Aufgabe 1

Der Hochofenprozess und das Boudouard-Gleichgewicht

Schwerpunktthema: Chemisches Gleichgewicht

Aus natürlich vorkommenden Eisenerzen (Eisenoxiden) wird im Hochofen reines Eisen gewonnen. Der Hochofen ist ein bis zu 50 m hoher Schachtofen, in dem die Ausgangsstoffe Eisenerz, Koks und Zuschlagsstoffe zur Reaktion gebracht werden. Die Zuschlagsstoffe wie Sand oder Kalk dienen hierbei der Abscheidung mineralischer Begleitstoffe. Auch wird Eisenschrott im Hochofenprozess eingesetzt und daraus wieder reines Eisen gewonnen, welches zu Stahl verarbeitet werden kann. Eisenschrott besteht aus mehr oder weniger verrostetem Eisen, das z.B. beim Recyceln von Computern anfällt.

Abbildung aus urheberrechtlichen Gründen entfernt

Abbildung 1: Der Hochofen

Abwechselnd wird der Hochofen mit Koks und dem Eisenerz-Zuschlag-Gemisch beschickt. Von unten wird heiße Druckluft eingeblasen, dabei reagiert heißer Sauerstoff mit dem Kohlenstoff des Kokses zu Kohlenstoffmonoxid, das Eisenoxid, wie z.B. Hämatit (Fe_2O_3), zu reinem Eisen reduziert. Diese Gesamtreaktion ist exotherm.

Abbildung aus urheberrechtlichen Gründen entfernt

Material 1: Der Hochofenprozess

Im Hochofen erfolgt die Bildung des Reduktionsmittels Kohlenstoffmonoxid für die Reduktion von Eisenoxiden in zwei Schritten.

Abbildung aus urheberrechtlichen Gründen entfernt

Der 2. Schritt wird auch als Boudouard-Gleichgewicht bezeichnet.

Abbildung aus urheberrechtlichen Gründen entfernt

Material 2: Das Boudouard-Gleichgewicht

Bei einem Experiment werden in einem 2-Liter-Kolben Kohlenstoff und Kohlenstoffdioxid bei 850 °C zur Reaktion gebracht. Nach Einstellung des Gleichgewichts befinden sich 0,43 mmol Kohlenstoffdioxid und 0,29 mmol Kohlenstoffmonoxid in dem Kolben.

Material 3: Modellexperiment zur Bestimmung der Gleichgewichtskonstante

Im Hochofen entsteht bei der Eisenherstellung das sogenannte Gichtgas, welches überwiegend abgefackelt oder zur Stromerzeugung verbrannt wird. Gichtgas besteht aus Stickstoff, Kohlenstoffmonoxid, Kohlenstoffdioxid und Wasserstoff.

Ein alternatives Verfahren ist die Fermentation des Gichtgases durch Mikroben, wie z. B. dem Bakterium *Clostridium autoethanogenum,* zur Herstellung von Ethanol, welches z. B. als alternativer Treibstoff in Kraftfahrzeugen weiter verwendet werden kann. In einem mit Wasser gefülltem Bioreaktor nehmen die Mikroben Bestandteile des Gichtgases auf und stellen durch ihren Stoffwechselprozess über das Zwischenprodukt Acetyl-CoA (Acetyl-Coenzym A) letztendlich Ethanol her, welches kontinuierlich dem Reaktor entzogen wird. Am Prozessende verbleibt Stickstoff, welcher z.B. für die Amoniaksynthese weiter verwendet werden kann.

Schematische Darstellung der Aufnahme von Gichtgasbestandteilen
über den Mikroben-Stoffwechsel:

Abbildung aus urheberrechtlichen Gründen entfernt

Material 4: Fermentation des Hochofen-Gichtgases

Aufgaben:

1.1 Beschreiben Sie die verschiedenen Prozessabläufe in den jeweiligen Hochofenzonen 1 – 4 und geben Sie die Reaktionsgleichung der Reduktion von Hämatit entsprechend an. (Material 1). **(8 BE)**

1.2 Ordnen Sie jeder Temperaturzone des Hochofens den jeweiligen Anteil des Kohlenstoffmonoxids zu. Erläutern Sie das Prinzip von Le Chatelier und beurteilen Sie, wie sich eine Temperaturveränderung auf die Lage des Gleichgewichts der Gesamtreaktion auswirken würde. (Material 1 und 2) **(8 BE)**

1.3 Geben Sie das Massenwirkungsgesetz für das Boudouard-Gleichgewicht an und berechnen Sie die Gleichgewichtskonstante für die in Material 3 angegebenen Daten. Begründen Sie, welche Auswirkungen eine Temperaturveränderung auf die Gleichgewichtskonstante haben würde. (Material 2 und 3) **(7 BE)**

1.4 Erklären Sie begründet, warum am Ende des Fermentationsprozesses von Gichtgas nur Stickstoff als einziges Gas verbleibt und leiten Sie die Gesamtreaktion der Fermentation ab. Bewerten Sie das Fermentationsverfahren zur Gichtgasnutzung im Vergleich zur üblichen Verfahrensweise. (Material 4) **(7 BE)**

Aufgabe 2

Unsere Ozeane als Kohlenstoffdioxidspeicher

Schwerpunktthemen: Chemisches Gleichgewicht und Protolysegleichgewichte

Seit Beginn der Industrialisierung haben die Weltmeere knapp die Hälfte des Kohlenstoffdioxids aus der Verbrennung fossiler Energieträger aufgenommen. Wissenschaftler gehen davon aus, dass die Kapazität der Meere, als Kohlenstoffreservoir zu dienen, damit noch lange nicht ausgeschöpft ist. Es wird damit gerechnet, dass der Ozean bis zu 90% der Kohlenstoffdioxidemissionen aufnehmen kann. Dieser Effekt wird jedoch aufgrund der langsamen Durchmischung der Wasserschichten erst in einigen Jahrhunderten sein Maximum erreichen.

