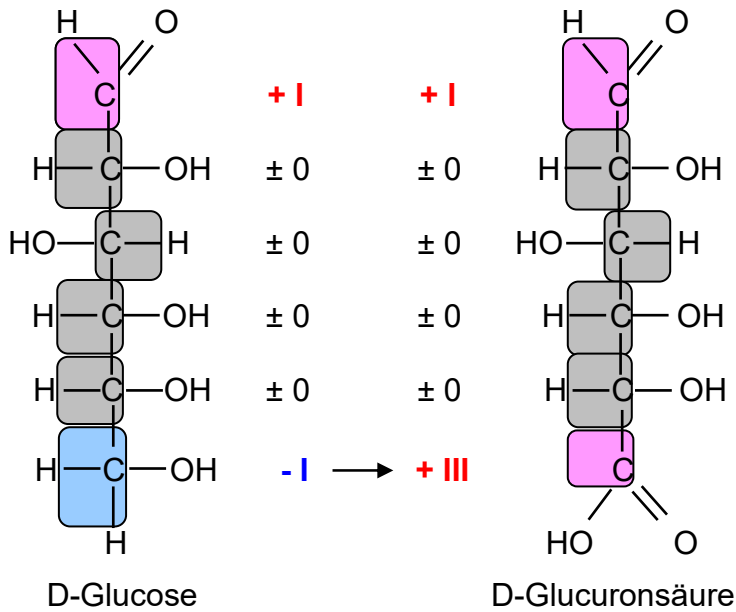
OH-Gruppen, die in der HAWORTH-Projektion oberhalb / unterhalb der Ringebene stehen, stehen in der FISCHER-Projektion links / rechts.

Die halbacetalische Ringform der HAWORTH-Projektion ist entstanden durch den Ringschluss zwischen C1 und C5.

Kennzeichnung der asymmetrischen C-Atome: C\*.

Die Hydroxylgruppe des untersten asymmetrischen C-Atoms (C5\*) zeigt nach rechts – es handelt sich also um die D-Form.

● **Glucuronsäure als Oxidationsprodukt der Glucose:**

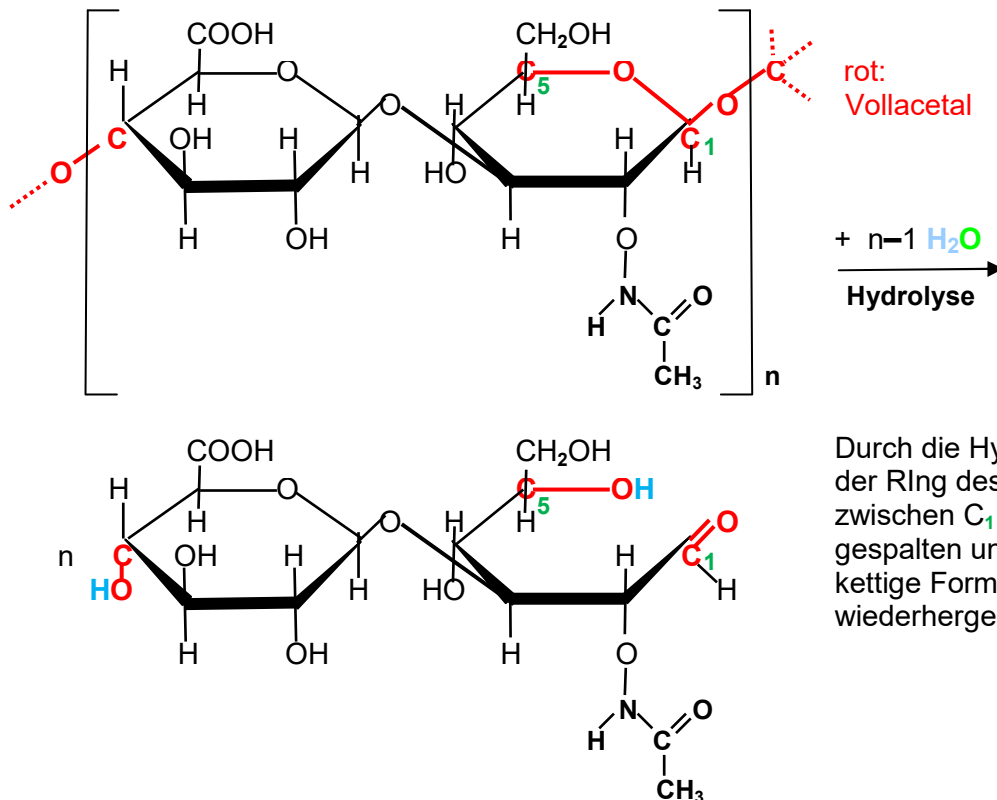


Die Oxidationszahl an C<sub>6</sub> erhöht sich von - I bei D-Glucose um 4 Stufen auf + III bei D-Glucuronsäure.

