# 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:*

ΔrH0 = ΔfH0(NH3) + ΔfH0(HClg) - ΔfH0(NH4Cl)

= [- 46 + (- 92) – (- 315)] kJ**·**mol-1

= [- 46 – 92 + 315] kJ**·**mol-1

= 177 kJ**·**mol-1

*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:*

O O**-**

C

O O**-**

H

H N**+** H oder Ph

H

Ammoniumion Benzoat-Ion

*Mesomere Grenzstrukturformeln des Benzoat-Ions:*

O O Ө Ө O O Ө O O **Ө** Ө O O Ө

C C C C

**⊕**

**⊕**

Ө O O Ө O O Ө Ө O O

C C C

**⊕**

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 4 n + 1, wobei n für die Zahl der Ringe steht, hier: n = 1.

*Erklärung des geringen Reaktionsvermögens anhand einer expe-rimentellen Beobachtung:*

* Die Bildungswärme bei der Hydrierung von Cyclohexen zu Cyclohexan beträgt 28,6 kcal**·**mol-1.

Bei der Hydrierung von Cyclohexatrien zu Cyclohexan wäre also zunächst der dreifache Wert zu erwarten: 3 **·** 28,6 kcal**·**mol-1

= 85,8 kcal**·**mol-1. Die experimentelle Bestimmung der Bil-dungswärme ergibt aber nur 49,8 kcal**·**mol-1. Benzol ist also er-heblich stabiler als ein (hypothetisches) Cyclohexatrien, wie die Resonanzenergie von 36,0 kcal**·**mol-1 (= 85,8 – 49,8) kcal**·**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 zwi-schen diesen beiden Werten. Es handelt sich also weder um definierte Einfach- noch um definierte Doppelbindungen, was auf die Delokalisierung der π-Elektronen zurückzuführen ist.

154 pm 140 pm

134 pm 140 pm

Bindungslängen tatsächliche

im hypothetischen Bindungslängen

Cyclohexatrien, im Benzol

mesomere Grenz-

struktur von 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:*

O O

C O H C O Ө

+ H2O **⇌ +** H3O+

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

c(C6H5COO**-**) **·** c(H3O+)

KS =

c(H3O+) =

KS =

c0(C6H5COOH)

KS **·** c0(C6H5COOH)

c(C6H5COO**-**)

c(H3O+) **·** c0(C6H5COO**-**)

c(C6H5COOH)

*Für die weitere Berechnung werden folgende Vereinfachungen zugrunde gelegt:*

* Da pro Benzoat-Ion auch immer ein H3O+-Ion entsteht, also

c(H3O+) = c(C6H5COO**-**), gilt:

c(H3O+) **·** c(C6H5COO**-**) = c2(H3O+)

* Da das Gleichgewicht der Reaktion sehr stark auf der Seite der Edukte liegt \*), kann die Gleichgewichtskonzentration c der Benzoesäure näherungsweise der Ausgangskonzentration c0 gleichgesetzt werden.

\*) KS = 6,31 **·** 10-5

Damit ergibt sich:

c2(H3O+) 10-2 pH

KS = =

c0(C6H5COOH) c0(C6H5COOH)

pH = ½ **·** [pKS – lg c0(C6H5COOH)]

*Berechnung der Stoffmengenkonzentration der Benzoesäure-Lösung:*

c(C6H5COO**-**) **·** c(H3O+)

KS =

c0(C6H5COOH)

c(H3O+) = 10-3 wegen pH = 3

c(C6H5COO**-**) = 10-3 wegen c(C6H5COO-) = c(H3O+)

Ks = 6,31 **·** 10-5

10-3 **·** 10-3 1

c0(C6H5COOH) = mol**·**L-1 = **·** 10-1 **·** mol**·**L-1

= 0,0158 mol**·**L-1

6,31 **·** 10-5 6,31

*Alternativer Rechenweg:*

pH = ½ **·** [pKS(C6H5COOH) – lg c0(C6H5COO)]

lg c0(C6H5COOH) = pKS(C6H5COOH) – 2 pH

s 6 5

c0(C6H5COOH) = 10pK (C H COOH) – 2 pH

c0(C6H5COOH) = 10-4,2-6 mol**·**L-1 = 10-1,8 mol**·**L-1

= 0,0158 mol**·**L-1 6 VP

20 VP

# Aufgabe 2:

1.1 *Fischer-Projektionsformeln von Glucosamin und Paromose:*

asymmetrisches C-Atom: C\*

H O H O

C C

H C**\*** NH2 H C**\*** NH2

HO C**\*** H HO C**\*** H

H C**\*** OH H C**\*** OH

H C**\*** OH (D) (L) HO C**\*** H

H C OH H C NH2

H H

D-Glucosamin L-Paromose

Hydroxygruppe Hydroxygruppe

am untersten am untersten

asymmetrischen asymmetrischen

C-Atom zeigt C-Atom zeigt

nach rechts nach links

→ D-Verbindung → L-Verbindung 5 VP

**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 redu-zierend wirken können.

Bei der Reaktion der Paromycin-Lösung mit verdünnter Schwefelsäure werden die glykosidischen C-O-C-Bindungen H3O+-katalysiert hy-drolysiert (H2O 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.

