

10 Kunststoffe – Werkstoffe nach Maß

10.1 Eigenschaften und Struktur der Kunststoffe (S. 310/311)

Zu den Aufgaben

A1 Die Wollfäden werden analog zu B3 im Schülerbuch angeordnet.

- Thermoplaste: Parallel nebeneinander gelegte Wollfäden repräsentieren geordnete oder kristalline Bereiche. Die Wollfäden können aber auch wirr durcheinander gelegt werden, dies repräsentiert den ungeordneten oder amorphen Zustand.
- Elastomere und Duroplaste: Die Wollfäden werden dreidimensional miteinander verknüpft. Je nach Vernetzungsgrad repräsentiert dies Elastomere oder Duroplaste.

A2 Frischhaltefolie besteht aus Polyethen (PE) und gehört zu den Thermoplasten. Es besteht aus linearen, nicht vernetzten Molekülketten, die durch zwischenmolekulare Kräfte zusammengehalten werden. Beim Dehnen werden die zwischenmolekularen Kräfte überwunden. Die Molekülketten werden gestreckt und gleiten aneinander vorbei. Schließlich nehmen sie eine neue Anordnung ein, die durch neu gebildete zwischenmolekulare Kräfte fixiert wird. Die gedehnte Folie kann sich daher nicht zusammenziehen.

Gummi gehört zu den Elastomeren, hier sind die Molekülketten weitmaschig vernetzt und liegen verdreht und geknäuel vor. Beim Dehnen richten sich die Ketten in Richtung der Belastung aus, die Ketten werden „entknäuel“. Sobald die Zugspannung nachlässt, kehren die Ketten in ihre ursprüngliche, knäuelartige Anordnung zurück, das Elastomer zieht sich wieder zusammen.

Zu den Versuchen

V1

1. Eine Möglichkeit ist es, ein Stück eines thermoplastischen Kunststoffs (PE, PP oder PS z.B. aus Verpackungsbechern, aber nicht PVC!) mit einer Tiegelszange etwa 5 cm über ein Blech zu halten, das mit der rauschenden Brennerflamme erhitzt wird. Das Erhitzen wird beendet, sobald eine deutliche Formveränderung eintritt.
2. Man kann die Kunststoffproben auch direkt auf das Blech legen und das Blech mit sehr kleiner (nichtleuchtender) Flamme vorsichtig erhitzen.
3. Eine weitere Möglichkeit ist es, die Probe auf einer mit Aluminiumfolie umkleideten Herdplatte vorsichtig zu erhitzen.
4. Die Kunststoffproben können auch im Trockenschrank auf den Rost gelegt werden (Aluminiumfolie unterlegen). Der Trockenschrank wird zunächst auf ca. 60 °C aufgeheizt, dann wird die Temperatur z.B. in 10 °C-Schritten erhöht. Nach jeder Temperaturerhöhung überprüft man den Zustand der Kunststoffproben bis zum vollständigen Formverlust.
5. Schalen für Obst oder Fleisch bestehen auch häufig aus PE. Sind die Schalen sehr dünn, dann genügt es, kochendes Wasser in die Schalen zu gießen, um den Verlust der Form zu demonstrieren.

V2

Beobachtung:

- a) Es entsteht eine kreisrunde Kunststoffscheibe mit verzerrter/verdichteter Schrift bzw. Streifen.
- b) Nach dem Erweichen (ca. 20–40 s) wird der Kunststoff in die Nutsche hineingezogen. Die Wasserstrahlpumpe kann dann ausgeschaltet werden und der tiefgezogene Joghurtbecher aus der Nutsche genommen werden.

Hinweise:

zu a)

- Der Versuch funktioniert nicht mit Joghurtbechern aus PP, da der Schmelzbereich von PP deutlich höher liegt.
- (Erklärungsansatz: Aufgrund der voluminösen Phenyl-Reste im Polystyrol können sich die Polymerketten nicht parallel zueinander angeordnet. Der Kunststoff liegt folglich amorph vor, sodass die London-Kräfte zwischen den Polymerketten gering sind.)
- Einmal-Getränkebecher aus PS sind auch geeignet. Eindrucksvoller ist das Experiment jedoch mit bedruckten Bechern.
- Ein Haarfön kann nicht verwendet werden, da die Temperatur nicht ausreicht.
- Auch durch das Erhitzen eines Joghurtbechers im Trockenschrank oder in einem Schnellkochtopf mit Wasser (Temperatur über 100 °C) kann eine Kunststoffscheibe hergestellt werden.

zu b)

- Es dürfen keine Hotspots entstehen, da sich der Kunststoff sonst zersetzt oder durch den Unterdruck reißt.

10.2 Polymerisation (S. 312 - 315)

Zu den Aufgaben

A1

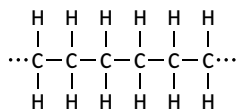
a) Repetiereinheiten:

| | | | |
|----|----|-----|----|
| | | | |
| PE | PP | PVC | PS |

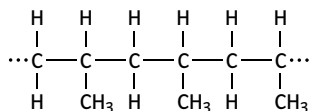
| | | |
|-----|------|------|
| | | |
| PAN | PMMA | PTFE |

b) Formelausschnitte:

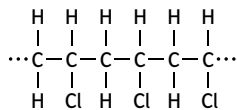
Polyethen (PE):



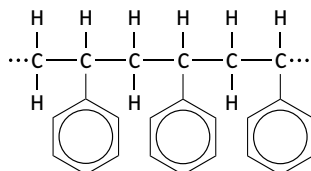
Polypropen (PP):



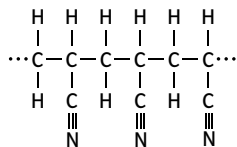
Polyvinylchlorid (PVC):



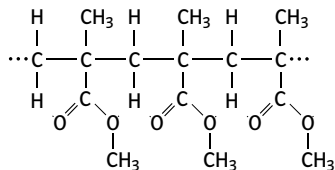
Polystyrol (PS):



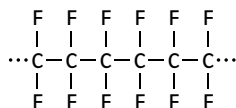
Polyacrylnitril (PAN):



Polymethylmethacrylat (PMMA):



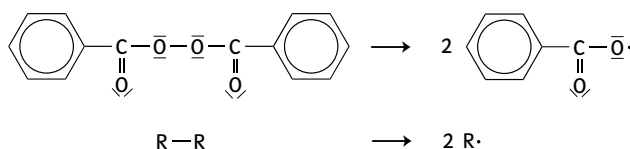
Polytetrafluorethan (PTFE):



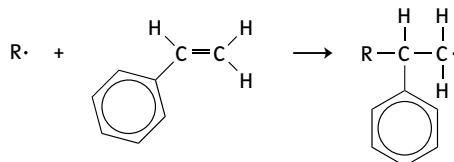
A2 $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{CH}_3)_2$
4-Methylpent-1-en

A3 Radikalische Polymerisation von Styrol:

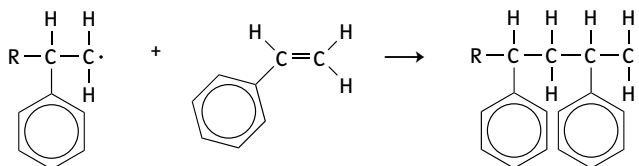
Erzeugung von Startradikalen:



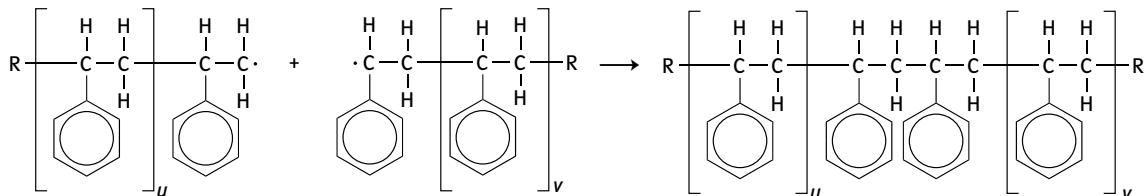
1. Kettenstart (Erzeugung von Monomerradikalen):



2. Kettenwachstum (Verlängerung der „Radikalkette“):



3. Kettenabbruch (Zusammenschluss von Radikalen):

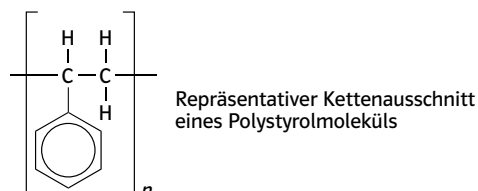


Erläuterungen zu den Reaktionsschritten:

Erzeugung von Startradikalen: Eine Polymerisation muss durch Startmoleküle in Gang gesetzt werden. Im Fall der radikalischen Polymerisation erzeugt man hierfür z.B. Benzoylradikale aus Dibenzoylperoxid. *Hinweis:* Das Benzoylradikal als Startradikal wird im Schülerbuch in Kap. 10.2, B1 u. B2 genannt. Nach anderen Quellen kann dieses zunächst in ein CO_2 -Molekül und ein Phenylradikal ($\text{C}_6\text{H}_5\cdot$) zerfallen, sodass die Reaktion auch durch das Phenylradikal gestartet werden kann. (Die

Angaben anderer Lehrbücher sind unterschiedlich: „Chemie heute SII“, Schroedel 2009 nennt das Benzoylradikal als Startradikal, „Chemie Sek II“, Duden, 2005 und „Chemie Oberstufe“, Cornelsen, 2010 nennen das Phenylradikal.)