D-Glucuronsäure ist also ein Oxidationsprodukt von D-Glucose.

6 VP

1.2 **Hydrolyse des Vollacetals:**



- *Ergebnisse der TOLLENS-Probe zum Zeitpunkt 1 und zum Zeitpunkt 2:*

**Zeitpunkt 1: vor Beginn der Hydrolyse**

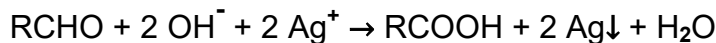
Da wegen des vollacetalischen Vorliegens der Hyaluronsäure keine Ringöffnung möglich ist und somit keine freien reduzierenden Gruppen (Aldehydgruppen) vorliegen, fällt die TOLLENS-Probe negativ aus.

**Zeitpunkt 2: nach Ende der Hydrolyse**

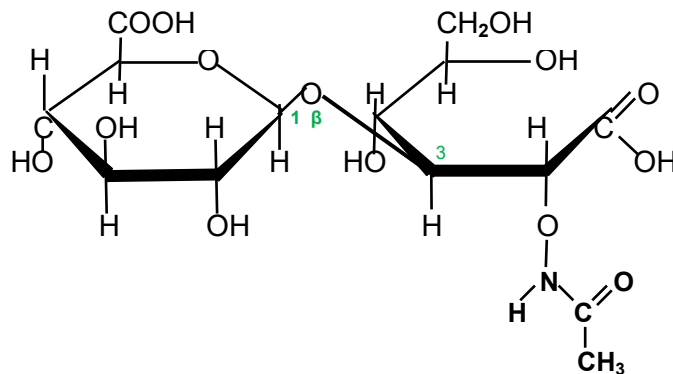
Nun liegen Disaccharide mit offenkettiger Form beim Acetylglucosamin-Baustein vor.

Es gibt also reduzierend wirkende Aldehydgruppen, die durch  $\text{Ag}^+$ -Ionen (vorliegend als Silberdiamminkomplex) zu Carboxylgruppen aufoxidiert werden können.

Die TOLLENS-Probe fällt positiv aus:



- *Strukturformel des Disaccharids nach der TOLLENS-Probe (Zeitpunkt 2):*



Die Aldehydgruppe wurde durch  $\text{Ag}^+$  zur Carboxylgruppe aufoxidiert.

- *Art der Verknüpfung zwischen den Bausteinen A und B:*

Bei der Bindung zwischen der D-Glucuronsäure und dem N-Acetyl-D-glucosamin handelt es sich um ein  $\beta$ -glycosidische 1,3-Verknüpfung.

5 VP

- 1.3 ● *Begründung für die hygroskopische Eigenschaft:*

+Hyaluronsäure besitzt viele Hydroxyl- und Carboxylgruppen. Da diese polar sind, kann das Molekül viele Wasserstoffbrücken zu Wassermolekülen ausbilden.

- *Reaktionspartner für die Bildung von Natriumhyaluronid:*

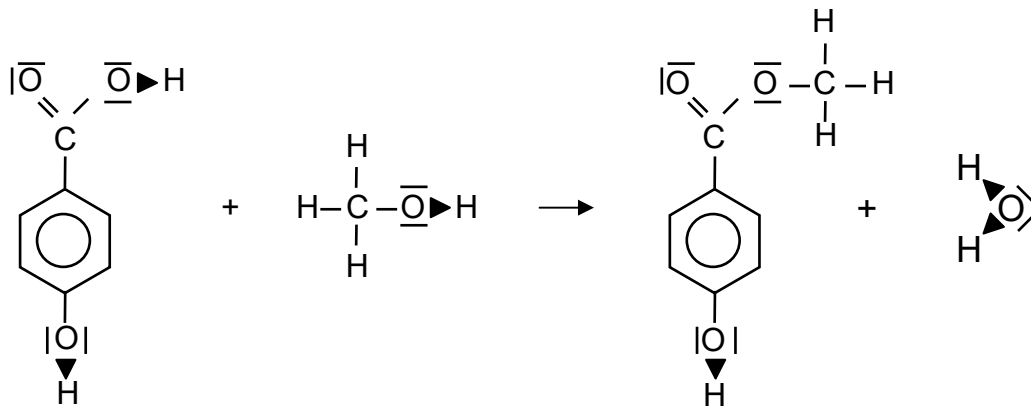
z.B. Natronlauge ( $\text{Na}^+_{\text{aq}} + \text{OH}^-_{\text{aq}}$ )  
 oder Natriumcarbonatlösung ( $\text{Na}^+_{\text{aq}} + \text{CO}_3^{2-}_{\text{aq}}$ )