1.2 CH2OH

H **O** H

H

OH H

OH **O** R

H NH2 **C**H

**C**

R’ **O**

H2COH **O**

H H

H H

OH

H H2N **O**

OH

OH H

H2CNH­2

H **O** H

H

*Reaktionsgleichungen für positive Nachweisreaktionen der redu-zierenden Wirkung:*

Fehling-Nachweis:

Na-K-Tartrat

R-CHO + 2 Cu2+ + 2 OH- R-COOH + 2 Cu+ + H2O

Tollens-Probe:

NH3

R-CHO + 2 Ag+ + 2 OH- R-COOH + 2 Ag + H2O

(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 protonierten sich, indem sie Wassermoleküle deprotonieren.

**+**

R-NH2 + H2O → R-NH3 + OH**-**

**≙** *Berechnung der Stoffmengenkonzentration der Paromomycin-Lösung:*

M(C23H45N5O14) = (12**·**23 + 1**·**45 + 14**·**5 + 16**·**14) g

= (276 + 45 + 70 + 224) g

= 615 g

615 g **≙** 1 mol

1 g**·**L-1 **≙** 1 / 615 mol**·**L-1

1 g**·**10mL-1 **≙** 100 / 615 mol**·**L-1 = 0,163 mol**·**L-1

*Alternativer Rechenweg:*

M 1 g

n = = = 0,00163 mol

M 615 g**·**mol-1

M 0,00163 mol

c = = = 0,163 mol**·**L-1

V 0,01 L 4 VP

2.1 *Strukturformalausschnitt mit allen bindenden und nichtbindenden Elektronenpaaren:*

Peptidbindung

H O H O H O

**∙ ∙ ∙** N C2 C1N C2 C1 N C2 C1  N**∙ ∙ ∙**

HH C3H H H H H C3 H H

O H C4 CH3

H Peptidgruppe H C5 H

(= Amid-Gruppe) H

Ser: Gly: Leu:

L-2-Amino- Amino L-2-Amino-

3-hydroxy- ethan- 4,methyl-

Propansäure säure pentansäure

*Kennzeichnung und Benennung des charakteristischen Struk-turelements:* 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

20 VP

**Aufgabe 3:**

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

O O

H H H O C H O

C C oder C C C oder

H H H H H H

Monomer A, Monomer B,

Ethen Essigsäurevinylester

(Vinylacetat)

*Reaktionsmechanismus für die Bildung des Polymerausschnitts A:*

Bildung eines Starterradikals,

z.B. mit Dibenzoylperoxid und UV-Licht:

O O O

h **·** ν

C O O C 2 C O

Kettenstart:

O H H O H H

C O + C C C O C C

H H H H

Kettenwachstum:

O H H H H

C O C C + n C C

H H H H

O H H H H H H

C O C C C C C C

H H H H H H Polymerausschnitt A

n

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), entspre-chende Reaktionsgleichungen.”

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

Kettenabbruch durch Radikalrekombinationen:

O O O O

C O + O C → C O O C

O H H H H H H H H H H H H O

C O C C C C C C + C C C C C C O C

H H H H H H H H H H H H

x y

O H H H H H H H H H H H H O

H H H H H H H H H H H H

→ C O C C C C C C C C C C C C O C

x y

O H H H H H H O

C O C C C C C C + O C

H H H H H H

n

O H H H H H H O

→ C O C C C C C C O C

n

H H H H H H

Kettenabbruch durch Disproportionierung:

O H H H H H H H H H H H H O

C O C C C C C C + C C C C C C O C

H H H H H H H H H H H H

x y

O H H H H H H H H H H H H O

→ C O C C C C C C + H C C C C C C O C

H H H H H H H H H H H H

x y

(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:*

H O H H

Kat.

2 H C C + 2 C C + O O

H OH H H

H O H H

2 H C C O C C + 2 O

H H H H

oder

Kat.

2 CH3COOH(g) + 2 C2H4 (g) + O2 (g) 2 C4H6O2 (g) + H2O (l)

Ethansäure Ethen Sauerstoff

*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):

c2(Vinylacetat)

Kc =

c2(Ethansäure) **·** c2(Ethen) **·** c(Sauerstoff)

→ Nenner wird größer,

**→** Kc wird kleiner,

**→** Ausweichen des Zwangs durch vermehrte Bildung von

Produkten,

→ Nenner wird wieder kleiner und Zähler größer,

→ alter Bruchwert und damit der Wert für Kc werden wieder erreicht.

- ständiges Entfernen der Produkte aus dem Gleichgewicht:

→ Zähler wird kleiner,

**→** Kc wird kleiner,

**→** Ausweichen des Zwangs durch vermehrte Bildung von

Produkten,

→ Zähler wird wieder größer und Nenner kleiner,

→ alter Bruchwert und damit der Wert für Kc 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 H2O 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:*

HO ( CH2 ) OH + O C N ( CH2 ) N C O + HO ( CH2) OH

5

5

6

O O

→ HO ( CH2 ) O C N ( CH2 ) N C O ( CH2) O H

5

6

5

H H

(Reaktionsgleichung ist nicht verlangt, nur der Strukturformelaus-schnitt 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 (NH3 + H2O → NH4+ + 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 (CO2 + H2O → 2 H+ + CO32**-**).

