

## G8 Abituraufgaben Chemie

### Kunststoffe 2011/ C1

Ibuprofen ist ein weit verbreitetes Arzneimittel, das schmerzlindernd und entzündungshemmend wirkt.

- 1 Ibuprofentabletten sind in Blisterpackungen („Durchdrückpackungen“) erhältlich

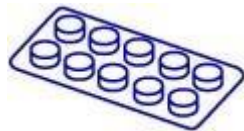


Abb. 1: Blisterpackung eines Medikaments (Aufsicht, Seitenansicht)

Die Tabletten werden in einzelne Vertiefungen eingelegt und die Packung in der Regel durch Aluminiumfolie versiegelt. Ein für Blisterpackungen häufig verwendeter Kunststoff ist das glasklare, chemisch beständige Polyvinylidenchlorid (PVdC).

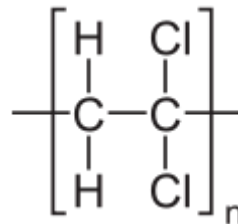


Abb. 2: Strukturformelausschnitt von Polyvinylidenchlorid

1.1 Die Verarbeitung von reinem Polyvinylidenchlorid ist problematisch, da der Kunststoff erst bei ca. 200 °C schmilzt und sich bereits bei wenig höheren Temperaturen zu zersetzen beginnt.

Beschreiben Sie die beiden Vorgänge auf molekularer Ebene und stellen Sie eine Hypothese auf, die den hohen Schmelzbereich des Kunststoffes erklärt! [6BE]

### 2011/C2

Jährlich werden in Deutschland etwa 20.000 Tonnen Kaugummi verkauft, dies entspricht einem Umsatz von ca. 650 Millionen Euro.

- 1 Während die Kaumasse früher überwiegend aus Kautschuk bestand, verwendet man derzeit in der Regel Polyisobuten (PIB), das durch radikalische Polymerisation von Methylpropen synthetisiert wird. 1.1 Geben Sie die Strukturformel von Methylpropen an, zeichnen Sie die Reptiereinheit von Polyisobuten und formulieren Sie, ausgehend von einem organischen Peroxid (R-O-O-R) als Starter, den Mechanismus der radikalischen Polymerisation von Methylpropen! [9 BE]

- 1.2 Der Polymerisationsgrad eines Kunststoffes gibt die mittlere Anzahl der Monomereinheiten in seinen Makromolekülen an.

- 1.2.1 Durch Veränderung des Polymerisationsgrads können Polyisobutene mit verschiedenen Schmelzbereichen hergestellt werden. Darunter gibt es beispielsweise zähflüssige Öle und auch feste Kunststoffe.

Erläutern Sie diesen Sachverhalt! [4 BE]

- 1.2.2 Stellen Sie eine begründete Hypothese auf, welchen Einfluss die

Konzentration des zugesetzten Starters auf den Polymerisationsgrad des entstehenden Kunststoffs hat! [4 BE]

### **Musterabitur 2011 - Chemie B 1 Wasserspeichernde Polymere**

- 3 Polyacrylsäure wird meist durch radikalische Polymerisation von Acrylsäure hergestellt.

Damit sie in Einmalwindeln verwendet werden können, müssen die wasserlöslichen Polymermoleküle anschließend mit Hilfe so genannter CrossLinker weitmaschig vernetzt und dadurch wasserunlöslich gemacht werden.

- 3.1 Formulieren Sie den Mechanismus der Polyreaktion für die Bildung von Polyacrylsäure und geben Sie eine Repeatingeinheit für das Polymermolekül an! [ 8 BE]

- 3.2 Schlagen Sie einen Cross-Linker für Polyacrylsäure vor, benennen Sie den der Vernetzung zugrunde liegenden Reaktionstyp und zeichnen Sie einen Formelausschnitt des vernetzten Makromoleküls! [6 BE]

Erläutern Sie, weshalb sowohl Cellulose als auch vernetzte Polyacrylsäure in der Lage sind Wasser zu speichern! Beurteilen Sie die Alkalibeständigkeit der Cellulose und des synthetischen Polymers! [8 BE]

### **2012 A1**

- 3 Neben Pigmenten enthalten Lacke als weitere Hauptkomponente Bindemittel, deren Aufgabe darin besteht, nach dem Trocknen des Lacks einen zusammenhängenden, gut haftenden Film auf dem Untergrund zu erzeugen. Als Bindemittel kommen häufig Alkydharze zum Einsatz, da sie u. a. hervorragende Filmbildner darstellen. Iso-Phthalsäure (Benzol-1,3dicarbonsäure), Glycerin (Propan-1,2,3-triol) und Linolsäure ((Z, Z) - Octadeca9,12-diensäure) finden sich im gleichen Mengenverhältnis als Grundbausteine in einem zunächst linearen Alkydharz.

- 3.1 Zeichnen Sie einen Strukturformelausschnitt dieses linearen Alkydharzes, der die drei genannten Grundbausteine enthält, und ordnen Sie es aufgrund der Verknüpfungen einer Kunststoffklasse zu!

[8 BE]

3.2 Unter dem Einfluss von Radikalen reagieren beim Aushärten des zähflüssigen Alkydharzes Molekülbereiche verschiedener Alkydharzmoleküle miteinander.

Erläutern Sie diesen Vorgang auf der Teilchenebene und vergleichen Sie das thermische Verhalten des Alkydharzes vor und nach dem Aushärten!

[7 BE]

## 2012 A2

Im Jahre 1955 wurde Haarspray erfunden und erstmals vermarktet. Einer der Inhaltsstoffe, der als Filmbildner für die Haarform dient, ist Polyvinylacetat, das aus Vinylacetat hergestellt wird.

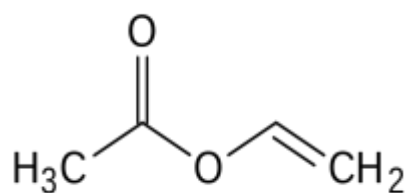


Abb. 3: Strukturformel von Vinylacetat

3.1 Zeichnen Sie eine Repetiereinheit von Polyvinylacetat und formulieren Sie, ausgehend von einem Starter (R-R), den Mechanismus der Synthese dieses Kunststoffs! [7 BE]

3.2 Vinylacetat ist in basischer Lösung nicht stabil.

Erklären Sie diese Beobachtung unter Mitverwendung einer Strukturformel-Gleichung! [3 BE]

## 2013 C1

2 Aus aromatischen Monomerbausteinen können synthetische Polymere, die Aramide, hergestellt werden, die zum Beispiel zur Herstellung von schusssicheren Westen oder als Verstärkungsmaterial für Glasfaserkabel eingesetzt werden. Die folgende Abbildung zeigt eine Strukturformel Ausschnitt aus einem Aramid-Molekül:

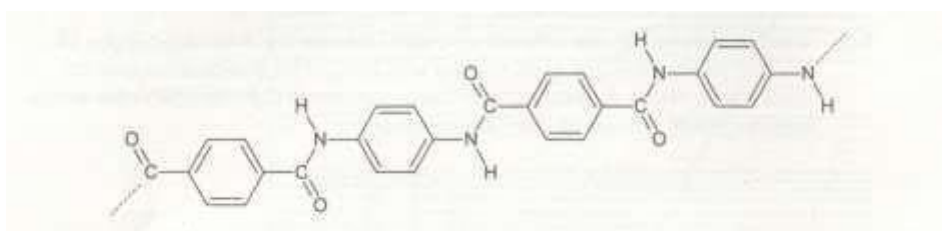


Abb. 2: Strukturformelausschnitt aus einem Aramid-Molekül

2.1 Formulieren Sie eine Strukturformelgleichung der Polyreaktion, die der Synthese dieses Aramids zugrunde liegt, und benennen Sie den Polyreaktionstyp! [5 BE]

2.2 Bei der Herstellung von Funktionskleidung werden Aramidgewebe mit anderen Kunststoffen wie zum Beispiel Polypropylen beschichtet. 2.2.1 Die Kettenlänge der Polypropylenmoleküle wird durch die Reaktionsbedingungen bei der Synthese beeinflusst. Abbildung 3 zeigt eine mögliche Verteilung der Anzahl der Polymermoleküle in Abhängigkeit von ihrer Kettenlänge:

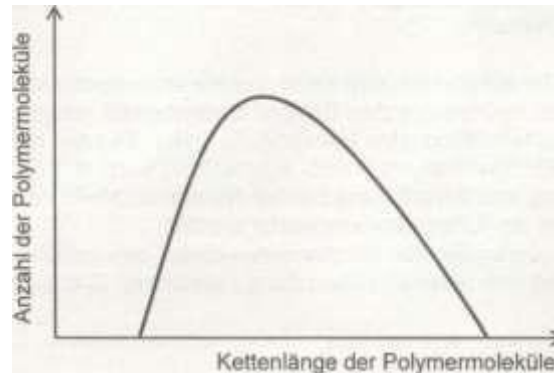


Abb. 3: Verteilung der Anzahl der Polymermoleküle in Bezug auf ihre Kettenlänge

Skizzieren Sie in dem Diagramm aus Abbildung 3 eine weitere Kurve, die sich ergibt, wenn unter sonst gleichen Bedingungen eine höhere Konzentration an Startermolekülen eingesetzt wird, und begründen Sie Ihre Aussage! [6 BE]

2.2.2 Bei den beschichteten Aramid-Geweben ist eine der beiden Komponenten für die Reißfestigkeit und die andere für die Säurebeständigkeit des Materials verantwortlich.

Erläutern Sie diesen Sachverhalt auf Basis der unterschiedlichen Struktur der Kunststoffe-Moleküle! [6 BE]

### 2013/C2 Polyurethane und andere Kunststoffe

Polyurethane sind vielseitig verwendbare Kunststoffe, die als Fasern oder Schäume eingesetzt werden können.

- 1 Ein Grundstoff für die Synthese von Polyurethanen ist Toluol-2,4-diisocyanat. Zur Herstellung von Toluol-2,4-diisocyanat wird Toluol (Methylbenzol) zweifach nitriert und das entstehende Produkt anschließend katalytisch zu 2,4-Diaminotoluol hydriert. Diese Verbindung wird mit Phosgen (s. Abb. 1) zum Produkt Toluol-2,4-diisocyanat umgesetzt.