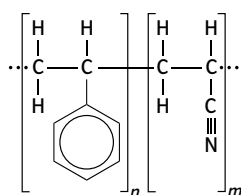
1. **Kettenstart:** Im ersten Schritt der Kettenreaktion spaltet ein Benzoylradikal die Doppelbindung eines Styrolmoleküls. Es entsteht ein verlängertes Radikal.
2. **Kettenwachstum:** Das verlängerte Radikal reagiert mit einem weiteren Styrolmolekül unter Kettenverlängerung. Diese Reaktion setzt sich so lange fort, bis das kettenförmige Radikal mit einem weiteren Radikal reagiert (Kettenabbruch).
3. **Kettenabbruch:** Reagieren zwei Radikale miteinander, ist die Reaktionskette beendet und somit die Bildung eines Polymermoleküls abgeschlossen.



A4

a) Styrol-Acrylnitril-Copolymere haben ähnliche Eigenschaften wie Polystyrol und sind transparente und steife Thermoplaste. Eine typische Zusammensetzung besteht zu 70% aus Styrol- und zu 30% aus Acrylnitrilanteilen.

b)



Zu den Versuchen

V1

Alternativ können auch

- a) Acrylglas-Platten hergestellt werden oder
- b) Gegenstände in Acrylglas eingebettet werden.

V2

Hinweis:

PMMA-Proben können durch Zerkleinern von alten, roten Autorücklichtern gewonnen werden. Achtung: Frontscheinwerfer bestehen meist aus Polycarbonat PC und sind nicht geeignet.

Mögliche Versuchsdurchführung:

Das Rücklicht kann in einem Tuch mit einem Hammer in kleine Stücke zerschlagen werden (Schutzbrille).

Ein Reagenzglas mit seitlichem Ansatz und Winkelrohr (alternativ Reagenzglas mit Stopfen und Winkelrohr) wird zu ca. 2/3 mit den Kunststoffstücken gefüllt. Das Winkelrohr wird in ein 2. Reagenzglas geleitet. Letzteres stellt man zur Kühlung in ein Becherglas mit Eiswasser. Dann erwärmt man das PMMA vorsichtig von oben nach unten.

Das PMMA schmilzt und es bildet sich weißer Nebel. Rötlich gefärbtes Destillat kondensiert im 2. Reagenzglas.

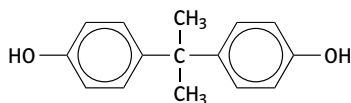
Mithilfe der Bromwasserprobe kann das Destillat auf Doppelbindungen geprüft werden. Somit ist die erfolgreiche Depolymerisation gezeigt. (Reinigung der Glasgeräte mit Aceton.)

Die erhaltenen Monomere können auch erneut wie in V1 polymerisiert werden.

10.3 Polykondensation (S. 316/317)

Zu den Aufgaben

A1 Strukturformel von Bisphenol A (BPA):

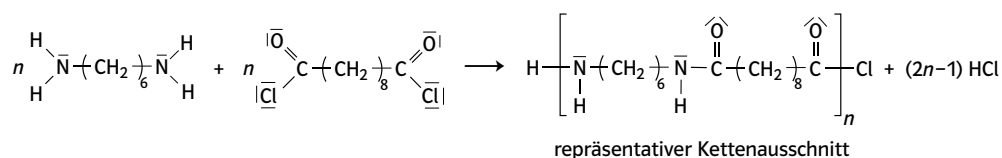


Bisphenol A (BPA) ist ein Grundstoff zur Herstellung von Polycarbonat; aus diesem Kunststoff werden u.a. Babyfläschchen, Plastikschüsseln und die Innenbeschichtung von Konservendosen hergestellt. In Lebensmitteln, die in diesen Gefäßen aufbewahrt werden, können sich geringe Mengen BPA lösen. BPA wirkt auf Hormonrezeptoren im Körper. Es steht im Verdacht, u.a. die Sexualentwicklung, die männlichen Sexualfunktion und die Gehirnentwicklung zu stören, Fettleibigkeit auszulösen und erbgutschädigend zu sein.

Literatur: K. Burger: Hormon aus der Plastikflasche, Getrickst, geschlampt, gelogen? Um die Sicherheit der Alltagschemikalie Bisphenol A wird heftig gestritten. Bild der Wissenschaften 5/2010, 38. Internet-Fundstellen (Stand Juli 2019):

- https://de.wikipedia.org/wiki/Bisphenol_A
- <https://www.bund.net/themen/chemie/hormonelle-schadstoffe/bisphenol-a/>

A2 1,6-Diaminohexan und Sebacinsäuredichlorid (Decandisäuredichlorid) reagieren in einer Polykondensationsreaktion zu Polyamid 6.10:



Zu den Versuchen

V1 Zunächst entsteht eine farblose, klare, leicht bewegliche Flüssigkeit. Dann setzt eine starke Gasentwicklung ein, die nach einer Minute immer heftiger wird, obwohl nur noch mit schwacher Flamme erhitzt wird. Das Wasserindikatorpapier am Rand des Reagenzglases weist nach, dass Wasser entsteht. Nach 2 bis 3 Minuten wird der Reagenzglasinhalt viskoser, die Gasentwicklung hält auch nach beendeter Wärmezufuhr an. Nach kurzer Zeit kommt es zu einem heftigen Aufschäumen, dabei erstarrt der zähflüssige Stoff. Nach dem Abkühlen haftet der harte, gelbliche Schaumstoff fest im Reagenzglas.

Hinweise zur Durchführung:

Der Versuch soll im Abzug durchgeführt werden. Bewährt haben sich Reagenzgläser mit 16 mm Durchmesser und 160 mm Länge und wasserhaltiges Glycerin ($w = 85\%$).

Die im Schülerbuch angegebenen Mengen sollen nicht überschritten werden. Wegen der hohen Viskosität ist das Abmessen von 1 ml Glycerin nicht ganz einfach. Die Füllhöhe im Reagenzglas entspricht etwa der Breite des kleinen Fingers. Beim Überschreiten der Mengen kann es zu Siedeverzug, Entwicklung von Rauch und Braunfärbung kommen.

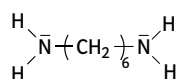
Das Gemisch darf nicht zu hoch erhitzt werden; man arbeitet mit der nicht leuchtenden Flamme (nicht mit der rauschenden Flamme). Die Bernsteinsäure bildet dann mit dem Glycerin eine klare Lösung, die nach kurzer Zeit heftig aufschäumt. Wenn der Schaum im Reagenzglas zu hoch steigt, nimmt man es sofort aus der Flamme. Wenn das Gemisch zu hoch erhitzt wird, kann Nebel bzw.

Rauch auftreten, der die Atemwege reizt, möglicherweise Bernsteinsäure, Acrolein (entsteht durch Wasserabspaltung aus Glycerin) und andere Pyrolyseprodukte.

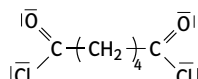
Variante: Setzt man statt 3,5 g nur etwa 2,5 g Bernsteinsäure ein, entsteht ein nahezu elastischer Schaumstoff.

V2 B5 im Schülerbuch zeigt die Beobachtung.

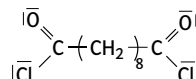
Formeln der verwendeten Monomere:



1,6-Diaminohexan
(Hexamethylendiamin)

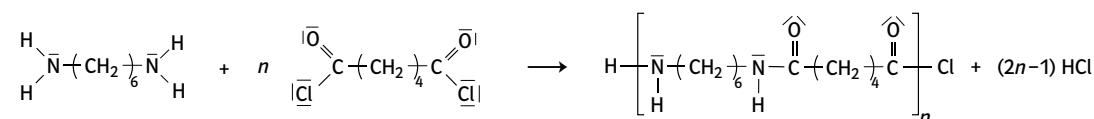


Adipinsäuredichlorid
(Hexandisäuredichlorid)



Sebacinsäuredichlorid
(Decandisäuredichlorid)

Reaktionsgleichung für 1,6-Diaminohexan und Adipinsäuredichlorid:



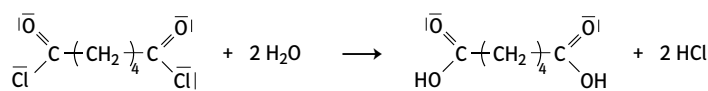
Reaktionsgleichung für 1,6-Diaminohexan und Sebacinsäuredichlorid: siehe A2

Hinweise:

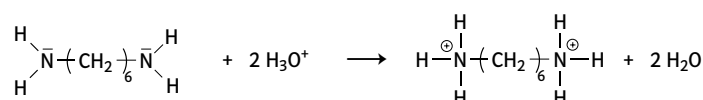
Das im Experiment gewonnene Nylon kann man nach gründlichem Waschen mit Wasser trocknen lassen und dann aufschmelzen.

