



SACHSEN-ANHALT

Kultusministerium

SCHRIFTLICHE ABITURPRÜFUNG 2005

Chemie
(Leistungskurs)

Einlesezeit:	30 Minuten
Bearbeitungszeit:	300 Minuten

Thema 1: Grundlagen der analytischen Chemie

Thema 2: Halogenverbindungen und Umweltchemikalien

Thema 3: Verlauf chemischer Reaktionen

Thema 1: Grundlagen der analytischen Chemie

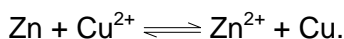
1 Theorie der Redoxreaktionen in wässrigen Lösungen

Im Tiefdruck werden die Bildstellen durch Auflösen des Metalls in die Metalloberfläche eingätzt. Hierfür werden Kupferplatten mit festen Säureschutzlacken (Ätzgrund) überzogen. Ist ein computergezeichnetes Bild oder eine Druckvorlage fertig gestellt, überträgt ein computergesteuertes Gravurgerät mit einer spitzen feinen Stahlnadel die Zeichnung, d. h. sie wird in den Schutzlack und in die Plattenoberfläche eingraviert. An den Stellen der Gravur liegt die Kupferplatte frei. Die so vorbehandelte Kupferplatte kommt in ein Ätzbad aus Eisen(III)-chlorid-Lösung. Dort, wo die Lösung ungehindert auf die Platte gelangen kann, entstehen in der Kupferplatte Vertiefungen zur Aufnahme der Druckfarben.

Erklären Sie den beschriebenen elektrochemischen Ätzvorgang. Vergleichen Sie ihn mit einem anderen Redoxvorgang in wässriger Lösung aus stofflicher und energetischer Sicht.

2 Elektrochemische Gleichgewichte

- 2.1 Erklären Sie, auch mithilfe der Abbildung 1.1 „Änderung der Potenziale“, die Vorgänge während der Einstellung des chemischen Gleichgewichtes der Reaktion



Beschreiben Sie die Bedeutung der freien Reaktionsenthalpie für die Verlaufsrichtung chemischer Reaktionen. Leiten Sie hieraus mithilfe der Gleichung $\Delta_R G = -z \cdot F \cdot \Delta E$ eine weitere Bedingung für den Gleichgewichtszustand ab.

Bestätigen Sie rechnerisch unter Anwendung der NERNST-Gleichung den Wert der Gleichgewichtskonstanten $K = 4 \cdot 10^{37}$ für diese Reaktion bei einer Temperatur von $\vartheta = 25^\circ\text{C}$. Werten Sie die Größe der Gleichgewichtskonstanten.

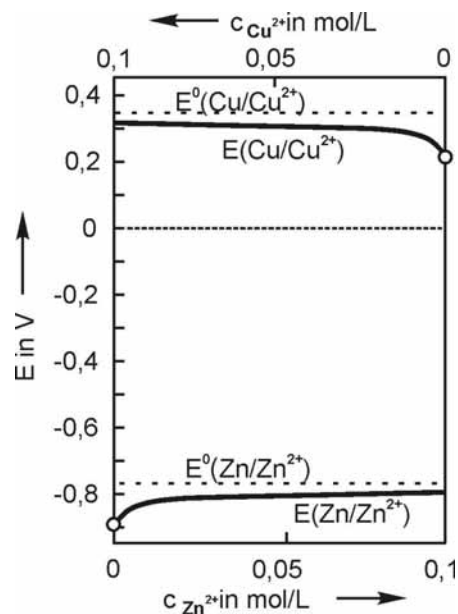


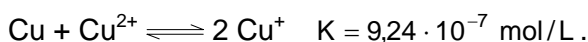
Abb. 1.1: Änderung der Potenziale

2.2 Experiment

Planen Sie ein Experiment, mit dem Sie das Ergebnis Ihrer Überlegungen zu Aufgabe 2.1 qualitativ bestätigen können.

Ihnen stehen Zinkpulver und eine verdünnte Kupfer(II)-sulfat-Lösung als Reagenzien zur Verfügung. Fordern Sie ein entsprechendes Nachweismittel an, führen Sie das Experiment durch und protokollieren Sie.

