

Gemeinsame Aufgabenpools der Länder

Pool für das Jahr 2025

Aufgaben für das Fach Chemie

Kurzbeschreibung

Aufgabentitel	Milchsäure-Lactat-Puffer in harnstoffhaltigen Cremes
Anforderungsniveau	erhöht
Inhaltsbereiche	◆ Stoffe, Strukturen, Eigenschaften ◆ Verbindungen mit funktionellen Gruppen ◆ Hydroxy-, Carbonyl-, Carboxygruppe ◆ Aminogruppe ◆ Chemische Reaktionen ◆ Protonenübergänge ◆ Säure-Base-Konzept nach Brönsted ◆ Säure-Base-Konstanten ◆ Puffersysteme ◆ Energetische und kinetische Aspekte chemischer Reaktionen ◆ Reaktionsgeschwindigkeit ◆ Katalyse ◆ Arbeitsweisen ◆ Quantitative und instrumentelle Analyse ◆ Säure-Base-Titration (mit Titrationskurve)
Materialien	◆ M 1 Chemische Eigenschaften der Milchsäure ◆ M 2 Ermittlung der Stoffmengenkonzentration einer Milchsäure-Lösung ◆ M 3 Harnstoff in wässrigen Lösungen ◆ M 4 Milchsäure in der pharmazeutischen Anwendung
Quellenangaben	◆ M 1 Haynes, W., Lide, D. R. & Bruno, T. J. (2014). <i>CRC Handbook of Chemistry and Physics</i> (95. Aufl.). Taylor & Francis. ◆ M 3 <i>Problemrezeptur mit Harnstoff</i> (2019, 21. August). DAZ.online. https://www.deutsche-apotheker-zeitung.de/daz-az/2004/daz-16-2004/uid-11797 (Zugriff am: 21.06.2023) ◆ M 4 Bröckelmann, H., Krüger, I., Latsch, H. & Tawab, M. (2017, 18. Mai). <i>Stabilitätsuntersuchungen von harnstoffhaltigen Cremes</i>. ZENTRALLABORATORIUM DEUTSCHER APOTHEKER. https://www.zentrallabor.com/pdf/Fuer%20Sie%20untersucht%20-%20Harnstoff.pdf (Zugriff am: 21.06.2023)

Hilfsmittel	♦ digitales Hilfsmittel, das mindestens die Funktionalität eines WTR hat ♦ mathematisch-naturwissenschaftliche Formelsammlung
fachpraktischer Anteil	nein

1 Aufgabe

Milchsäure-Lactat-Puffer in harnstoffhaltigen Cremes

Feuchtigkeitsspendende Cremes enthalten häufig Harnstoff als Wirkstoff. Zur Konservierung dieser Cremes wird oft ein Milchsäure-Lactat-Puffer zugefügt.

	BE
1 Formulieren Sie die Reaktionsgleichung für die Reaktion von Milchsäure und Wasser unter Verwendung von Strukturformeln. Erläutern Sie mithilfe der Säurekonstanten die Lage dieses Gleichgewichts (M 1).	6
2 Formulieren Sie für die Neutralisation von Milchsäure mit Natronlauge die Reaktionsgleichung. Berechnen Sie die Stoffmengenkonzentration der Milchsäure-Lösung (M 2). Beurteilen Sie die Eignung der geprüften Lösung zur Herstellung einer kosmetischen Creme (M 2).	8
3 Erläutern Sie unter Verwendung einer Skizze die wasserbindenden Eigenschaften des Harnstoffs auf Teilchenebene (M 3). Formulieren Sie die Reaktionsgleichung für den Zerfall von Harnstoff (M 3). Erläutern Sie den Einfluss des Harnstoffzerfalls auf den pH-Wert der Lösung (M 3).	9
4 Erklären Sie mithilfe von Tabelle 1 die Zusammensetzung und Wirkung eines Säure-Base-Puffers am Beispiel des Milchsäure-Lactat-Puffers (M 1, M 4). Erläutern Sie die stabilisierende Wirkung des Milchsäure-Lactat-Puffers auf eine harnstoffhaltige Creme (M 3, M 4).	9
5 Beschreiben und erläutern Sie die im Diagramm dargestellten Versuchsergebnisse (M 4). Beurteilen Sie den Einsatz eines Milchsäure-Lactat-Puffers in harnstoffhaltigen Cremes.	8

Quellen (ggf. verändert):