Abbildung aus urheberrechtlichen Gründen entfernt

Abbildung 1: Der Ozean

Während sich das Kohlenstoffdioxid in der Atmosphäre weitestgehend chemisch neutral verhält, also nicht mit anderen Gasen reagiert, ist es im Ozean chemisch aktiv. Gelöstes Kohlenstoffdioxid trägt zu einer Absenkung des pH-Wertes bei. Dieser Effekt ist bereits messbar: Der pH-Wert des Oberflächenwassers der Meere ist seit der Industrialisierung von 8,2 im Mittel um 0,1 Einheiten gesunken.

Material 1: Wirkung des Kohlenstoffdioxids im Wasser

Abbildung aus urheberrechtlichen Gründen entfernt

Der pH-Wert, die Kon-zentration des gelösten Kohlenstoffdioxids und die Konzentration der Carbonationen beeinflussen sich gegenseitig. Diese Abhängigkeiten zeigt die nebenstehende Grafik.
Als Folge nimmt die
Calciumcarbonatbildung bei Korallen, Muscheln und Schnecken in versauertem Wasser je nach untersuchter Tiergruppe um 22 bis 39 Prozent ab.

Material 2: Zusammenhang zwischen dem pH-Wert, der Kohlenstoffdioxid- und der Carbonationenkonzentration

Klima- und Ozeanforscher setzen häufig den Schwerpunkt ihrer Arbeit in die Arktis oder die Antarktis. Die Löslichkeit des Kohlenstoffdioxids im Vergleich zu beispielsweise den tropischen Regionen der Erde ist in den Polargebieten deutlich erhöht.
Um diesen Sachverhalt zu veranschaulichen, wird folgendes Modellexperiment durchgeführt:
Zwei Schüsseln werden mit destilliertem Wasser gefüllt. Die eine davon mit kaltem, die andere mit warmem Wasser. Das destillierte Wasser wird mit Universalindikator versetzt. Zwölf Teelichter werden entzündet, je sechs davon werden auf eine Schüssel mit kaltem und warmem Wasser gesetzt. Beide Schüsseln werden mit Glasplatten luftdicht abgedeckt.

Versuchsbeobachtung:
Die Kerzen erlöschen, dabei gehen die Kerzen in der mit warmem Wasser gefüllten Schüssel schneller aus. In beiden Schüsseln verfärbt sich das mit dem Universalindikator versetzte Wasser an der Oberfläche von dunkelgrün nach gelblich (dabei zeigt grün neutral, gelb leicht sauer an). In der Schüssel mit dem kalten Wasser, ist die Gelbfärbung deutlicher zu erkennen.

Material 3: Modellexperiment zur Forschung in den Polarregionen

Abbildung aus urheberrechtlichen Gründen entfernt	Zahlreiche Firmen bieten Puffersalze oder Pufferlösungen zur „Regulierung des pH-Werts und Optimierung der Pufferkapazität“ des Meerwasseraquariums an. Dabei sollen durch diese Zusätze Schwankungen des pH-Werts, die aus • der Dunkel- und Beleuchtungsphase • herumschwimmenden Futterresten • starkem Algenwachstum resultieren, vermieden oder zumindest abgemindert werden. *Hinweise* Reaktionsgleichung der Photosynthese: $6\ CO_2 + 6\ H_2O \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6\ O_2$ Reaktionsgleichung der Zellatmung: $C_6H_{12}O_6 + 6\ O_2 \rightarrow 6\ CO_2 + 6\ H_2O$

Material 4: Puffer für Meerwasseraquarien

Aufgaben:

2.1 Geben Sie die Reaktionsgleichungen für die Bildung und anschließende Dissoziation von Kohlensäure an. Beurteilen Sie mit Hilfe des Prinzips von Le Chatelier, wie sich eine Veränderung der Wetterlage von einem Tief- zu einem Hochdruckgebiet auf die Lage dieser Gleichgewichtsreaktionen auswirken würde. (Material 1) **(8 BE)**

2.2 Beschreiben Sie den Zusammenhang zwischen dem pH-Wert, der Kohlenstoffdioxid- und der Carbonationenkonzentration (Material 2). Erläutern Sie, weshalb die Kalkbildung bei einigen Tierarten in versauertem Wasser stark abnimmt. **(7 BE)**

2.3 Diskutieren Sie die Vor- und Nachteile des in Material 3 vorgegebenen Modellexperiments. **(7 BE)**

2.4 Erklären Sie, weshalb die in Material 4 angeführten Faktoren den pH-Wert im Meerwasseraquarium jeweils beeinflussen. **(8 BE)**

Aufgabe 3

Lebensmittelfarbstoffe – Echter oder falscher Lachs

Schwerpunktthema: Farbstoffe

Lachs, ursprünglich eine rare und teure Delikatesse, zählt heute zu den beliebtesten Speisefischen. Er wird kaum mehr wild gefangen, sondern stammt fast ausschließlich aus Fischzuchtbetrieben. Allein in Norwegen ist die Lachsproduktion zwischen 1980 und 1995 von 4400 auf 250.000 Jahrestonnen gestiegen. Zusätzlich wird immer mehr billiger Lachsersatz aus Seelachs, einem nicht mit dem echten Lachs verwandten Fisch produziert. Dessen rote Farbe kommt jedoch nicht auf natürlichem Wege zustande, sondern durch synthetische, organische Farbstoffe.

