

Beispielaufgabe Kunststoffe

- 1 Im Jahre 1935 synthetisierte Otto Bayer den ersten Kunststoff aus der Klasse der Polyurethane (PUR), die zunächst als Alternative zu den bereits bekannten Polyamiden zur Herstellung von Textilfasern eingesetzt werden sollten. Dieses Vorhaben scheiterte damals. Polyurethane haben sich dennoch als eine sehr vielseitige Klasse von Hochpolymeren erwiesen. Man verwendet sie als thermoplastisches Material für Lagerteile, Rollen und Walzen, als Duroplaste, als PUR-Kautschuk, als Bestandteil von Klebstoffen und Lacken, als Hartschaumstoffe und selbst als Material für künstliche Herzklappen. Die Ursache für diese Vielfalt an Verwendungsmöglichkeiten liegt darin, dass je nach Wahl und Stoffmengenverhältnis der Ausgangsstoffe PUR-Kunststoffe mit sehr unterschiedlichen Werkstoffeigenschaften entstehen können.

Als Ausgangsstoffe für Polyurethane und Polyamide werden unter anderem folgende Verbindungen verwendet:

1,4-Butandiol	$\text{HO}-(\text{CH}_2)_4-\text{OH}$	
Decandisäure	$\text{HOOC}-(\text{CH}_2)_8-\text{COOH}$	
1,6-Diaminohexan (= Hexamethylendiamin)	$\text{H}_2\text{N}-(\text{CH}_2)_6-\text{NH}_2$	und
1,6-Diisocyanatohexan (= Hexamethylendiisocyanat)	$\text{OCN}-(\text{CH}_2)_6-\text{NCO}$	

- 1.1 Wählen Sie aus den gegebenen Verbindungen Stoffe aus, die sich zur Synthese eines Polyamids und eines Polyurethans eignen.
Benennen Sie den Reaktionstyp dieser Synthesereaktion.
Stellen Sie Strukturformeln von Molekülen der beiden Kunststoffklassen auf geeignete Weise dar.
Suchen Sie, nach einer Begründung für die Wahl der Polyurethane als mögliche Alternative für Polyamid-Textilfasern.

[4 BE]

- 1.2 Schlagen Sie geeignete Monomere für zwei weitere Varianten zur Herstellung von Polyurethan-Kunststoffen mit unterschiedlichen Eigenschaften vor. Geben Sie jeweils die Strukturformeln der verwendeten Monomere und die prognostizierten Eigenschaften der Produkte an (mit Begründung). Gehen Sie auch auf das jeweilige Stoffmengenverhältnis der verwendeten Monomere ein.

[6 BE]

- 2 Ein anderer, wirtschaftlich sehr bedeutender Kunststoff ist Polyvinylchlorid, PVC, das durch Polymerisation des sehr giftigen Ausgangsstoffes Vinylchlorid (Summenformel $\text{C}_2\text{H}_3\text{Cl}$) hergestellt wird. Die Bestimmung der molaren Masse eines handelsüblichen Polyvinylchlorids hat $M = 750\,000\text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ ergeben.

- 2.1 Formulieren Sie einen Ausschnitt aus der Strukturformel eines PVC-Moleküls und berechnen Sie die durchschnittliche Anzahl der Moleküle des Monomers, die miteinander verknüpft worden sind.

[3 BE]

- 2.2 Da PVC zu den Massenkunststoffen zählt, kommt dem Recycling eine große Bedeutung zu. Dazu soll untersucht werden, wie sich PVC beim Erhitzen unter Luftausschluss verhält. Beschreiben Sie Experimente, bei denen festgestellt werden kann, ob die Zersetzungsprodukte ungesättigte Kohlenwasserstoffe, z. B. Ethen, und Chlorwasserstoff enthalten.

Gehen Sie dabei auf die erforderlichen Sicherheitsmaßnahmen ein.

Fertigen Sie eine Skizze zu diesen Experimenten an und formulieren Sie Reaktionsgleichungen zu den von Ihnen genannten Nachweisreaktionen.

[7 BE]

[20 BE]

Lösungshinweise:

1.1 Zur Herstellung des Polyamids werden Decandisäure und 1,6-Diamonohexan verwendet, das Polyurethan entsteht aus 1,4-Butandiol und 1,6-Diisocyanatohexan.
Polykondensation und Polyaddition, zwei Strukturformelausschnitte.
Begründung durch Darstellung der strukturellen Ähnlichkeiten beider Makromoleküle und der daraus resultierenden Eigenschaften, z. B. Reißfestigkeit (nach Verstrecken) wegen der möglichen Ausbildung von Wasserstoffbrücken zwischen den Molekülketten.

1.2 Hier sind unterschiedliche Antworten möglich, die Argumentation muss in sich jedoch schlüssig sein.

Möglich wäre die Verwendung von trifunktionellen Isocyanaten und Diolen, deren Stoffmenge größer gewählt werden muss als die des Isocyanats. Die engmaschige Vernetzung führt zu einem PUR mit duroplastischen Eigenschaften. Denkbar wäre die Verwendung von bifunktionellen Monomeren mit strukturellen Besonderheiten im Kohlenwasserstoffrest (Doppelbindungen, aromatische Ringe etc. mit entsprechend veränderten Eigenschaften), das Stoffmengenverhältnis wäre hier 1:1. Auch die Möglichkeit eines Überschusses an Isocyanaten, deren funktionelle Gruppen zum Teil mit Wasser reagieren und durch Kohlenstoffdioxidbildung zu einem Schaumstoff führen, kann genannt werden.

2.1 Strukturformelausschnitt,

$$N(\text{Monomer}) = \frac{M}{M(\text{C}_2\text{H}_3\text{Cl})} = \frac{750000 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}}{62 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}} \approx 12\,100$$

2.2 Skizze einer Apparatur mit Gasableitungsrohr. Chlorwasserstoff wird in einem Gefäß auf Wasser geleitet. Mögliche Nachweise: z. B. durch Säure-Base-Indikator und salpetersaure Silbernitrat-lösung.

Ungesättigte Verbindungen werden durch Bromwasser oder die Baeyersche Probe nachgewiesen; auch die Möglichkeit der Polymerisation ungesättigter Verbindungen, etwa durch Zugabe eines Radikalstarters, kann genannt werden.

Reaktionsgleichungen. Sicherheitsmaßnahmen: gasdichte Apparatur, wegen der Gefährlichkeit des durch Depolymerisation möglicherweise gebildeten Vinylchlorids ist ein Abzug erforderlich.