

Aufgaben für das Abitur im Fach Chemie

Vorlage für Aufgaben und Erwartungshorizonte

Kurzbeschreibung

Aufgabentitel	Verschmutzung von Gewässern
Anforderungsniveau	erhöht
Inhaltsbereiche	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Chemische Reaktionen <ul style="list-style-type: none"> ◆ Protonenübergänge <ul style="list-style-type: none"> ◆ Säure-Base-Konzept nach Brønsted ◆ pH-Wert-Berechnungen wässriger Lösungen von Säuren und Basen ◆ Puffersysteme ◆ Gleichgewichtsreaktionen <ul style="list-style-type: none"> ◆ Chemisches Gleichgewicht ◆ Prinzip von Le Chatelier
Materialien	<ul style="list-style-type: none"> ◆ M 1 Fischsterben nach Ammoniak-Unfall ◆ M 2 Ausgewählte Daten zu Ammoniak und Ammonium-Ionen ◆ M 3 Anteil an Ammoniak bzw. Ammonium-Ionen in Abhängigkeit vom pH-Wert ◆ M 4 Gewässerreinigung
Quellenangaben	<ul style="list-style-type: none"> ◆ M 1: <ul style="list-style-type: none"> ◆ Elsberger, K. (22.02.2024). Fischsterben in Wolfach nach Ammoniak-Unfall: Strafbefehl gegen Mitarbeiter von Fremdfirma. https://www.pnp.de/lokales/landkreis-passau/fischsterben-in-der-wolfach-nach-ammoniak-unfall-strafbefehl-gegen-mitarbeiter-von-fremdfirma-erlassen-15492358 (Zugriff am: 29.05.2024) ◆ Tote Fische nach Ammoniak-Unfall. (29.06.2023). Süddeutsche Zeitung. https://www.sueddeutsche.de/bayern/bayern-polizei-ammoniak-wolfach-ortenburg-fische-zusammenhang-1.5980784 (Zugriff am: 09.06.2024) ◆ M 2: <ul style="list-style-type: none"> ◆ Ammoniak. (o. D.). Chemie.de. https://www.chemie.de/lexikon/Ammoniak.html ◆ Ammoniakwasser. (26.09.2024). Wikipedia. https://de.wikipedia.org/wiki/Ammoniakwasser (Zugriff am: 01.07.2024) ◆ Tabellensammlung Chemie/Thermodynamische Daten. (09.04.2024). Wikibooks. https://de.wikibooks.org/wiki/Tabellensammlung_Chemie/_Thermodynamische_Daten (Zugriff am 04.11.2024)

Profilfach Chemie
Thema: Säure-Base

	<ul style="list-style-type: none">◆ M 3:<ul style="list-style-type: none">◆ Dietz, R. (07.2022). <i>Aquatic Life Water Quality Standards for Ammonia: Draft Technical Support Document</i>. https://www.pca.state.mn.us/sites/default/files/wq-rule4-25b.pdf S.10 (Zugriff am: 06.09.2024)
Hilfsmittel	<ul style="list-style-type: none">◆ digitales Hilfsmittel, das mindestens die Funktionalität eines einfachen wissenschaftlichen Taschenrechners hat◆ mathematisch-naturwissenschaftliche Formelsammlung
fachpraktischer Anteil	ja <input type="checkbox"/> nein <input checked="" type="checkbox"/> Zeitzuschlag: —

1 Aufgabe

Verschmutzung von Gewässern

Die Verschmutzung von Gewässern mit Ammoniak durch anthropogene Einflüsse führt immer wieder zum Sterben von Fischen und belastet langfristig das ganze Ökosystem. Betrachtet werden Ursachen und Folgen.

