

Aufgabe 1:

- 1 ● *Erklärung der Verfärbungen mithilfe von Reaktionsgleichungen:*
NH₄Cl zerfällt zu NH₃ und HCl.
Der Universalindikatorpapierstreifen ist feucht,
beide Zerfallsprodukte reagieren mit dem Wasser des Streifens:
HCl(g) + H₂O(l) → H₃O⁺(aq.) + Cl⁻(aq.)
Die H₃O⁺-Ionen sind verantwortlich für die Rotfärbung.
NH₃(g) + H₂O(l) → NH₄⁺(aq.) + OH⁻(aq.)
Die OH⁻-Ionen sind verantwortlich für die Blaufärbung.

- *Formulierung der Reaktionsgleichung für den Zerfall von Ammoniumchlorid:*
NH₄Cl(s) ⇌ NH₃(g) + HCl(g)

Berechnung der Reaktionsenthalpie für den Zerfall von 1 Mol Ammoniumchlorid bei Standardbedingungen:

$$\begin{aligned}\Delta_r H^0 &= \Delta_f H^0(\text{NH}_3) + \Delta_f H^0(\text{HCl}_g) - \Delta_f H^0(\text{NH}_4\text{Cl}) \\ &= [-46 + (-92) - (-315)] \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1} \\ &= [-46 - 92 + 315] \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1} \\ &= \underline{177 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}}\end{aligned}$$

- *Anwendung des Prinzips von LE CHATELIER:*
Die Reaktion verläuft endotherm,
es müssen pro Mol NH₄Cl 117 kJ aufgewendet werden.
Wärmezufuhr stört das Gleichgewicht,
weil endotherme Reaktionsverläufe durch Wärmezufuhr
begünstigt werden, und das Gleichgewicht
wird auf die Seite der Zerfallsprodukte verschoben.

5VP

- 2 ● *Reaktionsgleichung für die Herstellung von Ammoniumbromid:*
8 NH₃(g) + 3 Br₂(g) → 6 NH₄Br(s) + N₂(g)
- *Erklärung des Vorzeichens der Reaktionsentropie:*
S⁰ = [6 · 113 + 192 – (3 · 245 + 8 · 193)] J·mol⁻¹·K⁻¹
= [678 + 192 – 735 – 1544] J·mol⁻¹·K⁻¹
= -1.409 J·mol⁻¹·K⁻¹

Aus 11 gasförmigen Molekülen (8 NH₃ und 3 Br₂)
 entstehen 7 Moleküle (6 feste NH₄Br und 1 gasförmiges N₂).

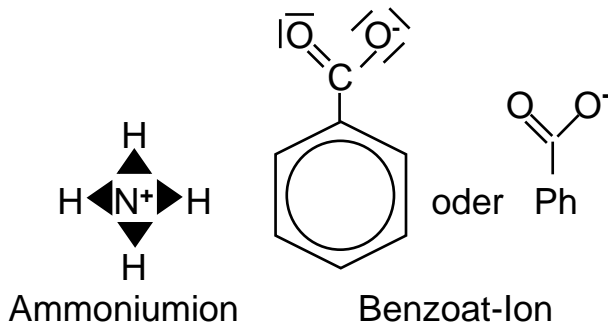
Es entstehen also

- 7 Moleküle aus 11 Molekülen,
- ferner ist auf der Produktseite nur noch 1 gasförmiges Molekül vorhanden, auf der Eduktseite waren es 11.

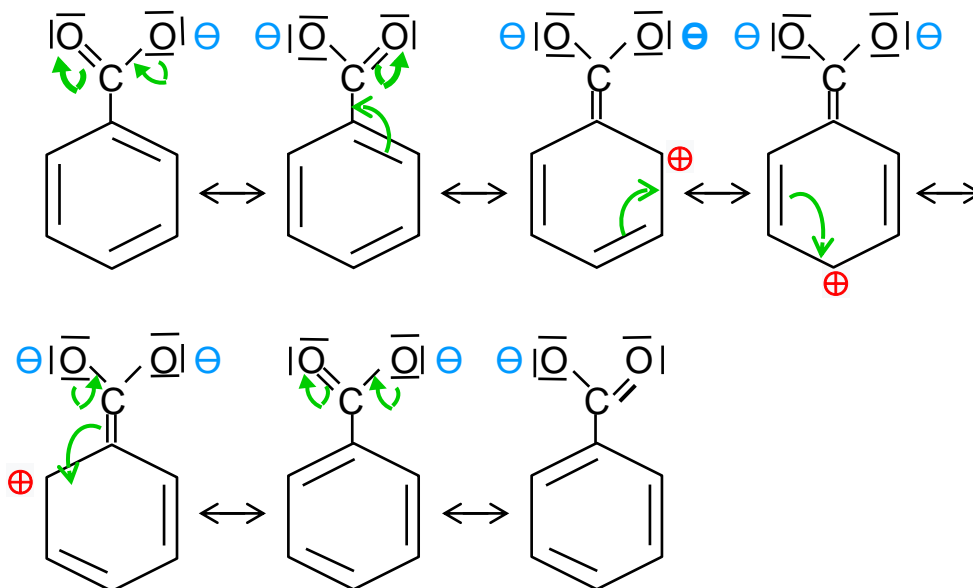
Die Abnahme der Zahl der Gasteilchen und die Bildung fester Reaktionsprodukte (wobei die Bezeichnung "Molekül" für NH₄Br eine Vereinfachung darstellt) bedeuten einen Übergang in einen geordneteren Zustand, die Entropie nimmt also ab, was durch das negative Vorzeichen seinen Ausdruck findet.

3 VP

3.1 ● *Strukturformeln der im Ammoniumbenzoat enthaltenen Ionen:*

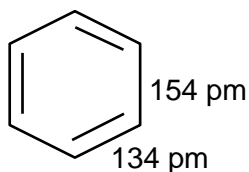


Mesomere Grenzstrukturformeln des Benzoat-Ions:

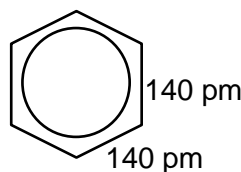


2 VP

- 3.2 ● *Bindungsverhältnisse und räumlicher Bau des aromatischen Ringes:*
- Der Ring ist planar.
 - Wegen der planaren Struktur wird die Delokalisierung des π -Elektronensystems im Ring möglich.
 - Die HÜCKEL-Regel ist erfüllt. Die Zahl der π -Elektronen beträgt $4n + 1$, wobei n für die Zahl der Ringe steht, hier: $n = 1$.
- *Erklärung des geringen Reaktionsvermögens anhand einer experimentellen Beobachtung:*
- Die Bildungswärme bei der Hydrierung von Cyclohexen zu Cyclohexan beträgt $28,6 \text{ kcal}\cdot\text{mol}^{-1}$.
 Bei der Hydrierung von Cyclohexatrien zu Cyclohexan wäre also zunächst der dreifache Wert zu erwarten: $3 \cdot 28,6 \text{ kcal}\cdot\text{mol}^{-1} = 85,8 \text{ kcal}\cdot\text{mol}^{-1}$. Die experimentelle Bestimmung der Bildungswärme ergibt aber nur $49,8 \text{ kcal}\cdot\text{mol}^{-1}$. Benzol ist also erheblich stabiler als ein (hypothetisches) Cyclohexatrien, wie die Resonanzenergie von $36,0 \text{ kcal}\cdot\text{mol}^{-1}$ ($= 85,8 - 49,8$) $\text{kcal}\cdot\text{mol}^{-1}$ zeigt. Diese Stabilität ist Ursache für die Reaktionsträgheit. (Die Angabe der Zahlenwerte für die Enthalpien wird nicht erwartet.)
 - Die Bindungslänge der C-C-Einfachbindung beträgt 154 pm , die der C=C-Zweifachbindung 134 pm . Die Bindungslänge zwischen zwei Atomen im Benzolring liegt mit 140 pm zwischen diesen beiden Werten. Es handelt sich also weder um definierte Einfach- noch um definierte Doppelbindungen, was auf die Delokalisierung der π -Elektronen zurückzuführen ist.



Bindungslängen
im hypothetischen
Cyclohexatrien,
mesomere Grenz-
struktur von Benzol

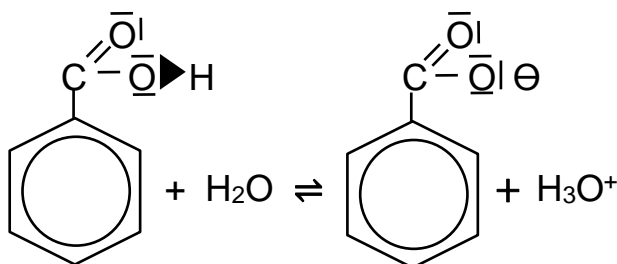


tatsächliche
Bindungslängen
im Benzol

Da also im Benzol keine fest definierten Doppelbindungen existieren, ist eine Addition (z.B. von Brom) nicht möglich. Dies ist eine weitere Ursache für Reaktionsträgheit. (Allerdings finden relativ langsam ablaufende Substitutionsreaktionen statt, bei denen Wasserstoffatome unter Erhalt des aromatischen Zustands z.B. durch Bromatome ersetzt werden.)
 (Die Angabe der Zahlenwerte für die Bindungslängen wird nicht erwartet.)

4 VP

- 4 ● *Reaktionsgleichung für die Reaktion von Benzoesäure mit Wasser:*



- *Ableitung einer Formel zur Berechnung des pH-Wertes einer wässrigen Benzoesäure-Lösung:*

$$K_S = \frac{c(\text{C}_6\text{H}_5\text{COO}^-) \cdot c(\text{H}_3\text{O}^+)}{c^0(\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH})}$$

$$c(\text{H}_3\text{O}^+) = \frac{K_S \cdot c^0(\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH})}{c(\text{C}_6\text{H}_5\text{COO}^-)}$$

$$K_S = \frac{c(\text{H}_3\text{O}^+) \cdot c^0(\text{C}_6\text{H}_5\text{COO}^-)}{c(\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH})}$$

Für die weitere Berechnung werden folgende Vereinfachungen zugrunde gelegt:

- Da pro Benzoat-Ion auch immer ein H_3O^+ -Ion entsteht, also $c(\text{H}_3\text{O}^+) = c(\text{C}_6\text{H}_5\text{COO}^-)$, gilt:
 $c(\text{H}_3\text{O}^+) \cdot c(\text{C}_6\text{H}_5\text{COO}^-) = c^2(\text{H}_3\text{O}^+)$
- Da das Gleichgewicht der Reaktion sehr stark auf der Seite der Edukte liegt ^{*)}, kann die Gleichgewichtskonzentration c der Benzoesäure näherungsweise der Ausgangskonzentration c^0 gleichgesetzt werden.
^{*)} $K_S = 6,31 \cdot 10^{-5}$

Damit ergibt sich:

$$K_S = \frac{c^2(\text{H}_3\text{O}^+)}{c^0(\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH})} = \frac{10^{-2 \text{ pH}}}{c^0(\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH})}$$

$$\text{pH} = \frac{1}{2} \cdot [\text{p}K_S - \lg c^0(\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH})]$$

- *Berechnung der Stoffmengenkonzentration der Benzoesäure-Lösung:*

$$K_S = \frac{c(\text{C}_6\text{H}_5\text{COO}^-) \cdot c(\text{H}_3\text{O}^+)}{c^0(\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH})}$$

$$c(\text{H}_3\text{O}^+) = 10^{-3} \text{ wegen } \text{pH} = 3$$

$$c(\text{C}_6\text{H}_5\text{COO}^-) = 10^{-3} \text{ wegen } c(\text{C}_6\text{H}_5\text{COO}^-) = c(\text{H}_3\text{O}^+)$$

$$K_S = 6,31 \cdot 10^{-5}$$

$$\begin{aligned} c^0(\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}) &= \frac{10^{-3} \cdot 10^{-3}}{6,31 \cdot 10^{-5}} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} = \frac{1}{6,31} \cdot 10^{-1} \cdot \text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \\ &= \underline{0,0158 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}} \end{aligned}$$

Alternativer Rechenweg:

$$\text{pH} = \frac{1}{2} \cdot [\text{p}K_S(\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}) - \lg c^0(\text{C}_6\text{H}_5\text{COO})]$$

$$\lg c^0(\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}) = \text{p}K_S(\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}) - 2 \text{ pH}$$

$$c^0(\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}) = 10^{\text{p}K_S(\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}) - 2 \text{ pH}}$$

$$c^0(\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}) = 10^{-4,2-6} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} = 10^{-1,8} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

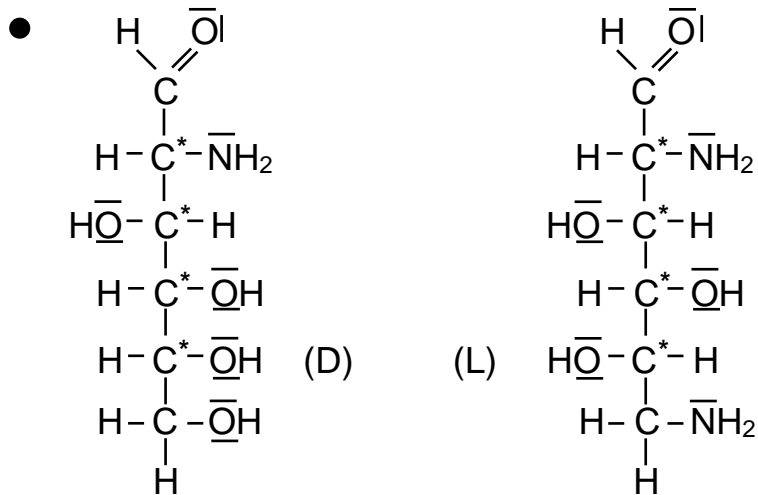
$$= \underline{0,0158 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}}$$

