

5 Kunststoffe – Werkstoffe nach Maß

Zum Bild der Einstiegsseite

Der Stab der Stabhochspringerin muss besondere Eigenschaften haben, damit er als Sportgerät verwendet werden kann. So muss er sowohl stabil als auch flexibel sein. Als Material für diese Stäbe verwenden Markenhersteller glasfaserverstärkte Kunststoffe (S. 185, Windkraftanlagen).

Unterrichtsmaterial (Stand November 2019)

Die BASF bietet Schulen das kostenlose „Experimentierset Kunststoffe“ an.
Siehe: <http://www.basf.de/schule>
Eine gute Übersicht über Kunststoffe, ihre Geschichte und ihre Anwendung gibt es im Sandretto-Museum in Pont Canavese, Turin. Homepage: <http://museo.cannon.com/museo>

Literatur

W. Glöckner, W. Jansen, R. G. Weißenhorn (Hrsg.): Handbuch der experimentellen Chemie, Sekundarbereich II, Band 12: Kunststoffe, Recycling, Alltagschemie. Aulis Verlag, Deubner (wird jetzt über den Stark Verlag vertrieben)
V. Hofheinz: Das Babywindelprojekt – Offene Forschungsaufträge und implizierter Wissenserwerb über die Natur der Naturwissenschaften. Naturwissenschaften im Unterricht – Chemie 118/119 (2010), 50
D. Braun, G. Collin: 100 Jahre Bakelit. Chemie in unserer Zeit 3/2010, 90
H. Vogler: 75 Jahre Nylon-Polyamidfasern. Chemie in unserer Zeit 4/2010, 308
Themenheft: Innovative Kunststoffe. Praxis der Naturwissenschaften – Chemie in der Schule 7/56 (2007)
Themenheft: Klebstoffe. Praxis der Naturwissenschaften – Chemie in der Schule 3/59 (2010)
Bei den folgenden Aufsätzen stehen Unterrichtsmethoden am Beispiel von Kunststoffthemen im Vordergrund:
M. Burmeister, I. Eilks: Ist ein Bio-Kunststoff immer besser als PVC? – Die Warentestmethode und ein Beispiel aus dem Chemieunterricht. Praxis der Naturwissenschaften – Chemie in der Schule 5/60 (2011), 33
W. Pöpping, I. Melle: Kommunikationsorientierte Unterrichtsverfahren – Am Beispiel von Polymilchsäure.
Praxis der Naturwissenschaften – Chemie in der Schule 5/60 (2011), 36

Zu den Aufgaben

A1 PolyTHF-Fasern, auch als Elastan- oder Spandex-Fasern bekannt, werden in Fasergemischen mit Baumwolle, Polyester oder Polyamidfasern verwendet. Eigenschaften nach Angaben des Herstellers BASF:

- weich und glatt
- gut einzufärben
- um 500 bis 700 Prozent der ursprünglichen Länge dehnbar
- dauerhaft formbeständig
- widerstandsfähig gegen Feuchtigkeit und Mikroben
- durchlässig für Wasserdampf

Internet-Quelle, (Stand Juli 2019):

<http://www.intermediates.basf.com/chemicals/kundenreportage/polythf>

Baumwollfasern sind evtl. etwas weniger weich und glatt, aber sehr angenehm auf der Haut. Auch sie sind gut einzufärben. Baumwollfasern sind jedoch weniger dehnbar und weniger formbeständig. Sie können mehr Wasser aufsaugen und geben es langsamer wieder ab. Dies ist bei Sportbekleidung ein Nachteil, da sich das Trikot mit Schweiß vollsaugen kann und dann nass auf der Haut „klebt“.

Internet-Quelle, (Stand Juli 2019):

<http://www.ksta.de/fitness/-sport-im-herbst-kunstfaser-statt-baumwolle,15976826,28659106.html>

Hinweis:

Die oben genannte Internet-Quelle von BASF beschreibt auch den Herstellungsweg von PolyTHF: „Aus Erdgas wird zunächst Acetylen hergestellt, das in einer Reaktion mit Formaldehyd zu Butandiol umgesetzt wird. Daraus entsteht anschließend Butandiol, aus dem durch Cyclisierung an einem Katalysator Tetrahydrofuran (THF) gebildet wird, das schließlich zu PolyTHF polymerisiert, chemisch für Polytetramethylenetherglykol (PTMEG).“

A2 Aufbau eines Sportschuhs:

- Obermaterial: z. B. Nylon
- Fersenschale: z. B. Nylon, PVC
- Zwischensohle: z. B. geschäumtes EVA (Ethylen-Vinyl-Acetat), PU (Polyurethan)
- Außensohle: z. B. Hartgummi, Karbongummi

Die Dämpfung wird zum Teil durch das geschäumte Material der Zwischensohle erreicht. Außerdem sind in die Zwischensohle Luftkissen, Gaskissen oder Gelkissen eingearbeitet. Schaumstoffe, Luftkissen und Gaskissen lassen sich wegen der eingeschlossenen Gase komprimieren und dämpfen dadurch Stöße. Gelkissen verteilen die Kraft eines Stoßes auf eine größere Fläche.