	BE
<p>1 Erklären Sie das Vorgehen der Feuerwehr unter Anwendung der Säure-Base-Theorie nach Brönsted. (M 1, M 2).</p> <p>Formulieren Sie die Reaktionsgleichung für die ablaufende Reaktion (M 1, M 2).</p>	10
<p>2 Stellen Sie das Prinzip von Le Chatelier sowie den Einfluss der Konzentration und der Temperatur auf Gleichgewichtsreaktionen dar.</p> <p>Erklären Sie anhand von Material 3 die Rolle des pH-Werts auf die Lage des sich einstellenden Gleichgewichts beim Lösen von Ammoniak in Wasser.</p> <p>Erläutern Sie den Einfluss einer Temperaturänderung auf die Lage des Gleichgewichts (M 2).</p>	10
<p>3 Berechnen Sie das Volumen an Wasser (bei 20 °C), in dem sich das ausgetretene Ammoniak lösen kann (M 1, M 2).</p> <p>Bestimmen Sie rechnerisch den pH-Wert der Wolfach nach Einleitung des kontaminierten Wassers. Gehen Sie hier von der Annahme aus, dass das kontaminierte Wasser in 200 000 Liter Flusswasser eingeleitet wurde (M 2).</p>	8
<p>4 Nennen Sie die Zusammensetzung und die allgemeine Wirkungsweise von Puffern.</p> <p>Erklären Sie die Bedeutung des Carbonat-/Hydrogencarbonat-Puffers und des Pufferbereichs für Fließgewässer bei Verunreinigungen mit Ammoniak (M 4).</p>	4
<p>5 Beurteilen Sie, anhand von sechs Aspekten, positive und negative Folgen des Nitrifikationsprozesses für das Fließgewässer nach einer Verunreinigung mit Ammoniak (M 1, M 2, M 4).</p>	8

Quellen (ggf. verändert):

- [1] Elsberger, K. (22.02.2024). Fischsterben in Wolfach nach Ammoniak-Unfall: Strafbefehl gegen Mitarbeiter von Fremdfirma. <https://www.pnp.de/lokales/landkreis-passau/fischsterben-in-der-wolfach-nach-ammoniak-unfall-strafbefehl-gegen-mitarbeiter-von-fremdfirma-erlassen-15492358> (Zugriff am: 29.05.2024)
- [2] Tote Fische nach Ammoniak-Unfall. (29.06.2023). Süddeutsche Zeitung. <https://www.sueddeutsche.de/bayern/bayern-polizei-ammoniak-wolfach-ortenburg-fische-zusammenhang-1.5980784> (Zugriff am: 09.06.2024)
- [3] Ammoniak. (o. D.). Chemie.de. <https://www.chemie.de/lexikon/Ammoniak.html> (Zugriff am: 01.07.2024)
- [4] Ammoniakwasser. (26.09.2024). Wikipedia. <https://de.wikipedia.org/wiki/Ammoniakwasser> (Zugriff am: 01.07.2024)
- [5] Tabellensammlung Chemie/Thermodynamische Daten. (09.04.2024). Wikibooks. https://de.wikibooks.org/wiki/Tabellensammlung_Chemie/_Thermodynamische_Daten (Zugriff am 04.11.2024)
- [6] Dietz, R. (07.2022). Aquatic Life Water Quality Standards for Ammonia: Draft Technical Support Document. <https://www.pca.state.mn.us/sites/default/files/wq-rule4-25b.pdf> S.10 (Zugriff am: 06.09.2024)

2 Material

Material 1: Fischsterben nach Ammoniak-Unfall [1], [2]

Als Folge eines Unfalls bei einem Tierfutterbetrieb in der Nähe von Passau kam es im Juni 2023 im angrenzenden Fluss Wolfach zu einem großen Fischsterben.

Ursache war ein Leck an einer Ammoniak-Gasleitung. Das austretende Gas wurde von der Feuerwehr mit Wasser aus Wasserkanonen gebunden. Dieses kontaminierte Wasser gelangte dann in die nahegelegene Wolfach. Die Menge des ausgetretenen Ammoniaks wurde mit 800 kg angegeben.

Material 2: Ausgewählte Daten zu Ammoniak und Ammonium-Ionen [3] - [5]

Ausgewählte Daten zu Ammoniak:
$pK_B: 4,79$
Letalität für Fische: $w \geq 1 \frac{mg}{L}$ (Letalität: Grenzwert, der für ausgewachsene Fische tödlich ist.)
Ausgewählte Daten zu Ammonium-Ionen:
Standardbildungsenthalpie: $\Delta_f H^0 = -132,6 \frac{kJ}{mol}$

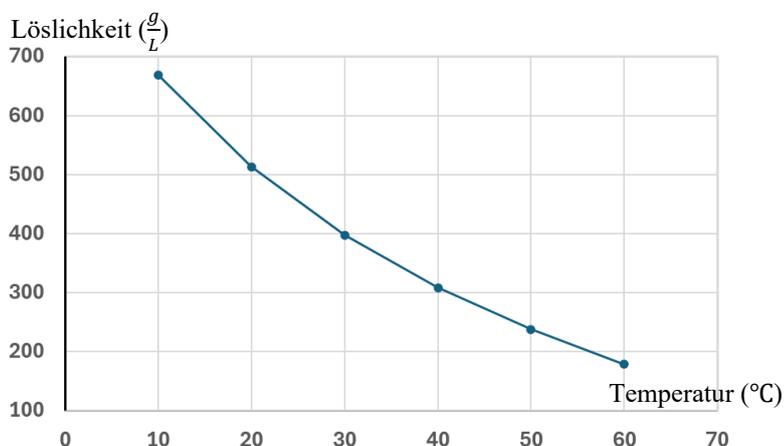


Abb.1: Löslichkeit von Ammoniak in Wasser ($\frac{g}{L}$) in Abhängigkeit von der Temperatur (°C)

