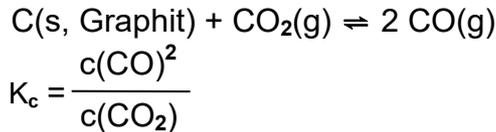


Aufgabe 1:

- 1.1 ● *Reaktionsgleichung und Massenwirkungsgesetz für das BOUDOUARD-Gleichgewicht:*



- *Temperatur, bei der das Gasgemisch einen Volumenanteil von 80% CO₂ enthält:*
ca. 58,5 °C

- *Begründung des Vorzeichens der Reaktionsenthalpie $\Delta_r H$ von CO:*

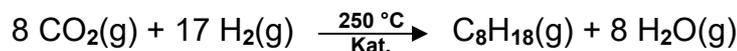
Aus der Abbildung ist ersichtlich, dass die Reaktion zwischen C und CO₂ endotherm ist: CO bildet sich nur bei hohen Temperaturen (je höher die Temperatur, desto geringer die CO₂-Konzentration). Temperaturerhöhung übt demnach auf das Gleichgewicht den Zwang aus, sich auf die Seite des CO zu verlagern. 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 LE CHATELIER), und es stellt sich ein neues Gleichgewicht zwischen CO₂ und CO ein. Da die endotherme Reaktion dem System CO₂/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: $\Delta_r H > 0$ (positives Vorzeichen für den Wert von $\Delta_r H$).

- *Einfluss einer Druckänderung bei konstanter Temperatur auf die Gleichgewichtslage, Begründung:*

Die Reaktion von CO₂ zu CO verläuft unter Volumenzunahme (auf der CO₂-Seite 1 Mol Gas, auf der CO-Seite 2 Mol Gas). Durch die Bildung von CO steigt der Druck an. Nach LE CHATELIER weicht das System dem Zwang des höheren Drucks aus und begünstigt die druckvermindernde Reaktion (Abbau des Zwangs): Das Gleichgewicht verschiebt sich also in Richtung CO₂.

7 VP

- 1.2 ● *Reaktionsgleichung für die Synthese von Octan:*



- **Berechnung der Reaktionsenthalpie $\Delta_r H$ für die Bildung von 1 mol Octan:**

$$\begin{aligned} \Delta_r H &= \sum \Delta_f H^\circ (\text{Produkte}) - \sum \Delta_f H^\circ (\text{Edukte}) \\ &= [-208 + 8 \cdot (-242)] \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} - [8 \cdot (-111) + 17 \cdot 0] \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} \\ &= -2.144 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} + 888 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} \\ &= \underline{\underline{-1.256 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}}} \end{aligned}$$

- **Begründung des Vorzeichens der Reaktionsentropie $\Delta_r S$:**

Wie die Reaktionsgleichung zeigt, nimmt die Zahl der gasförmigen Stoffe von links nach rechts ab (8 mol CO + 17 mol H₂ = 25 mol Gas links gegenüber nur 1 mol C₈H₁₈ + 8 mol H₂O = 9 mol Gas rechts). Die Entropie nimmt also ab, $\Delta_r S < 0$ (negatives Vorzeichen für den Wert von $\Delta_r S$).

Die Berechnung mithilfe der in Anlage 4 angegebenen Werte führt zum selben Ergebnis:

$$\begin{aligned} \Delta_r S &= \sum \Delta_f H^\circ (\text{Produkte}) - \sum \Delta_f H^\circ (\text{Edukte}) \\ &= (-208 + 8 \cdot 189) \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} - (8 \cdot 214 + 17 \cdot 131) \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \\ &= \underline{\underline{-2.635 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}}} \end{aligned}$$

- **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 GIBBS und HELMHOLTZ als $\Delta G = \Delta H - T \cdot \Delta S$. Ist $\Delta G < 0$, so ist die Reaktion exergonisch (läuft freiwillig ab), ist $\Delta G > 0$, so ist die Reaktion endergonisch (läuft nicht freiwillig ab).

