

Gemeinsame Abituraufgabenpools der Länder

Beispielaufgaben

Aufgabe für das Fach Chemie

Kurzbeschreibung

Aufgabentitel	Polyurethanschaum in Medizintechnik und als Verpackungsmaterial
Anforderungsniveau	erhöht
Inhaltsbereiche	♦ Stoffe, Strukturen, Eigenschaften ♦ Verbindungen mit funktionellen Gruppen ♦ Strukturen ausgewählter organischer und anorganischer Stoffe ♦ Molekülgeometrie (EPA-Modell) ♦ natürliche und synthetische Stoffe ♦ Kunststoffe ♦ Chemische Reaktionen ♦ Reaktionsmechanismen in der organischen Chemie ♦ Arbeitsweisen ♦ Synthesen ♦ Mechanistische Betrachtung einer Kunststoffsynthese
Materialien	♦ M 1 Polyurethanschaum in der Wundheilung ♦ M 2 Synthese von Polyurethan ♦ M 3 Polyurethanschaum als Verpackungsmaterial
Quellenangaben	♦ Alle Materialien und Abbildungen wurden im Auftrag des IQB erstellt.
Hilfsmittel	♦ Formelsammlung
fachpraktischer Anteil	☐ ja ☒ nein Zeitzuschlag: -
Hinweise	♦ Hinweise zum Anforderungsniveau ♦ Weiterführende Literaturhinweise

1 Aufgabe

Polyurethanschaum in Medizintechnik und als Verpackungsmaterial

Kunststoffe sind als Werkstoffe von einer enormen Vielfalt gekennzeichnet, ihre Einsatzbereiche erstrecken sich über praktisch alle Bereiche der Lebens- und Arbeitswelt. So wird z. B. Polyurethanschaum in der Wundbehandlung sowie als Verpackungsmaterial eingesetzt.

	BE
1 Erläutern Sie unter Verwendung von Skizzen jeweils die Eigenschaften der Kunststoffklassen „Thermoplaste“, „Duromere und „Elastomere“. Ordnen Sie Polyurethanschaum einer Kunststoffklasse zu und beurteilen Sie anhand zweier Aspekte dessen Eignung in der Behandlung der großflächigen, schweren Hautwunden (M 1).	9
2 Für die Synthese des Polyurethanschaumes sind zunächst die Monomere vorzulegen (M 1 und M 2). Formulieren Sie die Reaktionsgleichung zur Synthese eines aliphatischen Diisocyanats aus Phosgen und einem Diamin (M 1 und M 2). Erläutern Sie die Geometrie der Amino-Gruppe und des Phosgen-Moleküls auf Grundlage des Elektronenpaar-Abstoßungs-Modells (EPA-Modell). Beurteilen Sie, ob die Reaktion durch die Geometrie der Ausgangsstoffe erleichtert oder erschwert wird.	11
3 Erläutern Sie den zugrunde liegenden Reaktionsmechanismus zur Bildung der Urethan-Gruppe (M 2). Erklären Sie das Aufschäumen des Polyurethans, auch unter Einbeziehung einer entsprechenden Reaktionsgleichung (M 2).	10
4 Stellen Sie den Zusammenhang zwischen der Nutzung von Polyurethanschaumnetzen und toxischen aromatischen Aminen in exotischen Früchten dar. Bewerten Sie die Herstellung und den Einsatz von Polyurethanschaumnetzen zur Verpackung von empfindlichen Früchten hinsichtlich dreier verschiedener Kriterien (M 2 und M 3).	10

2 Material

Material 1

Polyurethanschaum in der Wundheilung

Schäume auf Grundlage von Polyurethan kommen mit großem Erfolg in der Wundversorgung zur Anwendung. Besonders großflächige oder komplizierte tiefe Hautwunden können als Wundheilungshilfe mit Polyurethanschaum versorgt werden. Solche Hautwunden kommen bei Verbrennungen oder bei chronischen Erkrankungen vor und nehmen bisweilen über die Hälfte der Körperoberfläche ein.

Polyurethanschaum fungiert hier nicht nur als schützende Wundabdeckung. Er dient vielmehr zusätzlich teilungsfähigen Hautstammzellen als Anheftungs- und Gerüstsubstanz. Die Hautstammzellen wandern aus tieferliegenden Hautschichten in den Polyurethanschaum ein, um dort die Haut neu zu bilden und damit die Wunde zu schließen. Die eingesetzten Polyurethanprodukte in der Wundversorgung werden in der Hautwunde durch körpereigene Substanzen und Stoffwechselprozesse nach und nach abgebaut. Dieser Abbau wird dadurch begünstigt, dass die eingesetzten Isocyanate keine aromatischen Molekülbestandteile aufweisen (aliphatische Isocyanate).

