

Gemeinsame Aufgabenpools der Länder

Pool für das Jahr 2026

Aufgaben für das Fach Chemie

Kurzbeschreibung

Aufgabentitel	Allulose – eine energiearme Alternative, die schmeckt
Anforderungsniveau	erhöht
Inhaltsbereiche	♦ Stoffe, Strukturen, Eigenschaften ♦ Verbindungen mit funktionellen Gruppen ♦ Hydroxy-, Carbonyl-, Carboxy-, Estergruppe ♦ Strukturen ausgewählter organischer Stoffe ♦ Chiralität ♦ Natürliche und synthetische Stoffe ♦ Kohlenhydrate ♦ Chemische Reaktionen ♦ Reaktionsmechanismen in der organischen Chemie ♦ Energetische und kinetische Aspekte chemischer Reaktionen
Materialien	♦ M 1 Allulose und Saccharose im Vergleich ♦ M 2 Halbacetalbildung der Allulose ♦ M 3 Abbau von Amylose im Mund ♦ M 4 Nährwert von Butterkeksen
Quellenangaben	♦ M 1 ♦ <i>Psicose</i> (2024, 06. Dezember). Wikipedia. https://de.wikipedia.org/wiki/Psicose (Zugriff am: 08.01.2025) ♦ Viegner, U. (2018, 21. Mai). <i>Ein Zucker ohne Kalorien?</i> ptafo-rum. https://ptaforum.pharmazeutische-zeitung.de/ein-zucker-ohne-kalorien (Zugriff am 28.01.2025) ♦ M 4 ♦ <i>LEIBNIZ ORIGINAL BUTTERKEKS</i> (2024). leibniz. https://leibniz.com/de/original-butterkeks (Zugriff am 31.01.2025) ♦ <i>Allulose statt Zucker: 25 Prozent Ersatz geht immer</i> (2022, 26. November). backnetz eu. https://www.backnetz.eu/allulose-statt-zucker-25-prozent-ersatz-geht-immer/ (Zugriff am: 08.01.2025)
Hilfsmittel	♦ digitales Hilfsmittel, das mindestens die Funktionalität eines WTR hat ♦ mathematisch-naturwissenschaftliche Formelsammlung
fachpraktischer Anteil	ja ☐ nein ☒ Zeitzuschlag: —

1 Aufgabe

Allulose – eine energiearme Alternative, die schmeckt

Viele Alternativen zu Saccharose haben zwar wenig Kalorien, aber dafür einen auffälligen Eigengeschmack oder sie hinterlassen ein schlechtes Mundgefühl. Allulose soll die besten Eigenschaften von Zucker und Süßstoffen vereinen – einen guten Geschmack und nahezu keine Kalorien.

	BE
1 Erklären Sie, dass es sich bei der gegebenen Struktur um die D-Form des Allulose-Moleküls handelt (M 1). Geben Sie die Fischer-Projektionsformeln eines D-Fructose- und eines D-Glucose-Moleküls an. Vergleichen Sie diese beiden mit der Struktur eines D-Allulose-Moleküls in Bezug auf die funktionellen Gruppen und die Anzahl der asymmetrisch substituierten Kohlenstoff-Atome (M 1). Stellen Sie eine Hypothese zur Wasserlöslichkeit von Allulose anhand der Molekülstruktur auf (M 1).	12
2 Erläutern Sie den Reaktionsmechanismus der in der Abbildung 2 dargestellten Ringbildung bei Allulose (M 2). Begründen Sie, dass bei der Bildung der Furanoseform zwei Isomere Allulose-Moleküle entstehen können (M 2).	10
3 Planen Sie ein experimentelles Vorgehen, mit dem Sie die erfolgreiche enzymatische Spaltung der Amylose in der Probelösung nachweisen können (M 3). Geben Sie die zu erwartenden Beobachtungen und deren Auswertungen auch unter Angabe einer Reaktionsgleichung an (M 3).	10
4 Berechnen Sie die im Körper theoretisch aus den Zuckern freiwerdende Energie, die ein teilweise mit Allulose gesüßter Butterkeks liefert (M 1, M 4). Beurteilen Sie den Teilersatz von Saccharose durch Allulose in Butterkeksen im Hinblick auf eine kalorienreduzierte Ernährung (M 1, M 4).	8