6 VP

20 VP

Aufgabe 2:

1.1 *FISCHER-Projektionsformeln von Glucosamin und Paromose:*
 asymmetrisches C-Atom: C*



● D-Glucosamin

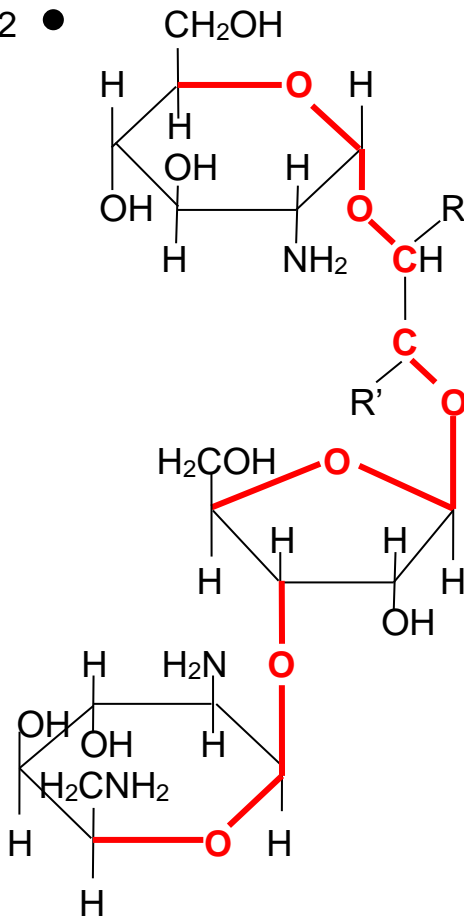
L-Paromose

Hydroxygruppe
 am untersten
 asymmetrischen
 C-Atom zeigt
 nach rechts
 → D-Verbindung

Hydroxygruppe
 am untersten
 asymmetrischen
 C-Atom zeigt
 nach links
 → L-Verbindung

5 VP

1.2 ●



rot gekennzeichnet: Vollacetal

Alle drei Monosaccharid-Bausteine sind miteinander über vollacetalische Bindungen verknüpft (...**COCOC**...). Deshalb ist keine Ringöffnung mehr möglich und offenkettige Aldosen liegen nicht mehr vor, folglich auch keine Aldehydgruppen, die reduzierend wirken können.

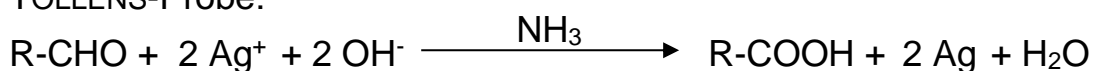
Bei der Reaktion der Paromycin-Lösung mit verdünnter Schwefelsäure werden die glykosidischen C-O-C-Bindungen H_3O^+ -katalysiert hydrolysiert (H_2O spaltet sich ab). Danach liegen in der (neutralisierten) Reaktionsmischung wieder die drei Monosaccharide des Paromycins vor bzw. deren Amine. Es herrscht ein Gleichgewicht zwischen der jeweiligen Ringform und der offenkettigen Form. Da mit den offenkettigen Formen wieder Aldehydgruppen vorliegen, wirkt die hydrolysierte und neutralisierte Reaktionsmischung, im Gegensatz zur vollacetalischen Paromycin-Lösung, reduzierend.

- *Reaktionsgleichungen für positive Nachweisreaktionen der reduzierenden Wirkung:*

FEHLING-Nachweis:



TOLLENS-Probe:



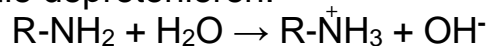
(Nur 1 Antwort wird erwartet.)

4 VP

- 1.3 ● *Begründung der guten Wasserlöslichkeit:*
Zwischen den Hydroxy-Gruppen bzw. protonierten Aminogruppen (s.u.) des Paromomycins und den Wassermolekülen können viele Wasserstoffbrücken ausgebildet und die Paromomycin-Moleküle auf diese Weise stark hydratisiert werden.

Begründung des alkalischen pH-Werts:

Die Aminogruppe des Paromomycins protonieren sich, indem sie Wassermoleküle deprotonieren.



- *Berechnung der Stoffmengenkonzentration der Paromomycin-Lösung:*

$$\begin{aligned} M(\text{C}_{23}\text{H}_{45}\text{N}_5\text{O}_{14}) &= (12 \cdot 23 + 1 \cdot 45 + 14 \cdot 5 + 16 \cdot 14) \text{ g} \\ &= (276 + 45 + 70 + 224) \text{ g} \\ &= 615 \text{ g} \end{aligned}$$

$$615 \text{ g} \triangleq 1 \text{ mol}$$

$$1 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \triangleq 1 / 615 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

$$1 \text{ g} \cdot 10 \text{ mL}^{-1} \triangleq 100 / 615 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} = \underline{0,163 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}}$$

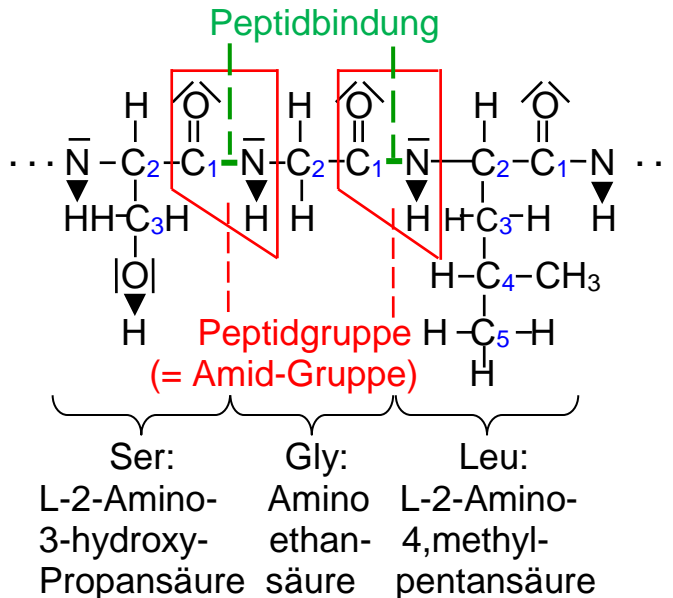
Alternativer Rechenweg:

$$n = \frac{M}{M} = \frac{1 \text{ g}}{615 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}} = 0,00163 \text{ mol}$$

$$c = \frac{M}{V} = \frac{0,00163 \text{ mol}}{0,01 \text{ L}} = \underline{0,163 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}}$$

4 VP

- 2.1 ● *Strukturformalauschnitt mit allen bindenden und nichtbindenden Elektronenpaaren:*



- *Kennzeichnung und Benennung des charakteristischen Strukturlements: s.o.*

Reaktionstyp der Verknüpfungsreaktion: Kondensationsreaktion 4 VP

- 2.2 ● *Erklärung des Denaturierungsprozesses durch Hitze:*

Die Tertiärstruktur wird (in der Bedeutung absteigend) durch Disulfidbrücken, Ionenbindungen (COULOMBSche Anziehungen), Wasserstoffbrücken und VAN-DER-WAALS-Kräfte zwischen den Seitenketten der Aminosäuren stabilisiert.