Internet-Quelle, (Stand Juli 2019): <http://www.joggen.net/laufschuhe/aufbau/>

A3 Multilayer als Material für PET-Flaschen verhindern die Diffusion von Sauerstoff. Die Schicht, die die Sauerstoffdiffusion größtenteils unterbindet, besteht aus Polyamiden, vornehmlich Nylon. In diese Schicht integriert ist ein Übergangsmetallkatalysator, der durch Wärme aktiviert wird. Er katalysiert die Oxidation eines Teils des Polymers, sodass eindringender Sauerstoff verbraucht wird. Internet-Quellen (Stand Juli 2019):

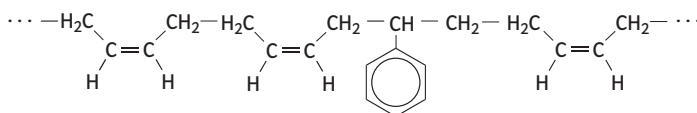
- G. Goldhan: Sauerstoff-Scavenger für Lebensmittelverpackungen. Symposium „Aktive und kommunikative Verpackungen“ 2003, Fraunhofer-Institut für Verfahrenstechnik und Verpackung, Freising. <http://publica.fraunhofer.de/dokumente/N-20710.html>
- Bierflasche mit recyceltem PET. Plastverarbeiter 51 (2000), Nummer 5, S. 88. http://www.plastverarbeiter.de/wp-content/uploads/migrated/docs/28_27283.pdf

A4 PET-Flaschen, z.B. aus der Sammlung des Grünen Punkts, werden zu sog. Flakes geschreddert und erneut zu Multilayer-Flaschen verarbeitet. Dabei können die Außen- oder Zwischenschichten aus recyceltem, die Innenschicht aus neuem PET bestehen. Bei diesem Recyclingverfahren beträgt der Recyclinganteil 40 bis 80%.

Internet-Fundstellen (Stand Juli 2019):

- Transport- und Aufbereitungsanlage für PET-Flaschen. Ventilatorenfabrik Oelde GmbH, Oelde. <http://www.venti-oelde.de/produkte/recycling-und-abfallaufbereitungsanlagen/infos.html> (weiter zu „Mehr Informationen zum Thema Lufttechnische Abscheider“, Download der Datei [pet_flaschen-de.pdf](http://www.venti-oelde.de/produkte/recycling-und-abfallaufbereitungsanlagen/infos.html))
- Bierflasche mit recyceltem PET. Plastverarbeiter 51 (2000), Nummer 5, S. 88. http://www.plastverarbeiter.de/wp-content/uploads/migrated/docs/28_27283.pdf

A5 Beispiel: Molekülkette aus drei Buta-1-3-dien-Monomere-Molekülen und einem Styrol-Monomer-Molekül:



Hinweise:

Dieses Copolymer ist unter dem Namen Styrol-Butadien-Kautschuk (SBR) bekannt und wird als synthetisches Gummi in der Reifenproduktion verwendet. Interessant ist, dass durch Einfügen eines weiteren Monomer-Typs (Acrylnitril) der harte, schlagfeste Kunststoff ABS entsteht.

A6 In Blockpolymeren sind Segmente von einheitlichen Molekülkettenteilen miteinander verknüpft. In alternierenden Copolymeren wechseln sich die Monomer-Sorten ab.

Hinweis:

Die Lösung dieser Aufgabe kann dem Exkurs in Kap. 5.2 entnommen werden.

A7 Die eingesetzten Kunststoffe müssen Thermoplaste sein, die sich beim Druckvorgang nicht verändern und einen engen Schmelzbereich aufweisen, damit die gedruckte Struktur gezielt erstellt werden kann. Bei einem weiten Erweichungsbereich ist die gedruckte Struktur direkt nach dem Druck nicht stabil.

A8 Glasfaserverstärkte Kunststoffe (GFK, auch Fibreglass, von engl. fibreglass) werden im Fahrzeugbau, in der Luftfahrt, im Schiffbau, im Brückenbau, bei Windkraftanlagen und im Modellbau eingesetzt. Man trängt Gewebe oder Faserbündel (Rovings) aus Glas, Aramid oder Kohlenstoff mit Gemischen aus u.a. Polyesterharzen und Zusatzstoffen und härtet die Harze anschließend bei höheren Temperaturen. Als Matrix für GFK können thermoplastische oder duroplastische Kunststoffe eingesetzt werden.

Hinweis:

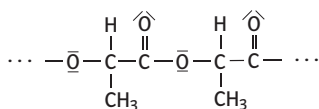
Im Internet findet man z.B. bei Wikipedia oder Chemie.de Material für eine Präsentation.

A9 GFK werden verwendet in der Luftfahrt (Flugzeuge), beim Schiffbau (z.B. Segelboote), für Windkraftanlagen (Rotorblätter) und für Karosserien von Autos. (Übrigens ist auch Holz ein Faserverbundwerkstoff, dementsprechend können GFK häufig als Ersatz für Holz eingesetzt werden.)

A10 Eine Möglichkeit der Entsorgung des Materials von Rotorblättern besteht in der Deponierung und thermischen Verwertung. Diese Möglichkeiten kommen jedoch schnell an Kapazitätsgrenzen. Zurzeit wird nach Verfahren gesucht, die Rotorblätter zu recyceln. Eines davon ist, die GFK zu Schnipseln zu schreddern und in Parkbänken oder Verkleidungen mit anderen Kunststoffen zu verarbeiten (Downcycling).

Hinweis: Informationen findet man im Internet unter dem Suchbegriff „Recycling von Windkraftanlagen“.