- 2.3 Beim Eintauchen eines Kupferbleches in eine Kupfer(II)-salz-Lösung findet eine Nebenreaktion entsprechend folgender Gleichung statt:



Berechnen Sie die Konzentrationen der beiden Kupfer-Ionenarten im Gleichgewicht. Die Ausgangskonzentration an Kupfer(II)-sulfat beträgt $c_0(\text{CuSO}_4) = 10^{-4} \text{ mol/L}$.

3 Iodierte Speisesalze

Iod ist ein lebenswichtiges Spurenelement und steuert als Bestandteil des Schilddrüsenhormons Thyroxin zahlreiche Stoffwechselfvorgänge im Körper. In „iodierten Speisesalzen“ kommt Iod als Iodat-Ion (IO_3^-) vor.

Ein experimenteller Nachweis für Iodat-Ionen wird wie folgt beschrieben: Eine Spatelspitze Kaliumiodid wird in ca. 20 mL Wasser aufgelöst. Anschließend wird die Lösung mit Schwefelsäure angesäuert und mit konzentrierter Stärke-Lösung sowie mit einer kleinen Spatelspitze Speisesalz versetzt. Das Reaktionsgemisch färbt sich blau.

In einem anderen Experiment werden in wässriger Lösung Kaliumiodid und Kaliumiodat zur Reaktion gebracht. Dabei werden eine Gelbbraunfärbung sowie eine alkalische Reaktion des Gemisches festgestellt. Bei anschließender Zugabe von Aluminiumchlorid-Lösung tritt eine weiße, gelartige Ausfällung auf.

Erklären Sie durch Entwicklung von Reaktionsgleichungen die beschriebenen Sachverhalte. Kennzeichnen Sie Gemeinsamkeiten und Unterschiede beider Experimente.

4 Maßanalyse – Neutralisationstiteration

- 4.1 Es wird jeweils ein Säurevolumen $V = 50 \text{ mL}$ der Konzentration $c = 0,1 \text{ mol/L}$ mit Natriumhydroxid-Lösung der Konzentration $c = 0,2 \text{ mol/L}$ titriert.

Beschreiben Sie die Grundlagen einer Säure-Base-Titration unter Einbeziehung einer skizzierten Geräteanordnung sowie der Abbildung 1.2 „Titrationskurven mehrerer schwacher Säuren“. Begründen Sie eine geeignete Indikatorwahl.

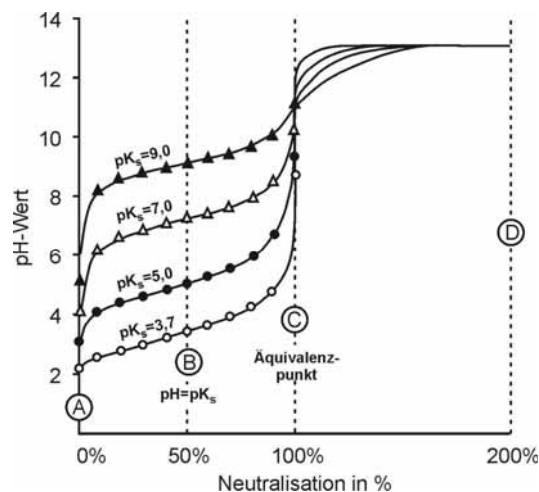


Abb. 1.2: Titrationskurven mehrerer schwacher Säuren

Berechnen Sie die pH-Werte der charakteristischen Punkte A, B, C und D der Titrationskurve für Methansäure. Vernachlässigen Sie bei der Berechnung des pH-Wertes des Punktes D die Konzentration des gebildeten Salzes.

- 4.2 Sehr schwache Säuren oder Basen lassen sich nur dann quantitativ in wässriger Lösung titrieren, wenn durch eine zusätzliche chemische Reaktion eine stärkere Protolyse initiiert werden kann.

So wird zum Beispiel die sehr schwache Anionsäure Hydrogenphosphat-Ion (HPO_4^{2-}) nach Zusatz von Calciumchlorid durch Titration mit Natriumhydroxid-Lösung bestimmbar.