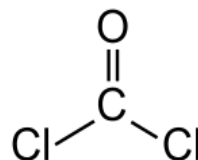


Abb. 1: Strukturformel von Phosgen

- 1.1 Formulieren Sie den Reaktionsmechanismus der Nitrierung von Toluol zum 2-

Nitrotoluol unter Mitverwendung mesomerer Grenzstrukturformeln! Als Elektrophil fungiert das Nitronium-Ion ( $\text{NO}_2^+$ ). [6 BE]

- 1.2 Formulieren Sie Strukturformelgleichungen für die katalytische Hydrierung von 2,4-Dinitrotoluol zu 2,4-Diaminotoluol und für die Umsetzung von 2,4-Diaminotoluol zu Toluol-2,4-diisocyanat! [6 BE]
- 1.3 Toluol-2,4-diisocyanat wird mit Ethan-1,2-diol zu einem Polyurethan umgesetzt. Die Temperaturabhängigkeit des Elastizitätskoeffizienten dieses Polyurethans wird mit derjenigen eines Elastomers, wie z. B. Gummi, verglichen. Der Elastizitätskoeffizient kennzeichnet die Kraft pro Fläche, die aufzuwenden ist, um eine Materialprobe um einen bestimmten Prozentsatz der Ausgangslänge zu dehnen.

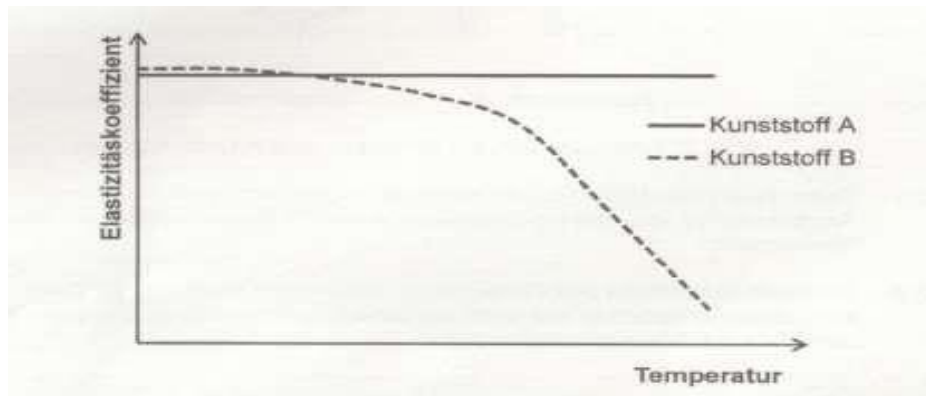


Abb. 2: Elastizitätskoeffizient der Kunststoffe A und B in Abhängigkeit von der Temperatur, stark vereinfacht

- 1.3.1 Zeichnen Sie einen charakteristischen Strukturformelausschnitt des

Polyurethans! [4 BE]

- 1.3.2 Geben Sie an, bei welchem der Kunststoffe A und B es sich um das

Polyurethan und bei welchem es sich um den Gummi handelt, und erläutern Sie die beiden Kurvenverläufe! [10BE]

- 1.3.3 Ein Gummiband gibt beim Dehnen Wärme an die Umgebung ab. Erklären Sie, warum sich das gedehnte Gummiband bei Entlastung freiwillig wieder zusammenzieht! [3BE]

## 2014 C2

2 Ambroxolsaft wird in braunen Plastikflaschen aus Polyethylenterephthalat (PET) vertrieben. PET-Einwegflaschen werden in Deutschland größtenteils werkstofflich recycelt. Hierbei wird in einem Verfahren A durch Zerkleinern, Reinigen und Abtrennen anderer Bestandteile ein Teil des PET als so genannte „Flakes“ zurückgewonnen, aus denen nach Zusatz von frischem PET erneut Flaschen hergestellt werden können. In einem Verfahren B können die PET-Abfälle alternativ in einem rohstofflichen Recycling-Verfahren nach Reinigen und Abtrennen anderer Kunststoffabfälle in einer basischen Lösung unter 20 bar Druck und bei einer Temperatur von 200 °C nahezu vollständig in die Kunststoff- Monomere zerlegt werden.

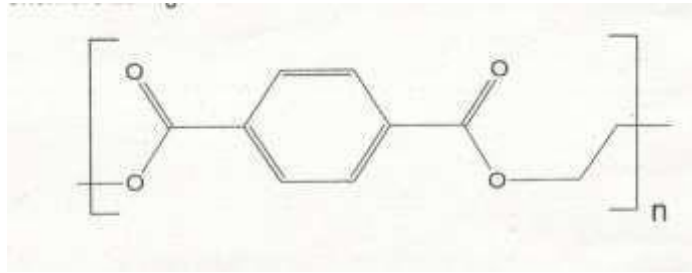


Abb. 2: Strukturformelausschnitt von PET

4.1 Formulieren Sie die Strukturformelgleichung für die Reaktion bei Verfahren B und benennen Sie den Reaktionstyp! [4 BE]

4.2 Diskutieren Sie Vor- und Nachteile beider Recycling-Verfahren und gehen Sie dabei auf die prinzipielle Notwendigkeit des Kunststoff-Recyclings ein! [6BE]

## 2015 A1

2 Im Jahr 1935 wurden Versuche durchgeführt, um aus Casein technisch verwertbare Kunststoffe herzustellen. Hierzu wurde das Casein mit Methanal behandelt. Dadurch entstanden Methylenbrücken zwischen den Caseinmolekülen.

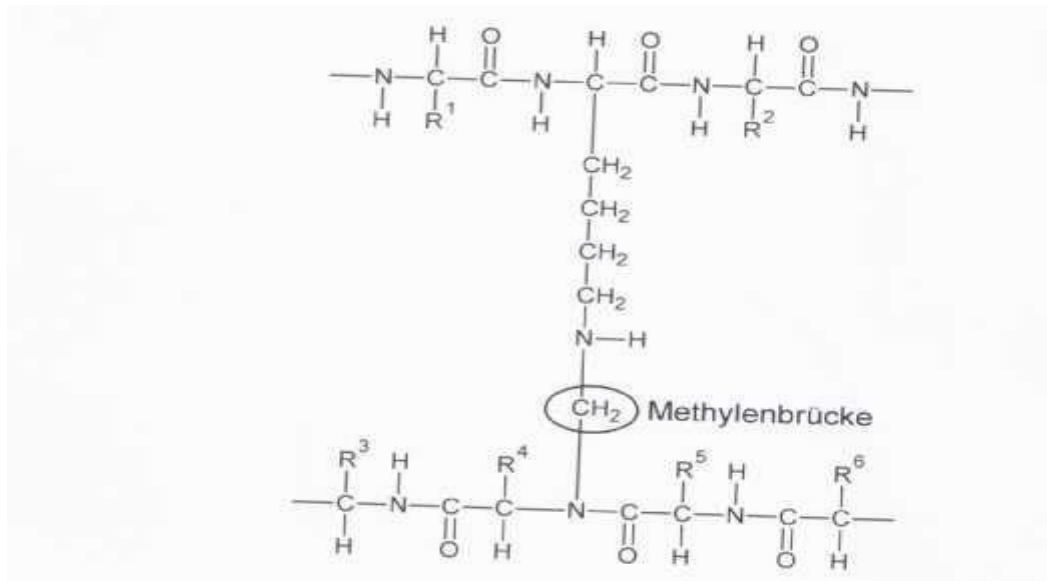


Abb. 3: Strukturformelausschnitt aus dem mit Methanal behandelten Casein

2.1 Im Casein Molekül findet man verschiedene Sekundärstrukturen.

Nennen Sie zwei Sekundärstrukturen und vergleichen Sie diese! [5 BE]

2.2 Beschreiben Sie, zwischen welchen Bestandteilen der Casein Moleküle die Methylenbrücke ausgebildet wird, und erläutern Sie, welche Auswirkung die Behandlung mit Methanal auf die Zugfestigkeit des Materials hat! [6 BE]

2.3 Während Kunststoffe auf Basis von Casein bereits seit langem bekannt sind, stellen Polyesterhydrazide (PEH) neuartige Kunststoffe dar, die aufgrund ihrer mechanischen Eigenschaften und ihrer biologischen Abbaubarkeit von Interesse sind.

Die Abbildung zeigt die Repetiereinheit eines solchen Polymers:

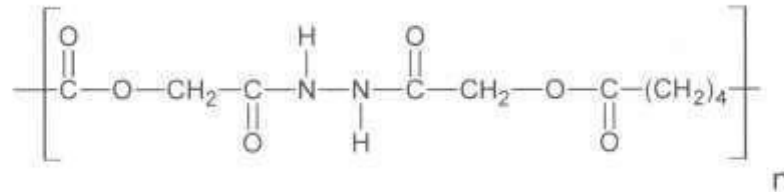


Abb. 4: Repetiereinheit eines PEH-Polymers

Die Polymerketten zeigen strukturelle Ähnlichkeiten zu anderen Polykondensaten.

Beim biologischen Abbau werden die Esterbindungen im Polymer enzymatisch gespalten.

Formulieren Sie die Strukturformelgleichung für diese Hydrolyse! [5 BE]

## 2015/A2

- 1 Das Zeitalter der synthetischen Polyamide begann in den dreißiger Jahren des letzten Jahrhunderts. Mit Produkten wie Nylon oder Perlon revolutionierte die neue Kunststoffgruppe damals die Textilbranche. Polyamide werden auch heute noch in großen Mengen zu Fasern verarbeitet, jedoch haben sie dank ihrer guten mechanischen Eigenschaften und der großen chemischen Beständigkeit längst in vielen anderen Branchen Einzug gehalten.

Folgende Monomere können zur Herstellung von Polyamiden verwendet werden.

