# Aufgabe 1:

* 1. *Reaktionsgleichung und Massenwirkungsgesetz*

*für das B****oudouard****-Gleichgewicht:*

 C(s, Graphit) + CO**2**(g) **⇌** 2 CO(g)

 c(CO)**2**

K**c** =

 c(CO**2**)

*Temperatur, bei der das Gasgemisch*

*einen Volumenanteil von 80% CO****2*** *enthält:*

 ca. 58,5 **°**C

*Begründung des Vorzeichens der Reaktionsenthalpie Δ****r****H von CO:*

Aus der Abbildung ist ersichtlich,

dass die Reaktion zwischen C und CO**2** endotherm ist:

CO bildet sich nur bei hohen Temperaturen

(je höher die Temperatur, desto geringer die CO**2**-Konzentration).

Temperaturerhöhung übt demnach auf das Gleichgewicht den Zwang aus,

sich auf die Seite des CO zu verlagern.

Die endotherme CO-Bildung wirkt also der Temperaturerhöhung entgegen.

Aus der Umgebung wird Wärme aufgenommen,

der Zwang wird somit kleiner

(Prinzip des kleinsten Zwangs von L**e** C**hatelier**),

und es stellt sich ein neues Gleichgewicht zwischen CO**2** undCO ein.

Da die endotherme Reaktion dem System CO**2**/CO Wärme zuführt,

nimmt der Energiegehalt des Systems zu, der Umgebung nimmt ab.

Wegen der systemzentrischen Denkweise

ist die Energiebilanz für das System positiv,

es gilt also: D**r**H > 0 (positives Vorzeichen für den Wert von D**r**H).

*Einfluss einer Druckänderung bei konstanter Temperatur*

*auf die Gleichgewichtslage, Begründung:*

 Die Reaktion von CO**2** zu CO verläuft unter Volumenzunahme

 (auf der CO**2**-Seite 1 Mol Gas, auf der CO-Seite 2 Mol Gas).

 Durch die Bildung von CO steigt der Druck an.

 Nach L**e** C**hatelier** weicht das System dem Zwang des höheren Drucks aus

 und begünstigt die druckvermindernde Reaktion (Abbau des Zwangs):

 Das Gleichgewicht verschiebt sich also in Richtung CO**2**. 7 VP

* 1. *Reaktionsgleichung für die Synthese von Octan:*

**250 °C**

 **Kat.**

8 CO**2**(g) + 17 H**2**(g) C**8**H**18**(g) + 8 H**2**O(g)

 *Berechnung der Reaktionsenthalpie* *Δ****r****H für die Bildung von 1 mol Octan:*

Δ**r**H = Σ Δ**f**H**o** (Produkte) – Σ Δ**f**H**o** (Edukte)

 = [–208 + 8**·**(–242)] kJ**·**mol**-1** – [8**·**(–111) + 17**·**0] kJ**·**mol**-1**

 = –2.144 kJ**·**mol**-1** + 888 kJ**·**mol**-1**

 = –1.256 kJ**·**mol**-1**

*Begründung des Vorzeichens der Reaktionsentropie* *Δ****r****S:*

Wie die Reaktionsgleichung zeigt,

nimmt die Zahl der gasförmigen Stoffe von links nach rechts ab

(8 mol CO + 17 mol H**2** = 25 mol Gas links

gegenüber nur 1 mol C**8**H**18** + 8 mol H**2**O = 9 mol Gas rechts).

Die Entropie nimmt also ab,

Δ**r**S < 0 (negatives Vorzeichen für den Wert von Δ**r**S).

Die Berechnung mithilfe der in Anlage 4 angegebenen Werte

führt zum selben Ergebnis:

Δ**r**S = Σ Δ**f**H**o** (Produkte) – Σ Δ**f**H**o** (Edukte)

 = (–208 + 8**·**189) J**·**mol**-1·**K**-1** – (8**·**214 + 17**·**131) J**·**mol**-1·**K**-1**

= –2.635 J**·**mol**-1·**K**-1**

*Aussage über die Freiwilligkeit des Ablaufs der Reaktion*

*in Abhängigkeit von der Temperatur:*

Die Triebkraft chemischer Reaktionen

wird mithilfe der freien Enthalpie (ΔG) angegeben.