Quellen (ggf. verändert):

- [1] *Psicose* (2024, 06. Dezember). Wikipedia. <https://de.wikipedia.org/wiki/Psicose> (Zugriff am: 08.01.2025)
- [2] Viegner, U. (2018, 21. Mai). *Ein Zucker ohne Kalorien?* ptafo-rum. <https://ptaforum.pharmazeutische-zeitung.de/ein-zucker-ohne-kalorien> (Zugriff am 28.01.2025)
- [3] *LEIBNIZ ORIGINAL BUTTERKEKS* (2024). leibniz. <https://leibniz.com/de/original-butterkeks> (Zugriff am 31.01.2025)
- [4] *Allulose statt Zucker: 25 Prozent Ersatz geht immer* (2022, 26. November). backnetz eu. <https://www.backnetz.eu/allulose-statt-zucker-25-prozent-ersatz-geht-immer/> (Zugriff am: 08.01.2025)

2 Material

Material 1: Allulose und Saccharose im Vergleich [1], [2]

Allulose ist ein Monosaccharid der Summenformel $C_6H_{12}O_6$ und gehört damit wie Glucose und Fructose zu den Hexosen. Sie kommt in der Natur nur sehr selten und nur in geringen Mengen vor. Allulose wird vom Menschen nur in geringem Umfang verstoffwechselt. Dadurch stellt sie dem Körper weniger Energie bereit als Saccharose und ist damit für eine kalorienreduzierte Ernährung geeignet (0,84 kJ pro Gramm Allulose; 16,8 kJ pro Gramm Saccharose). Ihre Süßkraft beträgt etwa 70 % der Süßkraft von Saccharose.

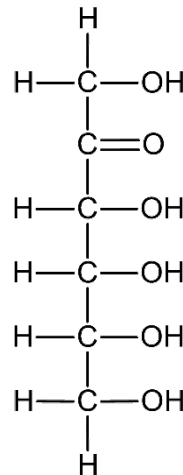


Abb. 1: Strukturformel in Fischer-Projektion eines D-Allulose-Moleküls

Material 2: Halbacetalbildung bei der Allulose

In wässriger Allulose-Lösung kommt es zu einem intramolekularen Ringschluss (Halbacetalbildung), sodass sich ein Gleichgewicht zwischen der offenkettigen Form und den Ringformen einstellt. Hierbei entstehen die Furanoseformen (Fünfringe) und Pyranoseformen (Sechsringe) zu ungefähr gleichen Teilen.

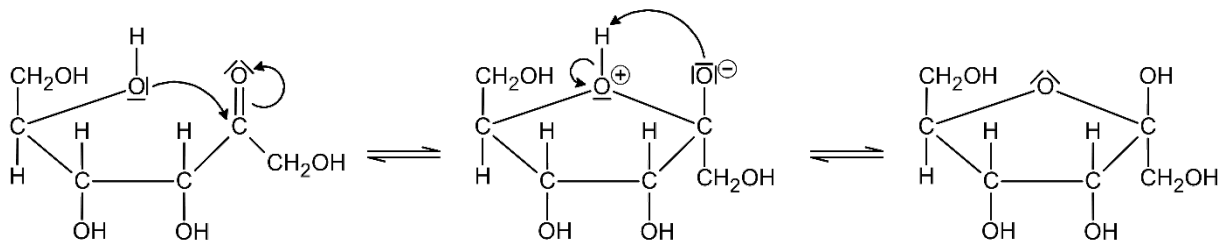


Abb. 2: Mechanismus der Ringbildung zu einer Furanose-Form

Material 3: Abbau von Amylose im Mund

In einem Butterkeks liegt ein Teil der Kohlenhydrate als langkettige Amylose vor. Diese wird schon im Mund durch das im Speichel enthaltene Enzym Amylase in Maltose gespalten. Maltose-Moleküle bestehen aus zwei (1→4)-verknüpften Glucose-Bausteinen. Im Modell-Experiment wird dieser Prozess durch eine mit etwas Speichel versetzte Amylose-Lösung nachgestellt. Diese Probelösung kann auf eine erfolgreiche Spaltung der Amylose untersucht werden.