Formulieren Sie eine Reaktionsgleichung und begründen Sie die Eignung der zusätzlichen Reaktion. ($K_L[\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2] = 1,3 \cdot 10^{-32} \text{ mol}^5 \cdot \text{L}^{-5}$)

Thema 2: Halogenverbindungen und Umweltchemikalien

1 Chlorkohlenwasserstoffe

1.1 Unter dem Stichwort *Tetrachlorethen* steht in einem Chemielexikon:

„Tetrachlorethen (Perchlorethylen-PER) $\text{Cl}_2\text{C} = \text{CCl}_2$, C_2Cl_4 , farblose, chloroformartig riechende, nicht brennbare Flüssigkeit, Dichte: 1,624 g/mL, Schmelzpunkt: $-23\text{ }^\circ\text{C}$, Siedepunkt: $121\text{ }^\circ\text{C}$, in Wasser unlöslich, mit den meisten organischen Lösungsmitteln gut mischbar. Die Dämpfe wirken betäubend und reizen bei Konzentrationen über 100 ppm. Kontakt mit der Flüssigkeit führt zur Reizung der Augen und der Haut.“

Beschreiben Sie die chemische Bindung und die Struktur des Tetrachlorethenmoleküls mithilfe des Hybridisierungsmodells. Gehen Sie vom Grundzustand des Kohlenstoffatoms aus.

Begründen Sie folgende Eigenschaften: Wasserunlöslichkeit und Mischbarkeit mit organischen Lösungsmitteln.

1.2 Die älteren Verfahren zur Herstellung von Tetrachlorethen (PER) basieren auf Ethin und dem daraus durch Reaktion von Chlor in Gegenwart von Eisen(III)-chlorid erzeugten 1,1,2,2-Tetrachlorethan. Daraus entsteht nach Reaktion mit Chlor 1,1,1,2,2-Pentachlorethan, aus dem anschließend durch Dehydrochlorierung (Abspaltung von Chlorwasserstoff) Tetrachlorethen gebildet wird.

Formulieren Sie die Reaktionsgleichungen für die beschriebenen Syntheseschritte und geben Sie jeweils die Reaktionsart an.

1.3 Im Jahr 2002 wurden in der Bundesrepublik Deutschland ca. 2,2 Mio. t Monochlorethen (Vinylchlorid) hergestellt. Diese Verbindung ist Zwischenprodukt bei der Herstellung von Polyvinylchlorid (PVC). PVC gehört zu den in der Bundesrepublik am meisten hergestellten Kunststoffen.

Experiment

Füllen Sie ein bis zwei Spatelspitzen PVC-Pulver in ein Reagenzglas. Spannen Sie dieses Reagenzglas schräg in ein Stativ und verbinden Sie es mit einem Gasableitungsrohr. Stellen Sie ein Becherglas mit Wasser so unter das Gasableitungsrohr, dass es nicht in die Flüssigkeit eintaucht. Erhitzen Sie nun das PVC vorsichtig und prüfen Sie die Dämpfe mit feuchtem blauem Lackmuspapier. Lösen Sie die entstehenden Dämpfe in Wasser. Führen Sie eine weitere Nachweisreaktion zur Identifizierung des gebildeten Gases durch.

Werten Sie Ihre Beobachtungen unter Verwendung der chemischen Zeichensprache aus.

2 Reaktivität organischer Verbindungen

2.1 Ein ungesättigter Kohlenwasserstoff mit der molaren Masse $M = 146\text{ g/mol}$ wird vollständig katalytisch hydriert.

Berechnen Sie die Anzahl der Doppelbindungen im Molekül, wenn für eine Masse $m = 0,296\text{ g}$ der Verbindung bei einer Temperatur $\vartheta = 0\text{ }^\circ\text{C}$ und einem Druck $p = 101,3\text{ kPa}$ ein Volumen $V = 224\text{ mL}$ Wasserstoff verbraucht wird.