Diese berücksichtigt sowohl die Reaktionsenthalpie ΔH

als auch die Entropieänderung ΔS.

Sie berechnet sich nach G**ibbs** und H**elmholtz** als ΔG = ΔH – T**·** ΔS.

Ist ΔG < 0, so ist die Reaktion exergonisch (läuft freiwillig ab),

ist ΔG > 0, so ist die Reaktion endergonisch (läuft nicht freiwillig ab).

t = 250 **°**C **≡** T = 523 K

ΔG = ΔH – T**·** ΔS

 1.256 kJ 523 K **·** (–2.635) J

 = – –

 mol mol **·** K

 = –1.256 kJ**·**mol**-1** – (–1.378.105) J**·**mol**-1**

 = –1.256 kJ**·**mol**-1** + 1.378.105 J**·**mol**-1**

= –1.256 kJ**·**mol**-1** + 1.378,105 kJ kJ**·**mol**-1**

= +122,105 kJ**·**mol**-1**

ΔG > 0 → Die Reaktion ist endergonisch und läuft nicht freiwillig ab.

Dies geschieht erst ab einer bestimmten Temperatur < 523 K.

(Diese Temperatur kann man durch Intervallschachtelung ermitteln:

 –1.256 kJ·mol-1– 523 K ·(–2,635) kJ·mol-1·K-1 = (–1.256 + 1.378,105) kJ·mol-1·K-1 = +122,105 kJ· mol-1

–1.256 kJ·mol-1 – 500 K · (–2,635) kJ·mol-1·K-1 = (–1.256 + 1.317,5) kJ·mol-1·K-1 = +61,5 kJ·mol-1

–1.256 kJ·mol-1 – 480 K · (–2,635) kJ·mol-1·K-1 = (–1.256 + 1.264,8) kJ·mol-1·K-1 = + 8,8 kJ·mol-1

–1.256 kJ·mol-1 – 475 K · (–2,635) kJ·mol-1·K-1 = (–1.256 + 1.251,625) kJ·mol-1·K-1 = – 4,375 kJ·mol-1

–1.256 kJ·mol-1 – 476 K · (–2,635) kJ·mol-1·K-1 = (–1.256 + 1.254,26) kJ·mol-1·K-1 = – 1,74 kJ·mol-1

–1.256 kJ·mol-1 – 477 K · (–2,635) kJ·mol-1·K-1 = (–1.256 + 1.256,895) kJ·mol-1·K-1 = + 0,895 kJ·mol-1

Die Reaktion ist exergonisch und läuft freiwillig ab bis zu einer Temperatur von

477 K = 204 **°**C. Oberhalb 477 K ist die Reaktion endergonisch.)

(Zusatzinformation, nicht Teil der Aufgabe) 6 VP

2  *Erklärung der sauren Eigenschaft einer CO****2****-Lösung:*

 CO**2**(g) + 2 H**2**O(l) **⇌** HCO**3-**(aq.) + H**3**O**+**(aq.)

 Die bei dieser Reaktion entstehenden H**3**O**+**-Ionen

 sind ursächlich für die Acidität der Lösung.

 *Erklärung nach B****rønsted****:*

 Ca(OH)**2** liegt in wässriger Lösung

 als Ca**2+**(aq.) und 2 OH**-**(aq.) vor.

 In wässriger CO**2**-Lösung findet eine Reaktion

 mit HCO**3-**(aq.) und H**3**O**+**(aq.) statt.

 Ca**2+**(aq.) + 2 OH**-**(aq.) + HCO**3-**(aq.) + H**3**O**+**(aq.) → 3 H**2**O(l) + Ca**2+**CO**32-**↓

 H**+** H**+**

H**3**O**+** ist nach B**rønsted** Protonendonator = Säure,

 OH**-** ist nach B**rønsted** Protonenakzeptor = Base.

 *Ermittlung der Masse des durch Kalkbildung gespeicherten CO****2****:*

1. Möglichkeit:
* Abfiltern des Calciumcarbonats aus der Suspension,
* Trocknung des Rückstands im Filter,
* Wägung des getrockneten Rückstands,
* Berechnung der Molzahl des Calciumcarbonats

 [(40,1 g + 12 g + 3**·**16 g) CaCO**3** = 101,1 g CaCO**3** = 1 mol CaCO**3**],

 - laut Reaktionsgleichung entsteht pro mol Ca(OH)**2** 1molCaCO**3**

- Berechnung der Masse des CO**2**

[(12 g + 2**·**16 g) CO**2** = 44 g CO**2**= 1 mol CO**2**]:

 Molzahl CaCO**3** = Molzahl CO**2;** Molzahl CO**2 ·** 44 g = Masse CO**2**.