Material 2

Synthese von Polyurethan

Zur Synthese werden zwei Monomere benötigt:

Monomer 1 ist ein Isocyanat, welches zwei bis vier Isocyanat-Gruppen enthält. Dieses wird durch Reaktion eines Diamins $\text{H}_2\text{N}-\text{R}_1-\text{NH}_2$, (R_1 beliebiger Rest) mit Phosgen (Cl_2CO) hergestellt. Phosgen sowie Isocyanat-Produkte sind stark giftige Substanzen.

Monomer 2 ist ein Polyalkohol, welcher zwei bis vier Hydroxy-Gruppen aufweist.

Monomer 1 und 2 reagieren miteinander unter Bildung der Urethan-Gruppe, welche kennzeichnend für Polyurethane ist.

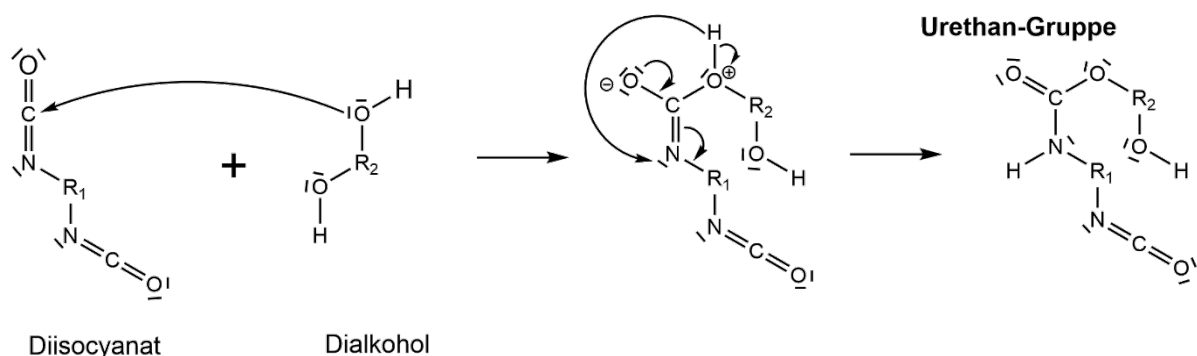


Abb. 1: Mechanismus zur Herstellung der Urethan-Gruppe, vereinfachend wird von bifunktionellen Molekülen ausgegangen, IQB

Die Porengröße und -anzahl wird im Herstellungsprozess des Polyurethanschaumes unter anderem durch die Menge an Wasser reguliert, welches dem Gemisch der Edukte beigelegt wird. Wasser reagiert dabei mit der im Überschuss zugegebenen Isocyanat-Komponente unter Bildung eines als Treibgas fungierenden Stoffes, welches die Aufschäumung des Produktes bewirkt. Dieses Treibgas ist farb- und geruchlos und nicht brennbar.

Material 3

Polyurethanschaum als Verpackungsmaterial

Eine weitere Anwendung von Polyurethanschaum liegt in der Verpackung von Lebensmitteln, z. B. von Obst oder Gemüse. Empfindliche exotische Früchte, die über lange Strecken transportiert werden sollen, werden etwa durch ein Polyurethanschaumnetz vor mechanischer Belastung geschützt (Abb. 2). Da hierbei, im Gegensatz zu der Wundheilungshilfe aus Polyurethanschaum, der Abbau nicht erwünscht ist, werden resistenter Polyurethanschäume eingesetzt, deren Monomere aromatische Molekülbestandteile enthalten, z. B. TDI (Abb. 3).

Im Zuge regelmäßiger Lebensmittelüberwachungen werden in exotischen Früchten bisweilen aromatische Amine in toxischen Konzentrationen nachgewiesen, z. B. 2,4-Diaminotoluol. Hierbei besteht ein gesicherter Zusammenhang zur Verpackung dieser Früchte in Polyurethanschaum.