A11 Ausschnitt aus dem Polymilchsäure-Molekül:



A12 Kontaktlinsen müssen formstabil und – je nach Linsentyp – für Sauerstoff durchlässig sein. Das Material muss biokompatibel sein. Hergestellt werden sie in steriler Umgebung im Spritzgussverfahren. Für harte Kontaktlinsen verwandte man früher Plexiglas (PMMA, Polymethylmethacrylat), das aber sauerstoffundurchlässig ist. Heute verwendet man Materialien, die aus verschiedenen Komponenten wie Silikonpolymeren (Siloxanmethacrylate) oder Polymeren mit Fluor-Atomen bestehen, die eine Sauerstoffdurchlässigkeit gewährleisten. Weiche Kontaktlinsen werden aus Materialien mit hohem Wassergehalt hergestellt (Hydrogel-Kontaktlinsen). Hier kommen als Monomere z.B. Hydroxyethylmethacrylat oder auch Polyvinylalkohol zum Einsatz.

A13

- Stoffliche Verwertung: Bei der werkstofflichen Verwertung werden sortenreine Abfälle zerkleinert und wieder aufgeschmolzen. Bei der rohstofflichen Verwertung werden makromolekulare Stoffe in niedermolekulare Stoffe zerlegt und dann für neue Synthesen verwendet.
- Energetische Verwertung: Kunststoffabfälle werden z.B. in Heizkraftwerken verbrannt.

Hinweis:

Die Lösung dieser Aufgabe kann Kap. 5.9 entnommen werden.

A14 Im Bereich des Midway-Atolls befindet sich der Pazifische Müllstrudel (Great Pacific Garbage Patch). Die Menge des darin treibenden Kunststoffmülls wird auf ca. 80 000 Tonnen geschätzt. Über die Fläche des pazifischen Müllstrudels gibt es widersprüchliche Aussagen; sie ist ungefähr viermal so groß wie Deutschland.

Auswirkungen des Mülls in den Ozeanen: Durch Wellenbewegung und UV-Strahlung wird der Plastikmüll allmählich pulverisiert und dann vom Zooplankton mit der Nahrung aufgenommen. Dadurch gelangt er in die Nahrungskette bis hin zum Menschen. Da die Kunststoffpartikel giftige Stoffe wie z.B. DDT und polychlorierte Biphenyle adsorbieren, bringen sie auch diese Stoffe verstärkt in die Nahrungskette. Teilweise verhungern Meerestiere, weil sie Kunststoffteile fressen, diese allerdings nicht verstoffwechseln können.

Internet-Quellen, (Stand Juli 2019):

<http://www.zeit.de/2015/26/plastikmuell-nordsee-recycling-umweltschutz>

https://de.wikipedia.org/wiki/Plastikm%C3%BCll_in_den_Ozeanen

A15 Durch diese Maßnahmen sollen Kundinnen und Kunden dazu ermuntert werden, ihre Taschen von zu Hause mitzubringen. Durch Benutzung von Körben oder Stofftaschen, die viele Male verwendet werden können, ehe sie weggeworfen werden, kann die Produktion des Kunststoff-Tragetaschen-Mülls reduziert werden. Oftmals werden Kunststoff-Tragetaschen nur ein Mal verwendet. Je öfter auch diese Taschen verwendet werden, desto nachhaltiger ist das Verhalten des Verbrauchers.

A16 Es gibt verschiedene Quellen für Mikroplastik im Meer: Mikroplastik, das in Peelings oder Duschgels eingesetzt wird, leistet dabei einen mengenmäßig vergleichsweise geringen, Beitrag zur Umweltverschmutzung. Die mengenmäßig bedeutsamste Quelle für Mikroplastik im Meer ist aber die Zersetzung größerer Plastikteile. Auch beim Waschen von Chemiefasern oder durch Reifenabrieb entsteht Mikroplastik.

5.1 Eigenschaften und Struktur der Kunststoffe (S. 186/187)

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 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 Kunststoffes (PE, PP oder PS z. B. aus Verpackungsbechern, aber nicht PVC!) mit einer Tiegelzange 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.

Literatur

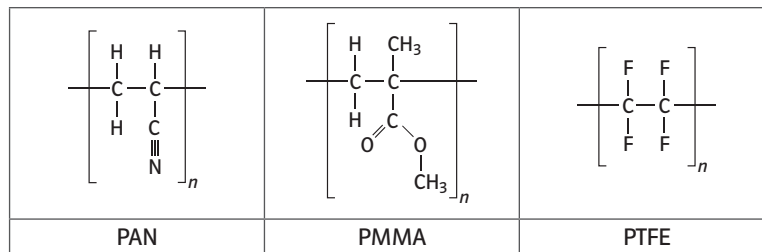
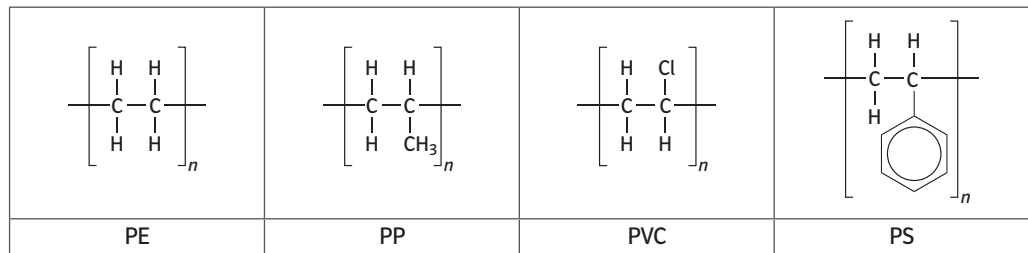
D. Braun: Der lange Weg zum Makromolekül. Chemie in unserer Zeit 46, 5 (Oktober 2012), 310–320

5.2 Polymerisation (S. 188 – 191)

Zu den Aufgaben

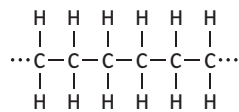
A1

a) Repetiereinheiten:

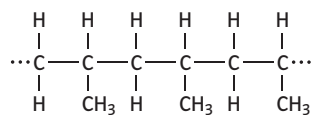


b) Formelausschnitte:

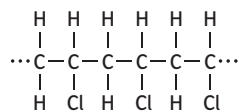
Polyethen (PE):



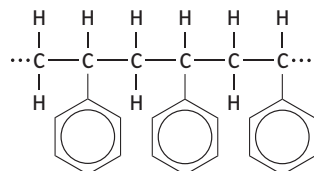
Polypropen (PP):



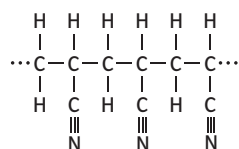
Polyvinylchlorid (PVC):



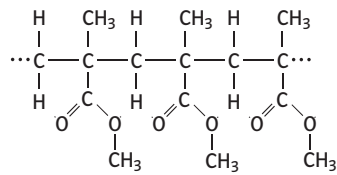
Polystyrol (PS):



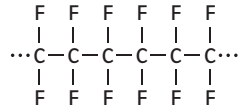
Polyacrylnitril (PAN):



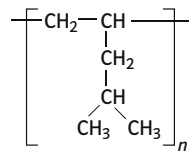
Polymethylmethacrylat (PMMA):



Polytetrafluorethan (PTFE):



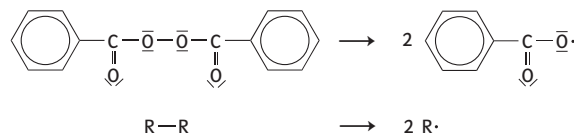
A2 Repetiereinheit:



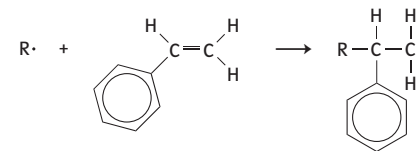
Name des Monomers: 4-Methylpent-1-en

A3 Radikalische Polymerisation von Styrol:

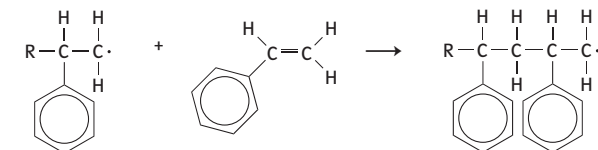
Erzeugung von Start-Radikalen:



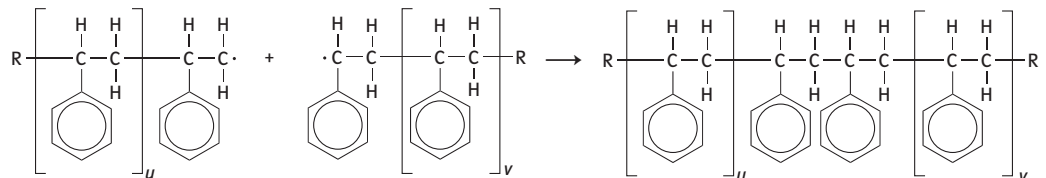
1. Kettenstart (Erzeugung von Monomer-Radikalen):



2. Kettenwachstum (Verlängerung der „Radikalkette“):



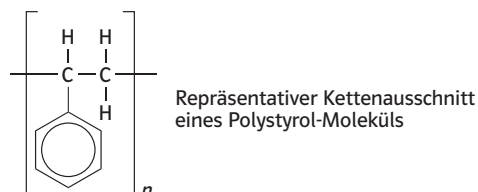
3. Kettenabbruch (Zusammenschluss von Radikalen):



Erläuterungen zu den Reaktionsschritten:

Erzeugung von Start-Radikalen: Eine Polymerisation muss durch Start-Moleküle in Gang gesetzt werden. Im Fall der radikalischen Polymerisation erzeugt man hierfür z.B. Benzoyl-Radikale aus Dibenzoylperoxid. *Hinweis:* Das Benzoyl-Radikal als Start-Radikal wird im Schülerbuch in Kap. 10.3, B1 und B2 genannt. Nach anderen Quellen kann dieses zunächst in ein CO₂-Molekül und ein Phenyl-Radikal (C₆H₅·) zerfallen, sodass die Reaktion auch durch das Phenyl-Radikal gestartet werden kann. (Die Angaben anderer Lehrbücher sind unterschiedlich: „Chemie heute SII“, Schroedel 2009 nennt das Benzoyl-Radikal als Start-Radikal, „Chemie Sek II“, Duden, 2005 und „Chemie Oberstufe“, Cornelsen, 2010 nennen das Phenyl-Radikal.)

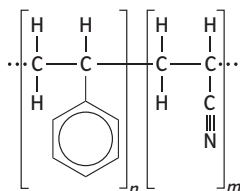
- 1. Kettenstart:** Im ersten Schritt der Kettenreaktion spaltet ein Benzoyl-Radikal die Doppelbindung eines Styrol-Moleküls. Es entsteht ein verlängertes Radikal.
- 2. Kettenwachstum:** Das verlängerte Radikal reagiert mit einem weiteren Styrolmolekül unter Kettenverlängerung. Diese Reaktion setzt sich 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 Polymer-Moleküls 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

- Acrylglas-Platten hergestellt werden oder
- 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.

Die Lehrkraft muss den Versuchsaufbau prüfen, bevor die Schülerinnen und Schüler den Versuch durchführen.