1. Möglichkeit:

Berechnung der Abnahme der Konzentration von OH**-**(aq.) aus Ca(OH)**2**

durch Titration. 7 VP

 20 VP

 -

# Aufgabe 2:

* 1. *D-Galactose-Moleküle in F****ischer****-Projektion*

*mit Kennzeichnung der asymmetrischen C-Atome:*

 asymmetrisches C-Atom: C\*

 H O

 C

 H-C**\***-O-H

 H-O-C**\***-H

 H-O-C**\***-H

 H-C**\***-O-H

 H-C**\***-O-H

 H

 *Unterschied zwischen D- und L-Konfiguration:*

 D-Form: Die OH-Gruppe am untersten asymmetrischen C-Atom

 zeigt nach rechts (lat.: dexter).

 L-Form: Die OH-Gruppe am untersten asymmetrischen C-Atom

 zeigt nach links (lat.: laevis). 4 VP

* 1. *Strukturelle Moleküleigenschaften:*



 Alle Galacturonsäure-Bausteine sind miteinander

 über vollacetalische Bindungen (**···COCOC···**) verknüpft.

 Deshalb ist keine Ringöffnung mehr möglich,

 und offenkettige D-Galactose-Moleküle liegen nicht mehr vor,

 folglich auch keine Aldehyd-Gruppen, die reduziert werden könnten.

 Bei der Hydrolyse werden die glykosidischen C-O-C-Bindungen

 unter Wasserabspaltung säurekatalysiert geöffnet.

 Danach liegen in der (neutralisierten) Reaktionsmischung

 wieder die Bausteine des Pektins vor, D-Galactose-Moleküle.

 *Ergebnis der T****ollens****-Probe mit Erklärung:*

Mit der T**ollens**-Probe werden reduzierende Gruppen nachgewiesen,

 z.B. die Aldehydgruppe.

 Vor der Hydrolyse

 verläuft die T**ollens**-Probe negativ,

 da wegen der vollacetalischen Bindungen

 keine freien Hydroxylgruppen vorliegen.

 Nach der Hydrolyse

 verläuft die T**ollens**-Probe positiv,

 da wegen der Hydrolyse

 wieder D-Galactose-Moleküle vorliegen.

 In einem Gleichgewicht liegen diese teils in Ringform,

 teils in offenkettiger Form vor.

 In den Molekülen der offenkettigen Form

 sind die Aldehydgruppen wieder frei zugänglich

 und können reduzierend wirken.

 *Reaktionsgleichung für die positive Nachweisreaktion:*

 NH**3**

R-CHO + 2 Ag**+** + 2 OH**-**R-COOH + 2 Ag + H**2**O

 Um die Fällung von Ag+(aq.) durch OH**-**(aq.) als AgOH(s) zu verhindern,

 wird Ag**+** vor dem Angriff durch OH**-**

 in einem Silberdiamminkomplex versteckt.

 Maskierungsreaktion: 2 Ag**+** + NH**3 →** [Ag(NH**3**)**2**]**+**

Ag**+** kann im Diamminkomplex von der Aldehydgruppe reduziert werden. 4 VP

* 1. *Zusammenhang zwischen der Wasserlöslichkeit des Pektins*

*und der Bildung einer sauren Lösung:*

Durch die Oxidation der D-Galactose-Moleküle

sind an den C**6**-Atomen Carboxylgruppen entstanden.

Diese können Protonen abgeben.

Dadurch entstehen negativ geladene Carboxylat-Anionen (R-COO**-**).

