

Gemeinsame Aufgabenpools der Länder

Pool für das Jahr 2025

Aufgaben für das Fach Chemie

Kurzbeschreibung

Aufgabentitel	E 338 – ein vielfach verwendeter Lebensmittelzusatzstoff
Anforderungsniveau	grundlegend
Inhaltsbereiche	♦ Chemische Reaktionen ♦ Protonenübergänge ♦ Säure-Base-Konzept nach Brönsted ♦ Säure-Base-Konstanten ♦ Elektronenübergänge ♦ Redoxreaktionen als Elektronenübergang ♦ Arbeitsweisen ♦ Quantitative und instrumentelle Analyse ♦ Säure-Base-Titration (mit Umschlagspunkt)
Materialien	♦ M 1 Phosphorsäure ♦ M 2 Bestimmung der Stoffmengenkonzentration der Phosphorsäure in Cola ♦ M 3 Phosphorsäure, Phosphate und unsere Gesundheit
Quellenangaben	♦ M 1 ♦ Holleman, A. F., Wiberg, E., Wiberg, N. (2007). Phosphorsäure. In N. Wiberg (Hrsg.), <i>Anorganische Chemie</i> (102. Aufl., S.795–804). De Gruyter. ♦ E 338 – <i>Phosphorsäure</i> (o. D.). Lebensmittel-Warenkunde. https://lebensmittel-warenkunde.de/lebensmittelzusatzstoffe/saeuerungsmittel-saeureregulatoren/e338-phosphorsaeure.html (Zugriff am: 03.06.2022) ♦ M 2 <i>Bestimmung des Gehalts von Phosphorsäure in einem Cola-Getränk</i> (o. D.). Leybold. https://www.ld-didactic.de/documents/en-US/EXP/C/C3/C3642_d.pdf (Zugriff am: 28.03.2024) ♦ M 3 ♦ Ritz, E., Hahn, K., Ketteler, M., Kuhlmann, M. & Mann, J. (2012, 27. Januar). <i>Gesundheitsrisiko durch Phosphatzusätze</i>

	<i>in Nahrungsmitteln</i>. Deutsches Ärzteblatt. https://www.aerzteblatt.de/archiv/119315/Gesundheitsrisiko-durch-Phosphatzusätze-in-Nahrungsmitteln (Zugriff am: 28.03.2024) ♦ <i>EFSA veröffentlicht neue Empfehlungen zu Phosphaten</i> (2019, 12. Juni). Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit. https://www.efsa.europa.eu/de/press/news/190612 (Zugriff am: 21.11.2023) ♦ Grönemeyer, D. (o. D.). <i>Phosphathaltige Lebensmittel</i>. Dietrich Grönemeyer. https://dietrich-groenemeyer.com/gesundheitswelt/ernaehrung/phosphathaltige-lebensmittel/ (Zugriff am: 31.03.2024)
Hilfsmittel	♦ digitales Hilfsmittel, das mindestens die Funktionalität eines WTR hat ♦ mathematisch-naturwissenschaftliche Formelsammlung
fachpraktischer Anteil	nein

1 Aufgabe

E 338 – ein vielfach verwendeter Lebensmittelzusatzstoff

Bei dem Lebensmittelzusatzstoff E 338 handelt es sich um Phosphorsäure, die in einigen Lebensmitteln als Säuerungs- und Konservierungsmittel enthalten ist. Doch seit einigen Jahren kommen Zweifel hinsichtlich der Unbedenklichkeit des ungebremsen Konsums an Phosphorsäure und ihren Salzen auf.