Tab. 1: Monomere zur Synthese von Polyamiden

|   |                   |
|---|-------------------|
| A | Hexandisäure      |
| B | 1,6-Diaminohexan  |
| C | 1,10-Diaminodecan |
| D | Decandisäure      |

Aus diesen Monomeren lassen sich folgende Kunststoffe herstellen:

Tab. 2: Polyamide, die aus den Monomeren in Tabelle 1 hergestellt werden können:

| Monomer 1 | Monomer 2 | Polymer  |
|-----------|-----------|----------|
| A         | B         | PA 6,6   |
| A         | C         | PA 10,6  |
| D         | B         | PA 6,10  |
| D         | B         | PA 10,10 |

1.1 Formulieren Sie die Strukturformelgleichung der Polyreaktion die der

Synthese von PA 6,6 zugrunde liegt! [4 BE]

1.2 Im Vergleich zu anderen Kunststoffen können Polyamide relativ viel Wasser binden. Das Wasseraufnahmevermögen variiert dabei je nach Polyamidsorte:

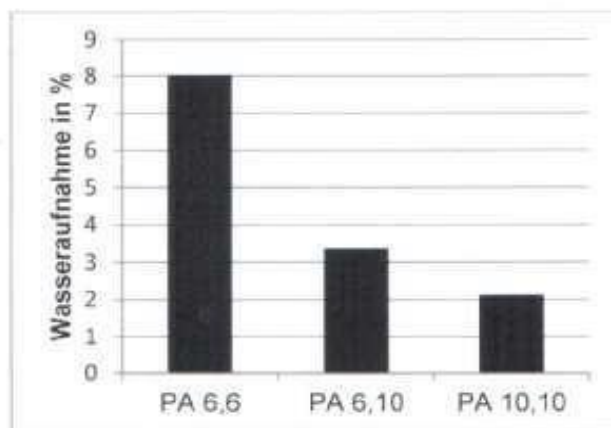


Abb. 1: Wasseraufnahme verschiedener Polyamidsorten bei 100 % Luftfeuchtigkeit (Wasseraufnahme in Prozent der Kunststoffmasse)

Erklären Sie mithilfe des Diagramms den Zusammenhang zwischen der Molekülstruktur und dem Wasseraufnahmevermögen der drei Polyamide! [5 BE]

2 Polyamide sind wie andere erdölbasierte Kunststoffe meist schwer biologisch abbaubar. In den Meeren sammeln sich diese Materialien und werden mit der Zeit zu winzigen Partikeln, sogenanntem Mikroplastik, zerrieben.

Die Bedeutung des Mikroplastiks für die Umwelt wird in folgendem Schema dargestellt:



Abb. 2: Bedeutung von Mikroplastik für die Umwelt<sup>2</sup>

2.1 Begründen Sie mithilfe von Abbildung 2, weshalb kleine Kunststoffpartikel eine größere Umweltgefahr darstellen als große! [3 BE]

2.2 Ein niederländisches Forschungsteam um einen 20-jährigen Forscher arbeitet derzeit an Lösungen, die Kunststoffpartikel aus dem Meer zu fischen und einer Verwertung zuzuführen.

Begründen Sie, weshalb dieser Kunststoffabfall nicht durch Umschmelzen (werkstoffliches Recycling) wiederverwertet werden kann, und schlagen Sie eine alternative Form der Verwertung vor! [3 BE]

Abbildungen und Tabellen:

<sup>1</sup> verändert nach: *Neue langkettige Polyamide für Automotive*.

[http://plasticker.de/news/images/\\_news/15561\\_f.03.jpg](http://plasticker.de/news/images/_news/15561_f.03.jpg), zuletzt aufgerufen am 16.4.14

<sup>2</sup> verändert nach: P. Holm, G. Schulz, K. Athanasopulu: *Mikroplastik – ein unsichtbarer Störenfried*. In: *Biologie in unserer Zeit*. 43. Jg. 2013/1, S. 29

## 2015/B2

2 Für das Füttern von Kleinkindern gibt es mittlerweile Löffel, die in Abhängigkeit von der Temperatur ihre Farbe ändern. Eine solche reversible Farbänderung bezeichnet man als Thermochromie.

2.1 Die thermochromen Farbstoffe sind in eine Polymermasse eingebettet. Die folgende Abbildung zeigt ein Monomer, das zur Herstellung des hierfür verwendeten Materials in einer Polykondensationsreaktion eingesetzt wird:

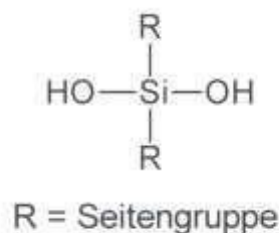


Abb. 2: Strukturformel eines möglichen Monomers  
Geben Sie an, zu welcher Substanzklasse das Polymer gehört, und formulieren Sie eine entsprechende Synthesegleichung! [4 BE]

2016/C1

2 Synthetische Klebstoffe basieren meist auf polymeren Werkstoffen.

2.1 Viele Sekundenkleber enthalten Cyanacrylate. Diese Monomere reagieren bei Anwesenheit von Wasser (z. B. Luftfeuchtigkeit) in einer sogenannten anionischen Polymerisation schlagartig zu einem Polymer, das die Klebewirkung des Sekundenklebers bedingt.

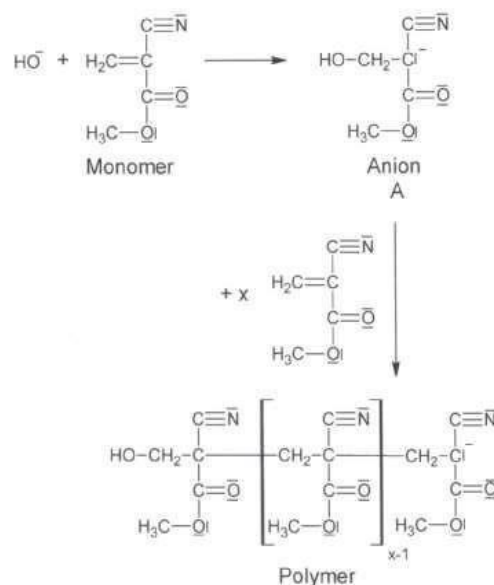


Abb. 2: Anionische Polymerisation eines Cyanacrylats

2.1.1 Geben Sie die Funktion der Hydroxid-Ionen an und erklären Sie deren Herkunft! [4 BE]

2.1.2 Begründen Sie, warum sich auf der Packung von Sekundenklebern der Warnhinweis „Klebt innerhalb von Sekunden Haut und Augenlider zusammen“ befindet! [3 BE]

2.1.3 Erklären Sie mithilfe mesomerer Grenzstrukturen die Stabilität des

Anions A!

[5 BE]

2.2 Beim Verkleben von Lebensmittelverpackungen kann ein Klebstoff, der Polyvinylidenchlorid enthält, verwendet werden. Die folgende Abbildung zeigt die Repetiereinheit des Polyvinylidenchlorids:

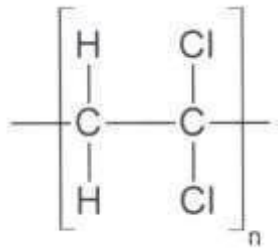


Abb. 3: Repetiereinheit von Polyvinylidenchlorid

Formulieren Sie ausgehend von einem Startermolekül R-R den Mechanismus für die Synthese dieses Polymers! [7 BE]

## 2017 A1

### Polyhydroxybuttersäure

Polyhydroxybuttersäure (PHB) ist ein Biopolymer, das als Speicherstoff in bestimmten Bakterien vorkommt. In den letzten Jahren wurde mittels gentechnisch veränderter Bakterien auch eine industrielle Nutzung von PHB möglich gemacht

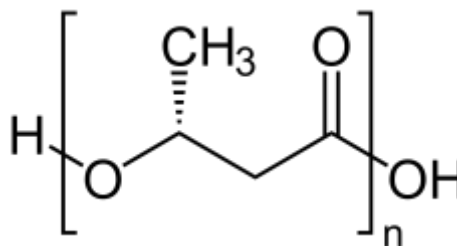


Abb. 1: Repetiereinheit von PHB

- 1 PHB kann in kleinen Mengen auch im Reagenzglas hergestellt werden.
  - 1.1 Benennen Sie den Typ der Polyreaktion, der zur Bildung von PHB führt und formulieren Sie die Strukturformelgleichung für diese Synthese. [4 BE]
  - 1.2 Ordnen Sie PHB aufgrund des thermischen Verhaltens einer Kunststoffklasse zu und erläutern Sie Ihre Zuordnung. [6 BE]
- 2 Durch die Mischung verschiedener Kunststoffe können ihre Eigenschaften den Einsatzgebieten angepasst werden. So wird z. B. PHB häufig mit Polypropen (PP) gemischt. Zur Bestimmung der Kunststoffhärte kann eine Messung nach Shore durchgeführt werden. Dabei wird ein Metallstift in den Kunststoff gedrückt und die Eindringtiefe gemessen (0: vollständiges Eindringen; 100: kein Eindringen).

Abbildung 2 zeigt die Shore-Werte verschiedener PHB/PP-Gemische.

Abbildungen und Tabellen:

<sup>1</sup> verändert nach: W. M. Pachekoski; J. A. Marcondes Agnelli; L. P. Belem: *Thermal, mechanical and morphological properties of poly(hydroxybutyrate) and polypropylene blends after processing*. In: *Material Research* (2009) 2

<sup>2</sup> verändert nach: R. Handrick, S. Reinhardt, P. Kimmig, D. Jendrossek: *The "Intracellular" Poly(3-Hydroxybutyrate) (PHB) Depolymerase of Rhodospirillum rubrum is a Periplasm-Located Protein with Specificity for Native PHB and with Structural Similarity to Extracellular PHB Depolymerases* <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC523223>, zuletzt aufgerufen am 25.5.2016 <sup>3</sup> V. Gowda U. S., S. Shivakumar: *Poly(-β-hydroxybutyrate) (PHB) depolymerase PHAZ<sub>Pen</sub> from Penicillium expansum: purification, characterization and kinetic studies* <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4624153>, zuletzt aufgerufen am 25.5.2016

## 2017/A 2 Tropische Pilze

Pilze bilden in allen Ökosystemen eine wichtige Gruppe der am Abbau organischer

Materie beteiligten Lebewesen (Destruenten), da sie über eine Vielzahl spezieller Enzyme verfügen. Der Ansatz, unter diesen Enzymen Vertreter zu identifizieren, die auch künstliche Polymere abbauen oder als Medikamente dienen können, gewinnt in der Forschung zunehmend an Bedeutung.

