

Gemeinsame Aufgabenpools der Länder

Pool für das Jahr 2026

Aufgaben für das Fach Chemie

Kurzbeschreibung

Aufgabentitel	Biologisch abbaubare Zahnbürsten?
Anforderungsniveau	grundlegend
Inhaltsbereiche	♦ Stoffe, Strukturen, Eigenschaften ♦ Verbindungen mit funktionellen Gruppen ♦ Hydroxy-, Carbonyl-, Carboxy-, Estergruppe ♦ Aminogruppe ♦ Strukturen ausgewählter organischer und anorganischer Stoffe ♦ inter- und intramolekulare Wechselwirkungen ♦ Natürliche und synthetische Stoffe ♦ Kunststoffe ♦ Arbeitsweisen ♦ Synthesen ♦ Kunststoffsynthese ♦ Lebenswelt und Gesellschaft ♦ Aktuelle Technologien und chemische Produkte ♦ Recycling ♦ Ökonomische und ökologische Aspekte ♦ Recycling
Materialien	♦ M 1 Zahnbürstenmaterial ♦ M 2 Neue Borsten aus Nylon 4 ♦ M 3 Abbautests mit Nylon 4 im Boden
Quellenangaben	♦ M 1 ♦ <i>Nylons und Zahnbürsten – ein ungleiches Paar.</i> (2020, 8. November). zahnputzladen. https://blog.zahnputzladen.de/nylons-und-zahnburste/ (Zugriff am: 08.12.2024) ♦ M 2 ♦ Park, S.J., Kim, E.Y., Noh, W. et al. (2013). Synthesis of nylon 4 from gamma-aminobutyrate (GABA) produced by recombinant <i>Escherichia coli</i>. <i>Bioprocess Biosyst Eng</i>, 36, S. 885–892. https://doi.org/10.1007/s00449-012-0821-2 ♦ Ellaham, Y. (2022, 6. August). <i>What is Nylon-4? Is it Eco-Friendly?</i> SmartLifeco. https://www.smartlifeco.com/blogs/blog/is-nylon-4-eco-friendly (Zugriff am 04.10.2024)

	♦ M 3 ♦ Wang, L., Zhang, Z., Zhang, D., Qiu, Y., Wang, Y., Quan, S. & Zhao, L. (2023). Exploring microbial degradation of polyamide 4 in soils: Unveiling degradation mechanisms, pathways, and the contribution of strain NR4. <i>Journal of Cleaner Production</i>, 429, 139535. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652623036934?via%3Dihub
Hilfsmittel	♦ digitales Hilfsmittel, das mindestens die Funktionalität eines WTR hat ♦ mathematisch-naturwissenschaftliche Formelsammlung
fachpraktischer Anteil	ja ☐ nein ☒ Zeitzuschlag: nein

1 Aufgabe

Biologisch abbaubare Zahnbürsten?

Bei konventionellen Zahnbürsten bestehen Griff und Borsten im Wesentlichen aus Kunststoffen, die nicht zu den Biokunststoffen zählen. Neuere Trends gehen dahin, dies zu ändern. Dazu testet man verschiedene Nylon-Typen wie beispielsweise Nylon 4.

	BE
1 Beschreiben Sie die Einteilung der Kunststoffe in drei Kunststoffklassen anhand ihres mechanisch-thermischen Verhaltens. Geben Sie dabei auch strukturelle Merkmale der Kunststoff-Moleküle an. Ordnen Sie beide Nylontypen begründet einer der drei Kunststoffklassen zu (M 1, M 2).	8
2 Formulieren Sie eine Reaktionsgleichung in Strukturformelschreibweise zur Herstellung von Nylon 4 (M 1, M 2). Beschreiben Sie Unterschiede im Aufbau der Molekülketten von Nylon 4 und Nylon 6,6 (M 1, M 2). Stellen Sie eine Hypothese auf, welches der beiden Materialien besser für die Herstellung von harten Borsten geeignet ist (M 1, M 2).	7
3 Beschreiben Sie die Diagramme in Material 3. Begründen Sie, dass man nicht nur die mittlere Masse der Folienstücke, sondern auch die mittlere molare Masse des Polymers überprüft (M 3). Beurteilen Sie, inwiefern die durchgeführten Versuche A und B Rückschlüsse auf die biologische Abbaubarkeit zulassen.	12
4 Beurteilen Sie mit Hilfe von zwei Kriterien, ob der Begriff Biokunststoff für Nylon 4 berechtigt ist (M 1, M 2, M 3).	3