	BE
1 Formulieren Sie die Reaktionsgleichungen für die Herstellung von Phosphorsäure aus Phosphor (M 1). Begründen Sie für eine der beiden Reaktionen, dass es sich um eine Elektronenübertragungsreaktion handelt.	6
2 Formulieren Sie die Reaktionsgleichungen der ersten beiden Protolysestufen des Phosphorsäure-Moleküls im wässrigen Medium (M 1). Erläutern Sie das Säure-Base-Konzept nach Brönsted am Beispiel einer der Protolysestufen (M 1). Erläutern Sie den Begriff „Ampholyt“ am Beispiel des Dihydrogenphosphat-Ions (M 1).	8
3 Begründen Sie die Notwendigkeit des Erhitzens der Cola-Probe vor der Titration (M 2). Planen Sie einen Nachweis für das ausgetriebene Gas und geben Sie die zu erwartende Beobachtung an. Formulieren Sie dazu die Reaktionsgleichung (M 2). Berechnen Sie die Masse an Phosphor, die in 1 L der untersuchten Cola-Probe in Form von Phosphaten enthalten ist (M 2).	10
4 Beurteilen Sie, ob ein Jugendlicher mit einem Körpergewicht von 60 kg durch das tägliche Trinken von einem Liter der untersuchten Cola mit gesundheitlichen Gefahren durch die Aufnahme von Phosphor in Verbindungen rechnen muss (M 2, M 3). <i>Hinweis: Sollte die Berechnung in Aufgabe 3 kein Ergebnis liefern, gehen Sie von folgendem Ersatzwert aus: Masse an Phosphor $m = 0,186 \text{ g}$.</i>	3
5 Diskutieren Sie anhand von zwei Argumenten, ob der Phosphatgehalt auf Lebensmittelverpackungen gekennzeichnet werden soll.	3

Quellen (ggf. verändert):

- [1] Holleman, A. F., Wiberg, E., Wiberg, N. (2007). Phosphorsäure. In N. Wiberg (Hrsg.), *Anorganische Chemie* (102. Aufl., S.795–804). De Gruyter.
- [2] E 338 – Phosphorsäure (o. D.). Lebensmittel-Warenkunde. <https://lebensmittel-warenkunde.de/lebensmittelzusatzstoffe/saeuerungsmittel-saeuereregulatoren/e338-phosphorsaure.html> (Zugriff am: 03.06.2022)
- [3] Bestimmung des Gehalts von Phosphorsäure in einem Cola-Getränk (o. D.). Leybold. https://www.ld-didactic.de/documents/en-US/EXP/C/C3/C3642_d.pdf (Zugriff am: 28.03.2024)
- [4] Ritz, E., Hahn, K., Ketteler, M., Kuhlmann, M. & Mann, J. (2012, 27. Januar). *Gesundheitsrisiko durch Phosphatzusätze in Nahrungsmitteln*. Deutsches Ärzteblatt. <https://www.aerzteblatt.de/archiv/119315/Gesundheitsrisiko-durch-Phosphatzusaeetze-in-Nahrungsmitteln> (Zugriff am: 28.03.2024)
- [5] EFSA veröffentlicht neue Empfehlungen zu Phosphaten (2019, 12. Juni). Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit. <https://www.efsa.europa.eu/de/press/news/190612> (Zugriff am: 21.11.2023)
- [6] Grönemeyer, D. (o. D.). Phosphathaltige Lebensmittel. Dietrich Grönemeyer. <https://dietrich-groenemeyer.com/gesundheitswelt/ernaehrung/phosphathaltige-lebensmittel/> (Zugriff am: 31.03.2024)

2 Material

Material 1: Phosphorsäure [1], [2]

Phosphorsäure (H_3PO_4) ist in einigen Nahrungsmitteln, wie z. B. Cola-Getränken, als Säuerungsmittel enthalten (Lebensmittelzusatzstoff E 338).

Reine Phosphorsäure kann in zwei Schritten aus Phosphor hergestellt werden: Elementarer Phosphor (P_4) wird verbrannt und das dabei entstehende Oxid (P_4O_{10}) wird anschließend mit Wasser umgesetzt.

Phosphorsäure-Moleküle sind dreiprotonig, das heißt, sie können stufenweise bis zu drei Protonen in Säure-Base-Reaktionen abgeben.

Bei den einzelnen Protolysestufen bilden sich ausgehend vom Phosphorsäure-Molekül nacheinander das Dihydrogenphosphat-Ion (H_2PO_4^-), das Hydrogenphosphat-Ion (HPO_4^{2-}) und das Phosphat-Ion (PO_4^{3-}).

