

Gemeinsame Aufgabenpools der Länder

Pool für das Jahr 2025

Aufgaben für das Fach Chemie

Kurzbeschreibung

Aufgabentitel	Mit Benzoesäure konservierte Nordseekrabben
Anforderungsniveau	grundlegend
Inhaltsbereiche	♦ Stoffe, Strukturen, Eigenschaften ♦ Verbindungen mit funktionellen Gruppen ♦ Hydroxy-, Carbonyl-, Carboxy-, Estergruppe ♦ Chemische Reaktionen ♦ Protonenübergänge ♦ Säure-Base-Konzept nach Brönsted ♦ Säure-Base-Konstanten ♦ Arbeitsweisen ♦ Quantitative und instrumentelle Analyse ♦ Säure-Base-Titration (mit Umschlagspunkt)
Materialien	♦ M 1 Benzoesäure ♦ M 2 Benzoesäure in Nordseekrabben ♦ M 3 Parabene
Quellenangaben	♦ M 1 ♦ <i>Benzoesäure</i> (o. D.). Chemie. https://www.chemie.de/lexikon/Benzoes%C3%A4ure.html (Zugriff am: 27.09.2023) ♦ M 2 ♦ <i>Leitlinien zur Verringerung des Potentials der Benzolbildung in Getränken</i> (o. D.). ICBA. https://www.icba-net.org/files/resources/benzene-german.pdf (Zugriff am: 27.09.2023) ♦ <i>Verordnung - 2015/538</i> (o. D.). EUR-Lex. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX%3A32015R0538&qid=1711096342921 (Zugriff am: 28.11.2023) ♦ <i>Gesetzliche Regelungen für die Verwendung von Zusatzstoffen</i> (o. D.). BVL. https://www.bvl.bund.de/DE/Arbeitsbereiche/01_Lebensmittel/04_AntragstellerUnternehmen/04_Zusatzstoffe/Im_zusatzstoffe_Zulassung_node.html (Zugriff am: 27.11.2023)

	♦ European Food Safety Authority (EFSA) (2016). Scientific Opinion on the re-evaluation of benzoic acid (E 210), sodium benzoate (E 211), potassium benzoate (E 212) and calcium benzoate (E 213) as food additives. <i>EFSA Journal</i>, 14(3). https://doi.org/10.2903/j.efsa.2016.4433 (Zugriff am: 27.09.2023) ♦ M 3 ♦ <i>Bekanntmachung des Umweltbundesamtes: Stoffmonographie für Parabene – Referenzwerte für Parabene im Urin von Erwachsenen</i> (2014). Umweltbundesamt. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/dokumente/art_10.1007_s00103-014-2055-8.pdf (Zugriff am: 13.09.2023)
Hilfsmittel	♦ digitales Hilfsmittel, das mindestens die Funktionalität eines WTR hat ♦ mathematisch-naturwissenschaftliche Formelsammlung
fachpraktischer Anteil	nein

1 Aufgabe

Mit Benzoesäure konservierte Nordseekrabben

Benzoesäure ist ein häufig verwendeter Konservierungsstoff mit der europäischen Zulassungsnummer E 210. Sie wird verwendet für die Haltbarmachung verschiedener Lebensmittel, wie z. B. Feinkostsalaten, Mayonnaisen und Nordseekrabben.

	BE
1 Erläutern Sie anhand der Reaktionsgleichung für die Reaktion von Benzoesäure mit Wasser das Säure-Base-Konzept nach Brönsted (M 1). Erklären Sie die Herstellung von Benzoesäure im Labor durch die Betrachtung der Säurestärken (M 1).	8
2 Beschreiben Sie das Prinzip der Säure-Base-Titration unter Verwendung eines pH-Indikators (M 2). Berechnen Sie die Gesamtmasse der Benzoesäure in der in Material 2 genannten Portion Nordseekrabben (M 2). Beurteilen Sie, ob die Nordseekrabben aus der Probe für den Verzehr geeignet sind (M 2).	10
3 Geben Sie die Reaktionsgleichung zur hydrolytischen Spaltung von 4-Hydroxybenzoesäuremethylester an (M 3). Stellen Sie eine Hypothese zur unterschiedlichen Wasserlöslichkeit von 4-Hydroxybenzoesäuremethylester und 4-Hydroxybenzoesäure auf (M 3).	7
4 Diskutieren Sie anhand von vier Argumenten, ob Benzoesäure und Parabene zur Verwendung als Konservierungsstoff geeignet sind (M 2, M 3).	5