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

*Experiment B:*

O δ**-**

H H **δ+**

*δ***-** δ**-**

N C R1 C N R2 R1 C O R2 O C

H O O H O O

δ**+ δ+** n n

Ausschnitt aus einem Ausschnitt aus einem

Polyamid-Molekül: Polyester-Molekül:

Zwischen den vielen polaren

Gruppen des Polyamids

und den Wasserdipolen Am Polyester

gibt es viele Möglichkeiten gibt es keine Möglichkeiten

zur Ausbildung von Wasser- zur Ausbildung von Wasser-

stoffbrücken, so dass H2O stoff brücken,so dass kein H2O

angelagert werden kann angelagert werden kann

und das Polyamid aufquillt und der Polyester nicht aufquillt → Gewichtszunahme. → 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 zumeist 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](http://www.chemieunterricht.de/dc2/nh3/pa.htm)) 4 VP

20 VP

**Aufgabe 4:**

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

+I -II ±0 +I -II +IV -II

rösten

1. Schritt: ( Cu2S + 3/2 O2 Cu2O + SO2 )

2 Cu2S + 3 O2 2 Cu2O + 2 SO2

S wird um 6 Stufen von –II nach +IV oxidiert,

O wird um 2 Stufen von ±0 nach –II reduziert.

Somit liegt eine Redoxreaktion vor.

+I -II +I -II ±0 +IV -II

1. Schritt: 2 Cu2O + Cu2S 6 Cu + SO2

S wird um 6 Stufen von –II nach +IV oxidiert,

Cu wird um 1 Stufe von +I nach ±0 reduziert.

Somit liegt auch hier eine Redoxreaktion vor.

Summen- +I -II ±0 ±0 +IV -II

reaktion: 3 Cu2S + 3 O2 6 Cu + 3 SO2

*Berechnung der Masse an SO2 für 1 t Cu:*

6 M(Cu) = 6 **·** 63,5 g = 381 g

3 M (SO2) = 3 **·** (32,1 + 2 **·** 16) g = 3 **·** 64,1 g = 192,3 g

381 g Cu **≙** 192,3 g SO2

1 g Cu **≙** (192,3 / 381) g SO2) = 0,5047244 g SO

1 t Cu = 1.000 kg Cu = 1.000.000 g Cu

**≙**1.000.000 **·** 0,5047244 g SO2

= 504.724,4 g SO2

= 504,7244 kg SO2

≈ 0,505 t SO2

*Alternativer Rechenweg:*

Pro 6 mol Cu entstehen 3 mol SO2.

Also gilt:

n(SO2) = ½ n(Cu)

m(Cu) 1 **·** 106 g

m(SO2) = = = 15.748.031 mol

M(Cu) 63,5 g **·** mol-1

m(SO2) = n(SO2) **·** M(SO2)

= (½ **·** 15.748.031 mol) **·** 64 g**·**mol-1 SO2

= 503.936,99 g SO2

≈ 503,93599 kg SO2

≈ 0,504 t SO2 6 VP

*2 Funktion des Eisens:*

Eisen fungiert als Reduktionsmittel, wie aus folgenden Gleichun-gen ersichtlich ist:

±0 ±0

Cu2+ + Fe → Cu + Fe2+

oder

±0 ±0

3 Cu2+ + 2 Fe → 3 Cu + 2 Fe3+

*Beschrifteter Versuchsaufbau hierzu:*

Verbraucher oder

Voltmeter

⊕

Ө

Cu-Elektrode Fe-Elektrode

1 m CuSO4-Lsg. 1 m FeSO4-Lsg.

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: Cu → Cu2+ + 2 e**-**

Zn → Zn2+ + 2 e**-** (entspr. für Fe, Ni u.a. unedle

Metallverunreinigungen)

- Kathode: Cu2+ + 2 e**-** → Cu

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

*der Ablagerungen:*

- E0(Cu) = + 0,34 V

E0(Zn) = - 0,76 V

E0(Fe) = - 0,44 V

E0(Ni) = - 0,23 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.

- E0(Ag) = + 0,80 V

E0(Au) = + 1,42 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:*

Oxidation: ( Cu → Cu2+ + 2 e**-** **·** 2 )

2 Cu → 2 Cu2+ + 4 e-

Reduktion: O2 + 2 H2O + 4 e**-** → 4 OH**-**

Gesamtgleichung: 2 Cu + O2 + 2 H2O → 2 Cu2+ + 4 OH**-**

oder

Oxidation: 2 Cu → 2 Cu2+ + 4 e**-**

Reduktion: O2 + 4 H+ + 4 e**- →** 2 H2O

Gesamtgleichung: 2 Cu + O2 + 4 H+ → 2 Cu2+ + 2 H2O 2 VP

20 VP