- *Reaktionspartner für die Bildung von Natriumhyaluronid:*

Das Salz liegt als  $\text{Na}^+$ -Ion und als Hyaluronat<sup>-</sup>-Ion vor.  
 Anders als bei der Carboxylgruppe der Hyaluronsäure  
 liegt beim Hyaluronat-Anion des Salzes eine echte (volle) Ladung vor.  
 Dadurch ist eine noch stärkere Wechselwirkung mit  $\text{H}_2\text{O}$  möglich.

5 VP

- 2 ● *Reaktionsgleichung für die Herstellung von Methylparaben:*



4-Hydroxybenzoesäure + Methanol → 4-Hydroxybenzoesäuremethylester + Wasser  
 (= Methylparaben)

- *Experiment zur Beobachtung des Erreichens des chemischen Gleichgewichts:*

Während der Veresterung werden laufend Proben entnommen.  
 Diese werden mit Natronlauge titriert.  
 Dadurch kann der Gehalt an 4-Hydroxybenzoesäure ermittelt werden.  
 Dieser nimmt während der Veresterung  
 bis zum Erreichen des Gleichgewichts ständig ab.  
 Wenn sich der Verbrauch an Natronlauge nicht mehr ändert,  
 hat sich das Gleichgewicht eingestellt.

4 VP

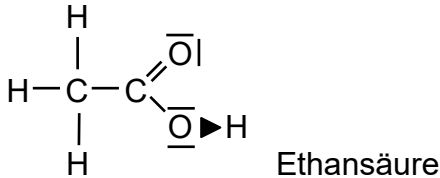
---

20 VP



### Aufgabe 3:

- 1 ● *Reaktionspartner der Cellulose:*



- *Beschreibung des Reaktionstyps und Anzahl der OH-Gruppen pro umgesetztem Glucosebaustein:*

Celluloseacetat ist ein Polyester, der Reaktionstyp ist also eine Polykondensation. Wie aus Abb.1 ersichtlich, werden pro Glucose-Baustein 3 Hydroxylgruppen an C<sub>2</sub>, C<sub>3</sub> und C<sub>6</sub> mit Ethansäure (Essigsäure) verestert.

- *Nachweis für das weitere Produkt:*

Bei dem *weiteren* Produkt (neben dem Ester aus Glucose und Ethansäure) handelt es sich um Wasser.

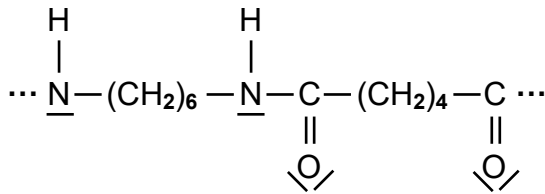
Es gibt Salze, die bei Kontakt mit Wasser ihre Farbe verändern. Bei Anwesenheit von H<sub>2</sub>O bilden diese Salze Kristalle mit Kristallwasser (z.B. Pentahydrate oder Hexahydrate). Bekannte Wassernachweise sind z.B.:

- |   |   |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- Farbänderung bei Kupfer(II)-sulfat:<br/> <math>\text{CuSO}_4 + 5 \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}</math><br/>           wasserfrei:            Pentahydrat:<br/>           weiß / blassblau    tiefblau</li> <li>- Farbänderung bei Kobalt(II)-chlorid:<br/> <math>\text{CoCl}_2 + 6 \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}</math><br/>           wasserfrei:            Hexahydrat:<br/>           blau                    rosarot</li> </ul> | <p>WATESMO<sup>®</sup>-Papier ist mit wasserfreiem CuSO<sub>4</sub> getränkt und verfärbt sich bei Kontakt mit Wasser entsprechend.</p> <p>Kobalt(II)-chlorid ist stark giftig (krebserregend; Kontaktallergen, wird über die Haut aufgenommen) und sollte deshalb möglichst nicht zum Einsatz kommen; falls doch, dann nur mit Schutzbrille, Mundschutz und Schutzhandschuhen.</p> |
|---|---|