Bei hohen Temperaturen geraten die Bindungen ins Schwingen und reißen. Dadurch kann die ursprüngliche Tertiärstruktur nicht mehr aufrecht erhalten werden.

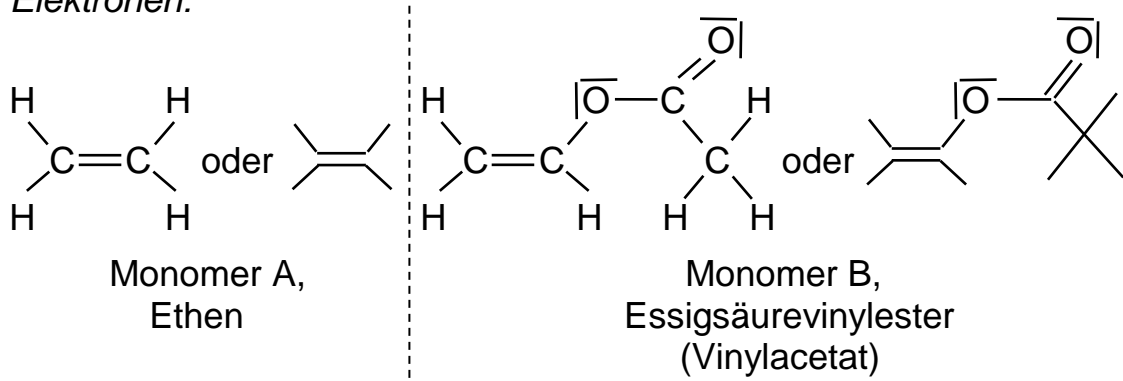
Erklärung der Temperaturstabilität des Copsins:

Die stärkste Wirkung geht von den Disulfidbrücken aus. Diese zu trennen erfordert besonders viel Energie, da es sich um echte Atombindungen handelt. Schwefelhaltige Aminosäuren sind nur Cystein und Methionin. Wegen des ungewöhnlich hohen Anteils an Cystein-Bausteinen gibt es im Copsin extrem viele Disulfidbrücken. Dies erklärt die außergewöhnliche Stabilität von Copsin gegenüber Hitzedenaturierung.

3 VP

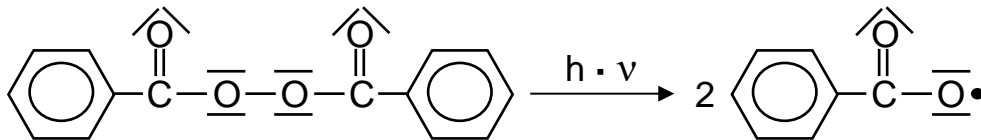
Aufgabe 3:

- 1.1 ● *Strukturformeln der Monomeren mit allen bindenden und nichtbindenden Elektronen:*

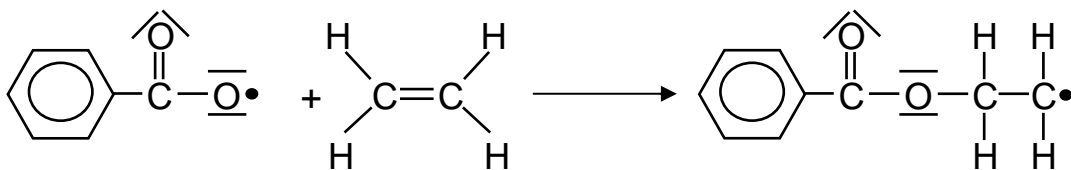


- *Reaktionsmechanismus für die Bildung des Polymerausschnitts A:*

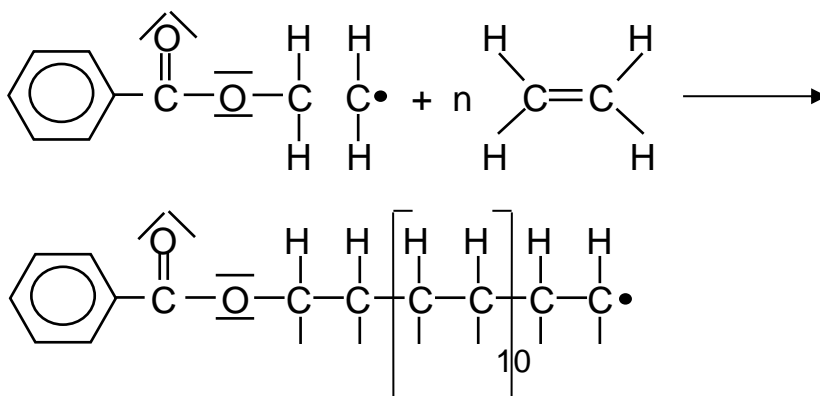
Bildung eines Starterradikals,
z.B. mit Dibenzoylperoxid und UV-Licht:

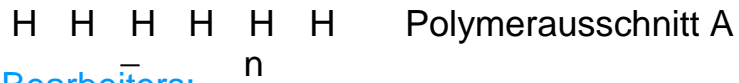


Kettenstart:



Kettenwachstum:



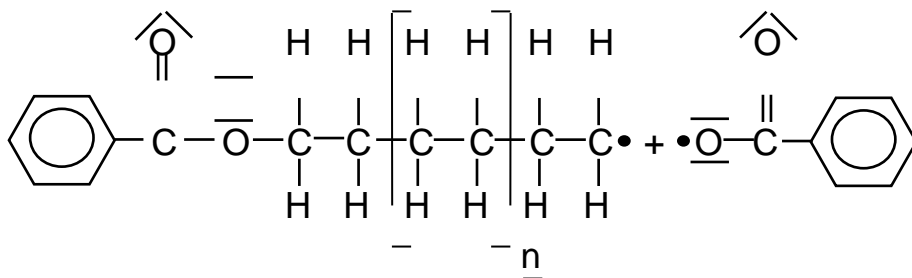
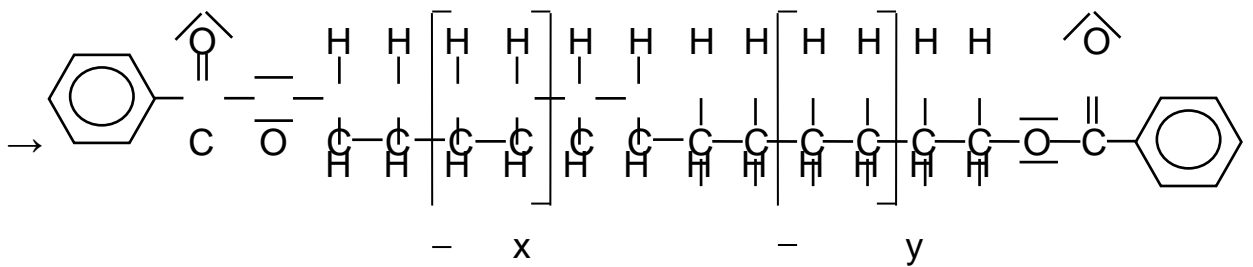
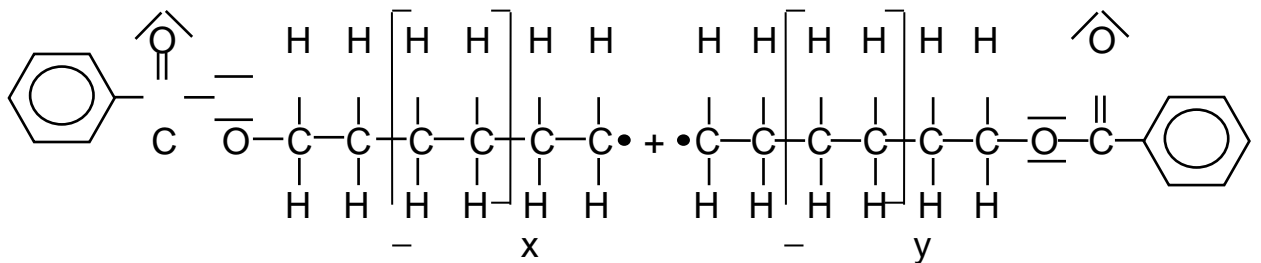
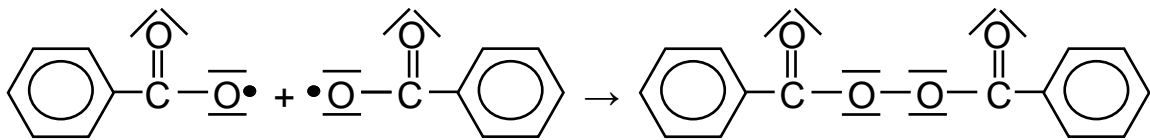


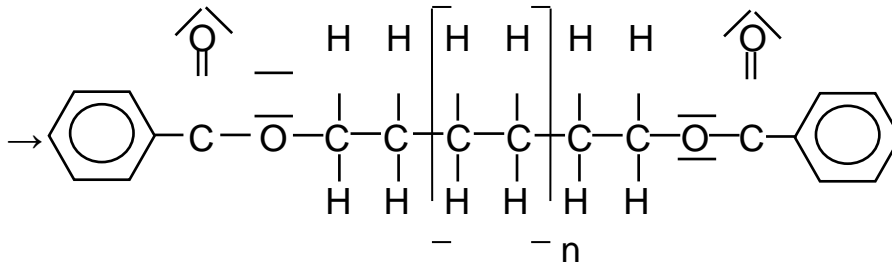
Anmerkung des Bearbeiters:

In den Lösungshinweisen des Ministeriums heißt es: „Mechanismus einer radikalischen Polymerisation mit Darstellung der Startreaktion (Verweis auf Radikalbildner), des Kettenwachstums und der Abbruchreaktionen (eine Variante genügt), entsprechende Reaktionsgleichungen.“

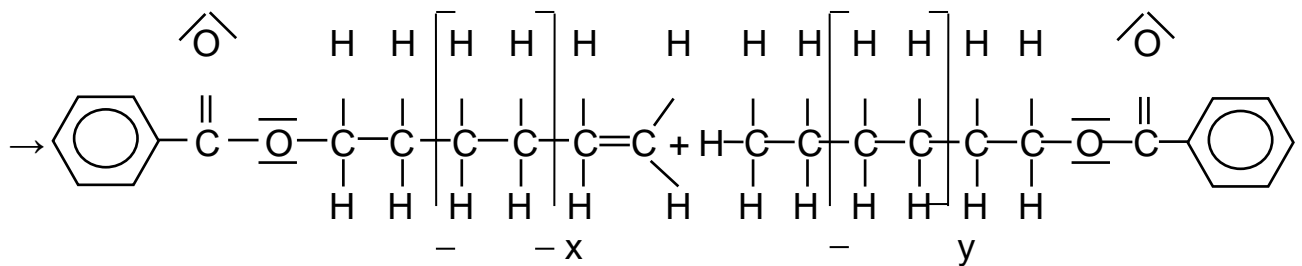
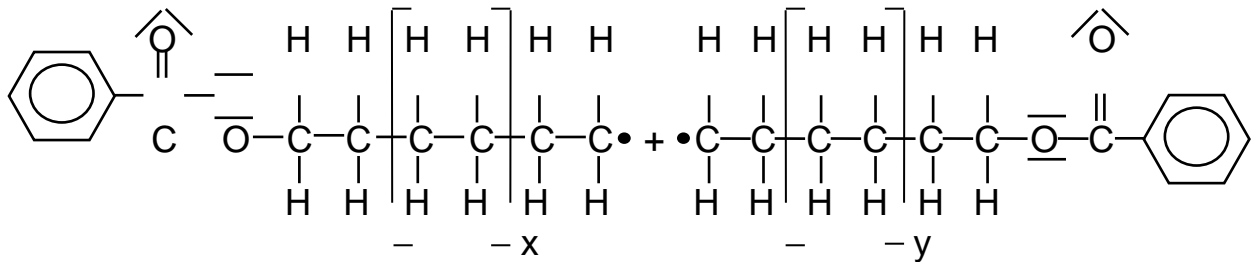
Kettenwachstum und eine Abbruchreaktion zu verlangen, ist m.E. durch die Fragestellung nicht abgedeckt. Es war nur ein „Reaktionsmechanismus für die Bildung des Polymerausschnitts A“ verlangt. Mit der Darstellung des Kettenstarts wäre demnach die Aufgabenstellung bereits erfüllt!