Quellen (ggf. verändert):

- [1] *Nylons und Zahnbürsten – ein ungleiches Paar.* (2020, 8. November). zahnputzladen. <https://blog.zahnputzladen.de/nylons-und-zahnbuerste/> (Zugriff am: 08.12.2024)
- [2] Park, S.J., Kim, E.Y., Noh, W. et al. (2013). Synthesis of nylon 4 from gamma-aminobutyrate (GABA) produced by recombinant *Escherichia coli*. *Bioprocess Biosyst Eng*, 36, S. 885–892. <https://doi.org/10.1007/s00449-012-0821-2>
- [3] Ellaham, Y. (2022, 6. August). *What is Nylon-4? Is it Eco-Friendly?* SmartLifeco. <https://www.smartlifeco.com/blogs/blog/is-nylon-4-eco-friendly> (Zugriff am 04.10.2024)
- [4] Wang, L., Zhang, Z., Zhang, D., Qiu, Y., Wang, Y., Quan, S. & Zhao, L. (2023). Exploring microbial degradation of polyamide 4 in soils: Unveiling degradation mechanisms, pathways, and the contribution of strain NR4. *Journal of Cleaner Production*, 429, 139535. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1226086X15000702?via%3Dihub>

2 Material

Material 1: Zahnbürstenmaterial [1]

Das erste vollständig aus Nylon bestehende Produkt war eine Zahnbürste. Bei ihr bestanden sowohl der Griff als auch die Borsten komplett aus Nylon 6,6. Nylon ist ein Polymer, das über eine Polykondensationsreaktion, ähnlich wie bei den Polyestern, hergestellt werden kann.

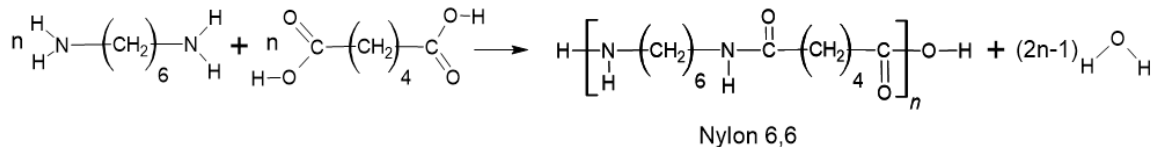


Abb. 1: Reaktionsgleichung zur Herstellung von Nylon 6,6

Die bei der Polykondensation entstehende neue funktionelle Gruppe heißt Amidgruppe (Abb. 2).

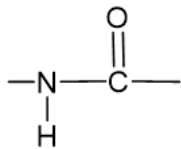


Abb. 2: Amid-Gruppe

Nylon 6,6 ist kein Biokunststoff. Biokunststoff bedeutet, dass entweder die Edukte aus nachwachsenden Rohstoffen hergestellt werden und/oder der Kunststoff biologisch abbaubar ist. Ist ein Kunststoff nicht abbaubar, reichert er sich bei unsachgemäßer Entsorgung in der Umwelt an und kann Mikro- und Nanoplastik-Partikel bilden.

Material 2: Neue Borsten aus Nylon 4 [2], [3]

Für die Griffe von Zahnbürsten gibt es bereits mehrere nachhaltige, biologisch abbaubare Materialien wie z. B. Bambus. Die Borsten der Bürsten werden jedoch noch häufig aus nicht abbaubarem Nylon 6,6, seltener aus Nylon 4 (Abb. 3) hergestellt. Nylon 4 wird aus nur einem Edukt polymerisiert. Dieses kann von Mikroorganismen produziert werden.

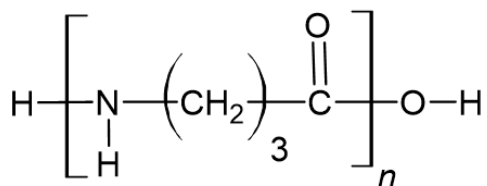


Abb. 3: Strukturformel eines Nylon-4-Moleküls

Material 3: Abbautests mit Nylon 4 im Boden [4]

Ob Borsten aus Nylon 4 biologisch abbaubar sind, wird in mehreren Untersuchungen getestet. Unter biologischer Abbaubarkeit versteht man eine durch Mikroorganismen verursachte, vollständige Zersetzung eines Stoffes meist unter Bildung von Biomasse, Kohlenstoffdioxid und Wasser. Zur Überprüfung wird eine Folie aus Nylon 4 in der Erde vergraben und nach einiger Zeit wieder ausgegraben und analysiert. Zur Analyse führt man die Versuche A und B durch.