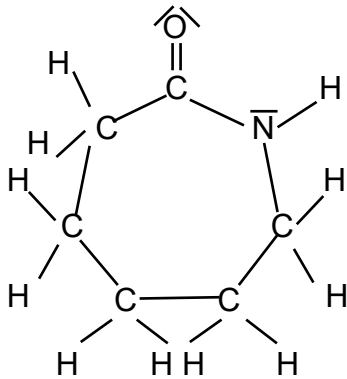
Werden die Hydrate erhitzt und geben das Wasser wieder ab, so nehmen die wasserfreien Salze (Anhydrate) wieder ihre ursprüngliche Farbe an (thermochromes Verhalten). [Wegen seines thermochromen Verhaltens wurde früher (19. Jh.) Kobalt(II)-chlorid in sog. Wetterbildern verwendet. Je nach Luftfeuchtigkeit veränderten diese ihre Farbe.]

5 VP

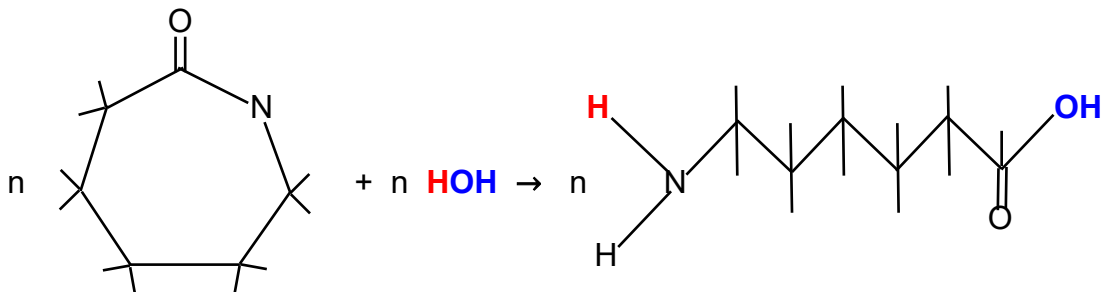
- 2 ● *Strukturformelausschnitt des Nylon<sup>®</sup>-Makromoleküls:*



- *Strukturformel von  $\epsilon$ -Caprolactam:*



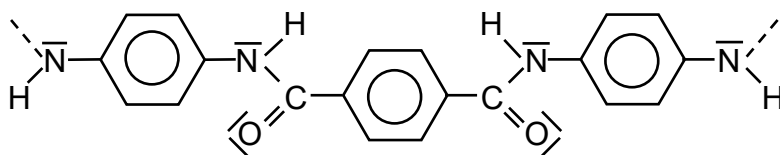
- *Reaktionsgleichung für die Ringöffnung von  $\epsilon$ -Caprolactam und Reaktionstyp:*



Reaktionstyp: Hydrolyse

5 VP

- 3.1 ● *Strukturformelausschnitt von p-Aramid:*



- **Strukturelle Besonderheiten eines Benzolrings:**
    - Alle C-C-Bindungen des Ringsystems sind gleich lang.
    - Alle Bindungswinkel im Ring sind gleich groß.
    - Das Ringsystem ist planar.
    - Der Benzolring ist ein Aromat:
      - Wegen der planaren Struktur wird die Delokalisierung des  $\pi$ -Elektronensystems im Ring möglich.
      - Dieses  $\pi$ -Elektronensystem erfüllt die HÜCKEL-Regel (Zahl der  $\pi$ -Elektronen =  $4n + 2$ , wobei n für die Zahl der Ringe steht, hier:  $n = 1$ ).
- (Nur 3 Angaben werden erwartet.)