Bei der Deutung des Versuchs kann man auch auf die Reaktionsbedingungen eingehen:

- Es müssen zwei nicht ineinander lösliche Lösungsmittel gewählt werden, damit eine Grenzflächenkondensation abläuft.
- Adipinsäuredichlorid darf nicht in Wasser gelöst werden, weil es sonst hydrolysiert wird:



- 1,6-Diaminohexan darf nicht in saurer Lösung gelöst werden, weil sonst die Aminogruppen protoniert werden:



Die protonierte Aminogruppe würde nicht an das partial positiv geladene C-Atom der Säurechloridgruppe addiert.

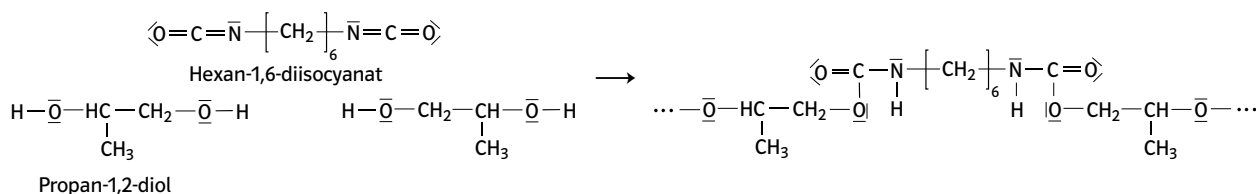
10.4 Polyaddition (S. 318/319)

Zu den Aufgaben

A1 Beim Zusammengeben der beiden Komponenten würde das Wasser mit dem Diisocyanat reagieren. Bei dieser Reaktion entsteht Kohlenstoffdioxid (Schülerband B3 b)), wodurch das Polyurethan aufgeschäumt wird, die Festigkeit ginge verloren.

A2

a) Bei der Polyaddition erfolgt eine Verknüpfung des partial negativ geladenen Sauerstoffatoms der Hydroxygruppe des Diols mit dem partial positiv geladenen C-Atom der Isocyanatgruppe des Diisocyanats. Anschließend löst sich von der „ehemaligen“ Hydroxygruppe ein Proton, das von dem Stickstoffatom der „ehemaligen“ Isocyanatgruppe gebunden wird.



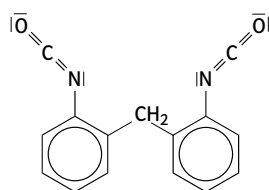
b) Bei der Polyaddition von Hexan-1,6-diisocyanat und Propan-1,2-diol entsteht ein Thermoplast aus langkettigen Molekülen. Wird Propantriol (Glycerin) anstelle des Propan-1,2-diols eingesetzt, ist aufgrund der drei OH-Gruppen des Propantriols eine dreidimensionale Vernetzung möglich. Es kann ein Elastomer oder Duroplast entstehen.

A3 Die Verknüpfung in a) erfolgt unter Abspaltung von Chlorwasserstoff (HCl), es handelt sich daher um eine Polykondensation. In b) erfolgt eine Polyaddition der Aminogruppe an die Epoxidgruppe, die wie eine Doppelbindung reagiert. Es wird nichts abgespalten.

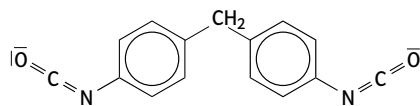
Zu den Versuchen

V1 Hinweis:

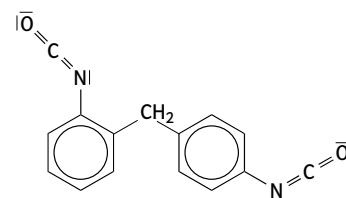
Diphenylmethandiisocyanat (MDI) ist i. d. R. ein Gemisch mehrerer Konstitutionsisomere:



Diphenylmethan-2,2'-diisocyanat



Diphenylmethan-4,4'-diisocyanat



Diphenylmethan-2,4'-diisocyanat

Technisches MDI (auch als „polymeres MDI“ bezeichnet) ist eine dunkelbraune Flüssigkeit, die außer MDI weitere Homologe mit drei, vier und mehr Phenylgruppen enthält.

10.5 Verarbeitung von Kunststoffen (S. 320/321)

Zu den Aufgaben

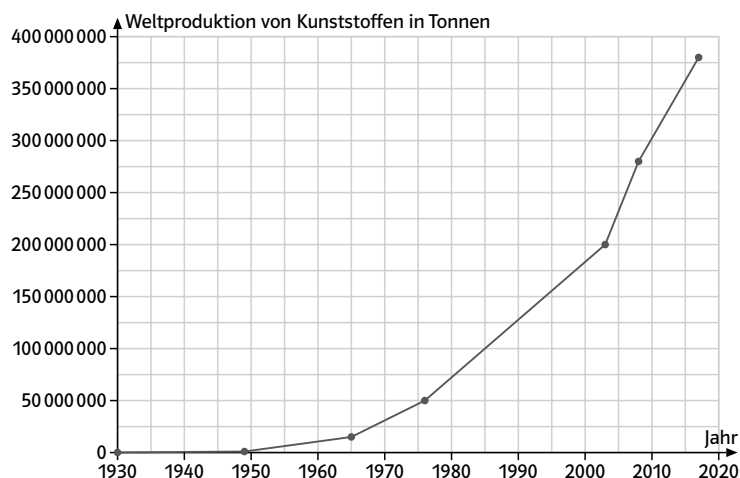
A1 Eine Schüssel oder ein Schraubverschluss kann durch Spritzgießen hergestellt werden. Das Granulat wird in einem Extruder mit beweglicher Schnecke gefördert, durch Erwärmen plastisch gemacht und dann durch Vorwärtsbewegen der Schnecke in die gekühlte Form gespritzt. Später öffnet sich die Form, und das fertige Teil fällt heraus. (Fall)-Rohre werden durch Extrusion hergestellt. Dabei wird das geschmolzene Material kontinuierlich durch formgebende Öffnungen gepresst. Behälter werden durch Hohlkörperblasen hergestellt. Dabei drückt ein Extruder einen fast plastischen Schlauch in ein zweiteiliges Hohlwerkzeug mit der gewünschten Form. Durch Schließen des Werkzeugs wird der Schlauch luftdicht abgequetscht und durch Einblasen von Luft an die Wände der Form gedrückt.

10.6 Kunststoffe im Alltag (S. 322/232)

Zu den Aufgaben

A1

a)



b) Die Kunststoffproduktion wächst quasi exponentiell. Daher können die Werte von 1930 und 1949 fast nicht mehr eingezeichnet werden, da sonst der größte Produktionswert nicht mehr auf die Seite passen würde.

A2

1. Verpackungsindustrie: Folien, Behälter für Wurst/Fleisch, Tüten, Dosen, Flaschen
2. Bauindustrie: Kunststoffrohre, Kunststofffenster, Silikonfugen, PU-Schäume
3. Fahrzeugindustrie: Stoßfänger, Reflektoren, Treibstofftank, Hebel, Knöpfe
4. Elektro- und Elektronikindustrie: Kabelummantelungen, Handygehäuse, Laptop-Gehäuse, Sicherungskästen

A3 Eigene Überprüfungen mit der Waage: Bsp: Milchtüte, Kunststoffverpackung bei Nudeln, Joghurtbecher

A4

A5 Eigene Untersuchungen, d.h. Getränkepackung aufschneiden und einzelne Schichten aufbiegen:

- Karton ist nicht nur stabil und stark, es bietet auch eine glatte Druckoberfläche für eine Markenbotschaft.
- Polyethylen schützt das Produkt vor Feuchtigkeit, die von außen eindringen könnte und dient als Haftschrift zwischen Karton und Aluminiumfolie.
- Aluminiumfolie dient dem Schutz vor Sauerstoff und Licht, um die Inhaltsstoffe und den Geschmack der verpackten Lebensmittel außerhalb der Kühlkette zu erhalten.

A6 Die Symbole sind die sog. Recycling-Codes und geben an, dass diese Produkte recycelt werden können und aus welchem Material die jeweiligen Produkte sind.