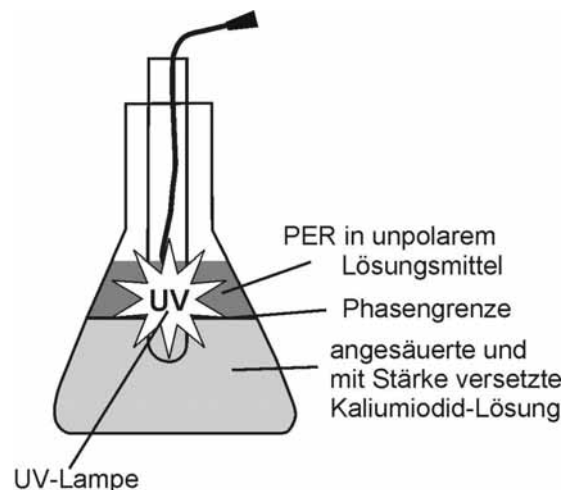
- 2.2 Zur Untersuchung der Reaktivität halogenierter Kohlenwasserstoffe werden folgende Experimente beschrieben:

Experiment 1: Werden Hexen und Bromwasser gemischt und anschließend geschüttelt, so entfärbt sich die wässrige Phase.

Wird das Experiment mit Tetrachlorethen und Bromwasser wiederholt, so färbt sich die untere Phase allmählich braun und die obere wässrige Phase des Stoffgemisches hellt sich auf.

Experiment 2: Werden 2-Brom-2-methylpropan und Wasser gemischt und anschließend kräftig geschüttelt, so verschwindet allmählich die Phasengrenze. Die entstandene Lösung färbt sich bei Zugabe von Universalindikator rot und ergibt mit Silbernitrat-Lösung einen gelblich-weißen, in Natriumthiosulfat-Lösung wieder auflösbaren Niederschlag.

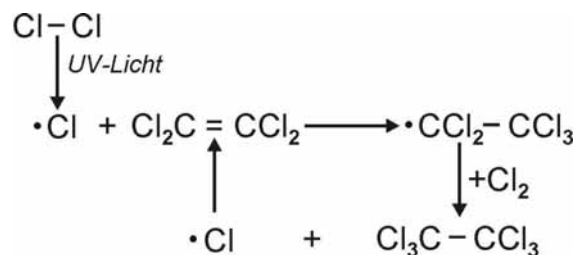
Experiment 3: Zur Herstellung einer Lösung I wurden Kaliumiodid-Lösung, einige Tropfen konzentrierte Schwefelsäure und etwas Stärkelösung gemischt. Zur Herstellung der Lösung II wurden einige Tropfen Tetrachlorethen in einem unpolaren Lösungsmittel gelöst. Lösung I wird mit Lösung II überschichtet und anschließend wird das Gemisch mehrere Minuten lang mit UV-Licht bestrahlt. Dabei ist die Bildung blauer Schlieren zu beobachten.



Erklären Sie auch unter Einbeziehung der chemischen Zeichensprache die beschriebenen Beobachtungen aus den drei Experimenten.

Erläutern Sie für Experiment 1 den Reaktionsmechanismus.

- 2.3 Die Addition von Chlor an Tetrachlorethen wird wie folgt beschrieben:



Erläutern Sie das dargestellte Reaktionsschema.

Halogenalkane können an Alkene radikalisch addiert werden.

Formulieren Sie die Reaktionsgleichung für die Bildung von 1,1,1,3-Tetrachloroctan.

3 Tetrachlorethen als Reinigungsmittel

Tetrachlorethen wird beispielsweise als Textilreinigungsmittel, als Extraktions- und Lösemittel für tierische und pflanzliche Fette und Öle sowie als Entfettungsmittel in der Metallindustrie eingesetzt. Die Verwendung in kosmetischen Mitteln ist verboten. In die Umwelt eingebrachte Mengen von PER werden nur äußerst langsam biologisch abgebaut. Es ist aufwändig, einmal ins Wasser gelangte Chlorkohlenwasserstoffe abzubauen. Dies führt dazu, dass diese in Flüsse, Seen und Meere eingetragen werden und von dort aus auch in das Grundwasser gelangen.

Pflanzen, wie z. B. Algen, nehmen sie mit dem Wasser auf, bauen sie jedoch nicht ab. Meerestiere, die sich von diesen Pflanzen ernähren, nehmen diese Stoffe unverändert mit auf und lagern sie vor allem im Fettgewebe ab. Bei jedem Glied der Nahrungskette erfolgt eine Anreicherung, so dass sie bei den letzten Gliedern – wie zum Beispiel Seeadlern – in Konzentrationen vorliegen, wo schädigende Wirkungen direkt sichtbar sind. Geringe Fruchtbarkeit und dünnwandige Schalen der Eier bei diesen Greifvögeln sind die von außen erkennbaren Merkmale der Vergiftung.