Mögliche Versuchsdurchführung:

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

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 zweites Reagenzglas geleitet. Weil man hier mit einer offenen Flamme arbeitet, sollte auf gute Kühlung des Winkelrohrs und der Vorlage geachtet werden. Daher stellt man die Vorlage (das zweite Reagenzglas) zur Kühlung in ein Becherglas mit Eiswasser. Das Winkelrohr kann mit einem feuchten Lappen gekühlt werden. Dann erwärmt man das PMMA vorsichtig von oben nach unten.

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

Mithilfe der Bromwasserprobe kann das Destillat auf Doppelbindungen geprüft werden. Somit ist die erfolgreiche Depolymerisation gezeigt.

(Reinigung der Glasgeräte mit Aceton.)

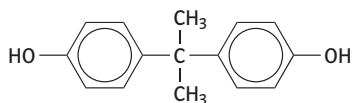
Die erhaltenen Monomer-Moleküle können auch erneut wie in V1 polymerisiert werden.

In einem Teil der Auflage des Schülerbandes ist der Versuch gelb unterlegt. Zudem fehlen die Hinweise „Schutzbrille!“, „Abzug!“ und „Bevor Sie beginnen, muss die Lehrkraft Ihren Versuchsaufbau prüfen“. In der korrigierten Auflage ist der Versuch grün hinterlegt, d.h., es handelt sich um einen Schülerversuch. Auch die genannten Hinweise haben wir ergänzt.

5.3 Polykondensation (S. 192/193)

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. Spielzeug, Beschichtungen von Thermopapier (Kassenbons), Kunststoffschüsseln und die Innenbeschichtung von Konservendosen hergestellt. In Lebensmitteln, die in diesen Gefäßen aufbewahrt werden, können sich geringe Mengen BPA lösen.

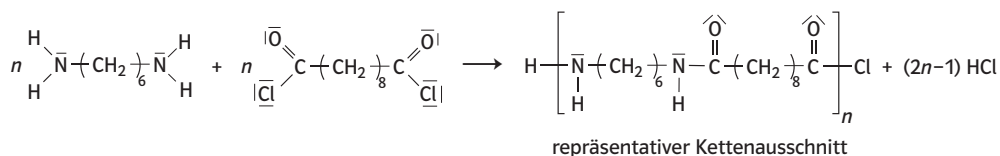
BPA wirkt auf Hormonrezeptoren im Körper. BPA steht im Verdacht, u. a. die Sexualentwicklung, die männliche Sexualfunktion und die Gehirnentwicklung zu stören, Fettleibigkeit, Diabetes mellitus, Schilddrüsen-Funktionsstörungen auszulösen und erbgutschädigend zu sein.

Der Recycling-Code gibt Auskunft über die Art des verwendeten Kunststoffs. Die Recycling-Nummern 2 (Polyethylenterephthalat), 4 (Polyethylen High-Density) und 5 (Polypropylen) gelten als sicher, da diese Kunststoffe kein BPA enthalten. Ist ein Kunststoffprodukt mit der Recycling-Nummer 7 (andere Kunststoffe, wie Polycarbonat u. a.) gekennzeichnet oder liegt ein nicht gekennzeichnetes Kunststoffprodukt vor, enthält es meist BPA.

Internet-Fundstellen, (Stand Juli 2019):

- https://de.wikipedia.org/wiki/Bisphenol_A
- <https://www.bund.net/themen/chemie/hormonelle-schadstoffe/bisphenol-a/>
- https://www.bfr.bund.de/de/a-z_index/bisphenol_a-4745.html

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:

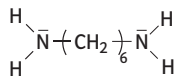
Der Versuch soll im Abzug durchgeführt werden. Bewährt haben sich Reagenzgläser mit 16 mm Durchmesser und 160 mm Länge und wasserhaltiges Glycerin ($w = 85\%$).

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.

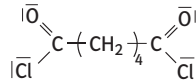
Das Gemisch darf nicht zu hoch erhitzt werden; man arbeitet mit der nicht leuchtenden Flamme (nicht mit der rauschenden Flamme). Die Bernsteinsäure bildet dann mit dem Glycerin eine klare Lösung, die nach kurzer Zeit heftig aufschäumt. Wenn der Schaum im Reagenzglas zu hoch steigt, nimmt man es sofort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

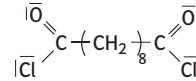
V2 B5 im Schülerbuch zeigt die Beobachtung.
Formeln der verwendeten Monomere:



1,6-Diaminohexan
(Hexamethyldiamin)

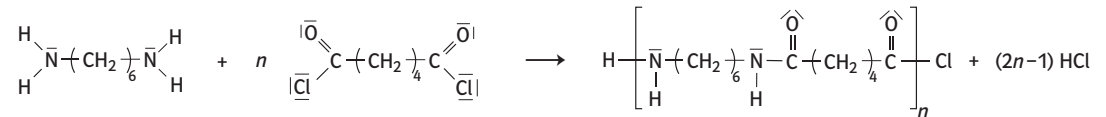


Adipinsäuredichlorid
(Hexandisäuredichlorid)



Sebacinsäuredichlorid
(Decandisäuredichlorid)

Reaktionsgleichung für 1,6-Diaminohexan und Adipinsäuredichlorid:



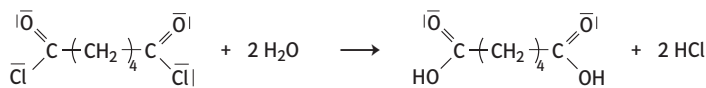
Reaktionsgleichung für 1,6-Diaminohexan und Sebacinsäuredichlorid: siehe A2

Hinweise:

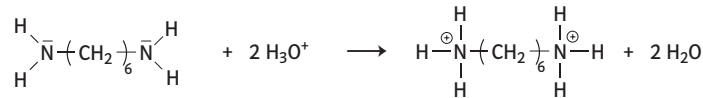
Das im Experiment gewonnene Nylon kann man nach gründlichem Waschen mit Wasser trocknen lassen und dann aufschmelzen.