A7

- Polyethen (PE): Kraftstofftank, Waschwasserbehälter
- Polypropen (PP): Stoßfänger, Luftfiltergehäuse, Führungskanäle, Seitenblenden
- Polyurethane (PU): Sitzpolster, Armaturenpolsterung, Stoßfänger, Dachhimmel, Verkleidungen
- Polyamide (PA): Motorabdeckungen, Ansaugkrümmer, Radblenden, Stecker
- Acrylnitril-Butadien-Styrol (ABS): Innenverkleidungen, Radblenden, Kühlergrill

A8 Der Vorteil ist die Reduktion der Masse des Kraftfahrzeugs, dadurch Reduzierung der Treibstoffmenge und Reduktion der Emissionen, Reduktion des Abriebs von Reifen ...

A9

a)

LCD

Material: Anorganischer Halbleiterkristall

Bei einem Liquid Crystal Display – kurz: LCD – wird jeder Bildpunkt durch drei Subpixel in RGB (Rot-Grün-Blau) erzeugt. Bevor das Licht von einer Hintergrundbeleuchtung auf die Flüssigkristalle trifft, wird es polarisiert. Hinter den Kristallen (LC) befindet sich ein weiterer Polarisator. Zusammen mit der Treiberelektronik, den Farbfiltern und den Glasscheiben bilden sie das Panel. Hinter jedem Pixel sitzt ein Transistor: Je nach Ansteuerung der Twisted-Nematic-Flüssigkristalle (verdrehte Flüssigkristallketten) mit dem diesem TFT (aktiv Matrix-Dünnschichttransistor) lässt jedes Subpixel durch die Ausrichtung des LC mehr oder weniger Backlight-Licht durch. Bei Schwarz würde idealerweise 100 % Licht blockiert, was aber praktisch nicht möglich ist.

OLED

Material: Organischer Halbleiter, häufig Polymere

Bei einem OLED-Bildschirm sind es die einzelnen Pixel, die das Licht aussenden. Dadurch kann man einige der LED-Vorteile mit den Vorteilen des dem heute nicht mehr aktuellen Plasma-TV kombinieren: ein superflaches Design, geringen Energieverbrauch, perfektes Schwarz und eine sehr schnelle Reaktionszeit.

b)

| | LCD-Technologie | OLED-Technologie |
|------------------|--|--|
| Vorteile | <ul style="list-style-type: none"> – Längere Lebensdauer – Niedrigere Herstellungskosten | <ul style="list-style-type: none"> – Sehr hoher Kontrast – Flexibel (gebogene Displays möglich), da eine sehr dünne Gestaltung machbar – Licht wird flächig abgestrahlt |
| Nachteile | <ul style="list-style-type: none"> – Weniger kontrastreich – Starr – Licht wird punktförmig abgestrahlt | <ul style="list-style-type: none"> – Höhere Herstellungskosten – Kürzere Lebensdauer – Reagieren auf bestimmte Stoffe empfindlich: Das organische Material kann durch Luftfeuchtigkeit oder Sauerstoff zerstört werden, daher gute Abkapselung notwendig. |

A10 Die Adhäsion beruht auf Elektronenpaarbindungen oder zwischenmolekularen Kräften zwischen Molekülen des Klebstoffs und den Molekülen an der Oberfläche der zu verbindenden Teile. Die Kohäsion beruht auf Bindungen und zwischenmolekularen Kräften zwischen Molekülen des Klebstoffs.

A11 Zu den lösemittelhaltigen Klebstoffen gehören Leime, die Wasser als Lösungsmittel enthalten, sowie Alleskleber, bei denen Polymere z. B. in Estern (oder anderen organischen Lösungsmitteln) gelöst sind. Diese Klebstoffe bilden nach dem Verdunsten des Lösungsmittels einen Klebstofffilm. Lösungsmittelfreie Klebstoffe sind neben den Schmelzklebern (Polyamide, Ethen-Vinylacetat-Copolymeren) die Reaktionskleber, so z. B. Zweikomponenten-Kleber (Kap. 5.4).

A12 Individuelle Schülerleistung

A13 Hygieneartikel, Campingtoiletten, Hochwasserschutz

Zu den Versuchen

V1 Individuelle Schülerleistung

V2 Man entnimmt einer Windel das farblose bis feinkörnige Superabsorberpulver durch Herausschütteln aus der Watte in eine Kunststoffschale. (Vorsicht, es kann stauben!) Dann gibt man z. B. 1 g Superabsorber in ein 500-ml-Becherglas. Danach schüttet man z. B. 100 ml dest. Wasser auf den Superabsorber, rührt um und wartet. Nachdem sich ein Gel gebildet hat, prüft man z. B. mit einem Filterpapier, das man auf das Gel drückt, ob das Papier trocken bleibt. Anschließend gibt man Wasserportionen, z. B. jeweils 50 ml, in das Becherglas, rührt nach jeder Zugabe um, wartet und prüft mit dem Filterpapier. Diese Vorgänge wiederholt man so oft, bis über dem Gel ein wenig Wasser stehen bleibt. (Ergebnis: Je nach Sorte soll 1 g Superabsorber bis zu 1000 ml dest. Wasser binden.) Nach dieser Erfahrung nimmt man z. B. nur 0,2 g Superabsorber, gibt diesen z. B. in ein 250-ml-Becherglas und gibt vergälltes Ethanol portionsweise in das Becherglas. Zur Überprüfung des Aufnahmevermögens von salzhaltigem Wasser gibt man wieder 1 g Superabsorber in ein 500-ml-Becherglas

und gibt Natriumchloridlösung portionsweise zu. Interessant ist z.B. $w(\text{Natriumchlorid}) = 0,9\%$, dies kommt der Ionenkonzentration von menschlichem Urin nahe. (Ergebnis einer Versuchsreihe mit Favor® von Evonik: 1 g Superabsorber bindet ca. 250 ml Wasser bzw. 45 ml Natriumchloridlösung ($w = 0,9\%$) bzw. kein Ethanol.)

Internet-Fundstelle (Stand Juli 2019): <http://www.superabsorber.de/product/superabsorber/de/downloads/schulbroschure/Pages/default.aspx> (Schulbroschüre von Evonik Industries)

Hinweise zur Durchführung:

Um zu zeigen, dass die Reaktion exotherm ist, nimmt man eine kleine Portion Superabsorber auf die Hand und gibt portionsweise Wasser dazu. Das an Froschlaich erinnernde Produkt ist fühlbar warm. Destilliertes bzw. entionisiertes Wasser enthält meist Kohlenstoffdioxid; dieses wirkt sich auch ein wenig auf das Volumen der Wasserportion aus, die von 1 g Superabsorber gebunden wird.

10.7 Kunststoffmüll – Endstation Meer? (S. 324)

Zu den Aufgaben

A1 Kunststoffverpackungen und Einweg-Kunststoffprodukte müssen deutlich reduziert, Plastiktüten nicht oder mehrfach benützt und Wegwerfartikel konsequent vermieden werden. Konkret:

- Zum Einkaufen Mehrweg-Dosen mitnehmen um Käse und Wurst darin zu transportieren
- Gemüse und Obst auf dem Markt oder beim Gemüsehändler um die Ecke kaufen, Ware direkt im mitgebrachten Korb transportieren. Somit kann man den Kauf der Ware in Kunststoffschalen bzw. -folien vermeiden.
- Anstatt Duschgel oder flüssigem Shampoo ein Seifenstück und Haarseife benutzen, da man für diese keine Kunststoffverpackungen benötigt.
- Kein Coffee-to-go im Kunststoffbecher trinken, sondern sich Zeit nehmen um den Kaffee im Cafe genüsslich aus einem Porzellanbecher genießen.
- In Unverpackt-Läden einkaufen
- Keine Kosmetik mit Mikroplastik verwenden

A2 Beispiele:

- Keine Kunststoffbecher am Getränkeautomat, sondern Becher aus Porzellan.
- Kein Einmalgeschirr in der Mensa.
- Verbot von Einmalflaschen an der Schule
- Müllsammelaktionen

A3 Geisternetze sind Fischernetze die herrenlos im Meer treiben. Die Netze wurden entweder im Meer entsorgt, weil sie defekt waren, oder sie sind unabsichtlich in den Tiefen des Meeres verloren gegangen.

Die Netze bestehen u.a. aus Kunststoffen, d.h. auch diese Netze tragen zur Erhöhung des Kunststoffabfall-Aufkommens in den Meeren bei. Mit den schon genannten Folgen. Zudem erweisen sich die Geisternetze als Fallen für Meeresbewohner.

Werden Geisternetze aus dem Meer geborgen, so ist deren Recycling problematisch, da es sich um ein Materialmix handelt. Ein Netz besteht aus bis zu vier verschiedenen Kunststoffen (Polypropylen, Polyethylen, Polyamid und PET), oft Blei und verschiedenen organischen Materialien (z.B. Schlick, Fischgräten und Sand).