Wegen der Abstoßung dieser Säurereste untereinander

können sich die Pektinmoleküle nicht aneinander legen,

was die Wasserlöslichkeit möglich macht. 2 VP

2.1 *Strukturformel des Tripeptids:*

 H H O H H O H H O

 N-C-C + N-C-C + N-C-C

 H CH**2** O-H H CH**2** OH H CH**2** O-H

 CH**2** CH**­2** H-C-CH**3**

 S CH**2** CH**3**

 CH**3** H**2**O **\*)** H-C-NH**2** H**2**O **\*)**

 H

 Methionin Lysin Leucin

 H H O H O H O

 N C C N C C N C C

 H CH**2** H CH**2** H CH**2** O-H

 CH**2** CH**­2** H-C-CH**3**

 S CH**2** CH**3**

 CH**3** H-C-NH**2**

 H

 Tripeptid

 (Alternative Schreibweise: HOOC-CH-NH-CO-CH-NH-CO-CH-NH**2**)

 R**1**R**2** R**3**

 **\*)** *Benennung des Reaktionstyps:*

 Kondensationsreaktion 3 VP

2.2 *Erklärung der Ladung von Casein bei pH 4:*

* Das Absinken des pH auf pH = 4 wird ausgelöst

durch Zunahme der H**3**O**+**-Konzentration.

 - Die H**3**O**+**-Ionen protonieren die NH**2**-Gruppen der Lysin-Bausteine

 (-NH**2 →** -NH**3+**).

 - Deshalb nimmt die positive Ladung des Casein-Moleküls zu.

 *Erklärung der Wirkung von Pektin auf das Casein:*

* Die Zunahme der positiven Ladung des Caseins

führt zur Anlagerung von Pektin:

negative Gruppen des Pektins (-COO**-**)

richten sich an den positiven Gruppen des Caseins (-NH**3+**) aus

und lagern sich an.

* Die Pektinketten sind zwar lang,

aber trotzdem gut wasserlöslich

wegen der Carboxylatreste, der polaren Hydroxylgruppen und den vielen freien Außenelektronenpaaren an den vielen Sauerstoffatomen;

* so halten sie auch das Casein in Lösung.

 *Ursachen für das Absetzen des Caseins bei pH < 4:*

 - Wegen des Absinkens des pH-Wertes

können die Carboxylatgruppen im Pektin wieder Protonen aufnehmen.

 - Die Zahl der Anziehungen zwischen Pektin und Casein nimmt daher ab,

 - Casein wird durch Pektin nicht mehr in Lösung gehalten.

 - Die Zahl der protonierten Aminogruppen reicht nicht aus,

 um Casein mit genügend Hydrathüllen zu versorgen.

 - Die Casein-Moleküle setzen sich infolgedessen ab. 5 VP

2.3 *Erklärung für das Konstantbleiben des pH-Wertes trotz längerer Lagerung:*

Die schwache Säure Citronensäure und deren Salz Natriumcitrat

 bilden ein Puffersystem.

 Citrat ist die korrespondierende Base zur Citronensäure,

 und da diese als schwache Säure bevorzugt undissoziiert vorliegt,

 verschiebt sich bei Freisetzung von Protonen das Gleichgewicht

 auf die Seite der Citronensäure,

 indem die Citrationen Protonen aufnehmen

 und die H**3**O**+**Ionen abpuffern.