$$t = 250 \text{ }^\circ\text{C} \equiv T = 523 \text{ K}$$

$$\begin{aligned} \Delta G &= \Delta H - T \cdot \Delta S \\ &= - \frac{1.256 \text{ kJ}}{\text{mol}} - \frac{523 \text{ K} \cdot (-2.635) \text{ J}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \\ &= -1.256 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} - (-1.378.105) \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \\ &= -1.256 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} + 1.378.105 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \\ &= -1.256 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} + 1.378,105 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} \\ &= \underline{\underline{+122,105 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}}} \end{aligned}$$

$\Delta G > 0 \rightarrow$ Die Reaktion ist endergonisch und läuft nicht freiwillig ab.

Dies geschieht erst ab einer bestimmten Temperatur $< 523 \text{ K}$.

(Diese Temperatur kann man durch Intervallschachtelung ermitteln:

$$\begin{aligned} -1.256 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} - 523 \text{ K} \cdot (-2.635) \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} &= (-1.256 + 1.378,105) \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} = +122,105 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} \\ -1.256 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} - 500 \text{ K} \cdot (-2.635) \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} &= (-1.256 + 1.317,5) \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} = +61,5 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} \\ -1.256 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} - 480 \text{ K} \cdot (-2.635) \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} &= (-1.256 + 1.264,8) \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} = +8,8 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} \\ -1.256 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} - 475 \text{ K} \cdot (-2.635) \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} &= (-1.256 + 1.251,625) \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} = -4,375 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} \\ -1.256 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} - 476 \text{ K} \cdot (-2.635) \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} &= (-1.256 + 1.254,26) \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} = -1,74 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} \\ -1.256 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} - 477 \text{ K} \cdot (-2.635) \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} &= (-1.256 + 1.256,895) \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} = +0,895 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} \end{aligned}$$

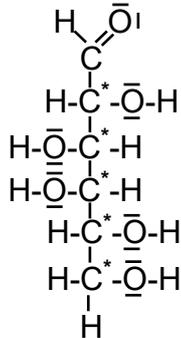
Die Reaktion ist exergonisch und läuft freiwillig ab bis zu einer Temperatur von $477 \text{ K} = 204 \text{ }^\circ\text{C}$. Oberhalb 477 K ist die Reaktion endergonisch.)

(Zusatzinformation, nicht Teil der Aufgabe)

Aufgabe 2:

- 1.1 ● *D-Galactose-Moleküle in FISCHER-Projektion*
 ● *mit Kennzeichnung der asymmetrischen C-Atome:*

asymmetrisches C-Atom: C*



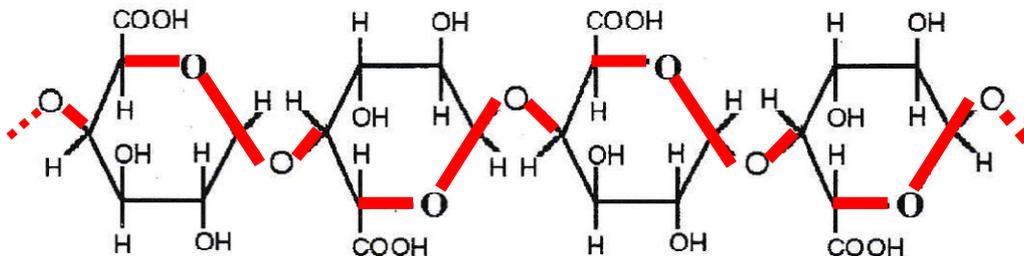
Unterschied zwischen D- und L-Konfiguration:

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

- 1.2 ● *Strukturelle Moleküleigenschaften:*



Alle Galacturonsäure-Bausteine sind miteinander über vollacetalische Bindungen ($\cdots\text{COCOC}\cdots$) 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 TOLLENS-Probe mit Erklärung:

Mit der TOLLENS-Probe werden reduzierende Gruppen nachgewiesen, z.B. die Aldehydgruppe.