Werten Sie den Einsatz von PER auch unter Nutzung der folgenden Tabellen:

Stoff	MAK* in mL/m ³	Siedetemperatur in °C
Trichlormethan (Chloroform) CHCl ₃	10	61
Tetrachlormethan (Tetra) CCl ₄	10	77
Tetrachlorethen (PER) Cl ₂ C=CCl ₂	50	121

* maximale Arbeitsplatzkonzentration

Halogenierte Kohlenwasserstoffe	Atmosphärische Lebensdauer
CCl ₃ F	60 Jahre
CCl ₂ F ₂	130 Jahre
CClF ₃	380 Jahre
CF ₄	50000 Jahre
CCl ₄	50 Jahre
CF ₃ Br	110 Jahre
Cl ₂ C = CCl ₂	wenige Monate

Ein vollständiger Abbau von Tetrachlorethen im Wasser wird durch UV-Oxidation erreicht. Dabei wird PER-haltiges Wasser mit Sauerstoff begast und in Gegenwart von Titanoxid als Katalysator mit UV-Licht bestrahlt. Als Produkte entstehen Kohlenstoffdioxid und Chlorwasserstoffsäure.

Tetrachlorethen lässt sich auch durch Kombination von Ozon und kurzwelligem UV-Licht in einer Reaktion im Sekundenbereich zerstören, so dass diese Technik kontinuierlich in der Textiltrocknung nach der chemischen Reinigung eingesetzt werden kann. Dabei entstehen Phosgen (COCl₂) und Trichloracetylchlorid (Cl₃C-COCl) als Zwischenprodukte. Das hochgiftige Phosgen wird durch alkalische Nachwäsche in unbedenkliche Verbindungen überführt.

Formulieren Sie die Reaktionsgleichungen für die beschriebenen Reaktionen. Erläutern Sie die erste Reaktion als Redoxreaktion.

Thema 3: Verlauf chemischer Reaktionen

1 Roheisen

- 1.1 Schon in den Anfängen der Eisenherstellung vor mehr als 3000 Jahren wurden Kohlenstoff und seine Verbindungen zur Gewinnung des Eisens aus seinen Erzen verwendet. Die Verkokung der Steinkohle zu Koks ermöglichte Mitte des 18. Jahrhunderts dessen Einsatz im Hochofenprozess.

Erläutern Sie unter Einbeziehung der Abbildungen 3.1 „Schematische Darstellung eines Hochofens“ und 3.2 „BOUDOUARD-Gleichgewicht“ wesentliche chemische und technische Aspekte des Hochofenprozesses. Begründen Sie dabei auch

- den Vorteil durch die Beschickung des Hochofens mit festen Edukten von oben,
- die Entstehung von flüssigem Eisen, das durch den einströmenden Heißwind nicht wieder oxidiert wird und
- die Möglichkeit der Verwendung des gereinigten Gichtgases (55 % N₂; 21 % CO; 19 % CO₂; 5 % H₂) zur Aufheizung von Luft auf Temperaturen über 1000 °C (Heißwind).