Material 2: Bestimmung der Stoffmengenkonzentration der Phosphorsäure in Cola [3]

Neben der in den meisten Erfrischungsgetränken enthaltenen Kohlensäure findet sich in Cola zusätzlich Phosphorsäure als Säuerungsmittel.

Vor der Bestimmung der Stoffmengenkonzentration der Phosphorsäure in einer Cola-Probe wird die Probe ca. 5 Minuten lang unter Rühren auf 60 °C erhitzt. Beim Erhitzen kann das Entweichen eines Gases beobachtet werden. Nach dem Abkühlen wird die Probe titriert.

Bei einer in einem Lebensmittellabor untersuchten Cola wurde eine Stoffmengenkonzentration an Phosphorsäure von $c = 0,007 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$ ermittelt.

Material 3: Phosphorsäure, Phosphate und unsere Gesundheit [4] – [6]

Ein vermeidbares Gesundheitsproblem verbirgt sich hinter der Verwendung von Phosphorsäure und deren Salzen als Zusatzstoffe in Nahrungsmitteln. Dieses „freie“ Phosphat wird sehr effektiv vom Körper aufgenommen. Neben der Verwendung der Phosphorsäure in Cola werden in fast allen verarbeiteten Fleischprodukten (wie Brühwürste, Kochschinken), aber auch in Schmelzkäse und anderen Käsezubereitungen sowie in vielen Fertiggerichten Phosphate eingesetzt, um Wasser zu binden.

Im Jahr 2019 wurde deshalb ein ADI-Wert bezogen auf die tägliche Aufnahme von Phosphor in Verbindungen (z. B. Phosphorsäure, Phosphate, Polyphosphate oder Ähnliches) festgelegt. Der ADI-Wert (acceptable daily intake) ist die geschätzte Menge eines Stoffes in Lebensmitteln pro Kilogramm Körpergewicht, die täglich ein Leben lang konsumiert werden kann, ohne dass sie ein merkliches Risiko für die Gesundheit birgt. Der ADI-Wert für Phosphor beträgt 40 mg pro kg Körpergewicht. Eine 70 kg schwere, gesunde Person hat daher bei einer täglichen Aufnahme von 2,8 g Phosphor in Verbindungen nicht mit gesundheitlichen Beeinträchtigungen zu rechnen. Zu berücksichtigen ist hierbei aber, dass viele eiweißreiche Lebensmittel wie Milchprodukte einen natürlichen, hohen Gehalt an Phosphaten aufweisen. Schätzungen zufolge kann der ADI-Wert insbesondere bei Säuglingen, Kleinkindern und Kindern bereits mit einer durchschnittlichen Aufnahme von Phosphat über die Ernährung überschritten werden. Dies gilt auch für Jugendliche, deren Ernährung reich an Phosphorsäure bzw. Phosphaten ist. Ebenso ist zu beachten, dass für Personen mit mittelschwerer bis schwerer Einschränkung der Nierenfunktion ein ADI-Wert von 1000 mg pro Tag als Orientierung gilt.

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>Formulierung der Reaktionsgleichungen zur Herstellung der Phosphorsäure:</u> ♦ $P_4 + 5 O_2 \rightarrow P_4O_{10}$ ♦ $P_4O_{10} + 6 H_2O \rightarrow 4 H_3PO_4$ <u>Begründen der Elektronenübertragungsreaktion:</u> ♦ Beispiel 1: ♦ Es handelt sich um eine Redoxreaktion. ♦ Phosphor-Atome werden oxidiert, die Oxidationszahl ändert sich von 0 auf +V. Sauerstoff-Atome werden reduziert, die Oxidationszahl ändert sich von 0 auf –II.	1	2	
2	<u>Formulierung der Reaktionsgleichungen der ersten beiden Protolysestufen des Phosphorsäure-Moleküls:</u> ♦ $H_3PO_4 + H_2O \rightleftharpoons H_2PO_4^- + H_3O^+$ ♦ $H_2PO_4^- + H_2O \rightleftharpoons HPO_4^{2-} + H_3O^+$ <u>Erläuterung des Säure-Base-Konzepts nach Brönsted:</u> ♦ Das Phosphorsäure-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 Protonenübertragungsreaktion. <u>Erläuterung des Begriffs „Ampholyt“ (Dihydrogenphosphat-Ion):</u> ♦ Das Dihydrogenphosphat-Ion ($H_2PO_4^-$) kann je nach Reaktionspartner sowohl ein Proton abgeben und dabei zum Hydrogenphosphat-Ion (HPO_4^{2-}) reagieren oder es kann ein Proton aufnehmen und zum Phosphorsäure-Molekül (H_3PO_4) reagieren. ♦ Teilchen, die sowohl als Protonendonatoren als auch Protonenakzeptoren wirken können, sind Ampholyte.	2		
		2	1	
		1	2	