Abb. 2: Einzel mit Polyurethanschaumnetzen verpackte Früchte, IQB

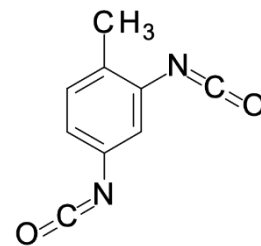
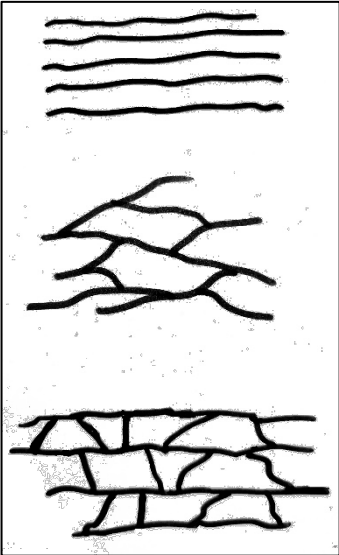


Abb. 3: TDI (Toluol-2,4-diisocyanat), IQB

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	<i>Erläutern Sie unter Verwendung von Skizzen jeweils die Eigenschaften der Kunststoffklassen „Thermoplaste“, „Duromere“ und „Elastomere“.</i> <i>Ordnen Sie Polyurethanschaum einer Kunststoffklasse zu und beurteilen Sie anhand zweier Aspekte dessen Eignung in der Behandlung der großflächigen, schweren Hautwunden (M 1).</i> Die Lernenden ... S 2 leiten Voraussagen über die Eigenschaften der Stoffe auf Basis chemischer Strukturen und Gesetzmäßigkeiten begründet ab; S 11 erklären die Vielfalt der Stoffe und ihrer Eigenschaften auf der Basis unterschiedlicher Kombinationen und Anordnungen von Teilchen; B 7 treffen mithilfe fachlicher Kriterien begründete Entscheidungen in Alltagssituationen. Schematische Skizzen:  Thermoplaste: Elastomere: Duromere: Merkmale: ♦ Thermoplaste (oben): bei Zimmertemperatur hart, bei Erwärmung verformbar, da die schwachen zwischenmolekularen Wechselwirkungen zwischen den unverzweigten Molekül-Ketten leicht überwunden werden können; ♦ Elastomere (Mitte): elastisch, gehen nach mechanischer Beanspruchung wieder in Ausgangsform zurück, da weitmaschig-vernetzte Molekül-Ketten mit schwachen Wechselwirkungen gut gegeneinander verschiebbar sind;	3		

	♦ Duromere (unten): hart und spröde, keine Verformbarkeit, zerspringen bei mechanischer Belastung, zersetzen sich bei höheren Temperaturen, da hoher Vernetzungsgrad der Molekül-Ketten. Zuordnung: Elastomere Beurteilung: Polyurethanschaum ist geeignet, da er z. B. ♦ sich elastisch in die Wunde einbetten muss, ♦ Bewegungen des Patienten flexibel folgen muss, ♦ nach Druckausübung auf die Wunde wieder das ursprüngliche Volumen und die ursprüngliche Form einnehmen muss, ♦ Hohlräume für einwandernde Zellen aufweisen muss. <i>Hinweis: Zwei Aspekte genügen für die zwei Bewertungseinheiten.</i>	3	1	
2	<i>Für die Synthese des Polyurethanschaumes sind zunächst die Monomere vorzulegen (M 1 und M 2).</i> <i>Formulieren Sie die Reaktionsgleichung zur Synthese eines aliphatischen Diisocyanats aus Phosgen und einem Diamin (M 1 und M 2).</i> <i>Erläutern Sie die Geometrie der Amino-Gruppe und des Phosgen-Moleküls auf Grundlage des Elektronenpaar-Abstoßungs-Modells (EPA-Modell).</i> <i>Beurteilen Sie, ob die Reaktion durch die Geometrie der Ausgangsstoffe erleichtert oder erschwert wird.</i> Die Lernenden ... S 16 entwickeln Reaktionsgleichungen; E 7 wählen geeignete Real- oder Denkmodelle (z. B. Atommodelle, Periodensystem der Elemente) aus und nutzen sie, um chemische Fragestellungen zu bearbeiten. Reaktionsgleichung: $\text{H}_2\text{N-R-NH}_2 + 2 \text{Cl}_2\text{CO} \rightarrow \text{OCN-R-NCO} + 4 \text{HCl}$ Molekülgeometrie Amino-Gruppe: Angabe der Lewis-Formel der Amino-Gruppe; trigonal-pyramidal (alternativ: flache, dreiseitige Pyramide, nicht regelmäßiger Tetraeder, Pseudotetraeder); freies Elektronenpaar am Stickstoff-Atom hat größere Abstoßungskräfte; drängt bindende Elektronenpaare der N-H- und N-R-Bindungen zusammen; Bindungswinkel daher kleiner als Tetraeder-Winkel Molekülgeometrie Phosgen: Angabe der Lewis-Formel von Phosgen; trigonal-planares Molekül (alternativ: ebenes, dreieckiges Molekül); Bindungswinkel Cl-C-Cl kleiner 120°, weil Bindungselektronen der C-Cl-Bindung durch die hohe EN von Cl nach außen gezogen werden und die Abstoßungskräfte sich dadurch erniedrigen, auch hat die Doppelbindung C=O größere Abstoßungskraft.		2	3
			3	