Abbildung aus urheberrechtlichen Gründen entfernt

Abb. 1: Lachsersatz

Die rosarote Fleischfarbe des Wildlachses wird durch den natürlichen Farbstoff Astaxanthin hervorgerufen, den der Lachs durch seine natürliche Nahrung, wie z. B. Krebstiere, aufnimmt.
Lachsersatz besteht aus Seelachs oder Kabeljau. Er erhält die rote Farbe durch synthetische Farbstoffe, wie z. B. Gelborange S (E 110).
Dem Futter der in Aquakulturen aufwachsenden Zuchtlachse werden natürliche oder naturidentische Farbstoffe wie z.B. β-Carotin zugemischt, um eine den Wildlachsen ähnliche Fleischfärbung zu erreichen. β-Carotin ist ein gesundheitlich unbedenklicher oranger Farbstoff, der aus Karotten gewonnen, heute jedoch vorwiegend synthetisch hergestellt werden kann.

Abbildung aus urheberrechtlichen Gründen entfernt

Material 1: Informationen zu Astaxanthin, β-Carotin und Gelborange S

Erster Reaktionsschritt:

Abbildung aus urheberrechtlichen Gründen entfernt

Material 2: Erster Reaktionsschritt der Synthese von Gelborange S

Zweiter Reaktionsschritt:

Abbildung aus urheberrechtlichen Gründen entfernt

2

3

Material 2: Zweiter Reaktionsschritt der Synthese von Gelborange S

Neben Lachsersatz enthalten verschiedene Lebensmittel wie Fruchtgummis, Götterspeise oder Fruchtjoghurt sowie verschiedene Arzneimittel den Lebensmittelfarbstoff Gelborange S. Die farbstoffhaltigen Lebensmittel dürfen allerdings aus Gesundheitsgründen nur eine gesetzlich vorgeschriebene Höchstmenge an Gelborange S enthalten. So wird vermutet, dass Gelborange S als Allergen an der Auslösung von Asthma und Neurodermitis beteiligt sein könnte. Außerdem sind im Tierversuch Nierentumore aufgetreten. Zur Überprüfung der Einhaltung der gesetzlichen Vorgaben wird in Lebensmitteluntersuchungsämtern der Farbstoff aus den Lebensmitteln extrahiert und dessen Konzentration bestimmt.

Material 3: Informationen zu Gelborange S

Aufgaben

3.1 Geben Sie an, welchen Farbstoffklassen die Farbstoffe in Material 1 zuzuordnen sind. Erläutern Sie am Beispiel von Astaxanthin anhand eines geeigneten Modells die Ursachen für die Farbigkeit einer organischen Verbindung (Material 1). **(9 BE)**

3.2 Benennen Sie die beiden Reaktionsschritte und geben Sie die fehlenden Strukturformeln 1, 2 und 3 an. Erläutern Sie den 2. Reaktionsschritt (Material 2). **(11 BE)**

3.3 Erläutern Sie kurz eine Methode zur Konzentrationsbestimmung von Gelborange S in Lebensmitteln. Beurteilen Sie den Einsatz von Gelborange S und β-Carotin zum Färben von Lachsersatz und Zuchtlachs (Material 1 und Material 3). **(10 BE)**

Aufgabe 4

Phenolphthalein – ein weit verbreiteter Indikator mit Gefahrenpotential?

Schwerpunktthemen: Protolysegleichgewichte und Farbstoffe

Abbildung aus urheberrechtlichen Gründen entfernt

Phenolphthalein wurde 1871 zum ersten Mal von Adolf von Baeyer hergestellt. Der Reinstoff ist farblos, pulverförmig und unlöslich in Wasser. In Ethanol gelöst ist es ein weitverbreiteter Indikator, der auch heute noch in Schulversuchen eingesetzt wird. Charakteristisch ist sein Farbumschlag von farblos im Sauren nach pink im Basischen, der besonders gut zu erkennen ist. Jedoch wurde der Einsatz in der Schule stark eingeschränkt.

Nachdem Phenolphthalein fast 90 Jahre lang auch als Wirkstoff in Abführmitteln als Kapsel, Tablette oder Schokoladenplättchen (siehe Abbildung) mit einer Dosierung von bis zu 200 mg auf dem Markt war, ließ 1996 eine medizinische Studie Zweifel an der Sicherheit aufkommen. Die Studie wies die Bildung von Tumoren bei Ratten und Mäusen nach, die mit der 30 bis 100 fachen Menge der für den Menschen empfohlenen Dosis gefüttert wurden. Daraufhin wurden die meisten Abführmittel vom Markt genommen, doch auch heute noch darf Phenolphthalein in bestimmten Medikamenten verwendet werden. Der Reinstoff wurde von der ECHA (European Chemical Agency) 2011 als besonders besorgniserregend eingestuft. Daher dürfen in der Schule nur Lösungen mit < 1%, also z.B. 0,5 % Phenolphthalein als Indikator für Versuche eingesetzt werden.