A4 Lösungstext

a) Man unterscheidet zwei verschiedene Möglichkeiten:

- Sogenanntes sekundäres Mikroplastik entsteht durch das Einbringen von Kunststoffabfall ins Meer. Die groben Kunststoffteile werden zersetzt zu einen durch chemische Prozesse, d.h. Fragmentierung durch Photooxidation, thermische Oxidation und Hydrolyse aber auch durch physikalische Prozesse, z.B. mechanisches Zerreiben durch die Wellen.
- Primäres Mikroplastik entsteht aus dem Abrieb von Mikrofaserkleidung, z.B. Fleece-Pullovern oder Reifen. Aber auch in Kosmetika und Duschgels sind Mikroplastikpartikel enthalten.

b) Wie Mikroplastik in die Gewässer eingebracht wird bzw. welche Folgen diese Partikel in der Nahrungskette haben, ist noch viel zu wenig erforscht.

- Sekundäres Mikroplastik gelangt direkte Küstenverschmutzung, aber auch durch Wind und Regen von nicht sachgemäß entsorgtem Müll und durch Naturkatastrophen (Bsp. Tsunami) ins Meer. Aber auch durch direkte Müllverklappung, die zwar seit 1988 verboten ist, werden immer noch Unmengen an Müll im Meer entsorgt.

- Primäres Mikroplastik gelangt über das Abwassersystem (aus Bädern, Waschmaschinen, Abwasser) ins Meer. Die Mikroorganismen in den Kläranlagen können die Partikel nicht abbauen, so gelangen sie in die Flüsse und von dort in die Ozeane.
- c) Mikroplastik abzufischen stellt ein riesiges Problem dar, weil es sich nicht vermeiden lässt, durch diese Methode immer auch Tiere und Algen einzufangen. Und da Kunststoffabfall im Meer je nach Bedingungen bis zu 500 Jahre benötigt, bis es abgebaut ist, sind erfolgversprechende Lösungen noch nicht in Sicht.
- d) - Plastikabfall vermeiden:
Kunststoffverpackungen und Einweg-Kunststoffprodukte müssen deutlich reduziert, Plastiktüten nicht oder mehrfach benützt und Wegwerfartikel konsequent vermieden werden.
- Forschung und Aufklärung:
Wie Mikroplastik in die Gewässer eingebracht wird bzw. welche Folgen diese Partikel in der Nahrungskette haben, ist noch viel zu wenig erforscht. Die WWF (World Wildlife Fund, internationale Naturschutzorganisation) fordert in diesem Zusammenhang ein möglichst umfassendes Umweltmonitoring. Das Bewusstsein der Bevölkerung für diese Problematik muss sensibilisiert werden und eine umfassende Aufklärung erfolgen. Außerdem müssen biologisch abbaubare Kunststoffe noch mehr fokussiert werden.
- Entsorgung:
Schiffsmüll darf nicht mehr wie bisher im Meer entsorgt werden, Zuwiderhandlungen müssen konsequent verfolgt und bestraft werden.
- Bergung:
Kunststoffmüll in den Ozeanen muss systematisch und international koordiniert abgetragen und nicht nur wahllos abgefischt werden.

A5 Individuelle Schülerleistung

10.8 Klebstoffe (S. 325)

Zu den Versuchen

V1 Die Zugfestigkeit „ R_m “ ist ein Werkstoffkennwert, der die maximale Belastbarkeit eines Werkstoffs beschreibt.

Im Falle von Klebstoffen ist es die maximal erreichte Zugkraft F_z (bis zum Reißen der Klebverbindung) bezogen auf den Querschnitt A_0 der Klebverbindung: $R_m = F_z/A_0$ (Einheit: N/mm²)

Die Zugfestigkeit steigt mit der Dauer des Aushärtens, da die Polyaddition weiter d.h. fortschreitet.
Beispiel:

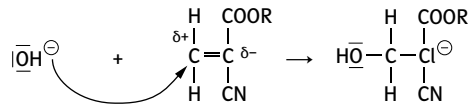
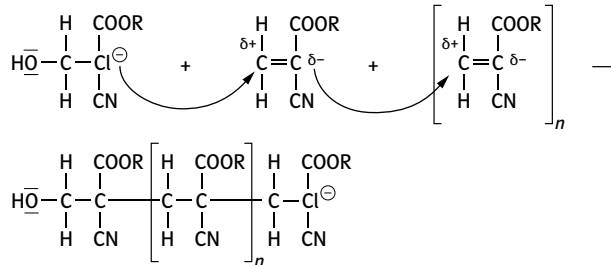
Auszug aus dem Datenblatt für UHU PLUS ENDFEST 300

(http://www.uhu-profi.de/uploads/tx_ihtdatasheets/tds_plus_endfest300.pdf)

(In diesem Fall ist die Zugscherfestigkeit angegeben, d.h. die Festigkeit einer Verklebung, bei der Kräfte parallel zur Klebstoffschicht wirken.)

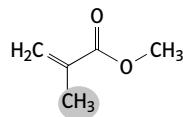
| | |
|---|--|
| Zugscherfestigkeiten (UHU Methode in Anlehnung an DIN EN 53283): | Mischungsverhältnis (Volumen) 1:1, Prüfung bei Raumtemperatur 10 h: 5 N/mm ² 24 h: 12 N/mm ² 5 Tage: 17 N/mm ² 1 Monat: 17 N/mm ² |
|---|--|

Für diesen Zweikomponentenkleber ist die Polyadditionsreaktion nach 5 Tagen beendet und der Klebstoff vollständig ausgehärtet.

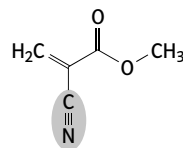
V2**1) Reaktionsmechanismus:****1. Startreaktion****2. Polymerisation** α -Cyanacrylsäureester-Polymer

Die Reaktion startet durch einen nucleophilen Angriff des OH^- -Ions an die Doppelbindung des Cyanacrylat-Moleküls. Anschließend läuft, ähnlich wie bei der radikalischen Polymerisation, eine Kettenreaktion ab. In diesem Fall verläuft die Reaktion aber nicht über Radikale, sondern über Anionen.

- 2) Die Strukturformeln von Methacrylsäuremethylester und Cyanacrylat unterscheiden sich nur durch die Methylgruppe bzw. die Cyanogruppe (Nitrilgruppe) am C_2 -Atom.



Methacrylsäuremethylester



Cyanacrylat

Durch den $-I$ -Effekt (und $-M$ -Effekt) der Cyanogruppe wird die Polarität der $\text{C}=\text{C}$ -Doppelbindung erhöht, d.h. die positive Partialladung am C_3 -Atom wird größer, sodass der nucleophile Angriff des OH^- -Ions erleichtert wird (s. Mechanismus der anionischen Polymerisation unter 1) bzw. das entstehende Carbanion stabilisiert wird. Somit wird die Polymerisationsreaktion stark beschleunigt, der Klebstoff kann in Sekundenschnelle aushärten.

Im Fall des PMMA bewirkt die Methylgruppe durch ihren $+I$ -Effekt eine Erniedrigung der positiven Partialladung am C_3 -Atoms und somit eine deutliche Verlangsamung der Reaktion.

- 3) Die H_3O^+ -Ionen der Säuren neutralisieren OH^- -Ionen, die für den nucleophilen Angriff, d.h. den Start der Polymerisation benötigt werden. Daher gibt es weniger Startreaktion pro Zeitintervall und das Aushärten dauert entsprechend länger.

10.9 Verwertung von Kunststoffabfall (S. 326/327)**Zu den Aufgaben**

A1 Die Kunststoffe durchlaufen z.B. verschiedene Becken, die Lösungen unterschiedlicher Dichte enthalten. Die darin schwimmenden Kunststoffe werden abgeschöpft.

Becken 1: Wasser ($\rho = 1 \text{ g/cm}^3$): PE ($\rho = 0,91 \dots 0,96 \text{ g/cm}^3$) schwimmt auf.

Becken 2: gesättigte Kochsalzlösung ($\rho = 1,18 \text{ g/cm}^3$): PS ($\rho = 1,05 \text{ g/cm}^3$) schwimmt auf.

Zurück bleibt PVC ($\rho = 1,38 \dots 1,40 \text{ g/cm}^3$).

A2

a) 2015: $w(\text{energetisch}) \approx 53\%$, 1995: $w(\text{energetisch}) \approx 7\%$

b) Der Kunststoffabfall hat sich in den 21 Jahren von 1995 bis 2015 in etwa vervierfacht. Der Faktor ist also ca. 4.

c) Einwohnerzahlen für Deutschland 1995: 81.680.000, 2015: 81.690.000

Die Einwohnerzahlen blieben also nahezu konstant.