- [1] Haynes, W., Lide, D. R. & Bruno, T. J. (2014). *CRC Handbook of Chemistry and Physics* (95. Aufl.). Taylor & Francis.
- [2] *Problemrezeptur mit Harnstoff* (2019, 21. August). DAZ.online. <https://www.deutsche-apotheker-zeitung.de/daz-az/2004/daz-16-2004/uid-11797> (Zugriff am: 21.06.2023)
- [3] Bröckelmann, H., Krüger, I., Latsch, H. & Tawab, M. (2017, 18. Mai). *Stabilitätsuntersuchungen von harnstoffhaltigen Cremes*. ZENTRALLABORATORIUM DEUTSCHER APOTHEKER. <https://www.zentrallabor.com/pdf/Fuer%20Sie%20untersucht%20-%20Harnstoff.pdf> (Zugriff am: 21.06.2023)

2 Material

Material 1: Chemische Eigenschaften der Milchsäure [1]

Milchsäure (2-Hydroxypropansäure) ist in jedem Verhältnis mit Wasser mischbar. Ihre Salze heißen Lactate.

Milchsäure hat einen pK_s -Wert von 3,86 (bei 25 °C). Milchsäure und ihre Salze sind bei den in kosmetischen Produkten verwendeten Konzentrationen gesundheitlich unbedenklich.

Material 2: Ermittlung der Stoffmengenkonzentration einer Milchsäurelösung

Für die Herstellung kosmetischer Produkte werden Milchsäure-Lösungen der Stoffmengenkonzentration von $10 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$ benötigt. Die Stoffmengenkonzentration einer Milchsäure-Lösung wird zur Qualitätskontrolle wie folgt überprüft:

5,0 mL der Milchsäure-Lösung werden mit destilliertem Wasser auf 100,0 mL aufgefüllt. 25,0 mL dieser verdünnten Lösung werden mit Natronlauge der Stoffmengenkonzentration $c(\text{NaOH}) = 1,0 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$ titriert. Die dazugehörige Titrationskurve ist in Abbildung 1 dargestellt.

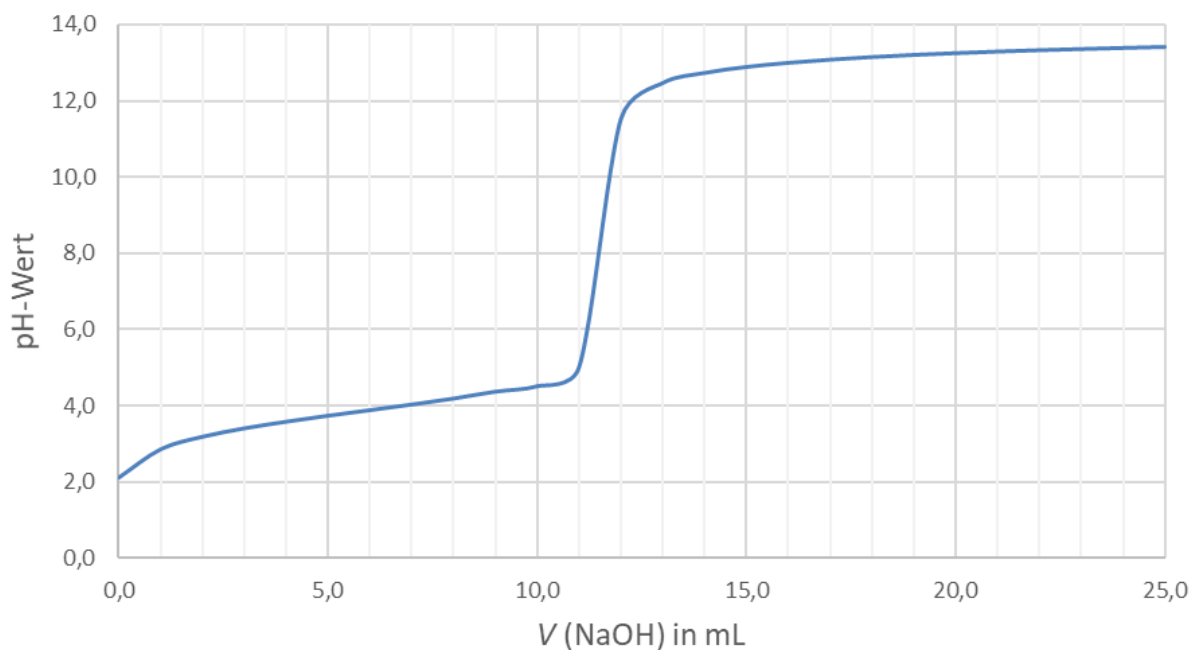


Abb. 1: Titrationskurve einer Milchsäure-Lösung mit Natronlauge ($c(\text{NaOH}) = 1,0 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$)

Material 3: Harnstoff in wässrigen Lösungen [2]

Harnstoff wird oft in feuchtigkeitsspendenden Hautcremes eingesetzt. Nach dem Auftragen der Creme lagert sich Harnstoff in den oberen Hautschichten ein und bindet dort Wasser.