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.

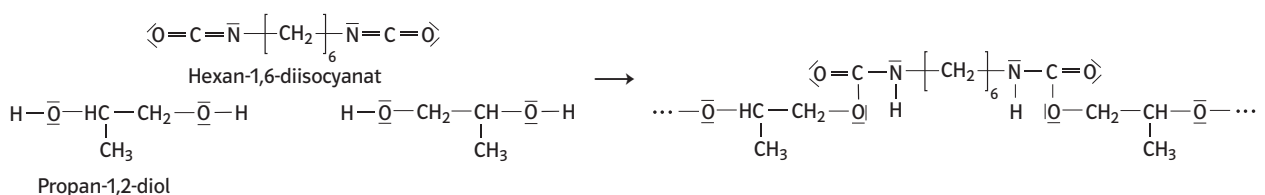
5.4 Exkurs: Polyaddition (S. 194/195)

Zu den Aufgaben

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

A2

a) Bei der Polyaddition erfolgt eine Verknüpfung des partial negativ geladenen Sauerstoff-Atoms der Hydroxygruppe des Diols mit dem partial positiv geladenen Kohlenstoff-Atom der Isocyanatgruppe des Diisocyanats. Anschließend löst sich von der „ehemaligen“ Hydroxygruppe ein Proton, das von dem Stickstoff-Atom 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.

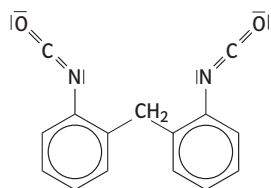
A3 Die Verknüpfung in a) erfolgt unter Abspaltung von Chlorwasserstoff (HCl), es handelt sich daher um eine Polykondensation.

In b) erfolgt eine Polyaddition der Aminogruppe an die Epoxidgruppe, die wie eine Doppelbindung reagiert. Es wird nichts abgespalten.

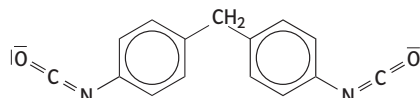
Zum Versuch

V1 Hinweis:

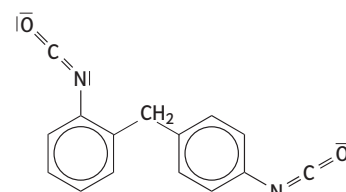
Diphenylmethandiisocyanat (MDI) ist i. d. R. ein Gemisch mehrerer Konstitutionsisomere:



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.

Hinweis zur Durchführung: MDI und eine Polyolzubereitung sind z. B. bei Hedingler unter den Namen Desmodur® und Desmophen® erhältlich.

5.5 Exkurs: Verarbeitung von Kunststoffen (S. 196/197)

Zu den Aufgaben

A1 a) 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.

b) Schraubverschlüsse werden durch Spritzgießen gefertigt.

c) (Fall)-Rohre werden durch Extrusion hergestellt. Dabei wird das geschmolzene Material kontinuierlich durch formgebende Öffnungen gepresst.

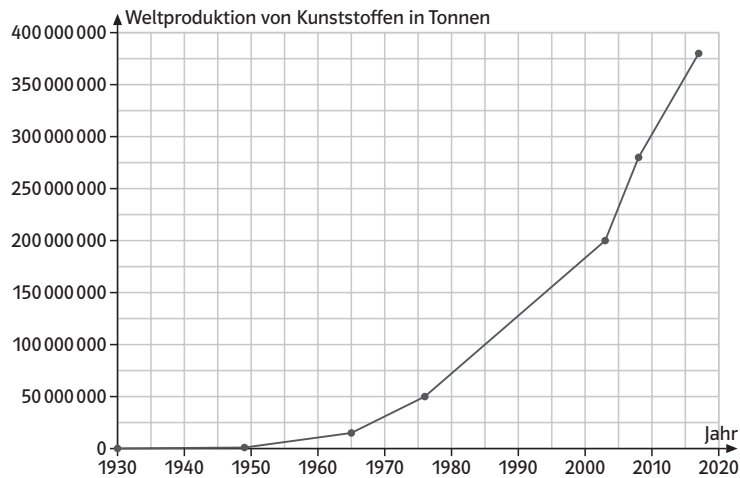
d) Behälter werden durch Hohlkörperblasen hergestellt. Dabei drückt ein Extruder einen fast plastischen Schlauch in ein zweiteiliges Hohlwerkzeug mit der gewünschten Form. Durch Schließen des Werkzeugs wird der Schlauch luftdicht abgequetscht und durch Einblasen von Luft an die Wände der Form gedrückt.

5.6 Impulse: Kunststoffe im Alltag (S. 198/199)

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 Individuelle Schülerleistung

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.
- Polyethen 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 Bei den Symbolen handelt es sich um die sog. Recycling-Codes. Diese geben an, dass die Produkte recycelt werden können und aus welchem Material die jeweiligen Produkte sind.

Recycling-Nummer	Kürzel	Name des Werkstoffs
01	PET oder PETE	Polyethylenterephthalat
02	PE-HD oder HDPE	Polyethylen High Density
03	PVC	Polyvinylchlorid
04	PE-LD oder LDPE	Polyethylen Low Density
05	PP	Polypropylen
06	PS	Polystyrol
07	O	(Other) Andere Kunststoffe wie Polycarbonat, Polyamid u.a.