1995 Pro-Kopf-Kunststoffabfall: ca. 17 kg pro Jahr

2015 Pro-Kopf-Kunststoffabfall: ca. 72 kg pro Jahr

Zu den Versuchen

V1 Die Becher aus PS sacken beim Erhitzen in sich zusammen.

Hinweis: Die Veränderungen beim Erhitzen können auch zur Trennung von PS und PP in der Verwertung genutzt werden. Die Kunststoffbecher durchlaufen dazu auf einem Fließband einen Ofen mit einer Temperatur von 120 °C. Am Ende des Ofens befindet sich eine von oben auf das Fließband ragende schräg gestellte Platte. Die nicht verformten Becher aus PP werden vom Fließband geworfen, die zusammengefallenen Becher aus PS werden weiter transportiert.

Literatur

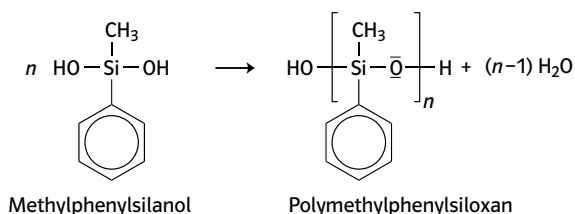
Eine große Auswahl an Versuchen zum Recycling von Kunststoffen findet man in:

W. Glöckner, W. Jansen, R.G. Weißenhorn (Hrsg. H.-J. Bader): Handbuch der experimentellen Chemie, Sekundarbereich II, Band 12, Kunststoff, Recycling, Alltagschemie. Aulis Verlag, Köln 1997

10.10 Silikone (S. 328/329)

Zu den Aufgaben

A1



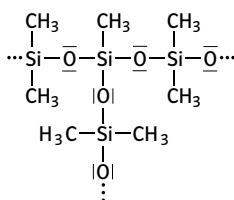
A2 Das Siliciumgerüst der Silikone ist definitionsgemäß anorganisch, da es kein Kohlenstoffgerüst ist. Andererseits verfügen Silikone über organische Seitenketten wie z.B. die Methylreste in Polydimethylsiloxan. Auch die langkettigen Moleküle und die Vierbindigkeit der Siliciumatome erinnern an organische Verbindungen.

A3

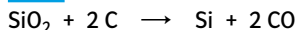
a) In Schritt 2 kann neben Dimethylsilandiol auch Methylsilantriol entstehen. Bei Dimethylsilandiol handelt es sich um ein bifunktionales Molekül, das zur Bildung eines linearen Makromoleküls führt.

Methylsilantriol führt zur Bildung vernetzter Makromoleküle, da nur trifunktionale Monomere vorliegen.

b)



A4



Ox: C von 0 nach +II in CO

Red.: Si in SiO₂ von +IV nach 0 in Si

Übertragung von jeweils 4 Elektronen

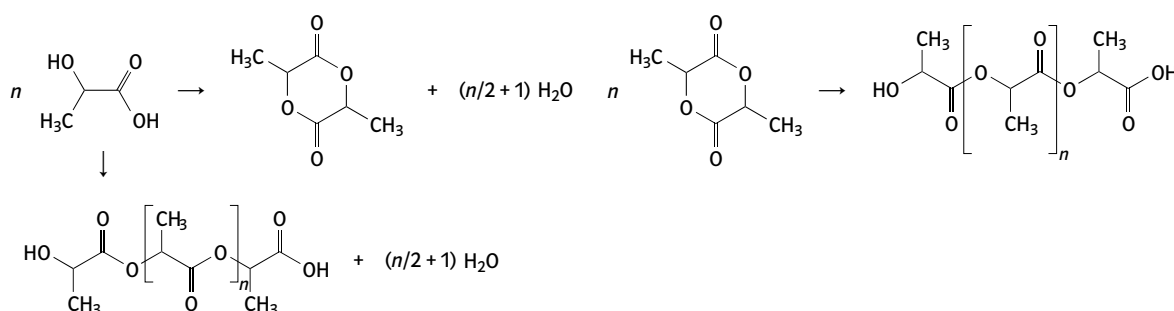
10.11 Biologisch abbaubare Kunststoffe (S. 330)

Zu den Aufgaben

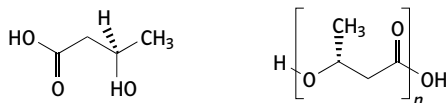
A1 Neben der Verwendung für kurzlebige Verpackungsfolien oder Tiefziehprodukte (z. B. Getränke- oder Joghurtbecher, Obst-, Gemüse- und Fleischschalen) attestiert die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) dem PLA-Rohstoff ein großes Potenzial auch für langlebige Produkte. Beispiele dafür sind Handyschalen, Schreibtischutensilien (z. B. Geodreiecke) sowie Lippenstiftgehäuse. Auch in der Automobilindustrie gibt es erste Serienanwendungen auf Basis von PLA. Für textile Anwendungen kommt zu Fasern gesponnenes PLA zum Einsatz. Auch Druckerfilamente für 3D-Drucker bestehen aus PLA.

Internet-Quelle, (Stand Juli 2019): <https://www.kunststoffe.de/themen/basics/biokunststoffe/biobasierte-kunststoffe/artikel/polylactid-pla-2822577.html>

A2



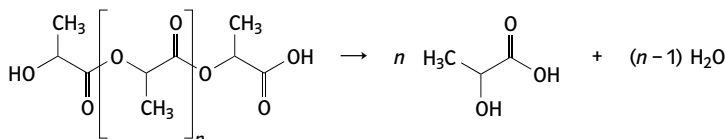
A3 Es handelt sich um eine Polykondensationsreaktion, da die Monomer-Moleküle unter Abspaltung von Wasser-Molekülen miteinander verknüpft werden.



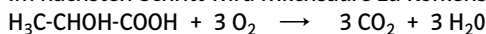
Monomer

Ausschnitt Polymer-Molekül

A4 Zunächst erfolgt eine Hydrolyse der Polymilchsäure (Esterspaltung):

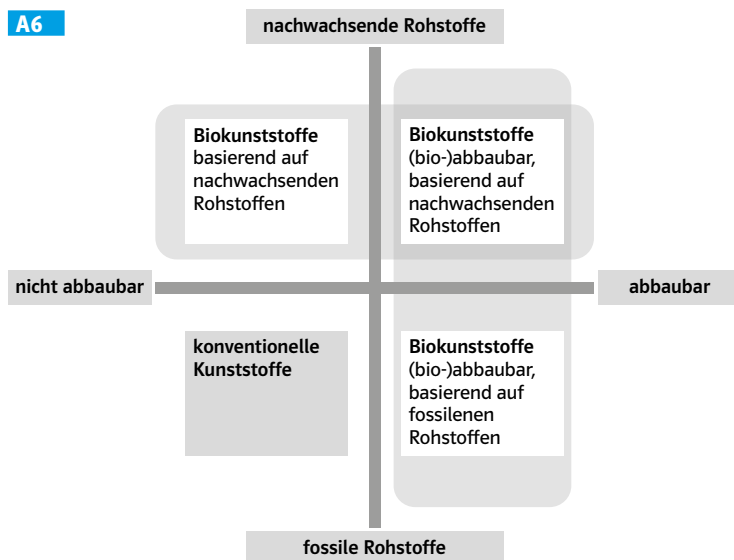


Im nächsten Schritt wird Milchsäure zu Kohlenstoffdioxid und Wasser abgebaut:



A5

- pflanzlich: Lignin, Cellulose (Cellulosederivate), Stärke (Stärkederivate)
- tierisch: Chitin, Chitosan, Proteine (z. B. Casein und Gelatine)
- durch Mikroorganismen: abbaubare Polyester



Bemerkenswert ist, dass nicht alle Biokunststoffe aus nachwachsenden Rohstoffen hergestellt werden, sondern auch aus fossilen Rohstoffen. Zudem gibt es sogar biologisch abbaubare Kunststoffe, die aus fossilen Rohstoffen hergestellt werden.

A7 Naturfaserverstärkte Kunststoffe und Holz-Kunststoff-Verbundstoffe gehören zu den Biokunststoffen, da natürliche Biopolymere, nämlich Naturfasern bzw. Holz als Ausgangsstoffe für ihre Synthese benützt werden.

Da sie mit konventionellen, synthetischen Kunststoffen kombiniert werden, sind sie nicht biologisch abbaubar.

A8 Die Biomüll-Tüten sind prinzipiell kompostierbar. Das Problem ist folgendes: Damit die Verrottung stattfindet, müssen die Bedingungen (Temperatur, Luftfeuchtigkeit ...) stimmen. Zudem beträgt die durchschnittliche Rottezeit i.d.R. nur 8 bis 10 Wochen. Für die Zersetzung der Biomüll-Tüte ist ein längerer Zeitraum notwendig. Dieser steht meist nicht zur Verfügung, weil der Prozess dann zu teuer ist.