Material 4 Nährwert von Butterkeksen [3], [4]

Butterkekse sind aufgrund ihres hohen Energiegehalts im Hinblick auf eine gesunde Ernährung nur in Maßen zu empfehlen.

Tab. 1: Durchschnittliche Nährwerte von Butterkeksen (Packungsangabe)

	pro 100 g	pro Keks (5 g)
Energie	435 kcal/1833 kJ	22 kcal/92 kJ
Eiweiß	8,4 g	0,4 g
Kohlenhydrate	72,0 g	3,6 g
davon Zucker (Saccharose)	21,0 g	1,1 g
Fett	12,0 g	0,6 g

Eine Verbesserung der gesundheitlichen Einstufung ohne geschmackliche Veränderungen soll sich z. B. durch Zuckeraustauschstoffe wie Allulose erzielen lassen. Hierbei haben Untersuchungen ergeben, dass es nur bei einem Ersatz von lediglich 25 % Saccharose durch Allulose zu keiner Abweichung in Bezug auf die Verbraucherakzeptanz kam. Der Kohlenhydrat-Anteil der Kekse setzt sich aus der im Mehl enthaltenen Stärke sowie der zum Süßen verwendeten Saccharose zusammen.

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>Erklärung der D-Form:</u> ♦ In der Fischer-Projektion steht die Hydroxygruppe am asymmetrisch substituierten C-Atom, das am weitesten vom höchst oxidierten C-Atom entfernt ist (C5), auf der rechten Seite. <u>Angabe der Fischer-Projektionsformeln:</u> $\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{O} \\ \diagdown \quad \diagup \\ \text{C} \\ \\ \text{H} - \text{C} - \text{OH} \\ \\ \text{HO} - \text{C} - \text{H} \\ \\ \text{H} - \text{C} - \text{OH} \\ \\ \text{H} - \text{C} - \text{OH} \\ \\ \text{CH}_2\text{OH} \\ \text{D-Glucose} \end{array}$ $\begin{array}{c} \text{CH}_2\text{OH} \\ \\ \text{C} = \text{O} \\ \\ \text{HO} - \text{C} - \text{H} \\ \\ \text{H} - \text{C} - \text{OH} \\ \\ \text{H} - \text{C} - \text{OH} \\ \\ \text{CH}_2\text{OH} \\ \text{D-Fructose} \end{array}$ <u>Vergleich der Strukturen:</u> ♦ Funktionelle Gruppen: Alle drei Moleküle enthalten 5 Hydroxygruppen; D-Allulose-Molekül und D-Fructose-Molekül enthalten jeweils eine Ketogruppe, D-Glucose-Molekül eine Aldehydgruppe. ♦ Anzahl asymmetrisch substituierter Kohlenstoff-Atome: D-Allulose-Molekül und D-Fructose-Molekül: je 3; D-Glucose-Molekül: 4 <u>Hypothese zur Wasserlöslichkeit:</u> ♦ Das Allulose-Molekül kann aufgrund der vielen Hydroxygruppen Wasserstoffbrücken zu Wasser-Molekülen ausbilden. Daher ist die Allulose gut wasserlöslich.	2		
		2		
		3	3	
			2	
2	<u>Erläuterung des Reaktionsmechanismus der Ringbildung:</u> ♦ Das freie Elektronenpaar des Sauerstoff-Atoms der Hydroxygruppe am Kohlenstoff-Atom Nr. 5 greift das positiv polarisierte Kohlenstoff-Atom der Ketogruppe nucleophil an. ♦ Dadurch bildet sich eine Elektronenpaarbindung zwischen diesen Atomen, was zu einem intramolekularen Ringschluss führt. ♦ Es entsteht ein Zwischenprodukt mit einer positiven Ladung am Sauerstoff-Atom der (ehemaligen) Hydroxygruppe und einer negativen Ladung am Sauerstoff-Atom der (ehemaligen) Ketogruppe durch Umlagerung eines Elektronenpaares. ♦ Nun kommt es zur Umlagerung eines Protons, welches mit dem negativ geladenen Sauerstoff-Atom am anomeren Kohlenstoff-Atom eine neue Hydroxygruppe bildet.		4	4