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: Organische Verbindungen, die sowohl Eigenschaften von Flüssigkeiten als auch von Feststoffen aufweisen

Bei einem Liquid Crystal Display (einer Flüssigkristallanzeige oder einem Flüssigkristallbildschirm) – kurz: LCD – gibt es eine Hintergrundbeleuchtung. Bevor das Licht der Hintergrundbeleuchtung auf die Flüssigkristalle trifft, wird es polarisiert. Das Licht, welches durch die Flüssigkristalle gelangt ist, wird nochmals polarisiert. Das Licht der Hintergrundbeleuchtung wird dadurch entweder durchgelassen oder nicht. 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.

b)

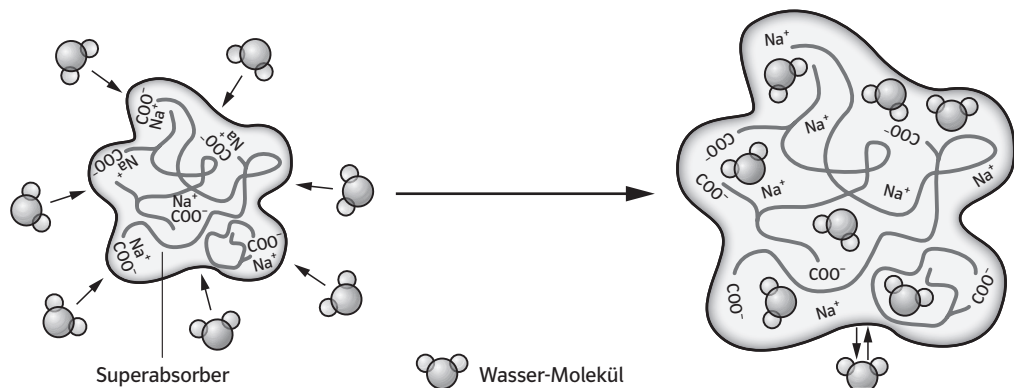
	LCD-Technologie	OLED-Technologie
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> - Längere Lebensdauer - Niedrigere Herstellungskosten 	<ul style="list-style-type: none"> - Sehr hoher Kontrast - Geringer Energieverbrauch - Flexibel (gebogene Displays möglich) - superflaches Design möglich - Licht wird flächig abgestrahlt - Perfektes Schwarz - Schnelle Reaktionszeit
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> - Weniger kontrastreich - Starr 	<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 lösungsmittelhaltigen 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-Copolymere) die Reaktionskleber, so z. B. Zweikomponenten-Kleber (Kap. 5.4).

A12 Superabsorber besteht aus Natriumpolyacrylat, das aus Acrylsäure und Natriumacrylat hergestellt werden. Sobald diese Polymerketten mit Wasser in Berührung kommen, dissoziieren die Natrium-Ionen von den Carboxylatgruppen ab. Dadurch stoßen sich die negativ geladenen Polymerketten elektrostatisch ab und das Polymernetz quillt auf. Wasser dringt durch osmotischen Druck in die zwischenmolekularen Hohlräume, zwischen den Wasser-Molekülen und den negativ geladenen Gruppen der Polymer-Moleküle bilden sich Wasserstoffbrücken:



Da bei höheren Temperaturen die Molekularbewegung zunimmt, verläuft zum einen die Dissoziation schneller, zum anderen dringt das Wasser schneller in das Polymernetz ein.

Internet-Quelle, (Stand März 2019): Materialien des Fonds der Chemischen Industrie (FCI): Unterrichtsmaterial Innovationen in der Chemie; Materialien, Wirkstoffe und Verfahren für unsere Zukunft <https://www.vci.de/fonds/downloads-fonds/unterrichtsmaterialien/2018-09-innovationen-chemie-textheft.pdf>

A13 Hygieneartikel, Campingtoiletten, Hochwasserschutz

Zu den Versuchen

V1 Um Gebäude vor plötzlich auftretenden Wassermassen zu schützen, benötigt man einen Stoff, der in kurzer Zeit sehr große Wassermengen absorbieren kann. Diese Eigenschaft weist ein Superabsorber auf, was mit dem folgenden Modellversuch gezeigt werden kann:

Material:

Becherglas 250 ml, Superabsorber, warmes Wasser, Waage

Durchführung:

In das Becherglas werden 2 g Superabsorber eingewogen und nach und nach 100 - 200 ml warmes Wasser zugegeben.

Beobachtungen:

Die Körnchen des Superabsorbers quellen auf und nehmen dadurch das eingefüllte Wasser vollständig auf. Die kleinen Körnchen des Superabsorbers vervielfachen dadurch ihr Volumen, sehen gelartigt aus, kleben aneinander und haften im Glas.

Beim Umdrehen des Glases haftet der aufgequollene Superabsorber im Becherglas, es tritt kein Wasser aus.

Erklärung:

Der Superabsorber besteht aus Polyacrylat als Kernmaterial in Form von maximal 0,8 Millimeter großen, weißen Körnchen. Diese haben es in sich: Durch das Aufquellen zu einem Gel können sie gut das Hundertfache ihres Eigengewichts an Wasser aufnehmen. Anders als bei einem Schwamm, der bei Druck die eingeschlossene Flüssigkeit wieder abgibt, lässt der Superabsorber nichts heraus. Deshalb fließt auch beim Umdrehen des Glases kein Wasser heraus.

Internet-Quelle (Stand März 2019): <https://www.vci.de/fonds/downloads-fonds/unterrichtsmaterialien/2018-09-innovationen-chemie-textheft.pdf>

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 Natriumchlorid-Lösung 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 Natriumchlorid-Lösung ($w = 0,9\%$) 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.