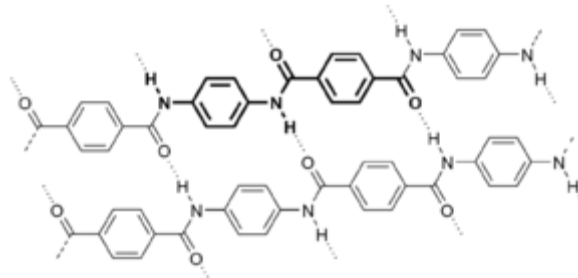
4 VP

3.2 ● **Eignung von p-Aramid- und m-Aramid-Fasern für die Herstellung eines Gewebes für kugelsichere Westen:**

Fasern mit hoher Rückstellkraft können mehr Energie aufnehmen als Fasern mit geringer Rückstellkraft. Da eine abgefeuerte Kugel mit extrem hoher Energie auf die Fasern der Weste auftrifft, sind solche Fasern zum Schutz vor Geschossen besser geeignet. Wie aus Abb.3 ersichtlich, ist die Rückstellkraft der p-Aramid-Faser erheblich größer als die der m-Aramid-Faser. Sie kann also viel mehr Energie aufnehmen als diese. Deshalb sind p-Aramid-Fasern für die Herstellung kugelsicherer Westen besser geeignet als m-Aramid-Fasern.

● **Begründung über zwischenmolekulare Wechselwirkungen:**

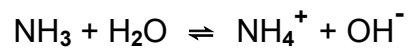
Infrage kommende Wechselwirkungen sind Wasserstoffbrücken und VAN-DER-WAALS-Kräfte. Wasserstoffbrücken können sich zwischen den Carbonylgruppen und den Aminogruppen benachbarter Molekülketten ausbilden, ebenso VAN-DER-WAALS-Kräfte zwischen den benachbarten Benzolringen.



Die Wechselwirkungen sind wegen der geringeren Abstände der Ketten voneinander mit 1,4-Verknüpfungen (p-Aramid) stärker als bei weiter auseinander liegenden Ketten mit 1,3-Verknüpfungen (m-Aramid).

4 VP

3.3 ● *Reaktionsgleichung und Benennung des Gases:*



Bei dem Gas handelt es sich um Ammoniak.

2 VP

20 VP

### Aufgabe 4:

1.1 ● *Informationen aus dem PSE über den Aufbau eines Zinnatoms:*

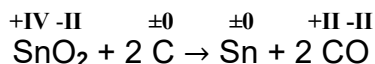
- Zinn hat im Kern 50 Protonen, weil es die Ordnungszahl 50 hat.
  - Zinn besitzt 50 Elektronen, weil es 50 Protonen hat.
  - Zinn besitzt 5 Elektronenschalen, weil es in der 5. Periode steht.
  - Zinn hat 4 Außenelektronen, weil es in der IV. Hauptgruppe steht.
  - Zinn hat im Kern ca. 69 Neutronen, weil seine Atommasse ca. 119 u beträgt ( $119 - 50 = 69$ ).
  - Zinn liegt in mindestens 2 verschiedenen Isotopensorten mit unterschiedlicher Neutronenzahl vor, weil es keine ganzzahlige Atommasse hat ( $m_{\text{Zn}} = 118,7 \text{ u}$ ).
- (Erwartet werden nur 4 Angaben, die Begründungen waren nicht verlangt. Aus dem PSE erkennbare Angaben, die sich aber nicht auf den Bau des Zinnatoms beziehen, sind nicht im Sinne der Aufgabenstellung.)

● *Begründung des Vorliegens von Zinn-Kationen als  $\text{Sn}^{4+}$ :*

Das Sn-Atom besitzt (nach der HUNDSchen Regel) 4 ungepaarte Außenelektronen. Wegen des Strebens nach einer energiearmen Edelgasschale gibt Sn in Salzen 4 Elektronen an den Bindungspartner ab. Durch das Vorliegen als  $\text{Sn}^{4+}$  erreicht es die Edelgaskonfiguration von Krypton (Kr).

3 VP

1.2 ● *Reaktionsgleichung mit Oxidationszahlen:*



● *Begründung für Oxidation und Reduktion:*

- $\text{Sn}(+IV)$  in  $\text{SnO}_2$  wird reduziert zu  $\text{Sn}(\pm 0)$ ,
- weil es 4 Elektronen aufgenommen hat,
  - weil seine Oxidationszahl von +IV um 4 Stufen auf  $\pm 0$  sinkt,
  - weil ihm Sauerstoff entzogen wurde.
- 2  $\text{C}(\pm 0)$  werden oxidiert zu 2  $\text{C}(+II)$  in 2  $\text{CO}$ ,
- weil 2 C 2·2 Elektronen abgegeben haben,
  - weil ihre Oxidationszahl von  $\pm 0$  um 2 Stufen auf +II steigt,
  - weil sie sich mit Sauerstoff verbunden haben.