Quellen (ggf. verändert):

- [1] *Benzoesäure* (o. D.). Chemie. <https://www.chemie.de/lexikon/Benzoes%C3%A4ure.html> (Zugriff am: 27.09.2023)
- [2] *Leitlinien zur Verringerung des Potentials der Benzolbildung in Getränken* (o. D.). ICBA. <https://www.icba-net.org/files/resources/benzene-german.pdf> (Zugriff am: 27.09.2023)
- [3] Verordnung - 2015/538 - EN - EUR-LEX. (o. D.). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX%3A32015R0538&qid=1711096342921> (Zugriff am: 28.11.2023)
- [4] *Gesetzliche Regelungen für die Verwendung von Zusatzstoffen* (o. D.). BVL. https://www.bvl.bund.de/DE/Arbeitsbereiche/01_Lebensmittel/04_AntragstellerUnternehmen/04_Zusatzstoffe/lm_zusatzstoffe_Zulassung_node.html (Zugriff am: 27.11.2023)
- [5] European Food Safety Authority (EFSA) (2016). Scientific Opinion on the re-evaluation of benzoic acid (E 210), sodium benzoate (E 211), potassium benzoate (E 212) and calcium benzoate (E 213) as food additives. *EFSA Journal*, 14(3). <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2016.4433> (Zugriff am: 27.09.2023)
- [6] *Bekanntmachung des Umweltbundesamtes: Stoffmonographie für Parabene – Referenzwerte für Parabene im Urin von Erwachsenen* (2014). Umweltbundesamt. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/dokumente/art_10.1007_s00103-014-2055-8.pdf (Zugriff am: 13.09.2023)

2 Material

Material 1: Benzoesäure [1]

Im Labor kann Benzoesäure durch Zugabe von Salzsäure zu Natriumbenzoat hergestellt werden. Benzoate sind Salze der Benzoesäure.



Abb. 1: Strukturformel eines Benzoesäure-Moleküls

Der pK_s -Wert von Benzoesäure beträgt 4,2.

Material 2: Benzoesäure in Nordseekrabben [2] - [5]

Nordseekrabben werden häufig mit Benzoesäure konserviert. Sie wird Lebensmitteln nicht nur als Konservierungsstoff zugesetzt, sondern kommt auch natürlich in einigen Lebensmitteln (vor allem im Beerenobst) vor. Benzoesäure kann bei empfindlichen Menschen allergische Reaktionen auslösen. Das Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR) wies zudem kürzlich auf eine mögliche Bildung von geringen Mengen giftigen Benzens aus Benzoesäure in Verbindung mit Ascorbinsäure (Vitamin C) in Erfrischungs- und Fruchtsäften hin.

Die Zulassung von Zusatzstoffen in Lebensmitteln ist innerhalb der EU einheitlich geregelt. Es wird u. a. festgelegt, welche Lebensmittelzusatzstoffe in welchen Lebensmitteln und in welcher Menge zugelassen sind. Für gekochte Krebs- und Weichtiere wie Nordseekrabben beträgt die zulässige Höchstmenge 1.000 mg Benzoesäure pro Kilogramm Lebensmittel.

Um zu überprüfen, wie hoch der Gehalt an Benzoesäure eines Lebensmittels ist, wird durch Titration die Stoffmengenkonzentration bestimmt. Bei festen Lebensmitteln muss vorher eine Extraktion der Benzoesäure durchgeführt werden. Vereinfacht wird dabei davon ausgegangen, dass Benzoesäure vollständig aus dem Lebensmittel extrahiert wird und keine weiteren Säuren in dem Extrakt vorhanden sind.