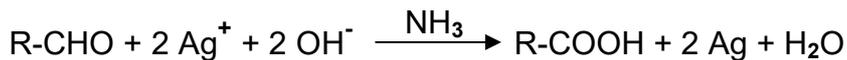
Vor der Hydrolyse

verläuft die TOLLENS-Probe negativ, da wegen der vollacetalischen Bindungen keine freien Hydroxylgruppen vorliegen.

Nach der Hydrolyse

verläuft die TOLLENS-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:**



Um die Fällung von $\text{Ag}^+(\text{aq.})$ durch $\text{OH}^-(\text{aq.})$ als $\text{AgOH}(\text{s})$ zu verhindern, wird Ag^+ vor dem Angriff durch OH^- in einem Silberdiamminkomplex versteckt.



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

- 1.3 ● **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

- **Erklärung der Wirkung von Pektin auf das Casein:**
 - Die Zunahme der positiven Ladung des Caseins führt zur Anlagerung von Pektin: negative Gruppen des Pektins ($-\text{COO}^-$) richten sich an den positiven Gruppen des Caseins ($-\text{NH}_3^+$) 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 $\text{pH} < 4$:**
 - 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_3O^+ 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

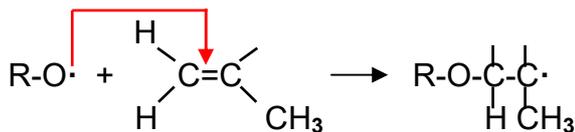
- *Beschreibung des Reaktionsmechanismus*
- *und Formulierung der Teilschritte:*

Radikalbildung:

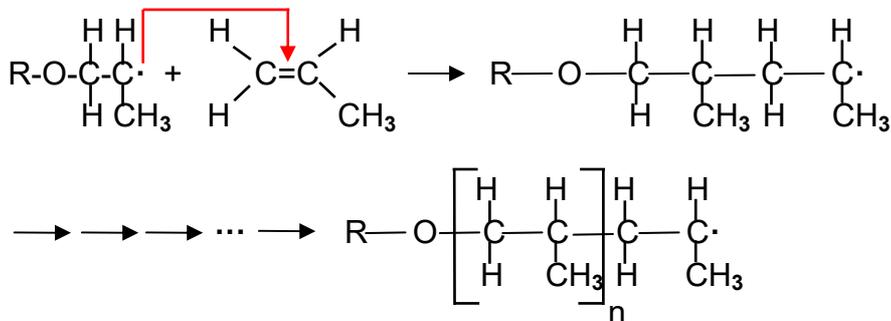
Radikalbildung mit einem Peroxid, z.B. Dibenzoylperoxid



Kettenstart:

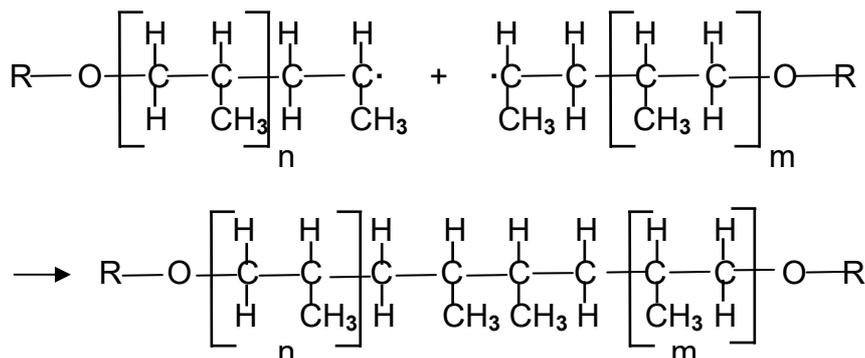


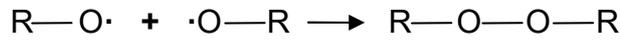
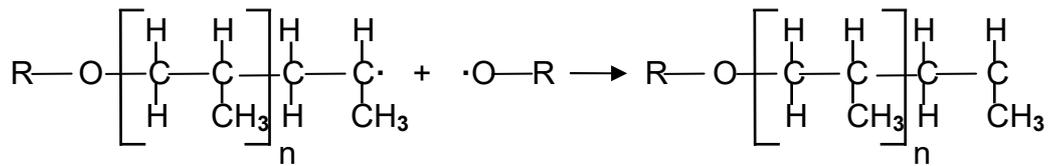
Kettenfortpflanzung:



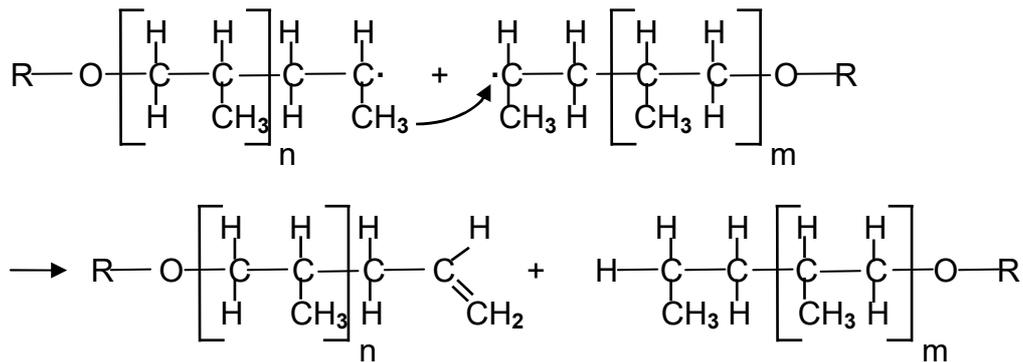
Kettenabbruch:

durch Rekombination von Radikalen



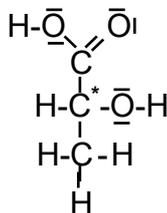


durch Disproportionierung

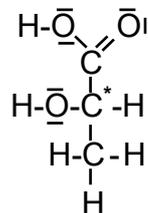


5 VP

2 ● **FISCHER-Projektion der Milchsäure:**

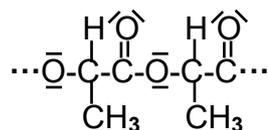


D-Milchsäure,
da die Hydroxylgruppe
am asymmetrischen C-Atom
nach rechts zeigt

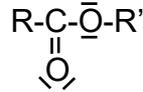


L-Milchsäure,
da die Hydroxylgruppe
am asymmetrischen C-Atom
nach links zeigt

● **Strukturformelausschnitt von PLA mit 2 Monomer-Bausteinen:**



- **Begründung der biologischen Abbaubarkeit anhand der Molekülstruktur:**
 Die Bausteine sind über Esterbindungen miteinander verknüpft:

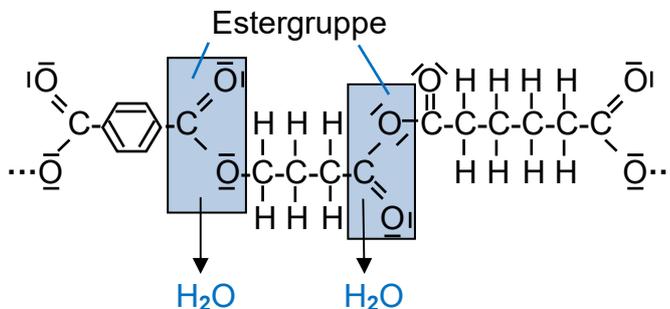


Mikroorganismen oder Pilze können Esterbindungen leicht mittels ihrer Enzyme hydrolytisch spalten.
 Die langen PLA-Ketten sind somit gut biologisch abbaubar.

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.:



...Terephthalsäure - Butan-1,4-diol - Adipinsäure...