In manchen Kompostierungsanlagen werden die Tüten nach dem Trocknen des Biomülls mit Wind herausgeblasen und dann letztendlich in der Müllverbrennungsanlage verbrannt.

Ein weiteres Problem ist, dass nicht auf die Schnelle erkennbar ist, ob es sich tatsächlich um kompostierbare Tüten aus Biokunststoff handelt oder um Tüten aus konventionellem Kunststoff.

Zu dem Versuch

V1 Sowohl bei der Papiertüte als auch bei der Folientüte kommt es zu einer Schwarzfärbung. Dies bedeutet, dass beide Stärke enthalten. Die Schwarzfärbung bedeutet, dass der sog. Iod-Stärke-Komplex gebildet wird.

10.12 Carbonfasern (S. 331)

Zur Aufgaben

A1 Beispiel: Beim Airbus A380 bestehen die folgenden Teile aus einem Kohlefaser-Verbundwerkstoff (CFK): Flügelmittellkasten, Leitwerkkasten, Ruder, Höhenflosse, Höhenruder, Bodenträger, oberes Passagierdeck, hinteres Druckschott.

10.13 Zusammenfassung und Übung (S. 332-334)

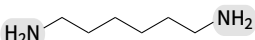
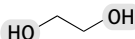
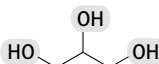
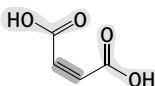
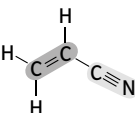
Zu den Aufgaben

A1 Polymer-Moleküle sind Makromoleküle, die aus kleineren Molekülen, den **Monomer-Molekülen** gebildet werden. Der **Polymerisationsgrad** gibt die Anzahl der Monomer-Moleküle in einem Polymer-Molekül an.

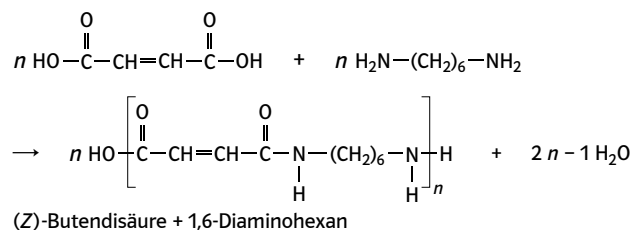
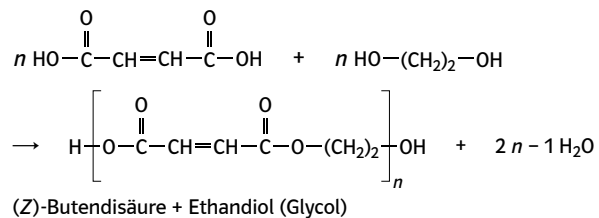
A2 Individuelle Schülerleistung

A3

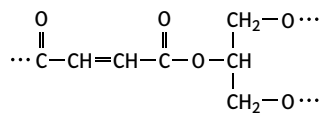
a)

| | |
|-------------------------------|---|
| 1,6-Diaminohexan |  |
| Ethandiol (Glycol) |  |
| Propan-1,2,3-triol (Glycerin) |  |
| (Z)-Butendisäure |  |
| Acrylnitril |  |

b)



c)

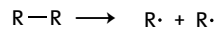


(Z)-Butendisäure + Propan-1,2,3-triol (Glycerin)

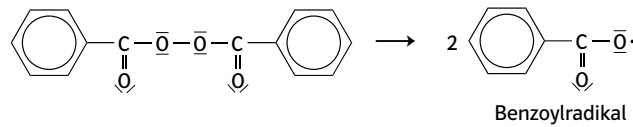
A4

a) Radikalische Polymerisation von Vinylchlorid zu PVC:

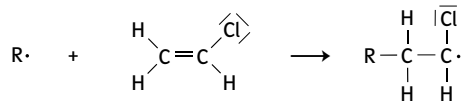
Erzeugung von Startradikalen:



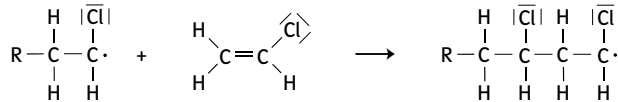
Beispiel:



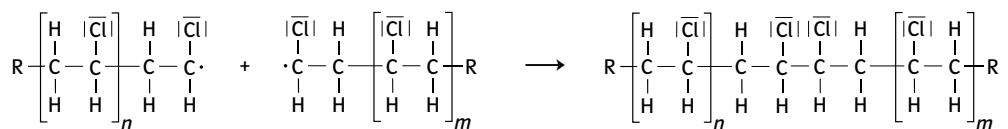
1. Kettenstart (Erzeugung von Monomerradikalen):



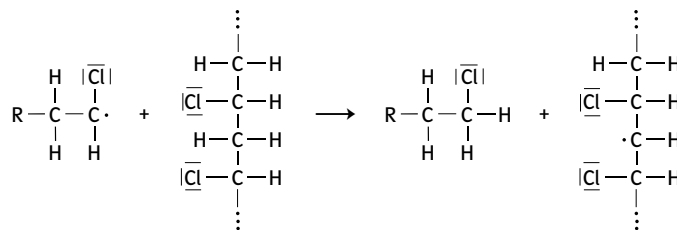
2. Kettenwachstum (Verlängerung der „Radikalkette“):



3. Kettenabbruch (Zusammenschluss von Radikalen):



Kettenverzweigung (Nebenreaktion):



Erläuterungen zu den Reaktionsschritten:

Erzeugung von Startradikalen: Eine Polymerisation muss durch Startmoleküle in Gang gesetzt werden. Im Fall der radikalischen Polymerisation erzeugt man hierfür z.B. Benzoylradikale aus Dibenzoylperoxid.

1. Kettenstart: Im ersten Schritt der Kettenreaktion spaltet ein Benzoylradikal die Doppelbindung eines Vinylchloridmoleküls. Es entsteht ein verlängertes Radikal.

2. Kettenwachstum: Das verlängerte Radikal reagiert mit einem weiteren Vinylchloridmolekül unter Kettenverlängerung. Diese Reaktion setzt sich so lange fort, bis das kettenförmige Radikal mit einem

weiteren Radikal reagiert (Kettenabbruch).

3. Kettenabbruch: Reagieren zwei Radikale miteinander, ist die Reaktionskette beendet und somit die Bildung eines Polymermoleküls abgeschlossen.

Kettenverzweigung: Das bei dieser Nebenreaktion gebildete Radikal kann wie bei 2. mit einem Monomermolekül reagieren.

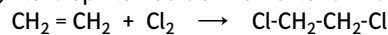
b) Durch die Zufälligkeit der Abbruchreaktionen entstehen Ketten verschiedener Länge.

Zum einen kann die Kettenverlängerung (Schritt 3) unterschiedlich oft ablaufen, bevor sie durch einen Kettenabbruch (Schritt 4) gestoppt wird. Zum anderen können die Radikale, die im Abbruchschritt rekombinieren, auch unterschiedlich lang sein. Beides führt dazu, dass Polymere mit unterschiedlichem Polarisationsgrad und damit unterschiedlichen Molekülmassen entstehen. Bei hohen Starterkonzentrationen wachsen gleichzeitig viele Ketten, damit ist die Wahrscheinlichkeit für einen Zusammenstoß zweier Radikale und damit die Wahrscheinlichkeit für eine Abbruchreaktion groß. Die mittlere Molekülmasse ist somit gering.

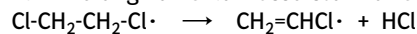
Bei hohen Temperaturen verläuft die thermische Spaltung des Starters schneller, es werden daher mehr Startradikale pro Zeit gebildet, sodass auch in diesem Fall gleichzeitig mehr Ketten wachsen und die mittlere Molekülmasse kleiner ist.

c) Bei der energetischen Verwertung (Verbrennung) von PVC entsteht Chlorwasserstoff, der stark korrodierend auf die Anlagenteile wirkt und aus Umweltschutzgründen aus dem Rauchgas ausgewaschen werden muss. Außerdem entstehen dabei hochgiftige und cancerogene Dioxine. Hinweis: In der üblicherweise bei Müllverbrennungsanlagen durchgeführten Rauchgaswäsche mit Calciumhydroxid führt Chlorwasserstoff zur Bildung von derzeit nicht verwertbarem Calciumchlorid.

d) Elektrophile Addition von Chlor an Ethen zu 1,2-Dichlorethan:



Eliminierung von Chlorwasserstoff zur Chlorethen:



A5 Lösungstext

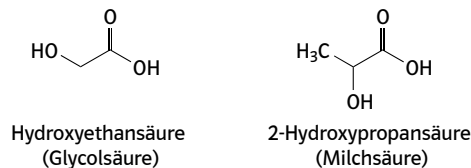
- Isotaktisch: Die Methylgruppen sind stets auf derselben Seite angeordnet.
- Syndiotaktisch: Die Methylgruppen sind jeweils wechselseitig angeordnet.
- Ataktisch: Bei der Anordnung der Methylgruppen ist kein Ordnungsmuster erkennbar.