Material 1: Die Verwendung und Geschichte von Phenolphthalein

Abbildung aus urheberrechtlichen Gründen entfernt Signalwort: "Gefahr"	**Phenolphthalein**
Gefahrenhinweise - H-Sätze: H341: Kann vermutlich genetische Defekte verursachen. H350: Kann Krebs erzeugen. H361f: Kann vermutlich die Fruchtbarkeit beeinträchtigen.	**Sicherheitshinweise - P-Sätze:** P201: Vor Gebrauch besondere Anweisungen einholen. P280:Schutzhandschuhe/ Schutzkleidung/ Augenschutz/Gesichtsschutz tragen. P308+P313: Bei Exposition oder falls betroffen: Ärztlichen Rat einholen/ ärztliche Hilfe hinzuziehen.

Material 2: Gefahren- und Sicherheitshinweise zum Umgang mit Phenolphthalein

Der Umschlagsbereich des Indikators von farblos nach pink liegt im Bereich von pH = 8 bis 10.

Abbildung aus urheberrechtlichen Gründen entfernt

Material 3: Informationen zum Farbumschlag von Phenolphthalein

In der folgenden Abbildung wurden jeweils 10 mL Natronlauge (A; c_0 = 0,1 mol/L) und Ammoniaklösung (B; c_0 = 0,1 mol/L) mit Salzsäure (c = 0,1 mol/L) titriert.
Der pK_B-Wert von Ammoniak beträgt 4,7.

Abbildung aus urheberrechtlichen Gründen entfernt

Berechnungshilfe: $pOH = \frac{1}{2}\, pK_B - \frac{1}{2} log c_0(Base)$

Material 4: Titrationskurven von Natronlauge (A) bzw. Ammoniaklösung (B) mit Salzsäure

Aufgaben:

4.1 Geben Sie an, zu welcher Farbstoffklasse Phenolphthalein gehört. Begründen Sie die unterschiedliche Farbigkeit der Spezies H_2Ind und Ind^{2-} und ordnen Sie die Absorptionsspektren A und B den beiden Spezies zu. (Material 3) **(6 BE)**

4.2 Vergleichen und erläutern Sie den Verlauf der beiden Titrationskurven. Beurteilen Sie die Eignung von Phenolphthalein als Indikator für die jeweilige Titration. (Material 3 und 4) **(11 BE)**

4.3 Berechnen Sie jeweils für Natronlauge und Ammoniaklösung den pH-Wert zu Beginn der Titration vor der Zugabe von Salzsäure. Bestimmen Sie graphisch den pH-Wert von Kurve B am Äquivalenzpunkt und begründen Sie die Lage des Äquivalenzpunktes unter Angabe einer Reaktionsgleichung. (Material 4) **(7 BE)**

4.4 Diskutieren Sie den Einsatz von Phenolphthalein bei Schülerversuchen (jeweils 2 Argumente). (Material 1 und 2) **(6 BE)**

Aufgabe 1 **Erwartungshorizont und Bewertung nach Anforderungsbereichen**

	Erwarteter Inhalt oder Lösungsskizze	Bewertung		
		I	II	III
1.1	Der Hochofen wird abwechselnd mit Koks und einem Eisenerz-Zuschlag-Gemisch beschickt. In der bis zu 500 °C heißen Vorwärmzone (1) werden die Rohstoffe vorgewärmt und getrocknet. In der Reduktionszone (2) wird bei 850°C Eisenoxid von Kohlenstoffmonoxid zu Eisen reduziert: $Fe_2O_3 + 3\ CO \rightarrow 2\ Fe + 3\ CO_2$. Das entstandene Kohlenstoffdioxid wird zu Kohlenstoffmonoxid reduziert. In der 1000°C heißen Kohlungszone (3) sackt das Eisen nach unten und nimmt Kohlenstoff aus dem Koks auf. Die Schmelzzone (4) liegt um 1300 °C, hier wird das Eisen verflüssigt. Aus den Zuschlägen, wie z. B. Sand oder Kalk, bildet sich Schlacke, die auf dem Eisen schwimmt. Roheisen und Schlacke werden getrennt aus dem Hochofen abgelassen.	5	3	
1.2	CO-Anteile: Vorwärmzone ~ 10 %, Reduktionszone ~ 90 %, Kohlungszone ~ 100 % und Schmelzzone ~ 100 % Nach dem Prinzip von Le Chatelier verschiebt sich aufgrund eines Zwanges, d. h. durch Druck-, Konzentrations- sowie Temperaturveränderung, ein Gleichgewicht so, dass sich ein neues Gleichgewicht einstellt, das diesem Zwang entgegenwirkt. Die Gesamtreaktion ist exotherm, somit würde eine Temperaturerniedrigung das Gleichgewicht zur Produktseite und eine Temperaturerhöhung das Gleichgewicht zur Eduktseite verschieben, so dass sich das Gleichgewicht entsprechend des Prinzips von Le Chatelier aufgrund des jeweiligen Zwangs neu einstellen würde.	3	5	
1.3	**Abbildung aus urheberrechtlichen Gründen entfernt** Berechnung der Konzentration aus dem Quotienten aus Stoffmenge und Kolbenvolumen: $n\ (CO_2) = 0{,}43\ mmol \rightarrow c\ (CO_2) = 0{,}43\ mmol\ /\ 2\ L = 0{,}22\ mmol/L$ $n\ (CO) = 0{,}29\ mmol \rightarrow c\ (CO) = 0{,}29\ mmol\ /\ 2\ L = 0{,}15\ mmol/L$ Konzentrationswerte ins Massenwirkungsgesetz einsetzen und berechnen: **Abbildung aus urheberrechtlichen Gründen entfernt** K_c wird bei erhöhter Temperatur größer, da mehr CO gebildet wird und bei niedriger Temperatur kleiner, weil sich mehr CO_2 bildet.	2	4	1
1.4	Gichtgas besteht aus Stickstoff, Kohlenstoffmonoxid, Kohlenstoffdioxid und Wasserstoff. Kohlenstoffmonoxid, Kohlenstoffdioxid und Wasserstoff sind Edukte des Mikroben-Stoffwechsels und werden vollständig umgesetzt, so dass nur noch Stickstoff als Gichtgasbestandteil verbleibt. **Abbildung aus urheberrechtlichen Gründen entfernt** Das Fermentationsverfahren stellt eine sinnvolle Alternative zur üblichen Nutzung des Gichtgases dar. Üblicherweise wird das Gichtgas ohne weiteren Nutzen abgefackelt oder zur Stromerzeugung verbrannt, wodurch		3	4