1 2011 veröffentlichten Wissenschaftler ihre Entdeckung, dass der Pilz *Pestalotiopsis microspora* Polyurethanverbindungen spalten kann.

Polyurethane verfügen über ein sehr breites Einsatzspektrum, da sie je nach verwendeten Monomeren unterschiedlichste Eigenschaften aufweisen.

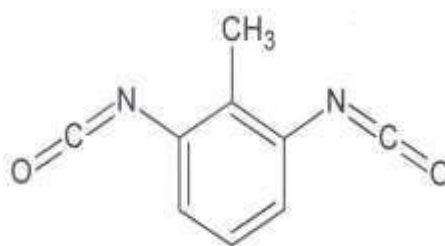


Abb. 1: Strukturformel des Monomers Toluol-2,6-diisocyanat

Aus dem in Abbildung 1 dargestellten Diisocyanat und jeweils einer weiteren Komponente sollen Kunststoffe mit folgenden Anwendungsprofilen hergestellt werden:

• Polyurethan I: Ein Werkstoff für die Versteifung der Rotorblätter einer Windkraftanlage. Diese müssen mechanisch extrem belastbar sein.

Polyurethan II: Ein Kunststoffpulver für die Verwendung in manchen 3D-Druckern. Es muss bei Laserbestrahlung leicht schmelzen und nach Bestrahlungsende rasch erstarren.

Geben Sie jeweils die Strukturformel einer geeigneten Komponente an und erläutern Sie Ihre Auswahl. [8 BE]

**2018/B2**

- 2 Dimethylamin lässt sich durch Reaktion mit 3-Chlorprop-1-en zu Diallyldimethylammoniumchlorid (DADMAC) umsetzen. Dieser Stoff dient als Edukt für die Synthese des Kunststoffs PolyDADMAC.

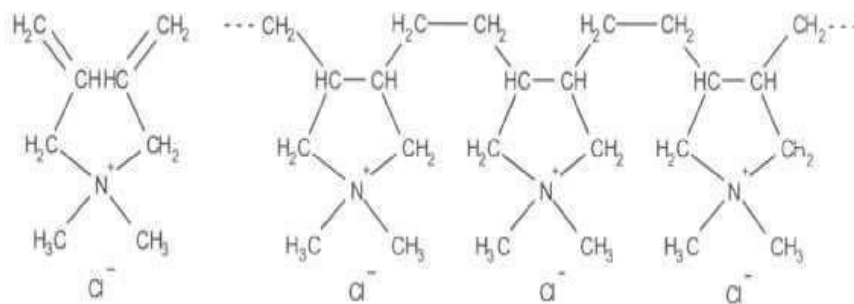


Abb. 4: Formel Monomer DADMAC (links) und Formel-Ausschnitt Polymer PolyDADMAC (rechts)

- 2.1 Formulieren Sie ausgehend von einem Startermolekül R-R den Mechanismus dieser Reaktion. [6 BE]

- 2.2 Der Kunststoff PolyDADMAC wird zur Wasseraufbereitung verwendet. Im Abwasser können pflanzliche Öle mit anionischen Tensiden aus Wasch- und Reinigungsmitteln stabile Emulsionen bilden.

2.2.1 Zeichnen Sie jeweils die Strukturformel eines Moleküls eines pflanzlichen Öls und eines Seifenanions. [5 BE]

2.2.2 Beschreiben Sie unter Verwendung einer Skizze, wie Seifenmoleküle die genannten Emulsionen stabilisieren. [5 BE]

2.2.3 In Kläranlagen wird PolyDADMAC zur Auftrennung von Emulsionen benutzt, um Öle aus dem Abwasser abscheiden zu können. Stellen Sie eine Hypothese auf, mit der die Wirkung von PolyDADMAC erklärt werden kann.

**2018/B2**

- 2 Rizinusöl kann auch als Ausgangsstoff für die Synthese von Kunststoffen verwendet werden.

2.1 Aus Ricinolsäure kann 11-Aminoundecansäure (C<sub>11</sub>H<sub>23</sub>NO<sub>2</sub>) hergestellt werden. Dieser Stoff dient als Edukt für die Synthese von Polyamid-11.

Formulieren Sie die Strukturformelgleichung für die Synthese von Polyamid-11 aus 11-Aminoundecansäure und kennzeichnen Sie die Repetiereinheit des Polymers. [5 BE]

2.2 Aus dem Triglycerid der Ricinolsäure und einem weiteren Edukt soll ein Polyurethan hergestellt werden.

Formulieren Sie die Strukturformelgleichung für die Synthese eines Polyurethans Ihrer Wahl. Erklären Sie, warum das Triglycerid der Ricinolsäure als eines der Edukte in Frage kommt. [6 BE]

## 2019 C1

2 Der Kunststoff Polyvinylchlorid (PVC) wird aus Chlor Ethen (Vinylchlorid) synthetisiert.

2.1 Chlor Ethen lässt sich aus Ethin und Hydrogenchlorid herstellen. Die Synthese von Chlor Ethen erfolgt unter Druck bei Temperaturen von 140 °C bis 200 °C und unter Verwendung eines Katalysators. Bis auf den Katalysator liegen alle

Stoffe unter diesen Bedingungen als Gase vor. Formulieren Sie die Reaktionsgleichung für diese Synthese und begründen Sie anhand des Prinzips von Le Chatelier, warum das Verfahren unter erhöhtem Druck durchgeführt wird. [4 BE]

2.2 Das wichtigste Polymerisationsverfahren für die Herstellung von PVC ist die

Emulsionspolymerisation. Dies ist ein Verfahren für die Polymerisation von Monomeren in einer wässrigen Phase. Durch Zugabe eines Tensids wird eine stabile Emulsion erzeugt.

2.2.1 Bei der Suche nach einem geeigneten Tensid werden die Verbindungen in Abbildung 1 vorgeschlagen.

Abb. 1: Als Tenside vorgeschlagene Verbindungen

Beurteilen Sie die Verbindungen A, B und C im Hinblick auf ihre Eignung als Tensid. [5 BE]

2.2.2 Zur Ermittlung der für die Emulsionsbildung mindestens benötigten Tensidkonzentration wird folgender Versuch durchgeführt: Zu Wasser wird schrittweise ein Tensid zugegeben und kontinuierlich die Oberflächenspannung gemessen. Dabei ergibt sich der in Abbildung 2 dargestellte Graph:

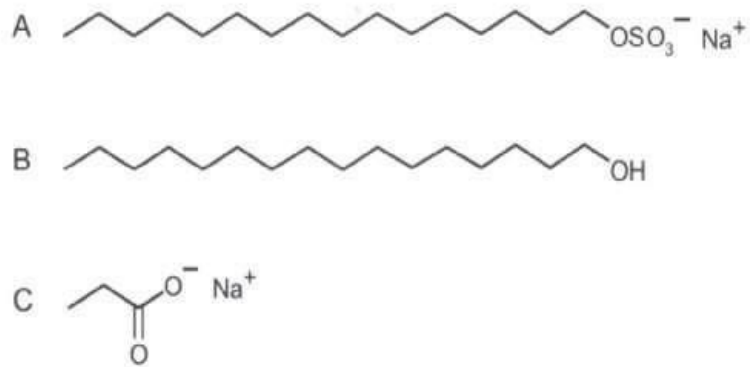
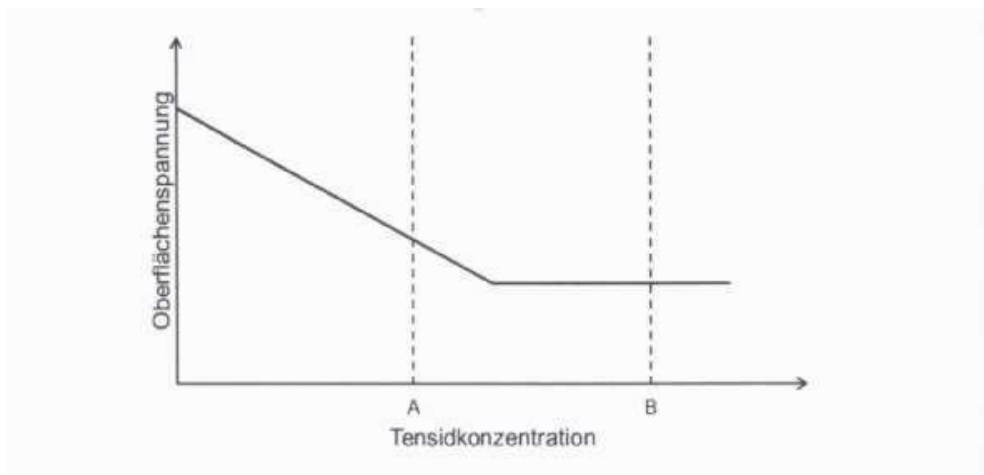


Abb. 2: Abhängigkeit der Oberflächenspannung von der Tensid Konzentration

Beurteilen Sie die Verbindungen A, B und C im Hinblick auf ihre Eignung als Tensid.

[5 BE]

2.2.2 Zur Ermittlung der für die Emulsionsbildung mindestens benötigten Tensid Konzentration wird folgender Versuch durchgeführt: Zu Wasser wird schrittweise ein Tensid zugegeben und kontinuierlich die Oberflächenspannung gemessen. Dabei ergibt sich der in Abbildung 2 dargestellte Graph:



Beschreiben Sie den Kurvenverlauf. Fertigen Sie je eine Skizze an, die die Verhältnisse in der Lösung bei den Tensid Konzentrationen A und B modellhaft darstellt.