- *Berechnung der erforderlichen Masse an Zinnstein:*

$$M(\text{SnO}_2) = M(\text{Sn}) + M(\text{O}_2) = 118,7 \text{ g} + 32 \text{ g} = 150,7 \text{ g}$$

$$M(\text{Sn}) = 118,7 \text{ g}$$

Zur Herstellung von 118,7 kg Sn werden 150,7 kg SnO<sub>2</sub> benötigt.

Zur Herstellung von 1 kg Sn werden  $\frac{150,7}{118,7}$  kg SnO<sub>2</sub> benötigt.

Zur Herstellung von 100 kg Sn werden  $100 \cdot \frac{150,7}{118,7}$  kg SnO<sub>2</sub>  
= 126,959 kg SnO<sub>2</sub> (ca. 127 kg SnO<sub>2</sub>) benötigt.

- *Prinzip der Beseitigung der Verunreinigungen im Zinn:*

Der Schmelzpunkt von Sn liegt bei 232°C.

Laut Angaben im Vortext besitzt es somit  
„eine deutlich niedrigere Schmelztemperatur  
als Metalle wie Eisen und Kupfer“.

Das verflüssigte Zinn fließt wegen der Abschrägung des Schmelzherds  
über den Abstich ab.

Die Arbeitstemperatur des Flammofens (ca. 250 °C) reicht also nicht,  
die Verunreinigungen zum Schmelzen zu bringen  
(250 °C sind nicht *deutlich* höher als 232 °C).

Die festen, nicht geschmolzenen Metalle bleiben  
im oberen Teil der schiefen Ebene liegen  
und sind somit von Sn getrennt.

7 VP

- 2.1 ● *Reaktionsgleichung für den Zerfall von SnO:*



- *Erklärung des Begriffs „metastabil“ am Beispiel von SnO:*

SnO befindet sich in einem energetisch höheren Zustand als Sn und SnO<sub>2</sub>.  
Diese sind wesentlich energieärmer und damit stabiler.

Obwohl also der Zerfall von SnO thermodynamisch begünstigt wäre,  
verläuft er nicht spontan, sondern extrem langsam,  
so langsam, dass er de facto nicht beobachtbar ist.

Die Disproportionierung von SnO ist also  
eigentlich eine Gleichgewichtsreaktion,  
doch die Einstellung des Gleichgewichts dauert extrem lange.

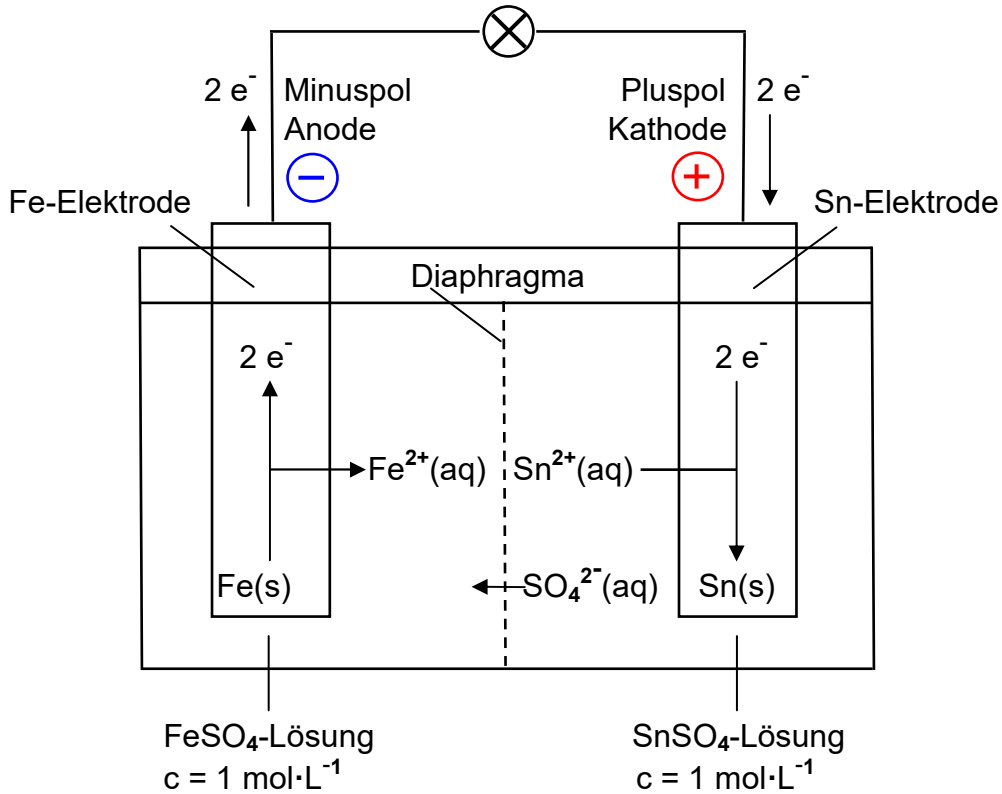
Für einen schnelleren Zerfall von SnO wären  
eine extrem hohe Aktivierungsenergie oder ein Katalysator erforderlich.