Versuch A:

Man bestimmt die mittlere Masse der Folienstücke der Nylonprobe nach dem Vergraben im Vergleich zur Ausgangsmasse.

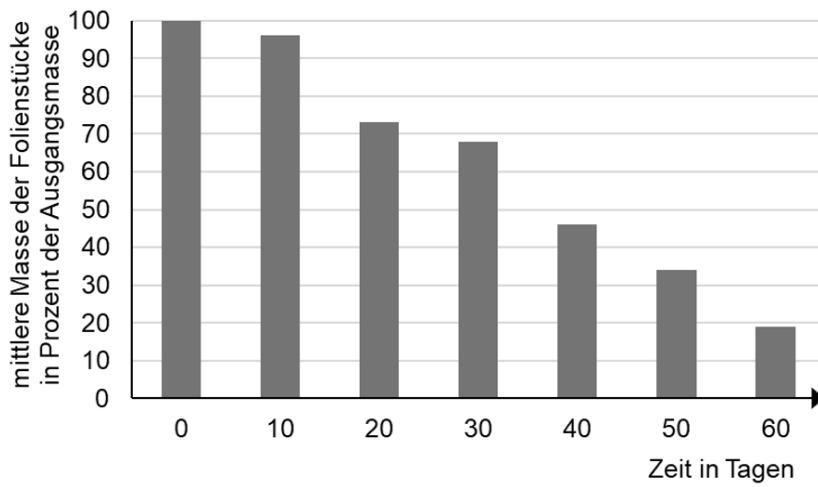


Abb. 4: Ergebnisse zu Versuch A

Versuch B:

In einer weiteren Untersuchung ermittelt man die Abnahme der mittleren molaren Masse des Polymers in der Probe im Vergleich zur mittleren molaren Masse vor dem Vergraben.