[7 BE]

2.2.3 Formulieren Sie ausgehend von einem Startermolekül den Reaktionsmechanismus für die Synthese von PVC. [7 BE]

2.2.4 Aus PVC kann nachchloriertes PVC (CPVC) hergestellt werden, bei dem in den Molekülen ein Teil der Wasserstoff-Atome durch Chlor Atome ersetzt ist. Aus beiden Kunststoffen werden Wasserrohre hergestellt. Die maximale zugelassene Wassertemperatur beträgt für Rohre aus PVC 60 °C und für Rohre aus CPVC 93 °C.

Ordnen Sie beide Kunststoffe begründet einer Kunststoffklasse zu. Erklären Sie die unterschiedlichen Zulassungstemperaturen auf Teilchenebene. [6 BE]

## 2020 C1

- 4 Seit einigen Jahren wird Tee in Kunststoffbeuteln angeboten. Das verwendete Material ist z. B. Polylactid (PLA). Der Grundstoff für dessen Synthese ist Lactid. Ein Lactid-Molekül reagiert mit zwei Wasser-Molekülen in einer Hydrolyse-Reaktion zu zwei identischen Molekülen. Viele dieser Moleküle reagieren wiederum in einer Polykondensation zu PLA.

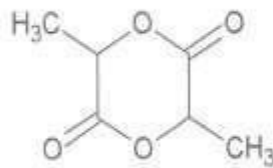


Abb:4: Strukturformel von Laktid

Formulieren Sie die Strukturformelgleichung für die Hydrolysereaktion von Lactid und geben Sie einen charakteristischen Strukturformelausschnitt von PLA an. [6 BE]

## 2022 C 1 Lebensmittelverpackungen

Lebensmittel werden zum Verkauf, zum Transport und um sie vor dem Verderben zu schützen in verschiedene Materialien verpackt.

- 1 Ein biologisch abbaubarer Kunststoff, der in Lebensmittelverpackungen Verwendung findet, ist PBAT (Polybutylenadipat-terephthalat). Ein Strukturformelausschnitt ist in Abbildung 1 dargestellt:

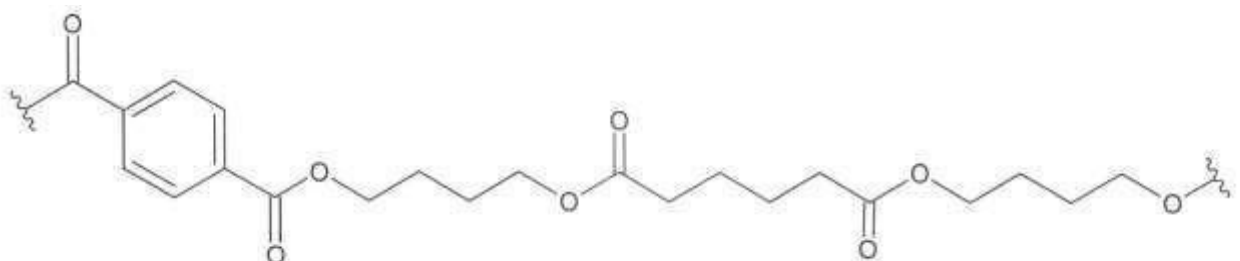


Abb. 1: Strukturformelausschnitt aus einem PBAT-Molekül

1.1 Eines der Monomere zur Synthese von PBAT ist Terephthalsäure. Diese lässt sich aus nachwachsenden Rohstoffen nach dem in Abbildung 2 dargestellten Schema herstellen

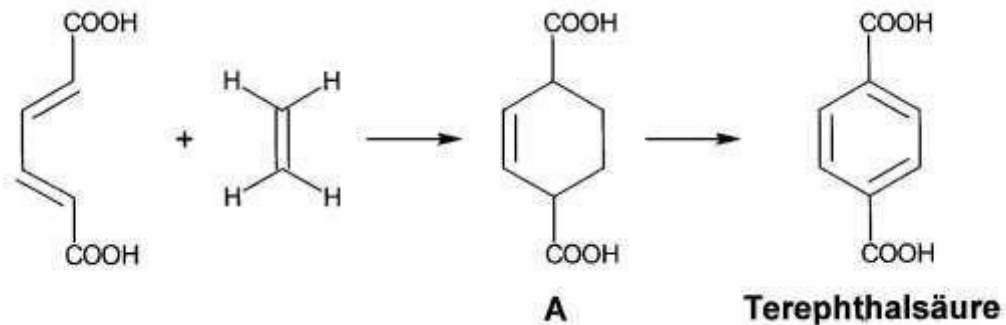


Abb. 2: Reaktionsschema zur Herstellung von Terephthalsäure

1.1.1 Vergleichen Sie den räumlichen Bau der ringförmigen Molekülteile von Molekül A und dem Terephthalsäure-Molekül. [5 BE]

1.1.2 Ermitteln Sie die Strukturformeln und Namen der zwei weiteren Monomere neben Terephthalsäure, aus denen sich PBAT synthetisieren lässt.

Ordnen Sie den Kunststoff PBAT (Abb. 1) aufgrund der Verknüpfung der Monomer-Bausteine einer Kunststoffklasse zu. [5 BE]

1.1.3 Ethen für die Synthese von Terephthalsäure soll aus Graphit (Kohlenstoff) und Wasserstoff synthetisiert werden. Die Reaktionsenthalpie für diese Reaktion beträgt +52,4 kJ/mol. Tabelle 1 zeigt die Standardentropien der beteiligten Stoffe:

Tab. 1: Standardentropien der an der Ethen-Synthese beteiligten Stoffe

| Stoff           | Standardentropie in J/(K·mol) |
|-----------------|-------------------------------|
| Graphit (s)     | +5,6                          |
| Wasserstoff (g) | +130,7                        |
| Ethen (g)       | +219,3                        |

Formulieren Sie die Reaktionsgleichung für die Synthese von Ethen aus Graphit und Wasserstoff. Beurteilen Sie mithilfe der Gibbs-Helmholtz- Gleichung, ob diese Reaktion freiwillig ablaufen kann. [5 BE]

- 1.2 Kunststoffverpackungen für Milch sollten sowohl für Wasserdampf als auch für Sauerstoff undurchlässig sein, um das Verderben der Milch zu verlangsamen. Tabelle 2 und Abbildung 3 zeigen die Wasserdampf- und Sauerstoffdurchlässigkeit verschiedener Kunststoffe:

Tab. 2: Wasserdampfdurchlässigkeit verschiedener Kunststoffe<sup>1</sup>

| Kunststoff                                          | PE                  | PBAT                | PVDC                | EVOH |
|-----------------------------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|------|
| Wasserdampfdurchlässigkeit in g/(m <sup>2</sup> ·d) | $1,3 \cdot 10^{-4}$ | $5,6 \cdot 10^{-3}$ | $6,0 \cdot 10^{-5}$ | 0,60 |

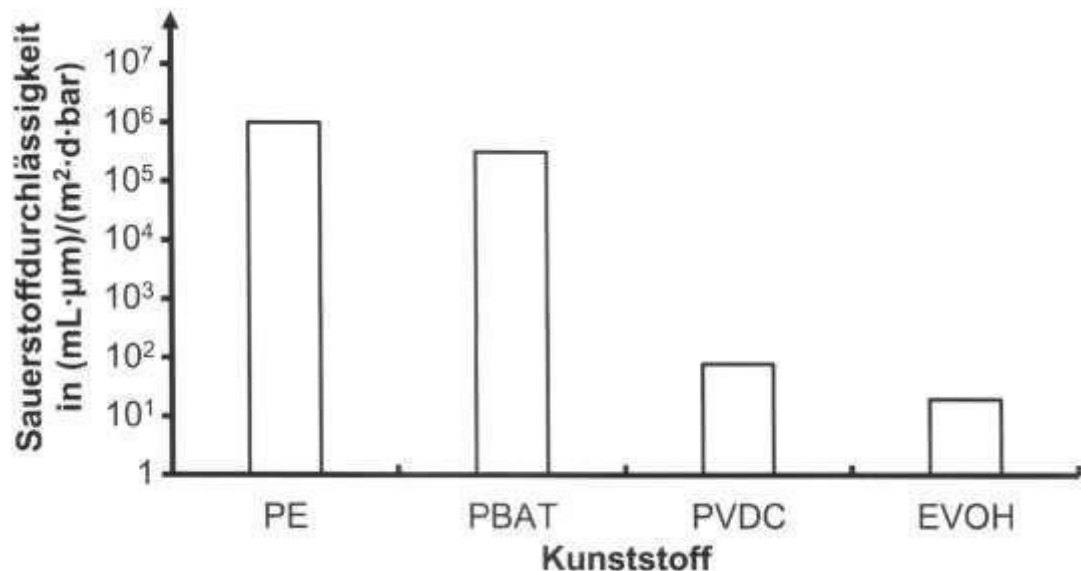


Abb. 3: Sauerstoffdurchlässigkeit verschiedener Kunststoffe<sup>2</sup>

- 1.2.1 Zeichnen Sie einen charakteristischen Strukturformelausschnitt aus einem Polyethen-Molekül. Vergleichen Sie die Wasserdampfdurchlässigkeit von PE (Polyethen) und PBAT

(Abb. 1) und begründen Sie diese anhand der Molekülstrukturen.  
[6 BE]

1.2.2 Diskutieren Sie anhand der in Aufgabe 1.2 genannten Kriterien und mithilfe von Tabelle 2 und Abbildung 3 die Eignung von PVDC und EVOH

für Milchkartons.

[5 BE]

1.2.3 Die Sauerstoffdurchlässigkeit von Kunststoffen hängt hauptsächlich von zwei Faktoren ab: der Stärke der Wechselwirkungen und den Abständen zwischen den Polymerketten.

Zur Verminderung der Sauerstoffdurchlässigkeit eines Kunststoffs wird dieser „verstreckt“, d. h. er wird in die Länge gezogen, wodurch sich die Anordnung der Polymerketten verändert.