	Beurteilung: nicht sterisch gehindert; Stickstoff-Atom der Amino-Gruppe kann mit dem nach außen gerichteten freien Elektronenpaar das Kohlenstoff-Atom des Phosgen-Moleküls ungehindert angreifen			3
3	<i>Erläutern Sie den zugrunde liegenden Reaktionsmechanismus zur Bildung der Urethan-Gruppe (M 2).</i> <i>Erklären Sie das Aufschäumen des Polyurethans, auch unter Einbeziehung einer entsprechenden Reaktionsgleichung (M 2).</i> Die Lernenden ... S 3 interpretieren Phänomene der Stoff-[...]umwandlung bei chemischen Reaktionen; S 14 beschreiben ausgewählte Reaktionsmechanismen; S 16 entwickeln Reaktionsgleichungen. <i>Erläuterung (formelmäßige Darstellungen des Mechanismus können herangezogen werden), z. B.</i> ♦ stark elektronegatives Sauerstoff-Atom der Carbonyl-Gruppe des Isocyanat-Moleküls führt zur positiven Partialladung am Kohlenstoff-Atom der Carbonyl-Gruppe (elektrophil); ♦ stark elektronegatives Sauerstoff-Atom der Hydroxy-Gruppe des Diol-Moleküls führt zur negativen Partialladung am Sauerstoff-Atom der Hydroxy-Gruppe (nucleophil); ♦ Angriff des Nucleophils mit freiem Elektronenpaar an positiver Partialladung der Carbonyl-Gruppe (ein Elektronenpaar der Doppelbindung wird auf das Sauerstoff-Atom der Carbonyl-Gruppe übertragen und es entsteht eine negative Ladung; ♦ Sauerstoff-Atom der Hydroxy-Gruppe mit positiver Ladung; ♦ Umlagerung des Wasserstoff-Ions an das Stickstoff-Atom (positiv geladenes Sauerstoff-Atom zieht Bindungselektron vom Wasserstoff-Atom an); Anlagerung der Wasserstoff-Ions an das Stickstoff-Atom bei gleichzeitiger Rückbildung der Doppelbindung zur Carbonyl-Gruppe; Folge ist freies Elektronenpaar am Stickstoff-Atom. <i>Die Benennung des Mechanismus (Polyaddition) wird nicht erwartet.</i> Erklärung: Reaktionsgleichung: $\text{R-NCO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{R-NH}_2 + \text{CO}_2 \uparrow$ ♦ Überschüssiges Isocyanat reagiert, ♦ es entsteht (gasförmiges) Kohlenstoffdioxid, ♦ welches im Kunststoff Bläschen bildet (Aufschäumen).		3	3
4	<i>Stellen Sie den Zusammenhang zwischen der Nutzung von Polyurethanschaumnetzen und toxischen aromatischen Aminen in exotischen Früchten dar.</i> <i>Bewerten Sie die Herstellung und den Einsatz von Polyurethanschaumnetzen zur Verpackung von empfindlichen Früchten hinsichtlich dreier verschiedener Kriterien (M 2 und M 3).</i>			