Harnstoff ist in wässriger Lösung unter bestimmten Bedingungen nicht stabil und reagiert mit Wasser zu Kohlenstoffdioxid und Ammoniak. Der pH-Wert der entstehenden Lösung steigt mit der Zersetzung von Harnstoff.

Der Zerfall des Harnstoff-Moleküls (Abb. 2) wird u. a. durch Hydroxid-Ionen katalysiert.

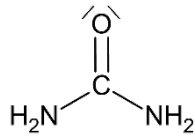


Abb. 2: Strukturformel eines Harnstoff-Moleküls

Material 4: Milchsäure in der pharmazeutischen Anwendung [3]

Die Haltbarkeit von feuchtigkeitsspendenden Cremes, die oft Harnstoff enthalten, ist durch den Zerfall des Harnstoffs eingeschränkt, da die antimikrobielle Wirkung durch einen pH-Wert im sauren Bereich gewährleistet wird. Deshalb wird zur Stabilisierung vielen dieser Cremes ein Milchsäure-Lactat-Puffer zugesetzt.

In einem pharmazeutischen Labor wurde in einer Versuchsreihe die Haltbarkeit einer harnstoffhaltigen Creme, die einen Milchsäure-Lactat-Puffer enthält, mit der einer Creme ohne Puffer verglichen (Tab. 1). Jeweils ein Ansatz wurde für 6 Monate im Kühlschrank bzw. bei Raumtemperatur (25 °C) gelagert und der pH-Wert der Cremes zu Beginn und am Ende des Versuchszeitraums gemessen (Abb. 3).

Tab. 1: Zusammensetzung frisch hergestellter, harnstoffhaltiger Cremes

	verwendete Masse in Gramm laut Rezeptur	
	Creme mit Milchsäure-Lactat-Puffer (pH = 4,2)	Creme ohne Milchsäure-Lactat-Puffer (pH = 4,7)
Harnstoff	5	5
Milchsäure-Lösung ($c = 10 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$)	1	0
Natriumlactat-Lösung ($c = 5 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$)	4	0
Basiscreme	90	95

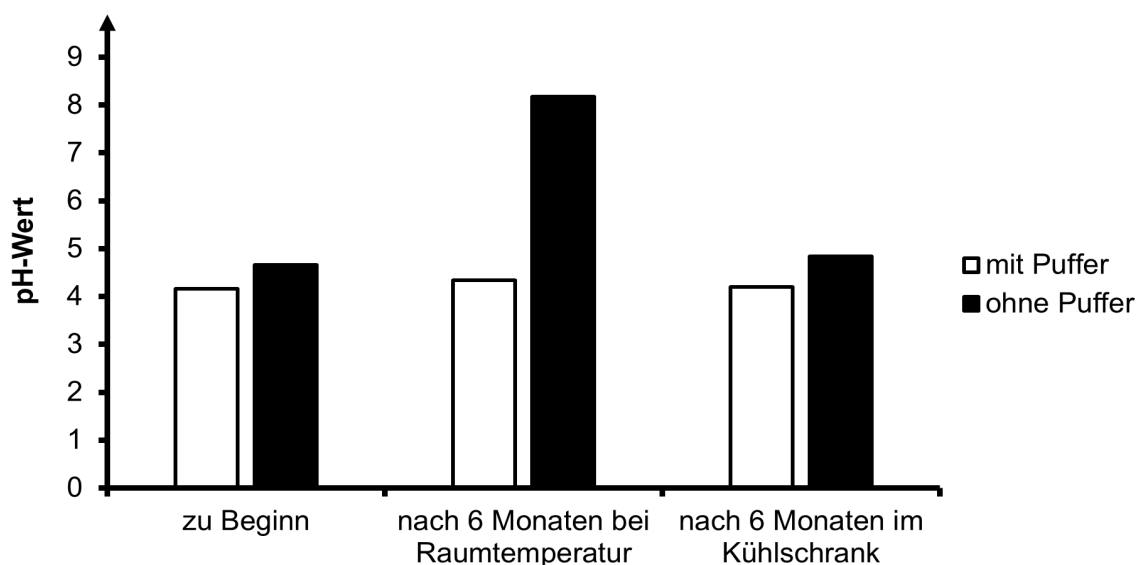
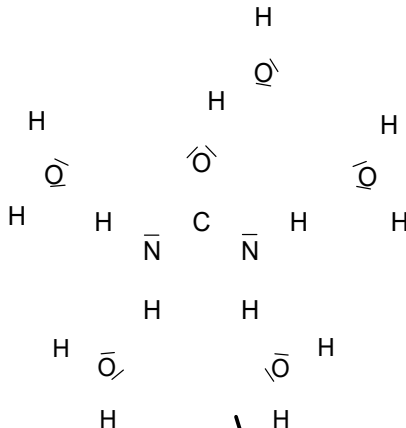