 So kann der pH-Wert trotz längerer Lagerung

 und Bildung von Oxonium-Ionen

 nicht weiter absinken. 2 VP

 20 VP

**Aufgabe 3:**

1 *Benennung des Monomers und der Polyreaktion:*

Monomer: Propen

 Polyreaktion: Radikalkettenpolymerisation

 *Beschreibung des Reaktionsmechanismus*

 *und Formulierung der Teilschritte:*

**Radikalbidung:**

Radikalbildung mit einem Peroxid, z.B. Dibenzoylperoxid -O-O-

 E

 R-O-O-R R-O**·** + **·**O-R

 **Kettenstart:**

 H

 R-O**·** + C=C R-O-C-C**·**

 H CH**3** H CH**3**

 **Kettenfortpflanzung:**

 H H H H H H H H

 R-O-C-C**·** + C=C R O C C C C**·**

 H CH**3** H CH**3** H CH**3** H CH**3**

 H H H H

 **···** R O C C C C**·**

 H CH**3** H CH**3**

 n

 **Kettenabbruch:**

 **durch Rekombination von Radikalen**

 H H H H H H H H

 R O C C C C**·** + **·**C C C C O R

 H CH**3** H CH**3** CH**3** H CH**3** H

 n m

 H H H H H H H H

 R O C C C C C C C C O R

 H CH**3** H CH**3** CH**3** H CH**3** H

 n m

 H H H H H H H H

 R O C C C C**·** + **·**O R R O C C C C

 H CH**3** H CH**3** H CH**3** H CH**3**

 n n

R O**· + ·**O R R OO R

 **durch Disproportionierung**

 H H H H H H H H

 R O C C C C**·** + **·**C C C C O R

 H CH**3** H CH**3** CH**3** H CH**3** H

 n m

 H H H H H H H H

 R O C C C C + HC C C C O R

 H CH**3** H CH**2** CH**3** H CH**3** H

 n m 5 VP

2 *F****ischer****-Projektion der Milchsäure:*

 H-O O H-O O

 C C

 H-C**\***-O-H H-O-C**\***-H

 H-C - H H-C - H

 H H

 D-Milchsäure, L-Milchsäure,

 da die Hydroxylgruppe da die Hydroxylgruppe

 am asymmetrischen C-Atom am asymmetrischen C-Atom

 nach rechts zeigt nach links zeigt

 *Strukturformelausschnitt von PLA mit 2 Monomer-Bausteinen:*

 H O H O

 **···**O-C-C-O-C-C**···**

 CH**­3** CH**3**

 *Begründung der biologischen Abbaubarkeit anhand der Molekülstruktur:*

Die Bausteine sind über Esterbindungen miteinander verknüpft:

R-C-O-R’

 O

 Mikroorganismen oder Pilze können Esterbindungen

 leicht mittels ihrer Enzyme hydrolytisch spalten.

 Die langen PLA-Ketten sind somit gut biologisch abbaubar. 5 VP

2.2 *Strukturformelausschnitt von ECOFLEX®*

 *und Benennung der Polyreaktion:*

 Am Aufbau von ECOPLEX® sind zwei Dicarbonsäuren

 und ein zweiwertiger Alkohol beteiligt.

 Eine möglicher Strukturformalausschnitt wäre also z.B.:

 Estergruppe

 O O O H H H H O

 C- -C H H H O C-C-C-C-C-C

 **···**O O-C-C-C-C H H H H O**···**

 H H H O

 H**2**O H**2**O

 **···**Terephthalsäure - Butan-1,4-diol - Adipinsäure**···**

Bei derPolymerreaktion handelt es sich um eine Polykondensation.4 VP

2.3 - Butan-1,4-diol ist als zweiwertiger Alkohol nur bifunktionell,

 es können also nur Ketten gebildet werden.

 - Mit dem dreiwertigen = trifunktionellen Alkohol Propantriol (Glycerin)

 sind auch flächige Vernetzungen möglich.

* Je höher der Anteil an Gylcerin gegenüber Butan-1,4-diol ist,

 desto höher wird der Schmelzbereich des Kunststoffs:

 Es wird mehr Energie zur Auftrennung der Vernetzungen benötigt.

* Bei sehr starker Vernetzung und hohen Temperaturen

zersetzt sich der Kunststoff,

 ohne den Schmelzbereich erreichen zu können. 3 VP

2.4 *Untersuchung der Kapselsysteme auf Umweltverträglichkeit:*

 **Kriterien der Untersuchung**

 Kriterium umweltschonend umweltschädlich

 Gewinnung aus nachwachsenden aus Erdöl durch die

 der Monomeren Rohstoffen petrochemische Industrie

 Energiebilanz geringer hoher

 der Herstellung Energieverbrauc Energieverbrauch

 des Kunststoffs

 Verbrauch kein oder wenig hoher

 von Wasser Wasserverbrauch Wasserverbrauch

 bei der Herstellung

 Freisetzung keine oder wenig hohe

 von CO**2** CO2-Freisetzung CO**2**-Freisetzung

 bei der Herstellung

 **Anwendung der Kriterien auf die Kapselsysteme**

 **(soweit im Aufgabentext hierzu Aussagen gemacht werden)**

 Kriterium QBO**®**-Kapseln PLA-Kapseln ECOVIO**®-**Kapseln

 (Polypropen) (Polylactid) (Misch-Kunststoff)

 Monomere Propen Milchsäure PLA-Anteil:

 (Erdölprodukt) (Gewinnung aus Milchsäure

 aus Saccharose) (Gewinnung aus

 Saccharose) E ECOFLEX**®**-Anteil:

 Butan-1,4-diol

 + Adipinsäure

 + Terephthalsäure:

 teilweise aus

 nachwachsenden

 Rohstoffen

 Kompostier- keine Aussage kompostierbar beide Komponenten

 barkeit hierzu im kompostierbar

 Aufgabentext

 **Bewertung der Kapselsysteme (soweit möglich)**

Nicht zu allen Bereichen lässt sich im Aufgabentext eine Information finden.