Bei der Polymerreaktion 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 Glycerin gegenüber Butan-1,4-diol ist, desto höher wird der Schmelzbereich des Kunststoffes:
 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 der Monomeren	aus nachwachsenden Rohstoffen	aus Erdöl durch die petrochemische Industrie
Energiebilanz der Herstellung des Kunststoffes	geringer Energieverbrauch	hoher Energieverbrauch
Verbrauch von Wasser bei der Herstellung	kein oder wenig Wasserverbrauch	hoher Wasserverbrauch
Freisetzung von CO ₂ bei der Herstellung	keine oder wenig CO ₂ -Freisetzung	hohe CO ₂ -Freisetzung

Anwendung der Kriterien auf die Kapselsysteme (soweit im Aufgabentext hierzu Aussagen gemacht werden)

Kriterium	QBO [®] -Kapseln (Polypropen)	PLA-Kapseln (Polylactid)	ECOVIO [®] -Kapseln (Misch-Kunststoff)
Monomere	Propen (Erdölprodukt)	Milchsäure (Gewinnung aus aus Saccharose)	PLA-Anteil: Milchsäure (Gewinnung aus Saccharose) ECOFLEX [®] -Anteil: Butan-1,4-diol + Adipinsäure + Terephthalsäure: teilweise aus nachwachsenden Rohstoffen
Kompostierbarkeit	keine Aussage hierzu im Aufgabentext	kompostierbar	beide Komponenten kompostierbar

Bewertung der Kapselsysteme (soweit möglich)

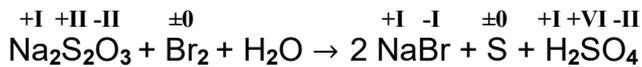
Nicht zu allen Bereichen lässt sich im Aufgabentext eine Information finden. Aber zur Gewinnung der Monomeren und zur Kompostierbarkeit finden sich einige Angaben. Unter Zugrundelegung dieser Informationen sind PLA-Kapseln um umweltverträglichsten, gefolgt von den ECOVIO[®]-Kapseln. Die schlechteste Umweltverträglichkeit scheinen die QBO[®]-Kapseln zu haben.

3 VP

 20 VP

Aufgabe 4:

1.1 ● *Reaktionsgleichung:*



● *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

1.2 ● *Herstellung von 100 g Na₂S₂O₃-Lösung, die 3 Massenprozent Na₂S₂O₃ enthält:*

In einer wässrigen Lösung, die 3 Massenprozent Na₂S₂O₃ enthält, sind in 100 g der Lösung 3 g Na₂S₂O₃ und 97 g H₂O enthalten.

Man muss also 3 g Na₂S₂O₃ in 97 g = 97 mL H₂O lösen.

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

$$M(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3) = (2 \cdot 23,0 + 2 \cdot 32,1 + 3 \cdot 16,0) \text{ g} = 158,2 \text{ g}$$

Laut Reaktionsgleichung (siehe 1.1) kann man mit 1 Mol Na₂S₂O₃

1 Mol Br₂ unschädlich machen.

$$2 \cdot 79,9 \text{ g Br}_2 = 159,8 \text{ g Br}_2 \triangleq 1 \text{ Mol Br}_2$$

Um 159,8 g Br₂ unschädlich zu machen,

$$\text{benötigt man } \frac{158,2}{159,8} \text{ g Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 = 0,999 \text{ g Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \approx 1 \text{ g Na}_2\text{S}_2\text{O}_3.$$

Da in der Lösung 3 g Na₂S₂O₃ enthalten sind,

ist es möglich, damit 1 g Br₂ unschädlich zu machen.

(Man könnte mit dieser Lösung sogar 3 g Br₂ unschädlich machen.)