	Abgase, wie z.B. Stickstoffoxide, entstehen, die die Umwelt, das Klima und die Gesundheit des Menschen schädigen können. Bei der Verbrennung des Fermentationsprodukts Ethanol entsteht CO_2, das auch den Treibhauseffekt verstärkt, allerdings werden Kohlenstoffmonoxid, Kohlenstoffdioxid und Wasserstoff im Fermentationsprozess vollständig genutzt. Der nichtbenötigte Stickstoff kann in einem anderen Verfahren, wie z.B. der Ammoniaksynthese, weiter verwendet werden, so dass letztendlich alle Gichtgasbestandteile ohne Rückstände genutzt werden können. Alternative Lösungsmöglichkeiten sind zulässig.			
Verteilung der insgesamt **30** Bewertungseinheiten auf die Anforderungsbereiche		**10**	**15**	**5**

Quellen:

Bild:

https://pixabay.com/de/hochofen-industrie-industriekultur-659016/ (Letzter Zugriff: August 2018)

Informationen:

http://www.chemieunterricht.de/dc2/auto/motorvgl.htm (Letzter Zugriff: August 2018)

https://www.wiwo.de/technologie/green/innovation-mikroorganismen-machen-stahlwerke-zu-sprit-fabriken/13546384.html (Letzter Zugriff: September 2018)

Arnold, K. / Dietrich, V. / Eberle, A. et al.: Chemie Oberstufe Gesamtband, Cornelsen Verlag 2010

Asselborn, W. / Jäckel, M. / Risch, Dr. K.T. (Hrsg.): Chemie heute Arbeitsheft 1SII, Schroedel Verlag, Hannover 1999

Asselborn, W. / Jäckel, M. / Risch, Dr. K.T. (Hrsg.): Chemie heute SII Gesamtband, Bildungshaus Schulbuchverlage, Braunschweig 2009

Demuth, R. / Parchmann, I. / Ralle, B. (Hrsg.): Chemie im Kontext Sekundarstufe II, Cornelsen Verlag, Berlin 2009

Gietz, P. / Justus, A. / Schierle, W.: Abi-Lernbox Chemie, Klett Lernen und Wissen, Stuttgart 2008

Kaltschmidt, M. / Hartmann, H. / Hofbauer, H. (Hrsg.): Energie aus Biomasse Grundlagen, Techniken und Verfahren, Springer Verlag, Berlin-Heidelberg 2016

Aufgabe 2 **Erwartungshorizont und Bewertung nach Anforderungsbereichen**

Erwarteter Inhalt oder Lösungsskizze		Bewertung		
		I	II	III
2.1	Bildung und Dissoziation von Kohlensäure: **Abbildung aus urheberrechtlichen Gründen entfernt** Auswirkung einer Druckerhöhung auf die Lage dieser Gleichgewichtsreaktionen: Nach dem Prinzip von Le Chatelier gilt, dass sich das Gleichgewicht bei Reaktionen mit Stoffmengenänderung der gasförmigen Komponenten durch Druckveränderung verschiebt. Bei Druckerhöhung wird dabei die Seite mit der kleineren Stoffmenge bevorzugt, da diese nach dem Avogadro-Gesetz das kleinere Volumen einnimmt. Die Reaktionen 2 und 3 beinhalten keine gasförmigen Teilchen und müssen daher hier nicht betrachtet werden. Die erste Reaktion weist auf der Edukt-, nicht aber auf der Produktseite, gasförmige Komponenten auf. Es handelt sich folglich um eine Reaktion, deren Gleichgewichtslage druckabhängig ist. Eine Druckerhöhung würde eine Verschiebung zu Gunsten der Hinreaktion auf die Produktseite nach sich ziehen.	3	4	1
2.2	Zusammenhang zwischen pH-Wert, Kohlenstoffdioxid- und Carbonat-ionenkonzentration: Die Graphik zeigt, dass sich die Kohlenstoffdioxidkonzentration von Mitte des 20. Jahrhunderts bis zum Jahr 2100 etwa verdreifacht. Als Folge davon nimmt die Carbonationenkonzentration im gleichen Zeitraum um ca. die Hälfte ab und der pH-Wert sinkt von etwa 8,2 auf 7,8. Abnahme der Kalkbildung bei einigen Tierarten in versauertem Wasser: Korallen und Muscheln beispielsweise können weniger Kalk (Calciumcarbonat) bilden, da bei einem niedrigen pH-Wert die Carbonationenkonzentration sinkt. Die Carbonationen werden von den Hydroniumionen angegriffen, die vermehrt im saureren Meerwasser vorliegen.	2	4	1
2.3	Diskussion des Experiments: Ein offensichtlicher Vorteil ist die schnelle und einfache Durchführbarkeit: Es wird nur sehr wenig Material benötigt und eine besondere Geschicklichkeit ist bei der Durchführung ebenso nicht nötig. Auch die Anzahl der möglichen Fehlerquellen bei der Durchführung ist minimal, da die gesamte Durchführung nur wenige Schritte umfasst. Ein deutlicher Mangel ist, dass destilliertes Wasser anstelle von Meerwasser verwendet wird – somit sind die Ausgangsbedingungen andere als im Ozean, in welchem zahlreiche Salze gelöst sind. Darüber hinaus finden sich keinerlei Angaben etwa zur Menge des Wassers oder zur Temperatur des „warmen“ und des „kalten“ Wassers. Weiterhin muss bedacht werden, dass die Geschwindigkeit des Lösungsvorgangs des Gases Kohlenstoffdioxid temperaturabhängig ist, weshalb dieser Versuch, der lediglich die Beobachtungen direkt nach dem Erlöschen der Kerzen aufnimmt, nur bedingt aussagekräftig ist. Insgesamt handelt es sich also um einen recht oberflächlichen Versuch, der gute Ansätze beinhaltet, aber optimiert werden könnte. *Alternative Lösungen sind möglich.*	3	2	2