 Aber zur Gewinnung der Monomeren und zur Kompostierbarkeit

 finden sich einige Angaben. Unter Zugrundelegung dieser Informationen

 sind PLA-Kapseln um umweltverträglichsten,

 gefolgt von den ECOVIO**®**-Kapseln.

 Die schlechteste Umweltverträglichkeit 3 VP

 scheinen die QBO**®**-Kapseln zu haben.

 20 VP 20 VP

**Aufgabe 4:**

1.1 *Reaktionsgleichung:*

**+I +II -II ±0 +I -I ±0 +I +VI -II**

 Na**2**S**2**O**3**+ Br**2**+ H**2**O → 2 NaBr + S + H**2**SO**4**

 *Begründung der Redoxreaktion:*

 Die Oxidationszahlen zeigen:

 Brom wird reduziert von ±0 nach -I,

 S(+II) disproportioniert,

 die eine Hälfte des Schwefels wird reduziert von +II nach ±0,

 die andere Hälfte des Schwefels wird oxidiert von +II nach +VI. 4 VP

* 1. *Herstellung von 100 g Na****2****S****2****O****3****-Lösung,*

 *die 3 Massenprozent Na****2****S****2****O****3*** *enthält:*

In einer wässrigen Lösung, die 3 Massenprozent Na**2**S**2**O**3** enthält,

 sind in 100 g der Lösung 3 g Na**2**S**2**O**3** und 97 g H**2**O enthalten.

 Man muss also 3 g Na**2**S**2**O**3** in 97 g = 97 mL H**2**O lösen.

 *Überprüfung, ob man mit dieser Lösung 1 g Brom unschädlich machen kann:*

M(Na**2**S**2**O**3**) = (2**·**23,0 + 2**·**32,1 + 3**·**16,0) g = 158,2 g

 Laut Reaktionsgleichung (siehe 1.1) kann man mit 1 Mol Na**2**S**2**O**3**

 1 Mol Br**2** unschädlich machen.

 2**·**79,9 g Br**2** = 159,8 g Br**2** **≙** 1 Mol Br**2**

 Um 159,8 g Br**2** unschädlich zu machen,

 benötigt man $\frac{158,2}{159,8}$g Na**2**S**2**O**3**= 0,999 g Na**2**S**2**O**3** ≈ 1 g Na**2**S**2**O**3.**

 Da in der Lösung 3 g Na**2**S**2**O**3** enthalten sind,

 ist es möglich, damit 1 g Br**2** unschädlich zu machen.

 (Man könnte mit dieser Lösung sogar 3 g Br**2** unschädlich machen.) 4 VP

* 1. *Erklärung des im Vergleich zu Wasser relativ niedrigen Siedepunkts*

 *von Brom:*

 M(H**2**O) = (2·1 + 16) g = 18 g

 M(Br**2**) = (2·79,9) g = 159,8 g

 Betrachtet man nur die Masse, so müsste der Siedepunkt von Br**2**

 deutlich höher sein als der von H**2**O.

Dies wird aber durch die Wechselwirkungen der H**2**O-Moleküle unter- einander überkompensiert.

 H**2**O ist ein klassischer Dipol, Br**2** nicht.

 Zwischen den H**2**O-Molekülen bestehen viele Wasserstoffbrücken,

 die zu überwinden viel Energie benötigt,

 deshalb der im Vergleich zu seiner geringen Molmasse

 hohe Siedepunkt von H**2**O.

 Wechselwirkungen zwischen den

 (wegen der großen Hüllen an Außenelektronen)

 hydratisierten Br**2**-Molekülen (Bromwasser!)

 gibt es hingegen kaum,

 deshalb der im Vergleich zu seiner hohen Molmasse

 niedrige Siedepunkt von Br**2**.