A6

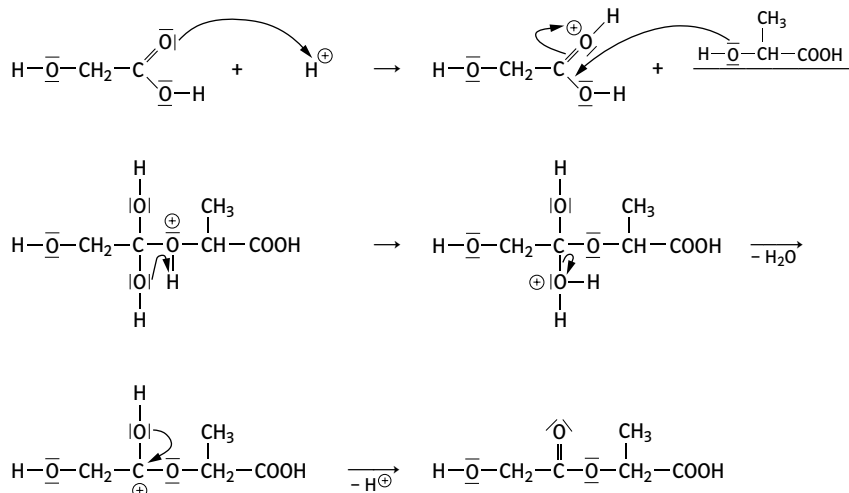
a) Synthesetyp: Polykondensation;

Stoffklasse: Polyester

Benennung:



b) Reaktionsmechanismus:



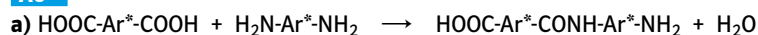
c) Esterspaltung (Esterhydrolyse)

A7 Der Angriff des Starterradikals auf eine Doppelbindung des Isoprens führt zur Ausbildung eines Radikals, das mesomeriestabilisiert ist.



Die Kettenfortpflanzung kann sowohl ausgehend vom C₂[•] als auch vom C₄-Atom erfolgen.

A8

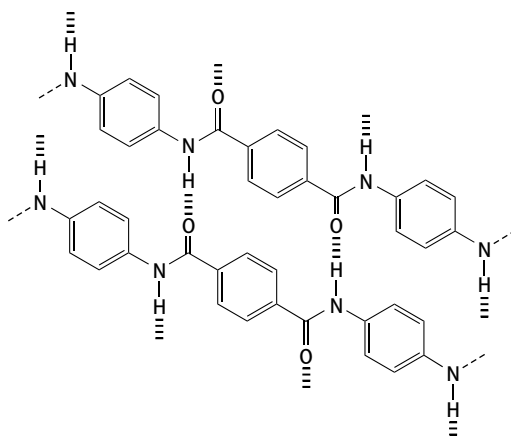


Synthesetyp: Polykondensation

Stoffklasse: Polyamid

Ar* = Benzolring

b) Die Makromoleküle in den Aramidfasern können sich parallel anordnen, da die einzelnen Moleküle durch Wasserstoffbrücken zwischen den CO-Gruppen des einen und den NH-Gruppen des anderen Moleküls zusammengehalten werden. Es bilden sich also kristalline Bereiche entlang der Streckrichtung mit sehr starken Anziehungskräften aus, was die große Festigkeit der Faserstränge erklärt.



Ergänzung:

Die Amidbindung besitzt durch Mesomerie Doppelbindungscharakter. Es ist daher prinzipiell eine cis- und eine trans-Anordnung bezüglich dieser Bindung möglich. Die aromatischen Ringe in der Polymerkette verhindern jedoch die Ausbildung einer cis-Anordnung, da sich hierbei die aromatischen Wasserstoff-Atome zu nahe kämen.

Die bevorzugte all-trans-Konformation führt zur Ausbildung von Wasserstoffbrücken über alle Amidbindungen der Polymerstränge, so dass diese lang gestreckte Konformation stabilisiert wird. Zwischen den aromatischen Ringen der einzelnen Molekülketten können sich zudem Van der Waals-Kräfte ausbilden.

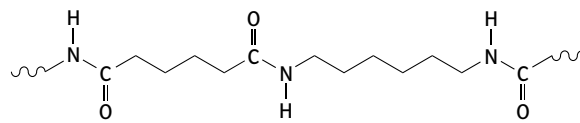
| | | |
|--------------------|------------------|-------------------------|
| | | |
| trans-Konformation | cis-Konformation | Mesomeriestabilisierung |

Nylon

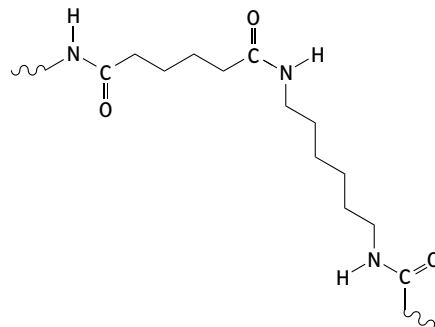
In den Makromolekülen des Nylons liegen zwischen den Amidbindungen Kohlenwasserstoffketten vor (z. B. aus 6 oder 10 C-Atomen). Auch in diesem Fall kommt es über die Amidgruppen beim Verstrecken zur Ausbildung von Wasserstoffbrücken zwischen den Molekülketten. Zwischen den Kohlenwasserstoff-Molekülsegmenten können jedoch nur schwächere Van der Waals-Kräfte wirken. Die Amidbindungen liegen jedoch hier nicht komplett in trans-Konformation vor, da es keine räumlich ausladenden aromatischen Ringe gibt, die eine Drehung um die Amidbindung verhindern. Es kann daher zu Knicken in den Molekülketten kommen (s. unten). Zudem ist der Kohlenwasserstoff-

Molekülteil aufgrund der freien Drehbarkeit um die C-C-Einfachbindungen auch weniger starr. Eine vollkommen parallele Anordnung der Ketten ist daher nicht möglich ist. Diese Anordnung ist aber für extrem feste Fasern notwendig.

Daher sind Nylonfasern im Vergleich zu Aramidfasern weniger fest. Da die Makromoleküle über die Wasserstoffbrücken quasi weitmaschig vernetzt sind, sind Nylonfasern auch etwas elastisch.



Nylon 6,6 (all-trans)



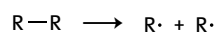
Nylon 6,6 mit einer *cis*-Konformation

A9

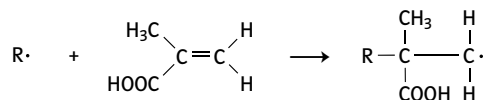
- a) Der Kunststoff besteht aus linearen Makromolekülen, zwischen denen Van-der-Waals-Kräfte, Dipol-Dipol-Kräfte und – wenige – Wasserstoffbrücken wirken. Folglich liegt ein Thermoplast vor.
- b) Die Bildung des Copolymers erfolgt in einer Polymerisationsreaktion. Das wichtigste Strukturmerkmal der Monomermoleküle ist die C=C-Doppelbindung, sie ist Voraussetzung für die Polymerisationsreaktion.

Eine Polymerisationsreaktion muss durch Startmoleküle in Gang gesetzt werden. Im Fall der radikalischen Polymerisation wird ein Startradikal gebildet; dieses erzeugt durch Reaktion mit einem Monomer ein Monomerradikal. Dieses reagiert mit einem weiteren Monomermolekül unter Kettenverlängerung.

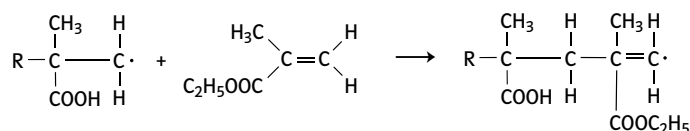
Erzeugung von Startradikalen:



1. Kettenstart (Erzeugung von Monomerradikalen):



2. Kettenwachstum (Verlängerung der „Radikalkette“):



Das Kettenwachstum setzt sich so lange fort, bis zwei Radikale miteinander reagieren und somit einen Kettenabbruch bewirken.

- c) Im sauren Milieu des Magens liegen die Makromoleküle in der „Säureform“ vor. Der Einfluss der unpolaren Gruppen überwiegt, die Makromoleküle sind im polaren Milieu des Magens nicht löslich. Im neutralen bis leicht alkalischen Milieu des Darms liegen Säureanionen vor, diese sind in polaren Lösungsmitteln löslich.