2.4	Die in Material 4 angeführten Faktoren beeinflussen den pH-Wert, da sie jeweils die Konzentration des Kohlenstoffdioxids verändern und somit die Kohlensäureproduktion verstärken oder vermindern. Im Einzelnen treten folgende Effekte auf: • Dunkel- und Beleuchtungsphase: Die Photosynthese, bei der Kohlenstoffdioxid verbraucht und Sauerstoff erzeugt wird, kann nur in der Beleuchtungsphase stattfinden. In der Dunkelphase, in welcher nur die Zellatmung abläuft, steigt folglich die Kohlenstoffdioxidkonzentration. • herumschwimmende Futterreste: Zellatmung unter Produktion von Kohlenstoffdioxid • starkes Algenwachstum: Algen betreiben in der Beleuchtungsphase Photosynthese, verbrauchen also zu diesem Zeitpunkt Kohlenstoffdioxid und erhöhen damit den pH-Wert. In der Dunkelphase wird Zellatmung betrieben, womit der pH-Wert wieder sinkt. *Alternative Lösungen sind möglich*		5	3
Verteilung der insgesamt **30** Bewertungseinheiten auf die Anforderungsbereiche		**8**	**15**	**7**

Quellen:

Bilder:

https://der-endlose-ozean.webnode.com/ (Abbildung 1) (letzter Zugriff: Januar 2019)

https://klimakatastrophe.wordpress.com/2010/11/22/%E2%80%9Cversauerung%E2%80%9D-der-meere-reale-bedrohung-oder-nicht-mehr-als-panikmache-2/ (Material 2) (letzter Zugriff: Januar 2019)

https://www.tropic-marin.com/minerals/triple-buffer/#prettyPhoto/0/ (Abbildung 2) (letzter Zugriff: Januar 2019)

Informationen:

Asselborn, W./Jäckel, M./Risch, Dr. K.T. (Hrsg.): Chemie heute SII Gesamtband, Bildungshaus Schulbuchverlage, Braunschweig 2009

Brückl, E. et al: Elemente Chemie 2, Oberstufe, Klett Verlag, Stuttgart, 2010

Riedel, E./Janiak, C.: Anorganische Chemie, De Gruyter; 9. Auflage, Berlin 2015

http://www.aquariumwest.de/ph-wert-im-meerwasseraquarium-die-neun-wichtigsten-wasserwerte-2-teil/ (letzter Zugriff: Januar 2019)

https://www.awi.de/ueber-uns/service/presse-detailansicht/presse/ozeane-versauern-schneller-als-je-zuvor-in-der-erdgeschichte.html (letzter Zugriff: Januar 2019)

https://www.focus.de/wissen/klima/ozeanforschung_aid_114921.html (letzter Zugriff: Januar 2019)

http://www.klimaretter.info/forschung/hintergrund/7083-qder-boese-zwilling-der-globalen-erwaermungq (letzter Zugriff: Januar 2019)