Material 3: Anteil an Ammoniak bzw. Ammonium-Ionen in Abhängigkeit vom pH-Wert [6]

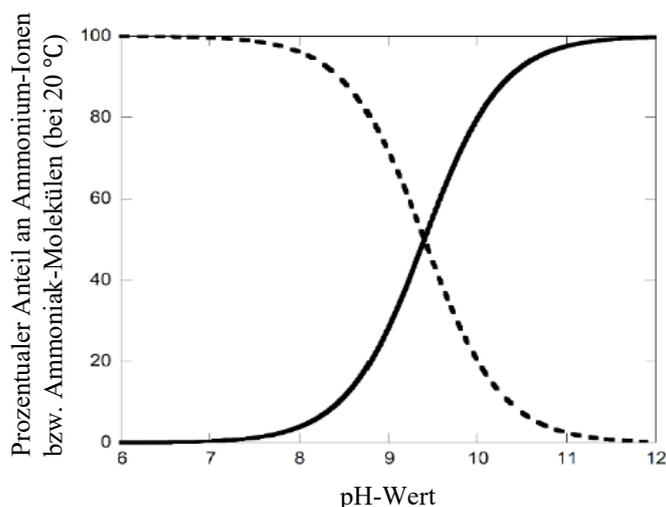


Abb.2: Zusammenhang zwischen der Ammonium-Ionen- (-----) bzw. der Ammoniakkonzentration (—) und dem pH-Wert

Material 4: Gewässerreinigung

Die Ökosysteme von Fließgewässern und Seen sind sehr empfindlich. Schon geringe Veränderungen der vorherrschenden Parameter (pH-Wert, Sauerstoffgehalt, Temperatur, ...) können die Artenzusammensetzung und das Nahrungsnetz massiv stören.

Der sogenannte „natürliche Selbstreinigungsprozess“ eines Gewässers setzt dann ein, wenn das Gewässer zum Beispiel durch Ammoniak verunreinigt ist. Zu diesem Prozess gehören unter anderem Puffer und Nitrifikanten (Ammonium-Oxidierer und Nitrit-Oxidierer).

Puffer:

Durch das umgebende Gestein liegen im Fließgewässer Hydrogencarbonat-Ionen (HCO_3^-) und Carbonat-Ionen (CO_3^{2-}) vor. Damit bildet sich ein Carbonat-/Hydrogencarbonat-Puffer, der in einem pH-Bereich von 6,2-8,6 puffert.

Nitrifikation:

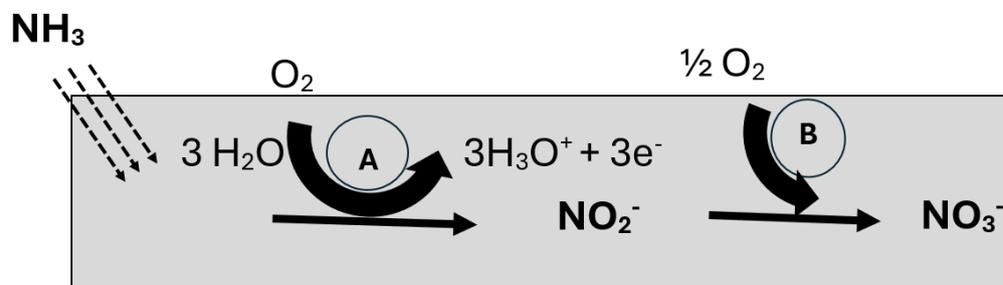


Abb. 3: Nitrifikation im Gewässer durch Ammonium-Oxidierer (A) und Nitrit-Oxidierer (B); Der Sauerstoffbedarf der Nitrifikation entspricht 4,5 mg Sauerstoff für 1 mg Ammoniak. Die zwischenzeitlich gebildeten Nitrit-Ionen sind bei niedrigem pH-Wert für höhere Organismen giftig. Die gebildeten Nitrat-Ionen sind ungiftig und können von den Organismen als Stickstoffquelle genutzt werden.