Kettenabbruch durch Radikalrekombinationen:





Kettenabbruch durch Disproportionierung:

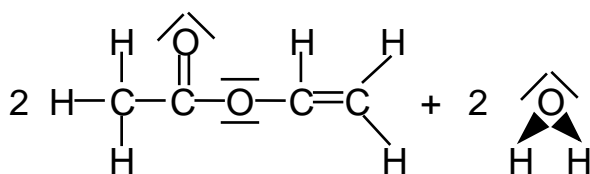
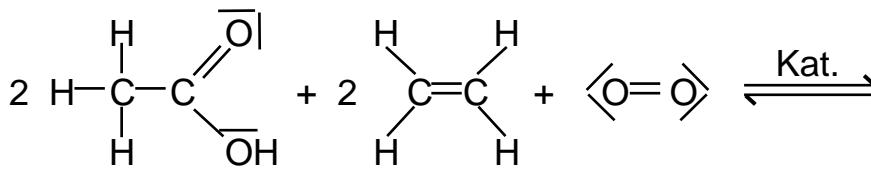


(Nur 1 Beispiel für Kettenabbruch wird erwartet.)

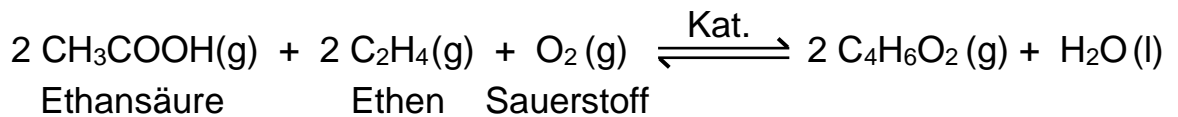
5 VP

1.2 ● *Stoffklasse des Monomers B: Ester*

● *Reaktionsgleichung für die Herstellung von Monomer B und Benennung der Edukte:*



oder



- *Maßnahme zur Erhöhung der Ausbeute an Vinylacetat und Begründung:*

Nach dem Prinzip von LE CHATELIER kann das Gleichgewicht auf die Produktseite verschoben werden durch

- Erhöhung einer Eduktkonzentration (oder beider):

$$K_c = \frac{c^2(\text{Vinylacetat})}{c^2(\text{Ethansäure}) \cdot c^2(\text{Ethen}) \cdot c(\text{Sauerstoff})}$$

- Nenner wird größer,
 - K_c wird kleiner,
 - Ausweichen des Zwangs durch vermehrte Bildung von Produkten,
 - Nenner wird wieder kleiner und Zähler größer,
 - alter Bruchwert und damit der Wert für K_c werden wieder erreicht.
- ständiges Entfernen der Produkte aus dem Gleichgewicht:
 - Zähler wird kleiner,
 - K_c wird kleiner,
 - Ausweichen des Zwangs durch vermehrte Bildung von Produkten,
 - Zähler wird wieder größer und Nenner kleiner,
 - alter Bruchwert und damit der Wert für K_c werden wieder erreicht.
 - Druckerhöhung:

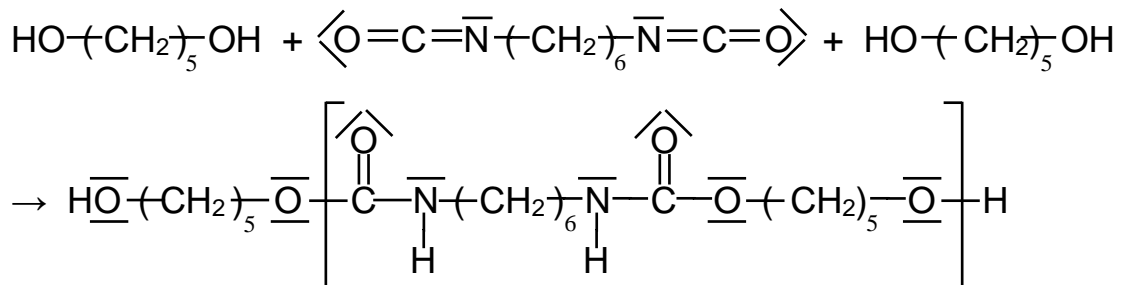
Die Zahl der Gasteilchen nimmt durch die Reaktion ab, aus 5 Gasmolekülen der Eduktseite werden 2 Gasmoleküle der Produktseite (bzw. 3 Gasmoleküle, falls H_2O als Wasserdampf vorliegt).

Durch die Abnahme der Zahl der Gasteilchen sinkt der Druck. Reaktionen, die unter Druckverminderung ablaufen, werden nach LE CHATELIER durch Druckerhöhung begünstigt.

(Nur 1 Maßnahme wird erwartet.)

5 VP

- 2 ● *Strukturformelausschnitt von TPU:*



(Reaktionsgleichung ist nicht verlangt, nur der Strukturformelausschnitt von TPU.)

Benennung der Polyreaktion für die TPU-Synthese: Polyaddition

- *Systematischer Name eines dritten Monomers für die TPU-X-Synthese:*

Ein solches drittes Monomer muss trifunktionell sein. In Frage kommt z.B. Pentantriol-1,3,5, aber auch Propantriol (Glycerin).

Begründung:

Trifunktionelle Moleküle vernetzen die linearen TPU-Ketten untereinander. Wenige Moleküle reichen aus, ein weitmaschiges Netz zu erzeugen, TPU-X ist demzufolge ein Elastomer.

- *Beschreibung des thermischen Verhaltens von TPU und TPU-X:*

Die TPU-Ketten schmelzen bei Erwärmung, TPU erweicht und verflüssigt sich. TPU zeigt also thermoplastisches Verhalten.

Die weitmaschig untereinander vernetzten TPU-X-Ketten schmelzen zunächst auch, werden dann aber hochviskos und zersetzen sich ab einer bestimmten Temperatur. TPU-X zeigt also elastomeres Verhalten.