Die Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit (englisch: European Food Safety Authority, EFSA) ist eine Agentur der Europäischen Union, die wissenschaftliche Beratung zu Risiken von Lebensmitteln leistet und über diese informiert. Sie schätzt eine tägliche Aufnahme von bis zu fünf Milligramm Benzoesäure pro Kilogramm Körpergewicht als gesundheitlich unbedenklich ein.

Experiment

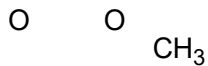
Aus einer Portion von 750 g Nordseekrabben wurden 50 mL eines Gesamtextraktes gewonnen. 10 mL davon wurden mit einer Natronlauge der Stoffmengenkonzentration $c(\text{NaOH}) = 0,1 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$ titriert. Es wurden 23 mL Maßlösung bis zum Erreichen des Äquivalenzpunktes verbraucht.

Die molare Masse der Benzoesäure beträgt: $M(\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}) = 122,1 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$.

Material 3: Parabene [6]

„Parabene“ ist eine Sammelbezeichnung für 4-Hydroxybenzoesäure und deren Salze und Ester. Sie kommen natürlicherweise in vielen genutzten Pflanzen vor, wie z. B. Karotten und Heidelbeeren.

Parabene verfügen, wie die chemisch verwandte Benzoesäure, über eine antimikrobielle Wirkung. Daher werden die Ester in Kosmetika und bestimmten Lebensmitteln als Konservierungsstoff eingesetzt. Der Methyl- und der Ethylester der 4-Hydroxybenzoesäure sind die einzigen in Lebensmitteln als Konservierungsstoff zugelassenen Zusatzstoffe aus dieser Stoffklasse.



OH

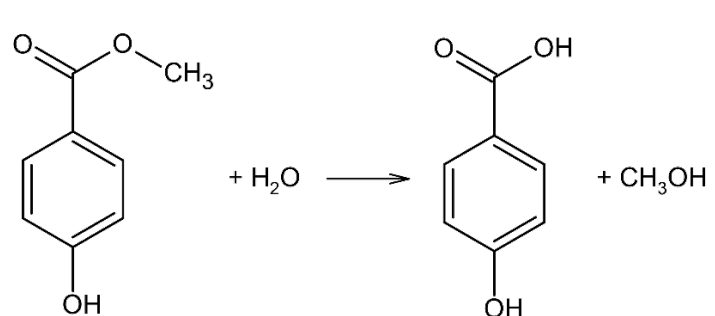
Abb. 2: Strukturformel eines 4-Hydroxybenzoesäuremethylester-Moleküls

Bei sehr hohen Dosierungen der Parabene werden Symptome akuter Toxizität beobachtet. Sie sind für alle Parabene ähnlich und zeigen sich in unkontrollierten Bewegungen, Lähmungserscheinungen und verminderten neurologischen Funktionen. Diese Symptome gehen schnell zurück. Man nimmt an, dass sie durch die freie 4-Hydroxybenzoesäure hervorgerufen werden, die durch eine rasche enzymatische Spaltung der Ester im Körper entsteht. Im Labor kann man 4-Hydroxybenzoesäureester auch ohne Enzyme hydrolytisch spalten.