 **δ-**

 H H**2**O-Molekül, Br**2**-Molekül,

 **δ**+ O polar Br Br unpolar

 H

 **δ-**

 **δ-** -Ende **δ**+-Ende

 des Dipols

 Wasserstoffbrücken

 zu benachbarten Wasser-Dipolen 2 VP

2.1 *Darstellung einer Zink-Brom-Zelle:*

 Statt des Verbrauchers

 (z.B. Glühbirnchen, Motor)

 kann auch ein Messgerät

 (z.B. Voltmeter) V

 eingezeichnet werden.

 Zn-Blech Graphit-Stab

 Diaphragma

 ZnSO**4**- KBr/Br**2**-

 Lösung Lösung

 Statt eines Gefäßes mit durch ein Diaphragma getrennten zwei Kammern

 ist alternativ auch die Darstellung von zwei getrennten Kammern möglich,

 die über einen Stromschlüssel miteinander verbunden sind.

 *Teilgleichungen für den Lade- und Entladevorgang:*

Ladevorgang Entladevorgang

 2 Br**-** → Br**2** + 2 e**-** Zn → Zn**2+** + 2 e**-**

 Zn**2+** + 2 e**- →** Zn Br**2** + 2 e**- →** 2 Br**-**

 *Berechnung der EMK unter Standardbedingungen:*

Wie der Tabelle der Standardelektrodenpotenziale (Anlage 3)

 zu entnehmen ist,

 ist *E****o***(2Br**-**/Br**2**) = +1,10 V, *E****o***(Zn/Zn**2+**) = -0,76 V.

 Je positive /negative das Normalpotenzial ist,

 desto starker ist die oxidierende / reduzierende Wirkung.

 Die *E****o***-Werte zeigen,

 dass die Zinkhalbzelle als Donatorhalbzelle fungiert.

 U = *E****o***(Kathode) - *E****o***(Anode) = +1,10 V – (-0,76 V) = 1,86 V 6 VP

2.2 *Veränderungen in den Elektrolytspeichern und an der Zinkelektrode*

 *beim Laden und Entladen:*

**Entladen:**

Zinkhalbzelle: Zn → Zn**2+** + 2 e**-**

 Konzentration der Zink-Ionen

 im Speicher steigt

 Zink-Elektrode geht in Lösung

 Bromhalbzelle: Br**2** + 2 e**- →** 2 Br**-**

 Konzentration der Bromid-Ionen

 im Speicher steigt

 Konzentration an Brom nimmt ab

 (auch im Speicher), die Lösung hellt sich auf

 **Laden:**

 Bromhalbzelle: 2 Br**-** → Br**2** + 2 e**-**

 Konzentration an Br**2** nimmt zu

 (auch im Speicher), die Lösung verdunkelt sich

 Konzentration der Bromid-Ionen

 im Speicher sinkt

 Zinkhalbzelle: Zn**2+** + 2 e**- →** Zn

 Elementares Zink scheidet sich ab,

 die Zink-Elektrode wird regeneriert

 Konzentration der Bromid-Ionen

 im Speicher sinkt

** **Entladen**

 **Zn2+ Br2**

 **c(Br2)**

 **2 Br- sinkt**

 **c(Zn2+) steigt c(Br-) steigt**

**  **Laden**

 **Zn2+ 2 Br--**

 **c(Br2)**

 **Br2 steigt-**

 **c(Zn2+) sinkt c(Br-) sinkt**

**

 *Überprüfung des Ladezustandes*

 *eines Zink-Brom-Redox-Flow-Akkumulators:*

* Massenbestimmung der Zinkelektrode:

je geringer die Masse, desto stärker entladen ist der Akku;

 - fotometrische Bestimmung der Br**2**-Konzentration der Bromhalbzelle:

 je heller die Farbe, desto geringer ist die Br**2**-Konzentration,

 desto stärker entladen ist der Akku;

* Messung der Leitfähigkeit:

 je höher die Leitfähigkeit im Speicher der Zinkhalbzelle / Bromhalbzelle,

 desto stärker entladen ist der Akku;

* Bestimmung der Dichte der Elektrolyte:

je höher die Dichte der Elektrolye im Speicher der Zinkhalbzelle / Bromhalbzelle, desto stärker entladen ist der Akku;

* Titration der Lösung des Speichers der Bromhalbzelle mit Na**2**S**2**O**3**:

 je geringer die Konzentration an Br**2**, desto starker ist der Akku entladen.

 (Nur eine der vielen möglichen Antworten wird erwartet.) 2 VP

 20 VP