Abb. 3: pH-Werte bei der Lagerung von Feuchtigkeitscremes mit und ohne Puffer

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 Reaktionsgleichung zur Protolyse der Milchsäure-Moleküle (HLA):</u> $\text{H}_3\text{C}-\text{CH}(\text{OH})-\text{COOH} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_3\text{C}-\text{CH}(\text{OH})-\text{COO}^- + \text{H}_3\text{O}^+$ <u>Erläuterung der Lage des Gleichgewichts:</u> ♦ $K_S = 10^{-\text{p}K_S} \frac{\text{mol}}{\text{L}} = 10^{-3,86} \frac{\text{mol}}{\text{L}}$ ♦ $K_S = \frac{c(\text{LA}^-) \cdot c(\text{H}_3\text{O}^+)}{c(\text{HLA})} = 1,38 \cdot 10^{-4} \frac{\text{mol}}{\text{L}}$ ♦ Die Säurekonstante K_S gibt Aufschluss darüber, in welchem Maße eine Säure in einer Gleichgewichtsreaktion unter Protolyse mit Wasser reagiert. ♦ Die Säurekonstante von Milchsäure ist deutlich kleiner als 1, der größte Anteil der Milchsäure-Moleküle liegt undissoziiert vor. In der Lösung ist die Konzentration der undissoziierten Milchsäure-Moleküle deutlich höher als die Konzentration der Lactat-Ionen.	2		
		1	3	
2	<u>Formulierung der Reaktionsgleichung:</u> $\text{C}_3\text{H}_5\text{O}_3^- + \text{H}_3\text{O}^+ + \text{Na}^+ + \text{OH}^- \rightarrow \text{C}_3\text{H}_5\text{O}_3^- + 2 \text{H}_2\text{O} + \text{Na}^+$ <u>Berechnung der Stoffmengenkonzentration der Milchsäure (HLA):</u> ♦ Aus Diagramm ablesen: Äquivalenzpunkt bei $V(\text{NaOH}) = 11,5 \text{ mL} = 0,0115 \text{ L}$ ♦ Stoffmengenverhältnis ableiten: $n(\text{NaOH}) = n(\text{HLA})$ $c(\text{HLA}) = \frac{n(\text{HLA})}{V(\text{HLA})} = \frac{n(\text{NaOH})}{V(\text{HLA})}$ $= \frac{c(\text{NaOH}) \cdot V(\text{NaOH})}{V(\text{HLA})}$ $= \frac{1,0 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \cdot 0,0115 \text{ L}}{0,025 \text{ L}}$ $= 0,46 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$ Unter der Berücksichtigung des Verdünnungsfaktors von 20 gilt: $c(\text{HLA}) = 20 \cdot 0,46 \frac{\text{mol}}{\text{L}} = 9,20 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$	1		
		1	1	
			3	
				1