4 VP

1.3 ● *Erklärung des im Vergleich zu Wasser relativ niedrigen Siedepunkts von Brom:*

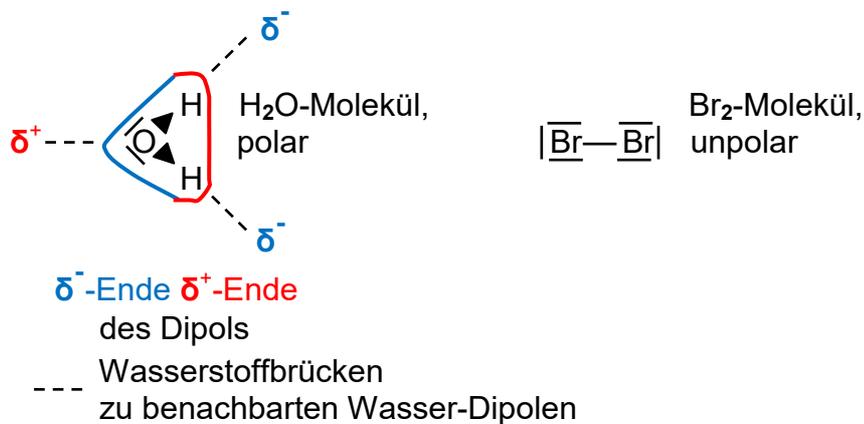
$$M(\text{H}_2\text{O}) = (2 \cdot 1 + 16) \text{ g} = 18 \text{ g}$$

$$M(\text{Br}_2) = (2 \cdot 79,9) \text{ g} = 159,8 \text{ g}$$

Betrachtet man nur die Masse, so müsste der Siedepunkt von Br₂ deutlich höher sein als der von H₂O.

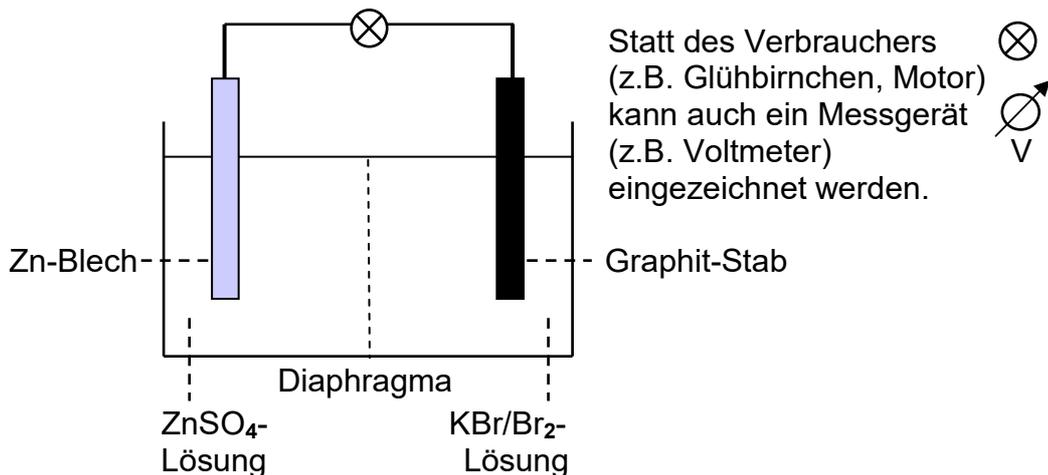
Dies wird aber durch die Wechselwirkungen der H₂O-Moleküle untereinander überkompensiert.

H₂O ist ein klassischer Dipol, Br₂ nicht.
 Zwischen den H₂O-Molekülen bestehen viele Wasserstoffbrücken,
 die zu überwinden viel Energie benötigt,
 deshalb der im Vergleich zu seiner geringen Molmasse
 hohe Siedepunkt von H₂O.
 Wechselwirkungen zwischen den
 (wegen der großen Hüllen an Außenelektronen)
 hydratisierten Br₂-Molekülen (Bromwasser!)
 gibt es hingegen kaum,
 deshalb der im Vergleich zu seiner hohen Molmasse
 niedrige Siedepunkt von Br₂.