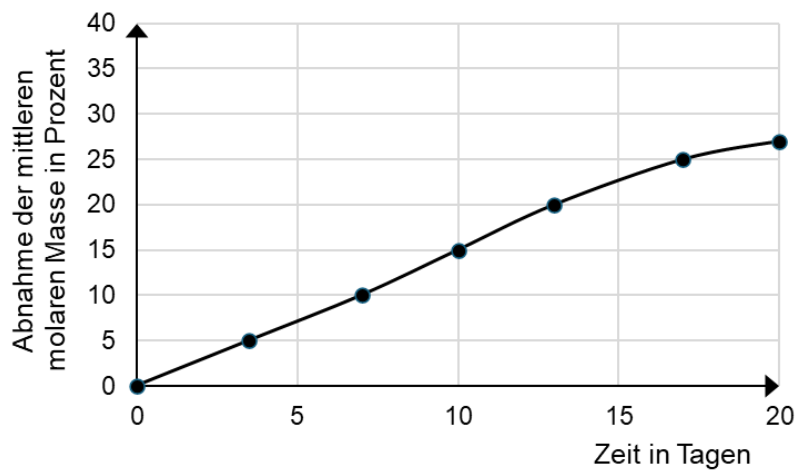


Abb. 5: Ergebnisse zu Versuch B

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>Beschreibung der Einteilung der Kunststoffe:</u> ♦ Thermoplast: ♦ lineare oder wenig verzweigte Makromoleküle ♦ wird weich und formbar beim vorsichtigen Erhitzen und behält seine Form beim Abkühlen ♦ Duroplast: ♦ engmaschig, dreidimensional vernetzte Makromoleküle ♦ hart, spröde, schmilzt nicht, sondern verkohlt und zersetzt sich bei Überhitzung ♦ Elastomer: ♦ weitmaschig vernetzte Makromoleküle ♦ gummielastisch, erweicht, aber schmilzt nicht, sondern verkohlt und zersetzt sich bei Überhitzung <u>Zuordnung von Nylon:</u> ♦ Beide Nylontypen lassen sich den Thermoplasten zuordnen, da sie aus unvernetzten, linearen Makromolekülen aufgebaut sind.	6		
2	<u>Formulierung einer Reaktionsgleichung zur Herstellung von Nylon 4:</u> $n \begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{H}-\text{N}-(\text{CH}_2)_3-\text{C}(=\text{O})-\text{O}-\text{H} \end{array} \longrightarrow \text{H}-\left[\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{N}-(\text{CH}_2)_3-\text{C}(=\text{O}) \end{array} \right]_n-\text{O}-\text{H} + (n-1) \begin{array}{c} \text{H} \quad \text{O} \\ \diagdown \quad / \\ \text{H} \end{array}$ <u>Beschreibung der Unterschiede im Aufbau von Nylon 4 und Nylon 6,6:</u> ♦ Sie unterscheiden sich ♦ in der Anzahl der Methylen-Gruppen zwischen den Amid-Gruppen sowie ♦ in der Abfolge der Atome innerhalb der Amid-Gruppen. <u>Aufstellung einer Hypothese zum Material zur Eignung für harte Borsten:</u> ♦ Nylon 4 ist besser geeignet, ♦ da bei vergleichbarer Kettenlänge Nylon 6,6 mehr Wechselwirkungen zwischen temporären Dipolen, Nylon 4 mehr Wechselwirkungen zwischen permanenten Dipolen (Wasserstoffbrücke) ausbildet. ♦ Die Wechselwirkungen zwischen permanenten Dipolen sind stärker.		2	
3	<u>Beschreibung der Diagramme:</u> ♦ Diagramm zu Versuch A ♦ Es zeigt die Abhängigkeit der mittleren Masse der Folienstücke in Prozent der Ausgangsmasse von der Zeit in Tagen in einem Intervall von 0 bis 60 Tagen, wobei ♦ die mittlere Masse im Verlauf der 60 Tage kontinuierlich von 100% auf 18% abnimmt. ♦ Diagramm zu Versuch B ♦ Es zeigt die Abhängigkeit der Abnahme der mittleren molaren Masse der Nylonprobe in Prozent von der Zeit in Tagen in einem Intervall von 0 bis 20 Tagen, wobei	1	1	
		1	1	

	- die mittlere molare Masse in den ersten 18 Tagen fast linear um 27 % abnimmt. <u>Begründung zur Überprüfung der mittleren Masse und molaren Masse:</u> - Versuch A: mittlere Masse - Wenn die Folie zerfällt oder abgebaut wird, nimmt die mittlere Masse der Stücke ab. - Man kann aber nicht sagen, ob die Massenabnahmen von einem Abbau des Kunststoffes oder nur von einer mechanischen Zerkleinerung der Folie stammt. - Versuch B: molare Masse - Die molare Masse hängt von der Art und der Anzahl der Atome in einem Makromolekül ab. Wird diese kleiner, nimmt auch die molare Masse ab. - Damit kann man testen, ob die Kunststoffmoleküle gespalten werden oder der Kunststoff nur mechanisch in kleinere Fragmente zerlegt wird und so Mikroplastik entstehen kann. <u>Beurteilung zur Bioabbaubarkeit:</u> - Sowohl die mittlere Masse der Folienstücke (Abb. 4) als auch die mittlere molare Masse des Polymers (Abb. 5) nehmen mit der Zeit ab, woraus man schließen kann, dass die Folie zerfällt und die Molekülketten kürzer werden. - Dies deutet darauf hin, dass die Folie aus Nylon 4 im Boden abgebaut wird. - Ob dies durch Mikroorganismen geschieht, kann mit den Informationen, die den Diagrammen entnommen werden können, nicht eindeutig nachgewiesen werden. Dazu sind weitere Experimente/Informationen nötig. - Sachurteil		1	1
			1	1
			1	
			1	1
4	<u>Beurteilung zur Berechtigung des Begriffs Biokunststoff:</u> - Das Kriterium „Herstellung aus nachwachsenden Rohstoffen“ wird erfüllt. - Das Kriterium der „biologischen Abbaubarkeit“ kann aufgrund der vorliegenden Ergebnisse (siehe Teilaufgabe 3) nicht eindeutig beurteilt werden. - Sachurteil: Nylon 4 erfüllt eindeutig ein Kriterium und darf somit als Biokunststoff bezeichnet werden.		1	
			1	
			1	
	Summe¹	10	15	5

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	1,11, 13			
2	11,13,16		10	
3		8	2, 9	
4				13

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.