	<u>Beurteilung zur Herstellung einer Creme:</u> ♦ Laut Angabe sollte die Stoffmengenkonzentration $10 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$ betragen. Die untersuchte Milchsäurelösung ist vermutlich nicht geeignet.	1		
3	<u>Erläuterung der Wasserbindung des Harnstoffs auf Teilchenebene:</u> ♦ Das Harnstoff-Molekül kann sowohl über die positiv polarisierten Wasserstoff-Atome der Aminogruppen zu den freien Elektronenpaaren der Sauerstoff-Atome der Wasser-Moleküle als auch über die freien Elektronenpaare der Sauerstoff-Atome der Carbonylgruppe mit den positiv polarisierten Wasserstoff-Atomen der Wasser-Moleküle Wasserstoffbrücken ausbilden. ♦ Aufgrund der vielen Wasserstoffbrücken kann Harnstoff Wasser binden. ♦ Skizze: 		1	1
	<u>Formulierung der Reaktionsgleichung für den Zerfall von Harnstoff:</u> ♦ $\text{CO}(\text{NH}_2)_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{NH}_3 + \text{CO}_2$		2	
	<u>Erläuterung des Einflusses des Harnstoffzerfalls auf den pH-Wert:</u> ♦ Beim Zerfall eines Harnstoff-Moleküls entstehen zwei Ammoniak-Moleküle und ein Kohlenstoffdioxid-Molekül. ♦ Ammoniak ist eine schwache Base und die Lösungen sind basisch. Kohlenstoffdioxid reagiert mit Wasser unter Bildung der schwachen Säure Kohlensäure, deren Lösungen sauer sind. ♦ Da pro Harnstoff-Molekül zwei Ammoniak-Moleküle und ein Kohlenstoffdioxid-Molekül entstehen, steigt der pH-Wert der wässrigen Lösung.	1	1	1
4	<u>Zusammensetzung und Wirkung des Säure-Base-Puffers:</u> ♦ Laut Angabe der Zusammensetzung enthält der eingesetzte Milchsäure-Lactat-Puffer sowohl Milchsäure als auch Natriumlactat. Milchsäure ist eine schwache Säure ($\text{p}K_{\text{S}} = 3,86$), Natriumlactat ist das entsprechende Salz. ♦ Bei Zugabe von Säuren reagieren die Lactat-Ionen mit den entstehenden Oxonium-Ionen zu Milchsäure-Molekülen und der pH-Wert bleibt annähernd konstant.	2		
			2	1

	Bei Zugabe von Hydroxid-Ionen reagieren diese mit Oxonium-Ionen und durch Neueinstellung des Protolysegleichgewichts bleibt der pH-Wert annähernd konstant. ♦ Der pH-Wert einer Pufferlösung ändert sich bei Zugabe einer sauren bzw. einer basischen Lösung kaum. Eine optimale Pufferwirkung erfolgt nur etwa eine pH-Einheit rund um den pK_S-Wert, im Fall von Milchsäure also von pH 2,9 bis 4,9. <u>Erläuterung der stabilisierenden Wirkung:</u> ♦ Wird kein Puffer zugesetzt, liegt der pH-Wert bei Raumtemperatur nach 6 Monaten im basischen Bereich. Durch die erhöhte Konzentration der katalytisch wirkenden Hydroxid-Ionen wird der Zerfall des Harnstoffs beschleunigt. Ein Puffer vermeidet den Anstieg des pH-Wertes.	1		1
				2
5	<u>Beschreibung der im Diagramm dargestellten Versuchsergebnisse:</u> ♦ Bei Raumtemperatur ändert sich der pH-Wert der Creme mit Puffer innerhalb des Versuchszeitraums kaum, während der pH-Wert bei der Creme ohne Puffer deutlich steigt. ♦ Die pH-Werte der gekühlten Cremes bleiben annähernd konstant. <u>Erläuterung:</u> ♦ Der Anstieg des pH-Werts ist auf das Entstehen von Ammoniak beim Zerfall von Harnstoff zurückzuführen. ♦ Der Puffer hält den pH-Wert konstant bei einem pH-Wert von 4,2, wodurch kaum Hydroxid-Ionen vorhanden sind, die den Zerfall von Harnstoff katalysieren. ♦ Der Puffer neutralisiert die beim Zerfall entstehenden Hydroxid-Ionen. ♦ Die niedrigere Temperatur im Kühlschrank verlangsamt den Zerfall des Harnstoffes auch ohne Milchsäure-Lactat-Puffer. Daher bleibt der pH-Wert konstant. <u>Beurteilung des Einsatzes eines Milchsäure-Lactat-Puffers:</u> ♦ Ein Milchsäure-Lactat-Puffer hält laut Versuch den pH-Wert konstant, Harnstoff bleibt dadurch stabil und als Feuchthaltemittel erhalten. ♦ Sachurteil: Ein Milchsäure-Lactat-Puffer erscheint bei den vorliegenden Informationen sinnvoll.	2	4	
				1
				1
	Summe¹	12	20	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	7, 16, 17			
2	16, 17			7
3	2, 13, 16		8	
4	8, 9		8	
5	6, 9		8, 10	7

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.