6 VP

3 ● *Experiment A:*

Zersetzung der Polyamidprobe:

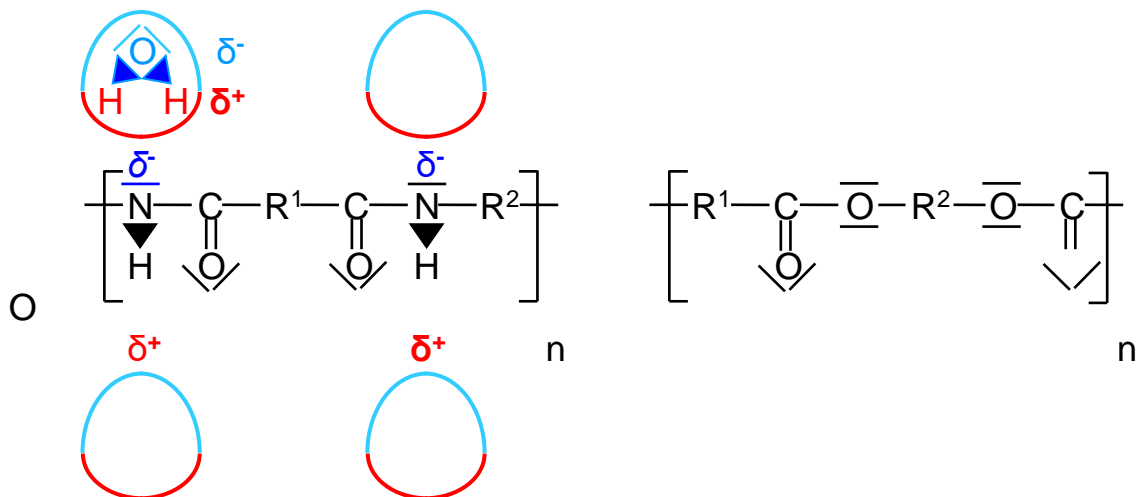
Polyamide sind Kondensationsprodukte von bi- oder trifunktionellen Carbonsäuren und Aminen. Bei der thermischen Zersetzung wird aus den Amidbindungen Ammoniak freigesetzt, der das angefeuchtete Universalindikatorpapier blau färbt ($\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{NH}_4^+ + \text{OH}^-$).

Zersetzung der Polyesterprobe:

Polyester sind Kondensationsprodukte von bi- oder trifunktionellen Carbonsäuren und Alkoholen. Bei der thermischen Zersetzung wird aus den Esterbindungen Kohlenstoffdioxid freigesetzt, das das angefeuchtete Universalindikatorpapier rot färbt ($\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{H}^+ + \text{CO}_3^{2-}$).

Die unterschiedliche Verfärbung des Universalindikatorpapiers ermöglicht eine Unterscheidung der beiden Kunststoffe.

● *Experiment B:*



Ausschnitt aus einem Polyamid-Molekül:
 Zwischen den vielen polaren Gruppen des Polyamids und den Wasserdipolen gibt es viele Möglichkeiten zur Ausbildung von Wasser-

Ausschnitt aus einem Polyester-Molekül:
 Am Polyester gibt es keine Möglichkeiten zur Ausbildung von Wasser-

stoffbrücken, so dass H₂O angelagert werden kann und das Polyamid aufquillt
→ Gewichtszunahme.

stoffbrücken, so dass kein H₂O angelagert werden kann und der Polyester nicht aufquillt
→ keine Gewichtszunahme.

Eine interessante Information:

„Eine Besonderheit der Polyamide im Vergleich zu vielen anderen Kunststoffen besteht darin, dass sie ca. 3,5 – 4,5 Vol% Wasser einlagern können. Das Wasser wird nicht chemisch gebunden, sondern wird beim Waschen usw. aufgenommen und zwischen den Molekülketten eingelagert. Dies ist mit einer spürbaren Volumenvergrößerung (Quellung) verbunden. Dadurch ergeben sich deutliche Veränderungen der mechanischen Eigenschaften. So sind Polyamide im absolut trockenen Zustand nach der Verarbeitung relativ schlagempfindlich. Die für Polyamide typische hohe Schlagzähigkeit wird erst nach Wasseraufnahme entwickelt. Dieser Effekt ist auch dafür verantwortlich, dass Nylonstrümpfe zu meist im fabrikneuen Zustand Laufmaschen bekommen. Wenn sie jedoch die erste Woche überstanden haben, sollen sie angeblich viel haltbarer sein.“

(Quelle: Prof. Blumes Bildungsserver für Chemie,
www.chemieunterricht.de/dc2/nh3/pa.htm)

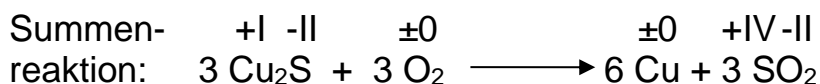
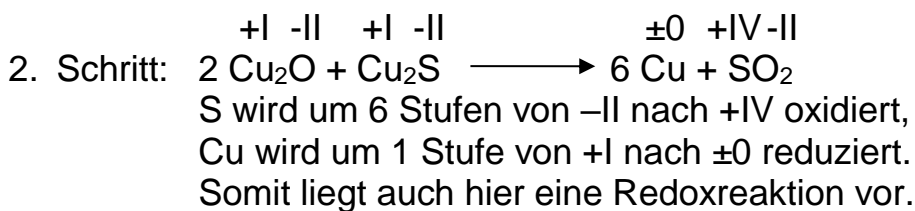
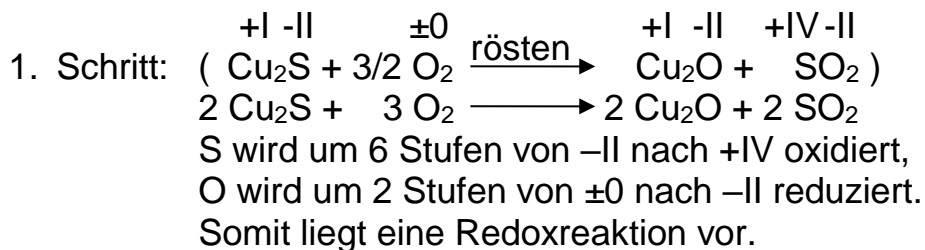
4 VP

20

VP

Aufgabe 4:

- 1 ● *Reaktionsgleichungen zu den Verfahrensschritten und Ermittlung der Oxidationszahlen:*



- *Berechnung der Masse an SO_2 für 1 t Cu:*

$$\begin{aligned} 6 \text{ M}(\text{Cu}) &= 6 \cdot 63,5 \text{ g} = 381 \text{ g} \\ 3 \text{ M}(\text{SO}_2) &= 3 \cdot (32,1 + 2 \cdot 16) \text{ g} = 3 \cdot 64,1 \text{ g} = 192,3 \text{ g} \end{aligned}$$

$$381 \text{ g Cu} \triangleq 192,3 \text{ g SO}_2$$

$$1 \text{ g Cu} \triangleq (192,3 / 381) \text{ g SO}_2 = 0,5047244 \text{ g SO}_2$$

$$1 \text{ t Cu} = 1.000 \text{ kg Cu} = 1.000.000 \text{ g Cu}$$

$$\begin{aligned} &\approx 1.000.000 \cdot 0,5047244 \text{ g SO}_2 \\ &= 504.724,4 \text{ g SO}_2 \\ &= 504,7244 \text{ kg SO}_2 \\ &\approx \underline{0,505 \text{ t SO}_2} \end{aligned}$$

Alternativer Rechenweg:

Pro 6 mol Cu entstehen 3 mol SO₂.