Der Zerfall erfolgt also nur „unter bestimmten Umständen“.

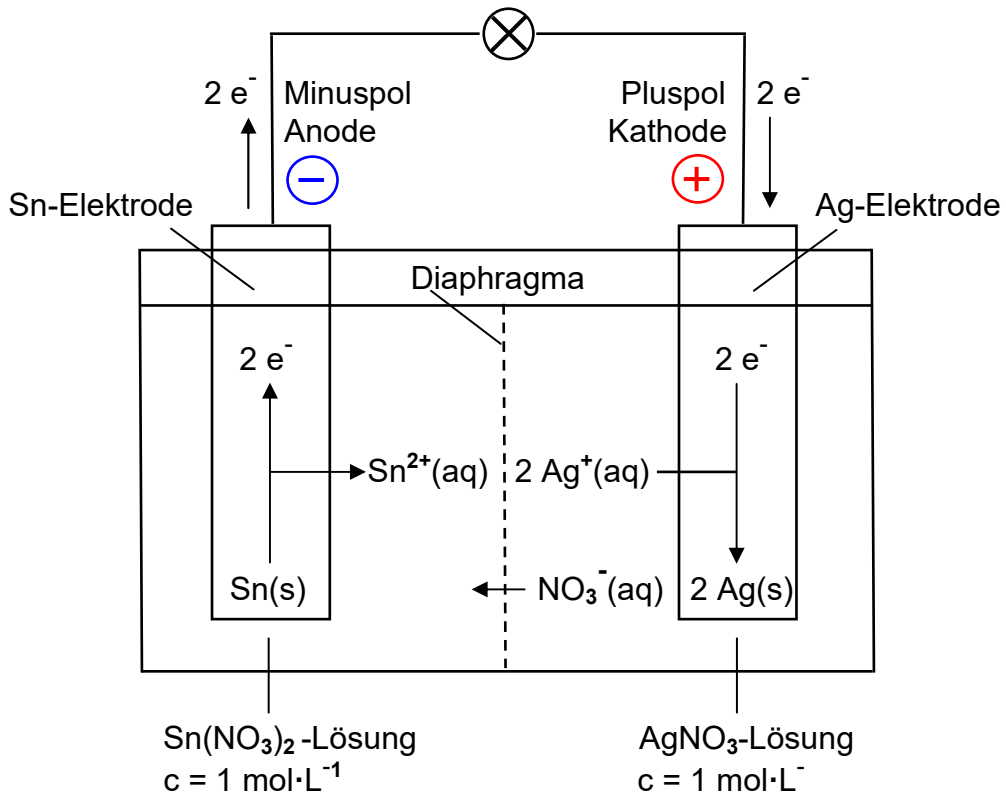
So gesehen ist SnO einerseits stabil, andererseits aber auch wieder nicht. 3 VP

2.2 ● Skizze einer galvanischen Zelle unter Standardbedingungen:

**Beispiel 1: Sn edler als Fe**

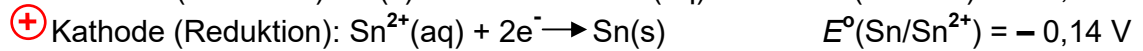
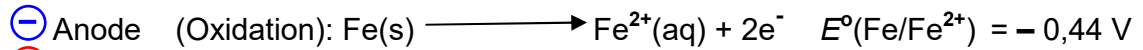


**Beispiel 2: Sn unedler als Ag**

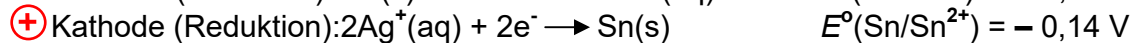
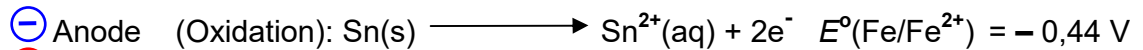


- *Teilgleichungen für die galvanische Zelle:*

**Beispiel 1 (Fe/Fe<sup>2+</sup>//Sn<sup>2+</sup>/Sn):**



**Beispiel 2 (Sn/Sn<sup>2+</sup>//Ag<sup>+</sup>/Ag):**



Dass diese Reaktion ablaufen, kann man z.B. sehen, wenn durch den Stromfluss ein Motor angetrieben wird.