Aufgabe 3 **Erwartungshorizont und Bewertung nach Anforderungsbereichen**

Erwarteter Inhalt oder Lösungsskizze		Bewertung		
		I	II	III
3.1	Astaxanthin und β-Carotin gehören zur Farbstoffklasse der Carotinoide (Polyene). Gelborange S ist ein Azofarbstoff. Voraussetzung für die Farbigkeit einer Verbindung ist die Absorption von elektromagnetischer Strahlung im sichtbaren Bereich. Dazu ist ein Chromophor mit evtl. auxo- oder antiauxochromen Gruppen erforderlich. Bei Astaxanthin erstreckt sich der Chromophor über die Polyenstruktur mit ihren konjugierten Doppelbindungen bis hin zu den Ringstrukturen, die Oxogruppen als Antiauxochrome besitzen. Dieses delokalisierte Elektronensystem kann bestimmte Wellenlängen des Lichts absorbieren, die Elektronen werden dabei auf ein höheres Energieniveau gehoben und fallen unter Abgabe von Wärme wieder in den Grundzustand zurück. Die nicht absorbierten Anteile des Lichts werden reflektiert und ergeben die Komplementärfarbe.	5	4	
3.2	1: **Abbildung aus urheberrechtlichen Gründen entfernt** 2: 3: Die Reaktionsabschnitte werden als Diazotierung und Azokupplung bezeichnet. Der zweite Reaktionsschritt ist die Azokupplung. Es findet hier eine elektrophile Substitution statt. Die positiv geladenen Diazoniumionen greifen die 2-Naphthol-6-sulfonsäure elektrophil an. 2-Naphthol-6-sulfonsäure ist eine aromatische Verbindung mit einem π-Elektronensystem in den Ringstrukturen. Wird ein Diazoniumion gebunden, liegen an dem betreffenden C-Atom vier σ-Bindungen vor, es entsteht der σ-Komplex. Durch Abspaltung eines Protons an dem betreffenden C-Atom kommt es wieder zur Ausbildung des aromatischen Systems. Es ist somit ein Wasserstoffatom substituiert worden.		8	3
3.3	Mithilfe der Fotometrie kann die Konzentration einer farbigen Lösung bestimmt werden. Dazu wird mit einem Fotometer der Wellenlängenbereich des sichtbaren Lichts bestimmt, das von den Molekülen der Farbstoff-Lösung absorbiert wird. Das Ausmaß der Absorption bei einer bestimmten Wellenlänge hängt von der Art der in der Lösung vorliegenden Teilchen, ihrer Konzentration und der Schichtdicke ab. Die Konzentration kann mithilfe des Lambert-Beerschen Gesetzes oder mithilfe einer Eichgeraden bestimmt werden.	4	3	3

	Pro-Argumente: • Eine unattraktive Farbe, wie beispielsweise bei Zuchtlachsen oder bei Seelachs kann so überdeckt werden. • Viele natürliche Farbstoffe sind nicht lichtecht und verblassen. Durch eine Färbung kann eine gleichbleibende Farbe des Lebensmittels erreicht werden. • ... Contra-Argumente: • Es kann zu Fehldeklarationen zulasten der Verbraucher kommen, indem eine Qualität vorgetäuscht wird, die nicht vorhanden ist. • Synthetische Farbstoffe wie Gelborange S stellen eine unnötige Gefährdung des Konsumenten dar. • ... ...oder alternative Argumentation			
Verteilung der insgesamt **30** Bewertungseinheiten auf die Anforderungsbereiche		**9**	**15**	**6**

Quellen

Bilder:

https://www.discounter-preisvergleich.de/Alaska-Seelachsschnitzel-Lachsersatz-EDEKA-7493.html (letzter Zugriff: Januar 2019)

http://journals.iucr.org/s/issues/2011/01/00/ys5057/index.html (letzter Zugriff: Januar 2019)

https://www.tu-braunschweig.de/Medien-DB/agnespockelslab/download/101023_carotin_lehrer-info_.pdf (letzter Zugriff: Januar 2019)

Informationen:

http://www.zusatzstoffe-online.de/zusatzstoffe/10.e110_gelborange_s.html (letzter Zugriff: Januar 2019)

http://www.experimentalchemie.de/versuch-038.htm (letzter Zugriff: Januar 2019)

Asselborn, W. et al.: Chemie heute, Lehrermaterialien SI/SII (Band 4), Schroedel Verlag, Braunschweig, 2012

Wambach, H. und Hilgers, U.: Materialien-Handbuch Kursunterricht Chemie (Band 10/II), Aulis Verlag, Köln, 2007

Wambach, H. und Hilgers, U.: Materialien-Handbuch Kursunterricht Chemie (Band 6), Aulis Verlag, Köln, 1999

Aufgabe 4 **Erwartungshorizont und Bewertung nach Anforderungsbereichen**

	Erwarteter Inhalt oder Lösungsskizze	Bewertung		
		I	II	III
4.1	Phenolphthalein gehört zu den Triphenylmethan-Farbstoffen. In der Spezies H_2Ind ist das zentrale C-Atom tetraedrisch von drei C-Atomen und einem O-Atom umgeben, so dass nur die drei Phenylringe drei isolierte, wenig ausgedehnte π-Elektronensysteme bilden. Die Absorption erfolgt daher im UV-Bereich und die Spezies ist farblos. Dies entspricht dem Absorptionsspektrum A. Bei Ind^{2-} liegt das zentrale C-Atom mit den Phenylringen in einer Ebene. Es liegt also ein ausgedehntes π-Elektronensystem vor, das schon im sichtbaren Bereich in Spektrum B bei ca. 540 nm angeregt werden kann. Daher erscheint die Spezies pink. Eine alternative Argumentation über konjugierte Doppelbindungen oder über die Hybridisierung mit dem Orbitalmodell ist auch möglich.	3	3	
4.2	Ammoniak ist im Gegensatz zu Natronlauge eine schwache Base und liegt daher in Lösung nur teilweise in NH_4^+ und OH^- dissoziiert vor, so dass die OH^--Ionen-Konzentration geringer ist als bei NaOH. Somit ist auch der pH-Wert zu Beginn der Titration bei NH_3 (pH ≈11) niedriger als bei NaOH (pH ≈13). Nach Zugabe von HCl sinkt der pH-Wert bei NH_3 zunächst stark bis sich ein Puffer aus NH_3 und NH_4^+ bildet. In diesem Bereich ändert sich der pH-Wert bei Zugabe von HCl nur wenig. Ist die Pufferkapazität erschöpft, sinkt der pH-Wert sprunghaft am Äquivalenzpunkt. Bei NaOH sinkt der pH-Wert zunächst nur wenig, bis am Äquivalenzpunkt alle OH^--Ionen mit den H_3O^+-Ionen der Salzsäure reagiert haben. Danach verlaufen beide Kurven gleich, da der pH-Wert nur noch durch die starke Säure HCl bestimmt wird. Phenolphthalein eignet sich nur für die Titration von Natronlauge mit Salzsäure, da nur dort der steile Bereich der Kurve mit dem Umschlagsbereich des Indikators zusammenfällt. Bei Ammoniaklösung würde der Indikator weit vor Erreichen des Äquivalenzpunktes umschlagen.	6	5	
4.3	geg: c_0 = 0,1 mol/L, V_0 = 10 mL, c(HCl) = 0,1 mol/L; pK_B = 4,7 Natronlauge zu Beginn der Titration: pH = 14 – pOH = 14 + log c_0 = 14 + log 0,1= 13 Ammoniaklösung zu Beginn der Titration: **Abbildung aus urheberrechtlichen Gründen entfernt** pH =14 – pOH = 14 – 2,85 = 11,15 Der pH-Wert ist ca. 5,3 am Äquivalenzpunkt. Er liegt im Sauren, da die gesamte Ammoniaklösung mit Salzsäure reagiert hat und am Äquivalenzpunkt nur noch Ammonium-Ionen und Chlorid-Ionen in wässriger Lösung vorliegen. Die Ammonium-Ionen reagieren mit Wasser und bilden dabei Oxoniumionen, die für die Lage des pH-Wertes im Sauren verantwortlich sind. **Abbildung aus urheberrechtlichen Gründen entfernt**		4	3
4.4	Pro:		3	3