Profilfach Chemie
Thema: Säure-Base

3 Erwartungshorizont

Der Erwartungshorizont stellt für jede Teilaufgabe eine mögliche Lösung dar. Nicht dargestellte korrekte Lösungen sind als gleichwertig zu akzeptieren.

		BE/AFB		
		I	II	III
1	<u>Säure-Base-Theorie nach Brönsted:</u>	4		
	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Säuren fungieren als Protonendonatoren. ◆ Säuren reagieren mit Wasser-Molekülen unter Ausbildung von Oxonium-Ionen. ◆ Basen fungieren als Protonenakzeptoren. ◆ Basen reagieren mit Wasser-Molekülen unter Ausbildung von Hydroxid-Ionen. 			
	<u>Erklärung des Vorgehens der Feuerwehr:</u>			
<ul style="list-style-type: none"> ◆ Gasförmiges Ammoniak ist gut in Wasser löslich. ◆ Ammoniak-Moleküle fungieren während der Reaktion mit Wasser-Molekülen als Brönsted-Basen. ◆ Wasser-Moleküle fungieren als Brönsted-Säure. ◆ Entstehende Ammonium-Ionen werden in Wasser gelöst. 	4			
	<u>Aufstellen der Reaktionsgleichung:</u>			
	$\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{NH}_4^+ + \text{OH}^-$		2	
2	<u>Darstellung Prinzip von Le Chatelier:</u>	3		
	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Nach dem Prinzip von Le Chatelier weicht ein im Gleichgewicht befindliches System einem äußeren Zwang so aus, dass der Zwang minimiert wird. ◆ Eine Konzentrationserhöhung auf Seite der Edukte führt zu einer Verschiebung des Gleichgewichts auf die Seite der Produkte (und umgekehrt). ◆ Eine Temperaturerhöhung führt bei exothermen Reaktionen zu einer Verschiebung des Gleichgewichts auf die Seite der Edukte (und umgekehrt). 			
	<u>Erklärung – Einfluss des pH-Werts auf die Lage des Gleichgewichts:</u>			
	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Es liegt hier eine Gleichgewichtsreaktion zwischen Ammoniak-Molekülen und Wasser-Molekülen mit Ammonium-Ionen und Hydroxid-Ionen vor. ◆ Mit zunehmendem Gehalt an Hydroxid-Ionen steigt der pH-Wert an. ◆ Eine Erhöhung der Hydroxid-Ionen führt zu einer Verschiebung des Gleichgewichts auf die Seite der Ammoniak-Moleküle. ◆ Eine Erniedrigung des pH-Werts verschiebt die Lage des Gleichgewichts auf die Seite der Ammonium-Ionen. 			
<u>Erläuterung - Einfluss der Temperatur auf die Lage des Gleichgewichts:</u>				
	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Die Standardbildungsenthalpie ist negativ. Es handelt sich um eine exotherme Reaktion. 		3	

Profilfach Chemie
Thema: Säure-Base

	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Eine Temperaturerhöhung führt zu einer Erhöhung der Konzentration an Ammoniak-Molekülen. ◆ Eine Temperaturerniedrigung fördert die Bildung von Ammonium-Ionen. 			
3	<p><u>Berechnung des benötigten Volumens an Wasser zur Bindung des Ammoniaks:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ◆ Ablesen der Löslichkeit von Ammoniak bei 20 °C: $514 \frac{g}{L}$ (Toleranz bei Werten zwischen 500 und $540 \frac{g}{L}$) $\text{Volumen (Wasser)} = \frac{m(\text{Ammoniak})}{\text{Löslichkeit (Ammoniak)}} = \frac{800000 \text{ g}}{514 \frac{g}{L}}$ $= 1556,4 \text{ L}$ <p><u>Berechnung des pH-Werts des Flusswassers:</u></p> $pH = 14 - pOH$ $pH = 14 - \frac{1}{2} \cdot [pK_B - \lg(c_0(NH_3))]$ <ul style="list-style-type: none"> ◆ Berechnung der molaren Masse: $M(NH_3) = M(N) + 3 \cdot M(H) = 14 \frac{g}{mol} + 3 \cdot 1 \frac{g}{mol} = 17 \frac{g}{mol}$ ◆ Berechnung der Stoffmenge: $n = \frac{m}{M}$ $= \frac{800\,000 \text{ g}}{17 \frac{g}{mol}} = 47058,8 \text{ mol} = 47058,8 \text{ mol}$ ◆ Berechnung der Konzentration von NH_3: $c = \frac{n}{V} = \frac{47\,058,8 \text{ mol}}{(200\,000 \text{ L} + 1\,478,7 \text{ L})} = 0,23 \frac{mol}{L}$ <p><u>Berechnung des pH-Wertes (entsprechend der oben berechneten Konzentration):</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ◆ $pH = 14 - \frac{1}{2} \cdot [4,79 - \lg(0,23 \frac{mol}{L})] = 11,28$ 	1	1	1
4	<p><u>Nennung der Zusammensetzung und der Wirkungsweise von Puffern:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ◆ Ein Puffersystem besteht aus einer schwachen Brönsted-Säure bzw. Brönsted-Base und ihrer korrespondierenden Base bzw. Säure. ◆ Puffer halten den pH-Wert in einem gewissen pH-Bereich konstant, indem sie mit Oxonium- bzw. Hydroxid-Ionen reagieren. <p><u>Erklärung der Bedeutung des Carbonat-/Hydrogencarbonat-Puffers bei Verunreinigung mit Ammoniak:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ◆ Die als Folge der Verunreinigung mit Ammoniak gebildeten Hydroxid-Ionen können mit den Hydrogencarbonat-Ionen reagieren. Es kommt zu einer Neutralisationsreaktion. ◆ Eine Stabilisierung des pH-Werts im Bereich bis 8,6 sorgt dafür, dass der Großteil der Ammoniak-Moleküle als ungiftige Ammonium-Ionen vorliegt. 	2	1	1