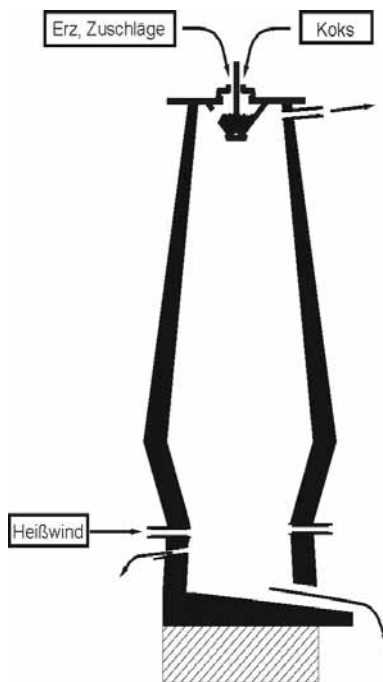


Abb. 3.1: Schematische Darstellung eines Hochofens

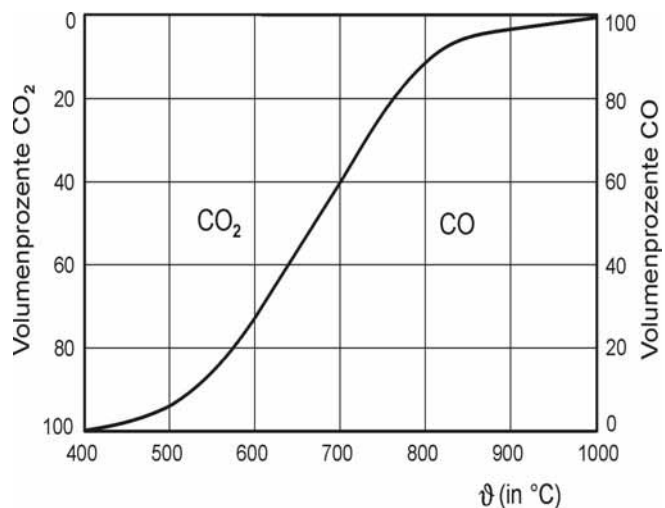


Abb. 3.2: BOUDOUARD-Gleichgewicht

- 1.2 Berechnen Sie die Masse Kohlenstoff, die theoretisch benötigt wird, um eine Tonne Roheisen durch vollständige Umsetzung von Eisen(II,III)-oxid (Fe₃O₄) unter Bildung von Kohlenstoffdioxid herzustellen.

Die Bilanz einer modernen Eisenverhüttung im Hochofen weist den Verbrauch von ca. einer halben Tonne Koks bei der Herstellung von einer Tonne Roheisen auf. Geben Sie Gründe für den Unterschied zum berechneten Wert an.

2 Carbonate

2.1 Experiment

Sie erhalten mit A und B gekennzeichnete Uhrglasschälchen, auf denen sich eine Stoffportion der Salze Natriumcarbonat bzw. Natriumacetat befindet.

Planen Sie **zwei** experimentelle Möglichkeiten zur Unterscheidung der Salze A und B. Führen Sie **ein** Experiment zur Unterscheidung nach Anforderung entsprechender Geräte und Chemikalien durch und werten Sie aus.

- 2.2 Eine Schülergruppe führte die Reaktion von Calciumcarbonat mit verdünnter Chlorwasserstoffsäure unter verschiedenen Bedingungen durch. Die Schüler brachten jeweils die gleiche Masse Calciumcarbonat entweder im Stück oder in Splittern mit dem gleichen Volumen Chlorwasserstoffsäure im Becherglas zur Reaktion und stellten die Masseveränderung des Becherglasinhaltes während der Reaktion fest. Es ergaben sich folgende Messreihen:

Zeit in Sekunden	0	10	20	35	55	75	100	110
Masse des Becherglasinhaltes in Gramm (Calciumcarbonat im Stück)	30	29,9	29,8	29,7	29,6	29,55	29,5	29,49
Masse des Becherglasinhaltes in Gramm (Calciumcarbonatsplitter)	30	29,8	29,65	29,5	29,3	29,17	29,05	29,0

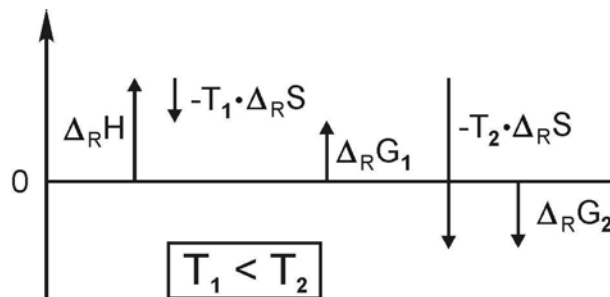
Stellen Sie die Messergebnisse in einem Diagramm grafisch dar.

Berechnen Sie die Durchschnittsgeschwindigkeiten für beide Durchführungen im Zeitintervall [10 s; 100 s] und geben Sie diese als Stoffmengenänderung pro Zeiteinheit an.

Begründen Sie den Unterschied.