	Phenolphthalein wurde fast 90 Jahre lang oral als Abführmittel eingenommen ohne dass eine Häufung von Krebs aufgefallen wäre. Bei Schülerversuchen kann man den Schülern zutrauen, dass sie weder im Labor essen, noch Chemikalien zu sich nehmen. Durch die Anwendung in Lösung wird Phenolphthalein nicht eingeatmet. Die Mengen, die in der Schule bei Versuchen eingesetzt werden, sind in der Regel sehr klein. Geht man davon aus, dass in einem Experiment 2 mL einer 0,5%-igen Lösung verwendet werden, entspricht dies weit weniger als der Menge, die in den Abführmitteln eingesetzt wurde. Selbst das Umwerfen einer 20 mL Flasche entspricht einer Exposition, die im Rahmen der Dosierung der damals eingenommenen Tabletten liegt. Außerdem sind Schüler in ihrer ganzen Schullaufbahn Phenolphthalein nur an wenigen Tagen ausgesetzt. Der Farbumschlag von Phenolphthalein ist sehr eindeutig, was bei anderen Indikatoren oft nicht der Fall ist. Daher ist der Versuch für die Schüler sehr eindrücklich. Contra: Die Schüler halten sich nicht immer an die Vorschriften beim Experimentieren. Dies kann Gefahren mit sich bringen. Eine orale Aufnahme ist durch den Verzehr des Pausenbrotes mit ungewaschenen Händen möglich. Sobald auch nur ein kleines Risiko besteht, sollte nicht mit karzinogenen und erbgutverändernden Stoffen gearbeitet werden und der Tierversuch zeigte, dass Phenolphthalein Tumore auslösen kann. Phenolphthalein kann auch leicht durch andere Indikatoren ersetzt werden, so dass man kein Risiko eingehen muss. Andere schlüssige Argumente sind möglich. Es sind jeweils zwei Argumente und eine eigene Wertung erforderlich.			
Verteilung der insgesamt **30** Bewertungseinheiten auf die Anforderungsbereiche		**9**	**15**	**6**

Quellen

Bilder:

Ramsden, E. N.: Detection and Analysis, Stanley Thornes Publishers Ltd, 1996, S.65.

https://www.darmol.com/ueber_darmol/ (letzter Zugriff: Januar 2019)

http://www.lte.lu/chimie/1GGE/Cours/02/zs/zs.htm (stark bearbeitet, letzter Zugriff: Januar 2019)

Informationen:

https://www.nytimes.com/1997/08/30/us/3-versions-of-ex-lax-are-recalled-after-fda-proposes-ban-on-ingredient.html (letzter Zugriff: Januar 2019)

https://www.pharmazeutische-zeitung.de/index.php?id=19157(letzter Zugriff: Januar 2019)

https://www.arznei-telegramm.de/html/1997_09/9709100_02.html (letzter Zugriff: Januar 2019)

https://monographs.iarc.fr/wp-content/uploads/2018/06/mono76-15.pdf (letzter Zugriff: Januar 2019)

https://www.britannica.com/science/phenolphthalein (letzter Zugriff: Januar 2019)

https://www.arbeitsschutz-schulen-nds.de/aktuelles-service/aktuelles/artikel/news/neue-risikobewertung-von-phenolphthalein/?cHash=c0c7fe4e6f49993ba323d894ff9ecf6c&tx _news_pi1%5Baction%5D=detail&tx_news_pi1%5Bcontroller%5D=News (letzter Zugriff: Januar 2019)

https://echa.europa.eu/documents/10162/1f29b212-4a70-40c0-94de-8dfce7791aa9 (letzter Zugriff: Januar 2019)

https://echa.europa.eu/documents/10162/13640/svhc_axvrep_echa_cmr_phenolphthalein_20110829_en.pdf (letzter Zugriff: Januar 2019)