Also gilt:

$$n(\text{SO}_2) = \frac{1}{2} n(\text{Cu})$$

$$m(\text{SO}_2) = \frac{m(\text{Cu})}{M(\text{Cu})} = \frac{1 \cdot 10^6 \text{ g}}{63,5 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}} = 15.748.031 \text{ mol}$$

$$m(\text{SO}_2) = n(\text{SO}_2) \cdot M(\text{SO}_2)$$

$$= \left(\frac{1}{2} \cdot 15.748.031 \text{ mol}\right) \cdot 64 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} \text{ SO}_2$$

$$= 503.936,99 \text{ g SO}_2$$

$$\approx 503,93599 \text{ kg SO}_2$$

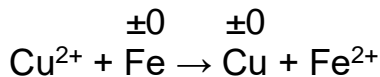
$$\approx \underline{0,504 \text{ t SO}_2}$$

6

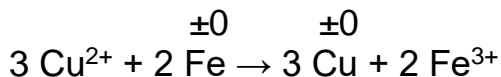
VP

2 ● *Funktion des Eisens:*

Eisen fungiert als Reduktionsmittel, wie aus folgenden Gleichungen ersichtlich ist:

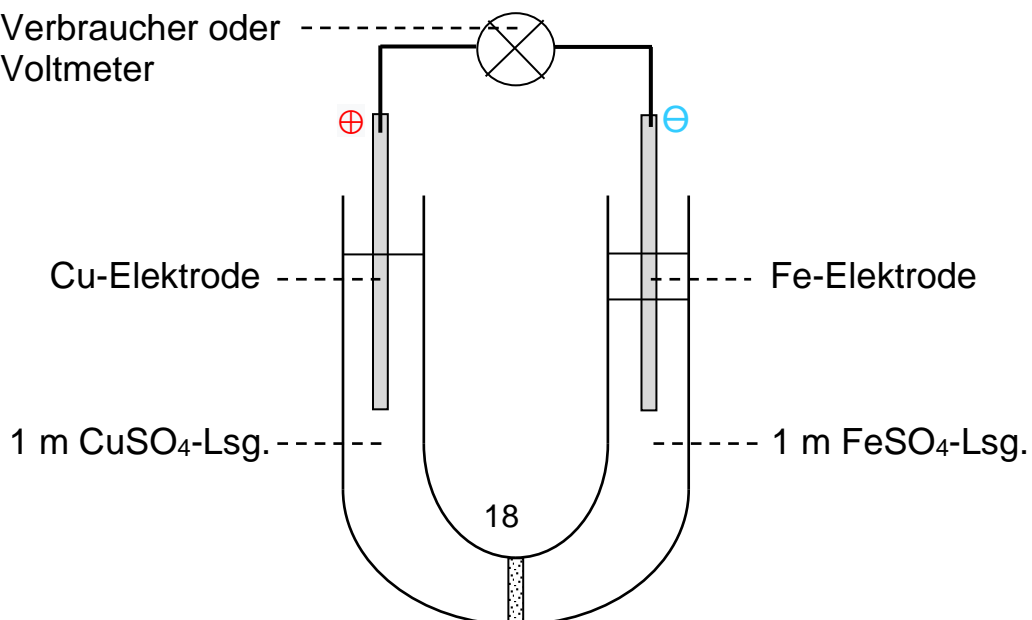



oder



● *Beschrifteter Versuchsaufbau hierzu:*

Verbraucher oder
Voltmeter




 U-Rohr mit Fritte (bzw. Diaphragma)

5 VP

3.1 ● *Veränderungen an den Elektroden:*

- Der Umfang der reinen Kupfer-Kathode nimmt zu.
- Der Umfang der verunreinigten Kupfer-Anode nimmt ab.

● *Reaktionsgleichungen für die Elektroden-Reaktionen:*

- Anode: $\text{Cu} \rightarrow \text{Cu}^{2+} + 2 e^-$
 $\text{Zn} \rightarrow \text{Zn}^{2+} + 2 e^-$ (entspr. für Fe, Ni u.a. unedle
 Metallverunreinigungen)
- Kathode: $\text{Cu}^{2+} + 2 e^- \rightarrow \text{Cu}$

● *Erklärung der Verunreinigung der Kupfer(II)-sulfat-Lösung und der Ablagerungen:*

- $E^0(\text{Cu}) = + 0,34 \text{ V}$
 $E^0(\text{Zn}) = - 0,76 \text{ V}$
 $E^0(\text{Fe}) = - 0,44 \text{ V}$
 $E^0(\text{Ni}) = - 0,23 \text{ V}$

Die unedlen Atome (Zn, Fe, Ni) werden oxidiert und gehen als Ionen in Lösung.

Aufgrund ihrer Standardpotenziale liegen sie, anders als das edlere Kupfer, alle bevorzugt in der oxidierten Form vor.

Sie werden also nicht an der Kupfer-Kathode abgeschieden.

- $E^0(\text{Ag}) = + 0,80 \text{ V}$
 $E^0(\text{Au}) = + 1,42 \text{ V}$

Die edleren Atome (Ag, Au) werden, anders als das unedlere Cu, nicht oxidiert, sie bilden den Schlamm am Gefäßboden.

5 VP

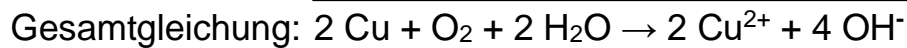
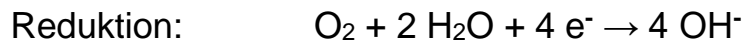
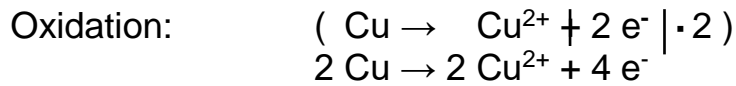
3.2 ● *Erklärung der Vorgänge beim Anlegen einer Spannung, die höher ist als 0,4 V:*

Beim Anlegen einer hinreichend hohen Spannung werden auch die edlen Silber- und Goldatome zu Kationen oxidiert. Diese gehen zusammen mit den anderen Kationen in der Kupfer(II)-sulfat-Lösung in Lösung. Ab einer Spannung von + 0,80 V würde sich

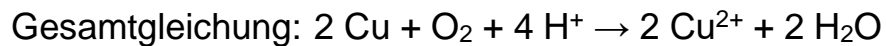
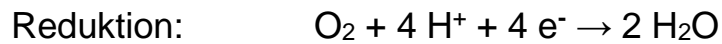
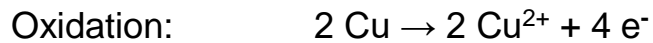
dann auch Silber an der Kathode abscheiden, ab + 1,42 V auch Gold. Bei diesen höheren Spannungen würde also die Kupfer-Kathode verunreinigt werden.

2 VP

4 ● *Teilgleichungen und Gesamtgleichung:*



oder



2 VP

20 VP