Stellen Sie eine Hypothese auf, mit der die Verminderung der Sauerstoffdurchlässigkeit des Kunststoffs beim Verstrecken erklärt werden kann. [4 BE]

Um das Austrocknen zu verhindern, können Lebensmittel mit Bienenwachs beschichtet werden. Dieses Wachs besteht aus verschiedenen Verbindungen. Der größte Anteil mit ca. 75 % entfällt dabei auf Myricylpalmitat (Abb. 4):

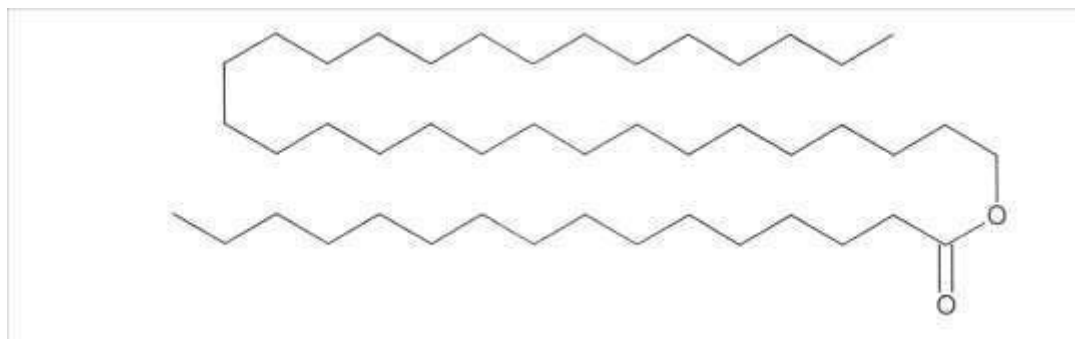


Abb. 4: Strukturformel von Myricylpalmitat Aufgrund des hohen Preises versuchen Betrüger, Bienenwachs durch das deutlich billigere Paraffin zu ersetzen. Dabei handelt es sich um ein Gemisch aus verschiedenen n-Alkanen mit langkettigen Molekülen mit molaren Massen zwischen 275 und 600 g/mol.

2.1 In einem Experiment soll Bienenwachs von Paraffin unterschieden werden. Dazu wird je eine Probe von Bienenwachs und von Paraffin mit geringen Mengen an Natronlauge versetzt und anschließend unter Rühren erhitzt. Bei einem Ansatz ändert sich der pH-Wert des Gemischs, beim anderen nicht.

Erklären Sie die unterschiedlichen Beobachtungen unter Verwendung einer Reaktionsgleichung. Nicht an der Reaktion beteiligte Molekülabschnitte können abgekürzt werden. [6 BE]

2.2 Eine weitere Möglichkeit zur Unterscheidung von Bienenwachs und Paraffin besteht in der Bestimmung der molaren Massen. Berechnen Sie die Anzahl der Kohlenstoff-Atome pro Molekül in einem Paraffin mit einer molaren Masse von 310 g/mol. [4 BE]

## 2023 C 1 Polyacrylnitril

Der Kunststoff Polyacrylnitril (PAN) wird aus Acrylnitril hergestellt und dient unter anderem als Grundstoff für Fasern, die in ihren Eigenschaften Wolle ähneln.

Polyacrylnitril lässt sich aus Acrylnitril nachfolgendem Schema herstellen

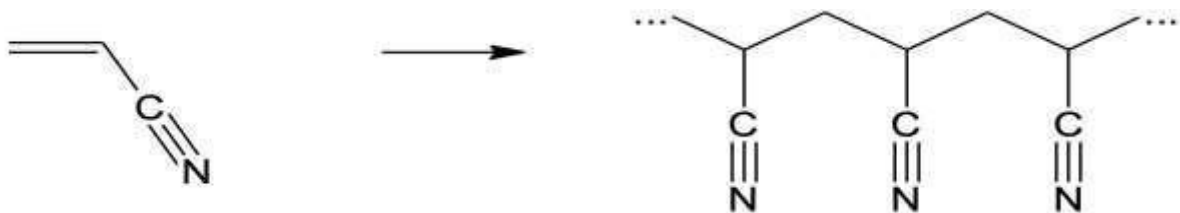


Abb. 1: Reaktionsschema zur Synthese von PAN aus Acrylnitril

1.) Formulieren Sie ausgehend von einem Startermolekül R-R den Mechanismus für die Herstellung von PAN. [6 BE]

1.2

Durch

Reaktion von PAN mit Hydrazin ( $\text{N}_2\text{H}_4$ ) entsteht ein neuer Kunststoff A mit veränderten Eigenschaften (Abb. 2):

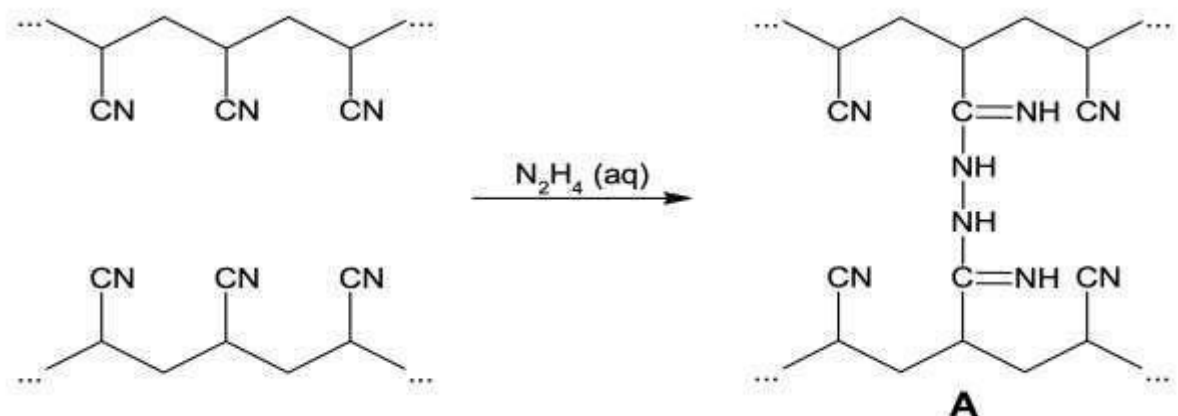


Abb. 2: Reaktion von PAN mit Hydrazin zum Kunststoff A

1.2.1 Erklären Sie die Unterschiede im Verhalten von PAN und Kunststoff A beim Erhitzen

Erhitzen

[5 BE]

1.2.2 PAN kann zur Herstellung eines Gels verwendet werden, das z. B. in LithiumIonen-Akkus eingesetzt wird. Dabei wird trockenes PAN mit einem Lösemittel versetzt, wodurch es aufquillt:

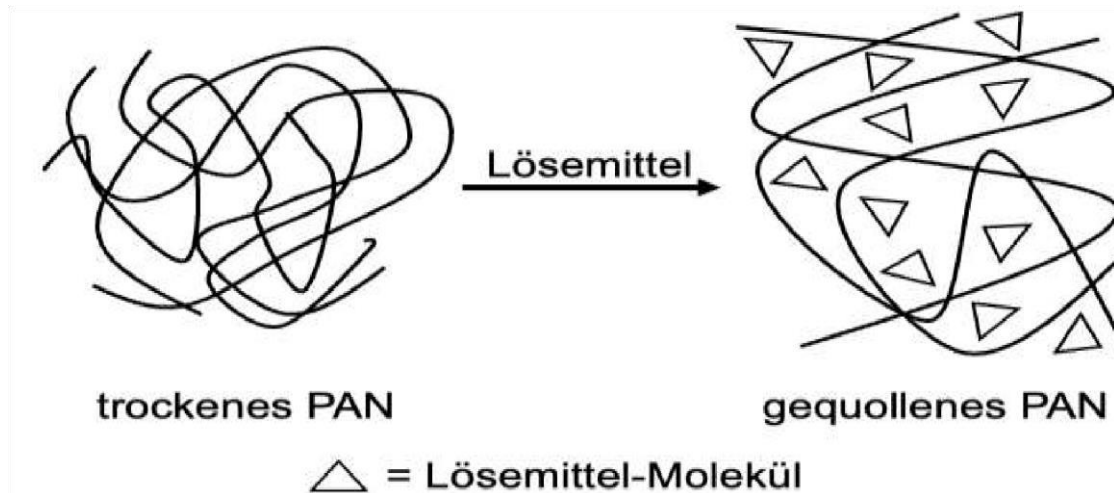


Abb. 3: schematische Darstellung des Quellvorgangs von PAN

In einer Versuchsreihe wurde die Massenzunahme beim Quellen von Kunststoff A in Abhängigkeit vom Anteil des addierten Hydrazins untersucht (Abb. 4):

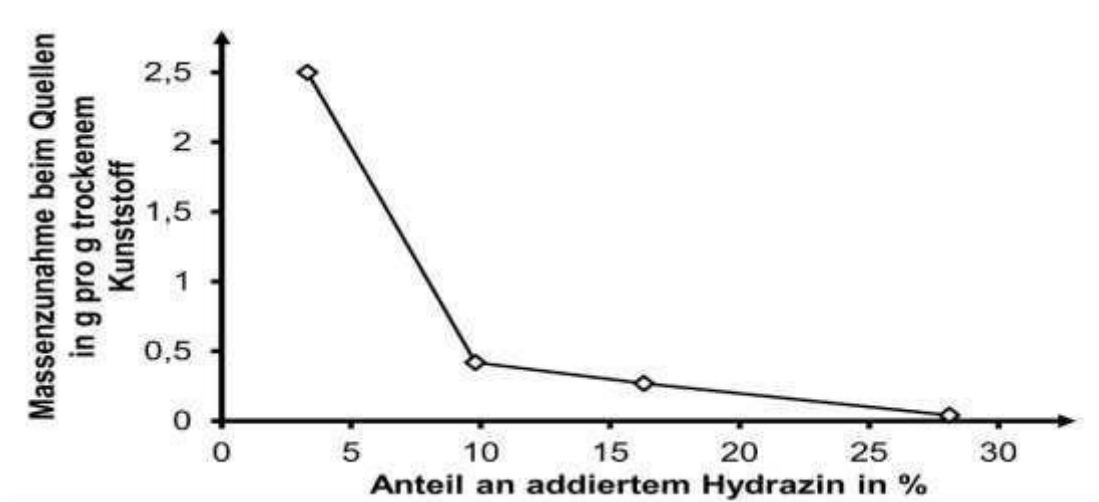


Abb. 4: Massenzunahme beim Quellen von Kunststoff A in Abhängigkeit vom Anteil des an PAN addierten Hydrazins:

Formulieren Sie eine Hypothese zur Erklärung des Kurvenverlaufs in Abbildung 4.