Profilfach Chemie
Thema: Säure-Base

5	<p><u>Beurteilung:</u> <u>Positive Folgen:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ◆ Das giftige Ammoniak wird zu ungiftigem Nitrat abgebaut. ◆ Das gebildete Nitrat kann von Organismen als Stickstoffquelle genutzt werden. ◆ Die im Verlauf der Nitrifikation gebildeten Oxonium-Ionen senken den pH-Wert. Dies wirkt der Erhöhung des pH-Werts durch das vorangegangene Lösen von Ammoniak entgegen. <p><u>Negative Folgen der Nitrifikation:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ◆ Das Lösen von größeren Mengen an Ammoniak in Wasser kann zu einer Temperaturerhöhung führen und sich negativ auf temperatursensible Organismen auswirken. ◆ Die Nitrifikation ist ein sauerstoffzehrender Prozess, der zu Sauerstoffmangel im Gewässer führen kann. ◆ Im Verlauf der Nitrifikation wird Nitrit gebildet. Sowohl Ammoniak als auch Nitrit sind für Organismen des Fließgewässers giftig. <p><u>Fazit:</u> Durch den Prozess der Nitrifikation wird giftiges Ammoniak auf natürliche Weise abgebaut und der pH-Wert stabilisiert. Das gelingt nur bei kleineren Mengen an Ammoniak gut. Bei zu großen Mengen an Ammoniak ist der Sauerstoffverbrauch durch die Nitrifikation so hoch, dass Organismen geschädigt werden.</p>	1	5
		2	
	Summe¹	13	19
		8	

¹ Bei jeder Aufgabe liegen die Anzahlen der Bewertungseinheiten – abhängig vom Anforderungsniveau – in den Bereichen, die der folgenden Tabelle zu entnehmen sind:

Anforderungsniveau	erhöht			grundlegend		
Anforderungsbereich	I	II	III	I	II	III
Anzahl der BE	11 - 13	17 - 21	8 - 10	10 - 12	13 - 16	4 - 6

4 Standardbezug²

Teilaufgabe	Kompetenzbereich			
	S	E	K	B
1	2, 16		9,10	
2	7, 8	8	2	14
3	10, 17	8	8	
4	10	8	8	1, 6

5 Bewertungshinweise

Die Bewertung der erbrachten Prüfungsleistungen hat sich für jede Teilaufgabe nach der am rechten Rand der Aufgabenstellung angegebenen Anzahl maximal erreichbarer Bewertungseinheiten (BE) zu richten.

Für die Bewertung der Gesamtleistung eines Prüflings ist ein Bewertungsraster³ vorgesehen, das angibt, wie die in den drei Prüfungsteilen insgesamt erreichten Bewertungseinheiten in Notenpunkte umgesetzt werden.

² Zu jeder Teilaufgabe sind zu jedem Kompetenzbereich die Nummern der Standards gemäß *Bildungsstandards für das Fach Biologie/Chemie/Physik für Allgemeine Hochschulreife* zu nennen, die zur Bearbeitung der Aufgabe erforderlich sind.

³ Das Bewertungsraster ist Teil des Dokuments „Beschreibung der Struktur“, das auf den Internetseiten des IQB zum Download bereitsteht.