Beschreiben Sie an zwei ausgewählten Beispielen, wie die Kenntnisse über die Einflüsse auf die Geschwindigkeit chemischer Reaktionen in der Durchführung chemisch-technischer Verfahren ausgenutzt werden.

- 2.3 Erläutern Sie unter Verwendung der folgenden Darstellung am Beispiel der thermischen Zersetzung von Calciumcarbonat den funktionalen Zusammenhang zwischen molarer freier Reaktionsenthalpie und der Temperatur.

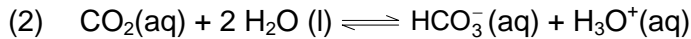
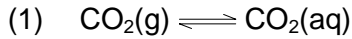


Berechnen Sie die Mindesttemperatur zum exergonischen Verlauf der thermischen Zersetzung von Calciumcarbonat.

3 Kohlenstoffdioxid und Brom

3.1 Ozeane tauschen Kohlenstoffdioxid mit der Atmosphäre aus. Ursache dafür sind biologische und chemische Prozesse im Wasser. Da die freigesetzte Menge an Kohlenstoffdioxid kleiner ist als die aufgenommene, werden Ozeane auch als „Kohlenstoffdioxidsenke“ bezeichnet.

Folgende Gleichungen beschreiben zwei der im System Kohlenstoffdioxid/Wasser ablaufenden Vorgänge:



Die chemische Reaktion (2) ist für die Absorption des Kohlenstoffdioxids von Interesse und, wegen der entstehenden Hydrogencarbonat-Ionen, auch für den Aufbau der Kalkschalen durch Muscheln und andere Schalentiere. Deshalb soll mittels eines Laborexperimentes die Konstante K_S dieser Reaktion ermittelt werden.

$$K_S = \frac{c(\text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})) \cdot c(\text{HCO}_3^-(\text{aq}))}{c(\text{CO}_2(\text{aq}))}$$

Bei einer Temperatur $\vartheta = 19 \text{ }^\circ\text{C}$ löste sich in 250 mL Wasser ein Volumen $V = 57 \text{ mL}$ Kohlenstoffdioxid. Der pH-Wert des Wassers betrug vor dem Lösen des Kohlenstoffdioxids 6,3 und danach 4,3.

Ermitteln Sie aus diesen Angaben die Gleichgewichtskonstante K_S , das molare Volumen beträgt unter den angegebenen Bedingungen $V_m = 24 \text{ L/mol}$.

Beschreiben Sie, was mit dem Begriff „Treibhauseffekt“ ausgedrückt wird. Gehen Sie dabei auf die Bedeutung von Wasserdampf und Kohlenstoffdioxid für diesen Effekt ein.

3.2 Ozeane speichern 99 % der irdischen Bromvorräte. Das Brom kann aus dem Meerwasser nach dem Kaltbromierungsverfahren (BLOWING OUT PROCESS) in vier Schritten gewonnen werden.

- (1) Als äußerst selektives Oxidationsmittel für die im Meerwasser enthaltenen Bromid-Ionen wird Chlor verwendet.
- (2) Nach der Reaktion mit Chlor wird Luft durch die Lösung geblasen, wodurch ein Gemisch aus Chlor und Brom ausgetrieben wird. Dieses Gasgemisch wird im Gegenstrom mit einer wässrigen Natriumcarbonat-Lösung gewaschen. Dabei disproportioniert das Brom im alkalischen Medium zu Bromid-Ionen und zu Bromat-Ionen (BrO_3^-).
- (3) Ist die Basizität der Natriumcarbonat-Lösung erschöpft, so wird die Lösung mit Schwefelsäure behandelt. Dadurch entsteht in einer Synproportionierungsreaktion (Komproportionierungsreaktion) elementares Brom in hoher Konzentration.
- (4) Die anschließende Destillation liefert das Rohbrom.

Begründen Sie die Möglichkeit der Verwendung des Oxidationsmittels Chlor in (1).

Entwickeln Sie die chemischen Gleichungen für die Teilreaktionen und die Gesamtreaktion in Ionenschreibweise für (2). Erläutern Sie an diesem Beispiel das Wesen der vorliegenden Reaktionsart.

Entwickeln Sie eine Gleichung in Ionenschreibweise für die Gesamtreaktion für (3).