[4 BE] 1.3 Bei

der Lagerung des flüssigen Acrylnitrils werden folgende Stoffe aus der Gruppe der Phenole (Abb. 5) zugesetzt



Abb. 5: Strukturformeln von Methylhydrochinon (links) und 4-Methoxyphenol (rechts)

1.3.1 4-Methoxyphenol (Abb. 5) sorgt für eine bessere Lagerfähigkeit von

Acrylnitril, da es unerwünschte reaktive Teilchen wie Hydroperoxid-Radikale (B) abfängt. Dabei findet folgende Reaktion (Abb. 6) als Zwischenschritt statt:

:

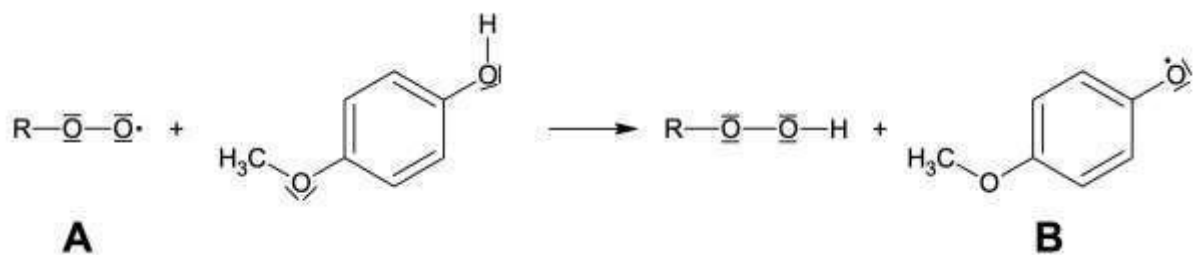


Abb. 6: Zwischenschritt beim Radikaleinfang durch 4-Methoxyphenol

1.3.2 Erklären Sie die größere Stabilität von Radikal C im Vergleich zu Radikal B mithilfe von mesomeren Grenzstrukturformeln von Radikal C.

Vor der Polymerisation von Acrylnitril muss 4-Methoxyphenol (Abb. 5) abgetrennt werden, indem es in die wässrige Phase überführt wird. Dies erfolgt im Labor mit Natronlauge. Mit destilliertem Wasser ist die Überführung nicht vollständig möglich.

Erläutern Sie die bessere Eignung von Natronlauge im Vergleich zu destilliertem Wasser für dieses Trennverfahren mit Hilfe einer Reaktionsgleichung

1.3.3 Methylhydrochinon kann nachfolgendem Schema (Abb. 7) aus Toluol hergestellt werden:

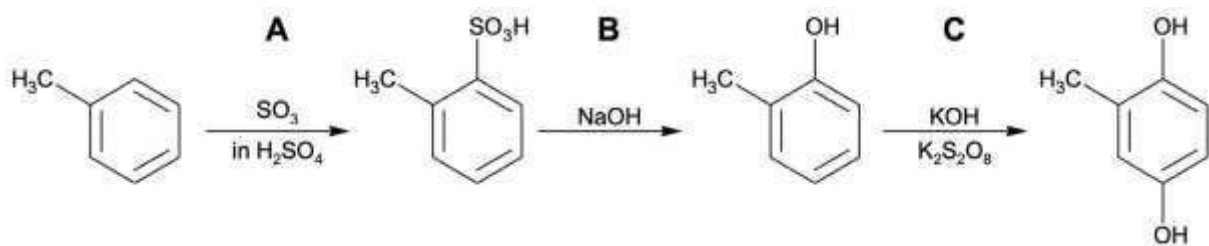


Abb. 7: Reaktionsschema zur Synthese von Methylhydrochinon

Formulieren Sie den Reaktionsmechanismus für Schritt 1. [5 BE]

2. Die Herstellung von Acrylnitril findet großtechnisch u. a. mithilfe des SOHIO-Verfahrens statt (Abb. 8). Dabei wird Propen mit Ammoniak und Sauerstoff zu Acrylnitril und Wasser umgesetzt:

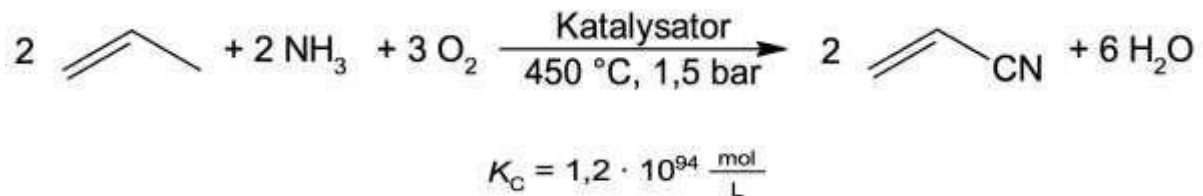


Abb. 8: Reaktionsschema für das SOHIO-Verfahren<sup>3</sup>

- 2.1 Geben Sie eine Definition des Begriffs „chemisches Gleichgewicht“ an. Formulieren Sie das Massenwirkungsgesetz für das SOHIO-Verfahren und leiten Sie daraus die Lage des chemischen Gleichgewichts ab.

[5 BE]

- 2.2 Neben dem SOHIO-Verfahren gibt es auch noch andere Möglichkeiten zur Herstellung von Acrylnitril. Die folgende Tabelle zeigt einen Vergleich des SOHIO-Verfahrens mit einem alternativ verwendeten großtechnischen Verfahren.

Tab.: Vergleich von SOHIO- und alternativem Verfahren<sup>4</sup>

| Verfahren                                   | SOHIO  | Alternative |
|---------------------------------------------|--------|-------------|
| als Edukt eingesetzte Kohlenstoffverbindung | Propen | Propan      |
| Ausbeute                                    | 81 %   | 59%         |

Die sogenannte ReCipe-Punktzahl dient dem Vergleich der Ökobilanzen verschiedener Verfahren. Je größer der ReCipe-Wert ist, desto stärker ist der negative Effekt. Abbildung 9 zeigt einen Vergleich der ReCipe-Punktzahl beider Verfahren:

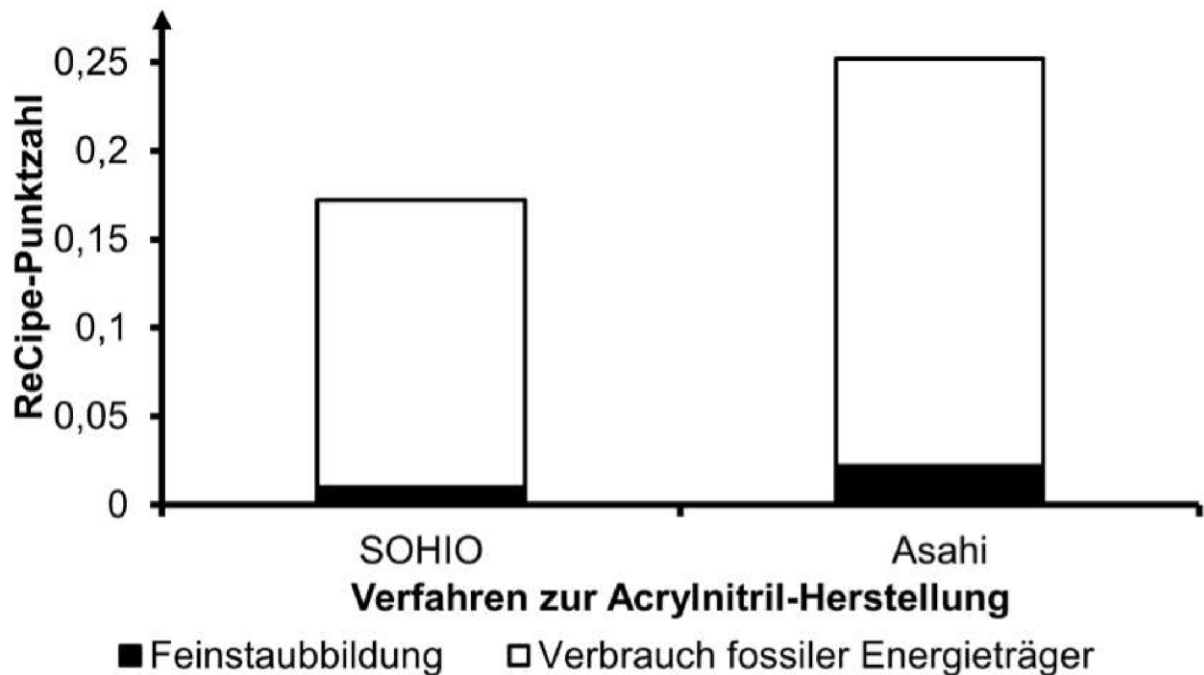


Abb. 9: Vergleich der ReCipe-Punktzahl des SOHIO- und eines Alternativ-Verfahrens<sup>4</sup>

Bewerten Sie die verschiedenen Verfahren zur Herstellung von Acrylnitril  
[4 BE]

Quellen:

- <sup>1</sup> Pérez-Manríquez, L., Aburabi'e, J., Neelakanda, P. & Peinemann, K. V. (2015). Cross-linked PANbased thin-film composite membranes for non-aqueous nanofiltration. *Reactive and Functional Polymers*, 86, 243–247.
- <sup>2</sup> Park, H., Mun, S., & Kim, Y.H. (2017). Hydrazine Cross-linking in PAN-Films in a Reaction Medium of Aqueous DMF Solution. *IEEE-Transactions on Software Engineering*, 54, 100-108.
- <sup>3</sup> Libretexts. (2020, 11. August). Chapter 14.6: Controlling the Products of Reactions. *Chemistry LibreTexts*.
- <sup>3</sup> Cespia, D., Passarinia, F., Cavana, F., Neria, E., & Vassuraa, I. (2014). Comparison of different chemical processes from a life cycle perspective. *Chemical Engineering*, 36.