3	<u>Begründung der Vorbehandlung der Cola-Probe:</u> ♦ Die durch das gelöste Kohlenstoffdioxid entstehende Kohlensäure würde bei der Titration das Ergebnis verfälschen. ♦ Sie wirkt ebenfalls als Protonendonator (und würde mit der Maßlösung reagieren). Dadurch ergäbe sich eine zu hohe Oxonium-Ionen-Konzentration. ♦ Beim Erhitzen der Cola-Probe wird Kohlenstoffdioxid ausgetrieben. <u>Planung des Nachweises des ausgetriebenen Gases</u> ♦ Das ausgetriebene Gas wird durch eine Lösung von Calciumhydroxid (Kalkwasser) geleitet. <u>Angabe der zu erwartenden Beobachtung:</u> ♦ Es entsteht weißes Calciumcarbonat, das die Lösung deutlich trübt. <u>Formulierung der Reaktionsgleichung:</u> ♦ $\text{CO}_2 + \text{Ca}^{2+} + 2 \text{OH}^- \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ <u>Berechnung der Masse an Phosphor in 1 L Cola:</u> ♦ Aus der Summenformel der Phosphorsäure ergibt sich: $n(\text{P}) = n(\text{H}_3\text{PO}_4)$ $n(\text{P}) = c(\text{H}_3\text{PO}_4) \cdot V(\text{H}_3\text{PO}_4)$ $n(\text{P}) = 0,007 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \cdot 1,0 \text{ L}$ $n(\text{P}) = 0,007 \text{ mol}$ $m(\text{P}) = n(\text{P}) \cdot M(\text{P})$ $m(\text{P}) = 0,007 \text{ mol} \cdot 31,0 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$ $m(\text{P}) = 0,217 \text{ g}$	1	2	1
4	<u>Beurteilung von gesundheitlichen Gefahren:</u> ♦ Laut ADI-Wert sollte man mit einem Körpergewicht von 60 kg höchstens eine Masse von 2400 mg Phosphor (auf die aufgenommenen Phosphorverbindungen bezogen) pro Tag aufnehmen. ♦ Die Menge an Phosphor in einem Liter untersuchter Cola beträgt 217 mg (Ersatzwert 186 mg). Das entspricht nur einem Bruchteil (< 10 %) der zulässigen Höchstmenge an Phosphor pro Tag. ♦ Beim Trinken von einem Liter täglich sollten keine gesundheitlichen Gefahren ausgehen.	1	2	
5	<u>Diskussion zur Kennzeichnung des Phosphatgehalts anhand von zwei Argumenten:</u> ♦ Pro-Argumente: ♦ Um sich bei der Ernährung bewusst an Obergrenzen bei der Aufnahme an zugesetzten Phosphorverbindungen orientieren zu können, benötigt man die Angaben auf den Verpackungen bzw. Flaschen. ♦ Spätfolgen, die aus einem dauerhaften, übermäßigen Konsum herrühren, werden vermieden, insbesondere bei Nierenkranken. ♦ Contra-Argument:		1	1

	♦ Bei einem gesunden Erwachsenen sind die erlaubten Maximalwerte recht hoch und nicht sehr schnell zu überschreiten, daher wäre es nicht unbedingt notwendig, Angaben zu machen. ♦ Fazit			1
	Summe¹	10	16	4

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	4, 16		9	
2	7, 16		9, 10	
3	3, 17	4, 7	9, 10	
4	17		8	7
5				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 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.