Die Lernenden ... K 8 strukturieren und interpretieren ausgewählte Informationen und leiten Schlussfolgerungen ab; B 6 beurteilen Chancen und Risiken ausgewählter [...] Produkte [...] fachlich und bewerten diese; B 13 beurteilen und bewerten Auswirkungen chemischer Produkte, [...] im Sinne einer nachhaltigen Entwicklung aus ökologischer, ökonomischer und sozialer Perspektive. Darstellen z. B. ♦ Aromatische Isocyanate werden im Überfluss eingesetzt (Aufschäumung); ♦ TDI-Monomere können aus deren Verpackungen auf das Lebensmittel übergehen; ♦ aromatische Amine können in den Früchten als Reaktionsprodukt aus den Isocyanaten entstehen, dazu muss Feuchtigkeit vorhanden sein (Wasser als zweites Edukt). Bewertung: (<i>offene Aufgabenstellung, wobei erwartet wird, dass Kriterien eigenständig aufgestellt und wertend ausgeführt werden</i>), z. B. ♦ Kriterium „Lebensmittel-Wertigkeit“ (Verbrauchererwartung, Qualitätssicherung, Lebensmittelverschwendung), z. B.: Die Verpackung ist nützlich: Verbraucher erwarten unversehrte, visuell attraktive Lebensmittel, ungeschützte Früchte bekommen Druckstellen und verderben schneller, müssen ggf. weggeworfen werden. ♦ Kriterium „Umwelt“ (Nachhaltigkeit, Recycling, Ökologie), z. B.: Die Verpackung ist ökologisch bedenklich: Mengen an Verpackungsmüll, keine Wiederverwendung der Polyurethanschaumnetze. ♦ Kriterium „Gesundheit“ (Risiken, Toxizität), z. B.: Die Herstellung und Anwendung der Verpackung kann Schaden hervorrufen: Einsatz giftiger Substanzen in der Herstellung, Risiko für im Prozess beteiligte Arbeitskräfte, toxische Belastung von Lebensmitteln. eigenes Werturteil formulieren <i>Hinweis: Für die sechs Bewertungseinheiten müssen Aspekte dreier verschiedener Kriterien wertend herausgearbeitet sein.</i>	1	2	1
Summe	8	25	7
Anteile der Bewertungseinheiten in Prozent	20	62,5	17,5

4 Standardbezug

Teilaufgabe	Kompetenzbereiche			
	S	E	K	B
1	2, 11			7
2	16	7		
3	3, 14, 16			
4			8	6, 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 Bewertungsraster¹ vorgesehen, das angibt, wie die in den drei Prüfungsteilen insgesamt erreichten Bewertungseinheiten in Notenpunkte umgesetzt werden.

6 Hinweise

Unterscheidung der Aufgaben auf grundlegendem und erhöhtem Anforderungsniveau

Die Aufgabe auf erhöhtem Anforderungsniveau unterscheidet sich von der auf grundlegendem Anforderungsniveau nicht nur in der Bearbeitungszeit und der Anzahl an Bewertungseinheiten, sondern auch im Folgenden:

- ◆ Die Prüfungsaufgabe des erhöhten Niveaus ist durch die geringere Anzahl an Teilaufgaben weniger stark vorstrukturiert.
- ◆ Die Materialien sind im erhöhten Niveau komplexer und es sind weniger illustrierende Abbildungen vorhanden. Daher wird mehr Eigenständigkeit erwartet, z. B. bei der mechanistischen Betrachtung der Kunststoffsynthese.
- ◆ Es werden mehr Inhalte thematisiert und die Inhalte der Aufgabe auf erhöhtem Niveau sind tiefergehend, z. B. wird zusätzlich zur Anwendung des EPA-Modells gefordert, Schlussfolgerungen zu ziehen.

Weiterführende Literaturhinweise für die Lehrkraft

- ◆ Zu Wundaufgabe/ Gerüst:
Rottmar M, Richter M, Mäder X, et al. *In vitro* investigations of a novel wound dressing concept based on biodegradable polyurethane. *Sci Technol Adv Mater*. 2015;16(3):034606. Published 2015 May 20. doi:10.1088/1468-6996/16/3/034606.

¹ Das Bewertungsraster ist Teil des Dokuments „Beschreibung der Struktur“, das auf den Internetseiten des IQB zum Download bereitsteht.

- ◆ Richtlinie 93/8/EWG der Kommission vom 15. März 1993 zur Änderung der Richtlinie 82/711/EWG des Rates über die Grundregeln für die Ermittlung der Migration von Materialien und Gegenständen aus Kunststoff, die dazu bestimmt sind, mit Lebensmitteln in Berührung zu kommen. Verfügbar unter: <https://op.europa.eu/de/publication-detail/-/publication/df6e0b47-7a03-4a97-a6fc-7388e423d4c4/language-de> (Zugriff am 16.03.2021)