## C 2 2023 Kohlenstoffdioxid als Rohstoff

2. Kohlenstoffdioxid kann mit Epoxiden und Polyolen zu sog. Poly ethercarbonat-polyolen (PEC-Polyolen) (Abb. 2) reagieren. Diese können mit Diisocyanaten zu verschiedenen Kunststoffen umgesetzt werden.

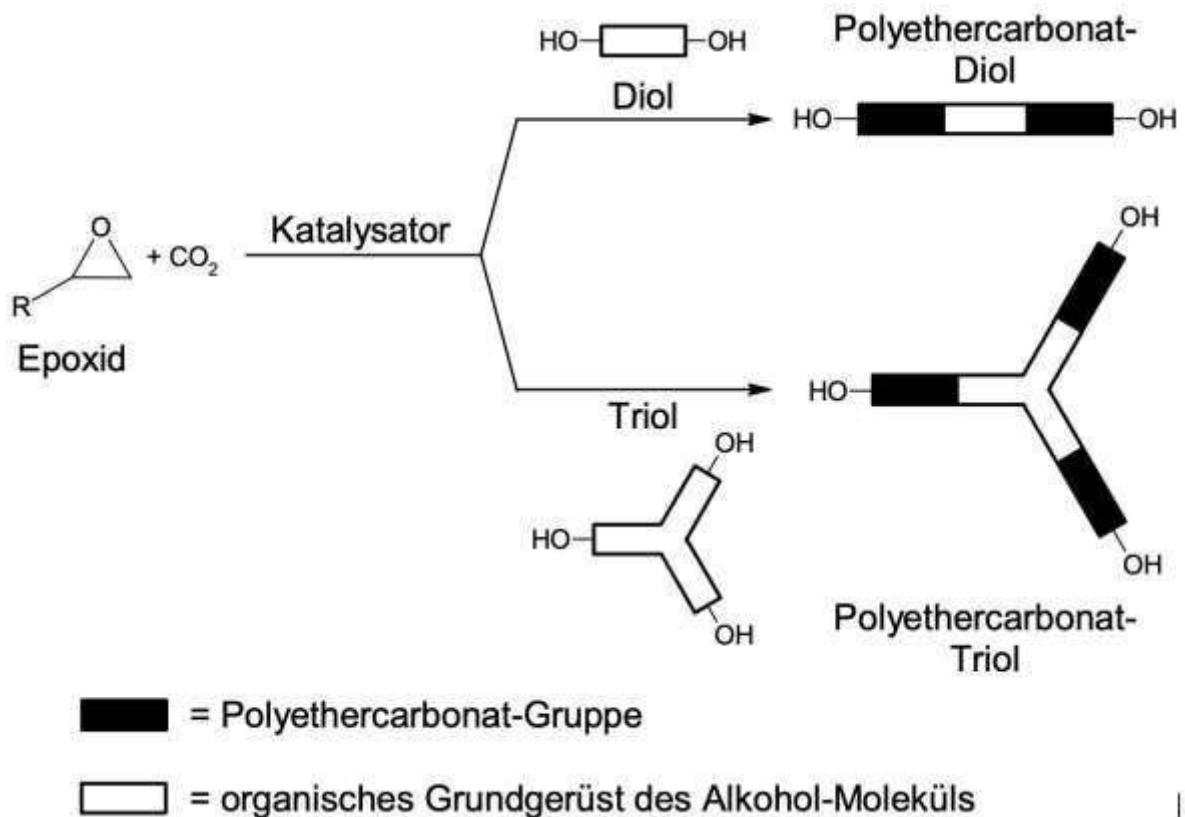


Abb. 2: Schema der Herstellung von Polyethercarbonatdiolen (PEC-Diolen) und Polyethercarbonattriolen (PEC-Triolen)

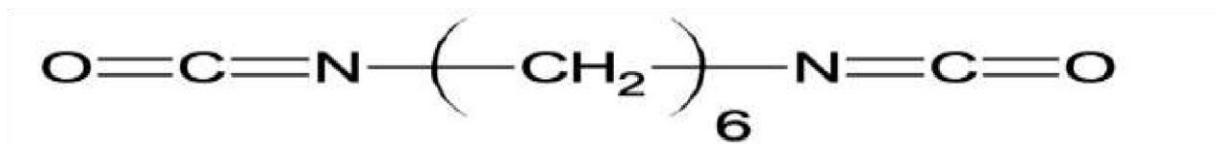


Abb. 3: Hexamethylenediisocyanat

2.1. Formulieren Sie ein Reaktionsschema für die Reaktion des PEC-Diols (Abb. 2) mit Hexamethylenediisocyanat (Abb. 3) zu einem Polymer und benennen Sie den Typ der Polyreaktion [5 BE]

2.2. Die Eigenschaften der Kunststoffe können durch die Wahl der PEC Polyol-Komponente beeinflusst werden.

Erklären Sie die unterschiedlichen thermischen Eigenschaften der Kunststoffe, die sich jeweils durch Reaktion von PEC-Diolen bzw. PEC-Triolen mit Hexamethylenediisocyanat herstellen lassen.

[5 BE]

## 2025 C1 Phenol

3 Ausgehend von Phenol können die Kunststoffe Perlon (Abb. 5) und Bakelit (Abb. 6) hergestellt werden.

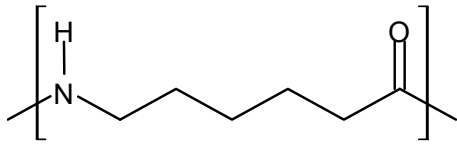


Abb. 5: Strukturformelausschnitt von Perlon

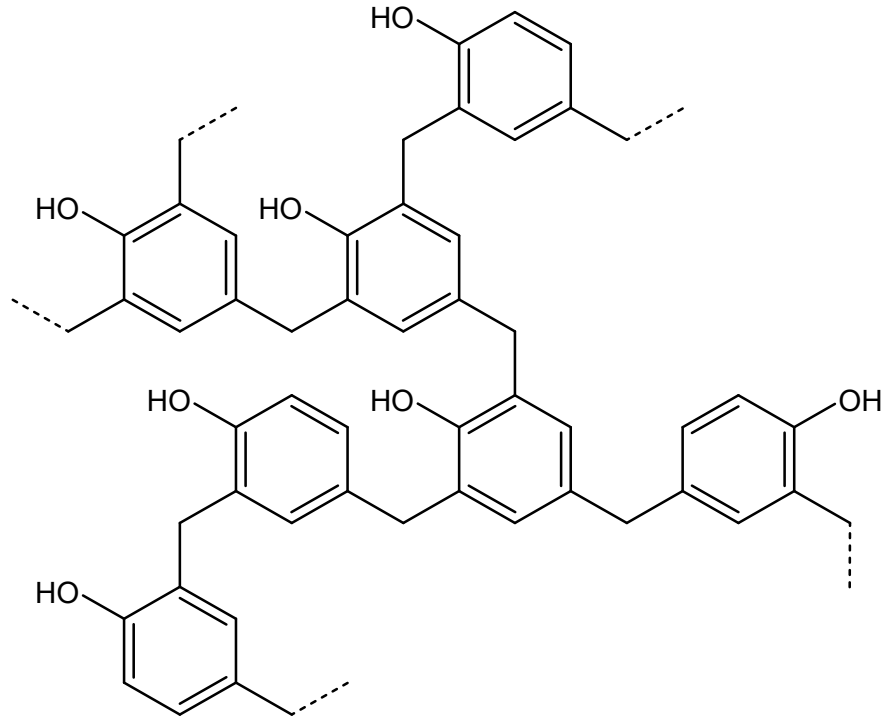


Abb. 6: Strukturformelausschnitt von Bakelit

1 Phenol dient bei der Perlon-Synthese als Ausgangsstoff für die Herstellung des Monomers  $\epsilon$ -Caprolactam. Im ersten Schritt der Synthese kommt es zu einer katalytischen Hydrierung von Phenol, bei der ein Gemisch aus Cyclohexanon und Cyclohexanol entsteht. Aus Cyclohexanon wird anschließend in mehreren Schritten  $\epsilon$ -Caprolactam gebildet (Abb. 7).

3.1.1 Erklären Sie die Aciditätsunterschiede von Phenol ( $pK_s = 10$ ) und Cyclohexanol ( $pK_s = 16$ ) mit Hilfe von mesomeren Grenzstrukturen. [5 BE]

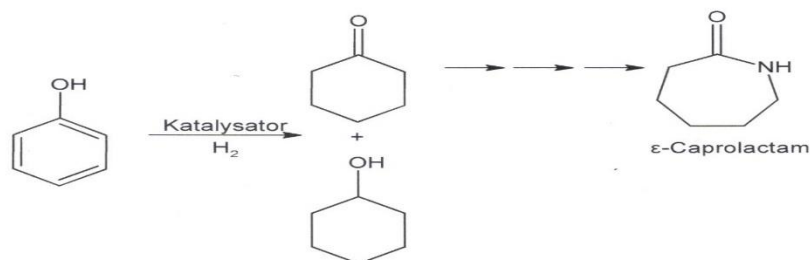


Abb. 7: Reaktionsschema der Bildung von  $\epsilon$ -Caprolactam aus Phenol

3.1.1 Erklären Sie die Aciditätsunterschiede von Phenol ( $pK_s = 10$ ) und Cyclohexanol ( $pK_s = 16$ ) mit Hilfe von mesomeren Grenzstrukturen. [5

3.1.2

Im ersten Schritt der Perlon-Synthese wird durch Wasserzugabe ein geringer Teil des  $\epsilon$ -Caprolactams hydrolysiert. Anschließend kommt es in einer Polyreaktion zur Perlon-Bildung. Formulieren Sie die Reaktionsgleichung für die Reaktion von  $\epsilon$ -Caprolactam mit Wasser und benennen Sie das Reaktionsprodukt [4 BE]

3.2 Erklären Sie die Unterschiede im thermischen Verhalten der Kunststoffe Perlon und Bakelit.  
[6 BE]