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>Erläuterung des Säure-Base-Konzepts nach Brönsted:</u> - Das Benzoessäure-Molekül ist eine Brönsted-Säure, weil es ein Proton abgibt (Protonendonator). - Das Wasser-Molekül ist eine Brönsted-Base, weil es ein Proton aufnimmt (Protonenakzeptor). - Insgesamt handelt es sich um eine Protonen-Übertragungsreaktion. <u>Reaktionsgleichung:</u> $\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{C}_6\text{H}_5\text{COO}^- + \text{H}_3\text{O}^+$ <u>Erklärung der Herstellung von Benzoessäure im Labor durch Betrachtung der Säurestärken:</u> $\text{p}K_{\text{S}}(\text{HCl}) < \text{p}K_{\text{S}}(\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH})$ - Benzoessäure-Moleküle sind die schwächeren Säuren. - Die stärkere Säure verdrängt die schwächere Säure aus ihrem Salz. - Durch die Zugabe von Salzsäure werden somit die Benzoat-Moleküle protoniert und Benzoessäure-Moleküle entstehen.	2	1	
			1	
			3	1
2	<u>Beschreibung des Prinzips der Säure-Base-Titration:</u> - Bei einer Säure-Base-Titration wird die Stoffmengenkonzentration einer Säure in einer Probelösung durch Zugabe einer Lauge bekannter Stoffmengenkonzentration (Maßlösung) bestimmt. - Der Titration zugrunde liegt die Neutralisationsreaktion. Im Äquivalenzpunkt haben Säure und Base entsprechend der Reaktionsgleichung im stöchiometrischen Verhältnis reagiert. - Der Äquivalenzpunkt wird durch den Farbumschlag eines geeigneten pH-Indikators bestimmt. <u>Berechnung der Gesamtmasse der Benzoessäure:</u> - Berechnung der Stoffmenge: Stoffmengenverhältnis ableiten: $n(\text{NaOH}) = n(\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH})$ $n(\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}) = c(\text{Natronlauge}) \cdot V(\text{Natronlauge})$ $= 0,1 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \cdot 0,023 \text{ L}$ $= 2,3 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$ - Für $V(\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}) = 50 \text{ mL}$ gilt: $n(\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}) = 1,15 \cdot 10^{-2} \text{ mol}$ im Krabbenextrakt	3		
			1	
			2	
		1		

	♦ Berechnung der Gesamtmasse: $m = n \cdot M$ $= 1,15 \cdot 10^{-2} \text{ mol} \cdot 122,1 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$ $= 1,40 \text{ g}$ <u>Beurteilung des Ergebnisses:</u> ♦ In einer Portion von 750 g dürfen laut zugelassener Höchstmenge (1000 mg pro kg Krabben) maximal 750 mg enthalten sein. 1,40 g ist somit ein zu hoher Wert. ♦ Sachurteil: Eine solche Portion darf daher nicht in den Verkauf gelangen bzw. verzehrt werden.	1		
3	<u>Reaktionsgleichung zur Spaltung von 4-Hydroxybenzoesäuremethylester:</u>  <u>Hypothese zur unterschiedlichen Wasserlöslichkeit:</u> ♦ Das 4-Hydroxybenzoesäure-Molekül kann aufgrund der Hydroxygruppe und der Carboxygruppe zu Wasser-Molekülen Wasserstoffbrücken ausbilden. ♦ Das Ester-Molekül besitzt statt der Carboxygruppe eine Estergruppe. ♦ Dadurch können weniger Wasserstoffbrücken ausgebildet werden. ♦ <u>Hypothese:</u> 4-Hydroxybenzoesäuremethylester ist schlechter wasserlöslich als Hydroxybenzoesäure.	1	2	
4	<u>Diskussion zur Verwendung von Benzoesäure und Parabenen als Konservierungsstoff anhand von vier Argumenten:</u> ♦ Pro-Argumente: ♦ Die Lebensmittel halten länger. ♦ Konservierungsstoffe sind sinnvoll, denn die beim Verderben der Lebensmittel entstehenden Stoffe könnten ebenfalls schädlich sein. ♦ Lebensmittelkontrollen machen eine schädliche Wirkung unwahrscheinlich. ♦ Contra-Argumente: ♦ Benzoesäure kann bei empfindlichen Menschen zu allergischen Reaktionen führen. Bei sehr hohen Dosierungen der Parabene kann es zu Symptomen akuter Toxizität kommen. ♦ Bei der Spaltung von 4-Hydroxybenzoesäuremethylester im Körper entsteht giftiges Methanol. ♦ Fazit	1		1
		1		1
				1

	Summe¹	10	15	5
--	--------------------------	-----------	-----------	----------

4 Standardbezug²

Teilaufgabe	Kompetenzbereich			
	S	E	K	B
1	7, 9, 16		10	
2	17		9	7
3	2, 16	3	10	3
4			5	1, 5

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.

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

² Zu jeder Teilaufgabe sind zu jedem Kompetenzbereich die Nummern der Standards gemäß den Bildungsstandards im Fach Chemie für die Allgemeine Hochschulreife genannt, 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.