- *Berechnung der Spannung beider galvanischer Zellen unter Standardbedingungen:*

**Beispiel 1 (Fe/Fe<sup>2+</sup>//Sn<sup>2+</sup>/Sn):**

$$\text{EMK}_1 = U(\text{Fe/Fe}^{2+} // \text{Sn}^{2+} / \text{Sn}) = E^\circ(\text{Sn/Sn}^{2+}) - E^\circ(\text{Fe/Fe}^{2+}) = -0,14 \text{ V} - (-0,44 \text{ V})$$

$$= \underline{\underline{+0,30 \text{ V}}}$$

**Beispiel 2 (Sn/Sn<sup>2+</sup>//Ag<sup>+</sup>/Ag):**

$$\text{EMK}_2 = U(\text{Sn/Sn}^{2+} // \text{Ag}^+ / \text{Ag}) = E^\circ(\text{Ag/Ag}^+) - E^\circ(\text{Sn/Sn}^{2+}) = +0,80 \text{ V} - (-0,14 \text{ V})$$

$$= \underline{\underline{+0,94 \text{ V}}}$$

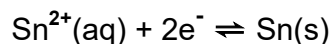
- *Änderung der Spannung beim Verdünnen der Lösung in der Zinn-Halbzelle mit Wasser:*

**Beispiel 1 (Fe/Fe<sup>2+</sup>//Sn<sup>2+</sup>/Sn):**

+ H<sub>2</sub>O in die Zinnhalbzelle (Pluspol, Kathode):

→ c(Sn<sup>2+</sup>) nimmt ab,

→ elektrochemisches Gleichgewicht



verschiebt sich nach rechts,

→ die Kathode lädt sich stärker negativ auf;

➔  $\text{EMK}_1 = U(\text{Fe/Fe}^{2+} // \text{Sn}^{2+} / \text{Sn})$  nimmt ab (Elektrodenpotenzial sinkt).

$$U(\text{Fe/Fe}^{2+} // \text{Sn}^{2+} / \text{Sn})_{\text{vor der Verdünnung}} = +0,30 \text{ V}$$

$$E^\circ(\text{Sn/Sn}^{2+})_{\text{vor der Verdünnung}} = -0,14 \text{ V}$$

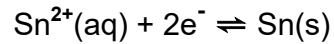
$$E(\text{Sn/Sn}^{2+})_{\text{nach der Verdünnung}} < -0,14 \text{ V}$$

$$\text{EMK}_1 \text{ nach der Verdünnung} < +0,30 \text{ V}$$



**Beispiel 2 (Sn/Sn<sup>2+</sup>//Ag<sup>+</sup>/Ag):**

- + H<sub>2</sub>O in die Zinnhalbzelle (Minuspol, Anode):
- c(Sn<sup>2+</sup>) nimmt ab,
- elektrochemisches Gleichgewicht



- verschiebt sich nach rechts,
- die Anode lädt sich stärker negativ auf;
- ➡ EMK<sub>2</sub> = U(Sn/Sn<sup>2+</sup>//Ag<sup>+</sup>/Ag) nimmt zu (Elektrodenpotenzial steigt).

$$U(\text{Sn}/\text{Sn}^{2+}/\text{Ag}^{+}/\text{Ag})_{\text{vor der Verdünnung}} = + 0,94 \text{ V}$$

$$E^{\circ}(\text{Sn}/\text{Sn}^{2+})_{\text{vor der Verdünnung}} = - 0,14 \text{ V}$$

$$E(\text{Sn}/\text{Sn}^{2+})_{\text{nach der Verdünnung}} < - 0,14 \text{ V}$$

$$\text{EMK}_2 \text{ nach der Verdünnung} > + 0,94 \text{ V}$$

7 VP

---

20 VP