	<u>Begründung der Entstehung zweier neuer Isomere:</u> ♦ Durch den Ringschluss entsteht ein weiteres asymmetrisch substituiertes Kohlenstoff-Atom. Es gibt zwei mögliche räumliche Orientierungen für die Hydroxygruppe.	1	1	
3	<u>Planung des Experiments:</u> ♦ Es wird geprüft, ob Maltose entstanden ist. Da in Maltose eine (1→4)-Verknüpfung zweier Glucose-Bausteine vorliegt, ist die Hydroxygruppe am anomeren Kohlenstoff-Atom des zweiten Glucose-Bausteins nicht an der glykosidischen Bindung beteiligt. Die cyclische Form dieses Bausteins steht im Gleichgewicht mit der offenkettigen Form. In der offenkettigen Form liegt ein oxidierbares Zucker-Molekül vor. ♦ Eine gängige Nachweisreaktion ist die Fehling-Reaktion. ♦ Die beiden Lösungen Fehling I und Fehling II werden zusammengegeben. Dazu wird die Probelösung gegeben. Das Gemisch wird im Wasserbad erhitzt. <u>Beobachtungen und Auswertung:</u> ♦ Es entsteht im positiven Fall ein rötlicher Niederschlag, während die Blaufärbung zurückgeht oder verschwindet. ♦ Kupfer(II)-Ionen werden im alkalischen Milieu zu Kupfer(I)-oxid reduziert, während die Hydroxygruppe am zweiten Kohlenstoff-Atom zu einer Ketogruppe oxidiert wird. <u>Angabe einer Reaktionsgleichung:</u> ♦ $2 \text{Cu}^{2+} + \text{R-CHOH-CHO} + 4 \text{OH}^- \rightarrow \text{Cu}_2\text{O} + \text{R-CO-CHO} + 3 \text{H}_2\text{O}$ <i>Hinweis: Alternativ kann die Reaktion der Aldehydgruppe zur Carboxygruppe formuliert werden. Des Weiteren sind andere Aldehydnachweise sowie der Verlauf der Iod-Stärke-Reaktion alternativ gleichwertig.</i>	1 1 1	3 2 2	
4	<u>Berechnung des Energiegehalts aus den Zuckern:</u> ♦ Energiegehalt des Zuckeranteils im Keks: $E = 1,1 \text{ g} \cdot 16,8 \frac{\text{kJ}}{\text{g}} = 18,5 \text{ kJ}$ Masse des ersetzten Zuckers (Saccharose) im saccharosereduzierten Keks: $m = 1,1 \text{ g} \cdot 0,25 = 0,28 \text{ g}$ ♦ Energiegehalt des Alluloseanteils im saccharosereduzierten Keks: $E = 0,28 \text{ g} \cdot 0,84 \frac{\text{kJ}}{\text{g}} = 0,24 \text{ kJ}$ ♦ Energiegehalt des Zuckeranteils (Saccharose) im saccharosereduzierten Keks: $E = 0,75 \cdot 18,5 \text{ kJ} = 13,9 \text{ kJ}$ ♦ aus den Zuckern freiwerdende Energie eines teilweise mit Allulose gesüßten Butterkekses: $E = 0,24 \text{ kJ} + 13,9 \text{ kJ} = 14,14 \text{ kJ}$		3	1

<u>Beurteilung des Ersatzes:</u> ♦ Energiegehalt des saccharosereduzierten Kekses: $E = 92 \text{ kJ} - 18,5 \text{ kJ} + 0,24 \text{ kJ} + 13,9 \text{ kJ} = 87,6 \text{ kJ}$ Energiegehalt des handelsüblichen Kekses: 92 kJ ♦ Ein Ersatz von einem Viertel der Saccharose durch Allulose führt zu einer Reduktion der nutzbaren Energie auf 95 % im Vergleich zum Originalkeks. ♦ Eine Reduktion des Energiegehalts um 5 % ist gering. ♦ Sachurteil		1	3
Summe¹	11	21	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	1, 2			
2	16	4	7, 9	
3			9	
4	17			6, 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.