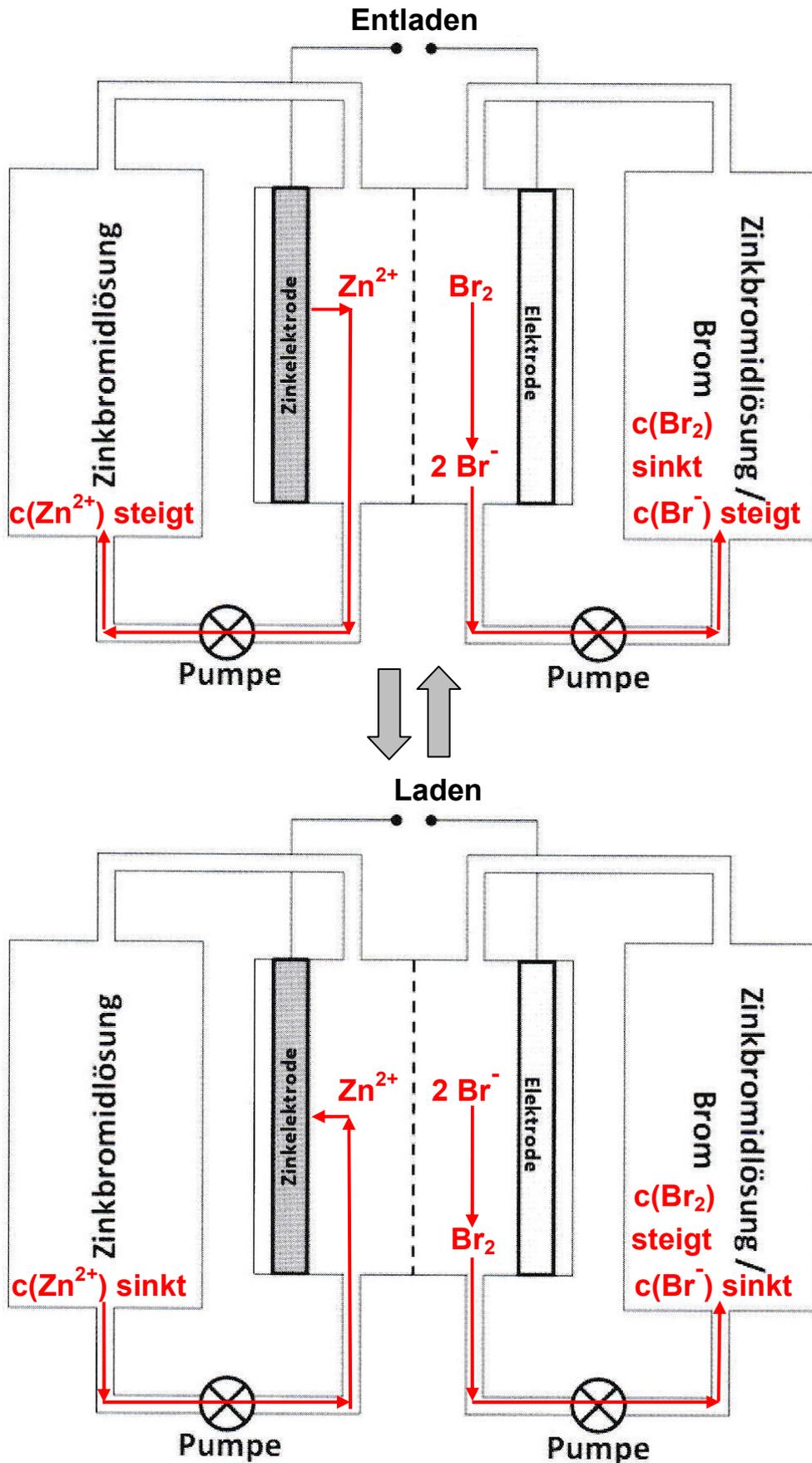


2 VP

2.1 ● *Darstellung einer Zink-Brom-Zelle:*



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.



- **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 Elektrolyte im Speicher der Zinkhalbzelle / Bromhalbzelle, desto stärker entladen ist der Akku;
 - Titration der Lösung des Speichers der Bromhalbzelle mit $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$:
je geringer die Konzentration an Br_2 , desto stärker ist der Akku entladen.
(Nur eine der vielen möglichen Antworten wird erwartet.)

2 VP

20 VP