Literatur

R. Harrer: Superabsorber. Chemie in unserer Zeit 48, 3 (Juni 2014), 230–232
J. Ganz, C. Maulbetsch: Quellungsexperimente mit Superabsorber-Polymeren. Chemie konkret 20 (3/2013), 127

5.7 Impulse: Kunststoffmüll – Endstation Meer? (S. 200)

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 in einem Porzellanbecher zu genießen.
 - In Unverpackt-Läden einkaufen
 - Keine Kosmetik mit Mikroplastik verwenden

A2 Beispiele:

- Keine Kunststoffbecher am Getränkeautomat, sondern Becher aus Porzellan.
- Kein Einweggeschirr in der Mensa.
- Verbot von Einwegflaschen 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

a) Man unterscheidet zwei verschiedene Möglichkeiten:

- Sogenanntes sekundäres Mikroplastik entsteht durch das Einbringen von Kunststoffabfall ins Meer. Die groben Kunststoffteile werden zersetzt zum 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 (z.B. Tsunami) ins Meer. Auch durch direkte Müllverklappung, die zwar seit 1988 verboten ist, aber immer noch Unmengen an Müll im Meer entsorgt werden.
- 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. 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

5.8 Praktikum: Klebstoffe (S. 201)

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/m²)

Die Zugfestigkeit steigt mit der Dauer des Aushärtens, da die Polyaddition weiter 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.)

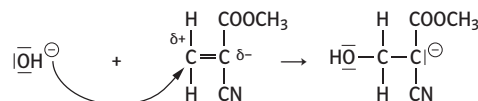
Zugscherfestigkeiten (UHU Methode in Anlehnung an DIN EN 53283):	Mischungsverhältnis (Volumen) 1:1, Prüfung bei Raumtemperatur 10 h: 5 N/mm ² 24 h: 12 N/mm ² 5 Tage: 17 N/mm ² 1 Monat: 17 N/mm ²
---	--

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

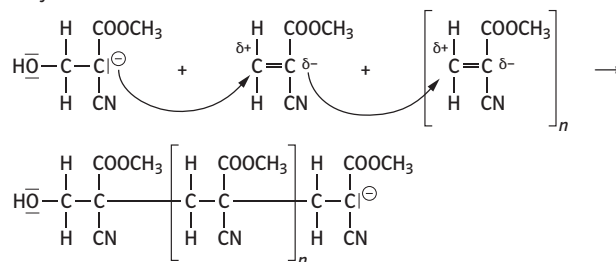
V2

1) Reaktionsmechanismus:

1. Startreaktion



2. Polymerisation



α -Cyanacrylsäuremethylester-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.



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.

5.9 Exkurs: Verwertung von Kunststoffabfall (S. 202/203)

Zu den Aufgaben

A1 Die Kunststoffe durchlaufen z.B. verschiedene Becken, die Lösungen unterschiedlicher Dichte enthalten. Die darin schwimmenden Kunststoffe werden abgeschöpft.
 Becken 1 mit Wasser ($\rho = 1 \text{ g/cm}^3$): PE ($\rho = 0,91 \dots 0,96 \text{ g/cm}^3$) schwimmt auf.
 Becken 2 mit gesättigter 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 (energetisch) $\approx 53\%$, 1995: w (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

Zum Versuch

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.

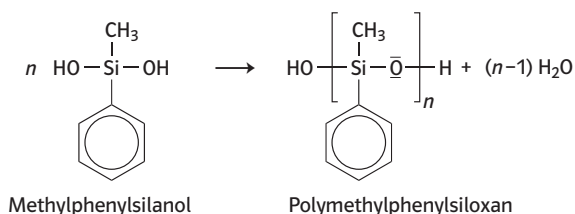
Literatur

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

5.10 Exkurs: Silikone (S.204/205)

Zu den Aufgaben

A1



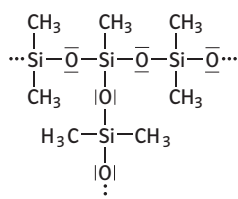
A2 Das Siliciumgerüst der Silikone ist definitionsgemäß anorganisch, da es kein Kohlenstoffgerüst ist. Andererseits verfügen Silikone über organische Seitenketten wie z.B. die Methylreste in Polydimethylsiloxan. Auch die langkettigen Moleküle und die Vierbindigkeit der Silicium-Atome erinnern an organische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

A3

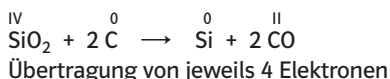
a) In Schritt 2 kann neben Dimethylsilandiol auch Methylsilantriol entstehen. Bei Dimethylsilandiol handelt es sich um ein bifunktionales Molekül (Molekül mit zwei funktionellen Gruppen), das zur Bildung eines linearen Makromoleküls führt.

Methylsilantriol führt zur Bildung vernetzter Makromoleküle, da nur trifunktionale Monomer-Moleküle (Moleküle mit drei funktionellen Gruppen) vorliegen.

b)



A4



5.11 Impulse: Biologisch abbaubare Kunststoffe (S. 206)

Zu den Aufgaben

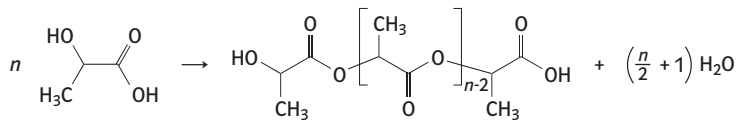
A1 Neben der Verwendung für kurzlebige Verpackungsfolien oder Tiefziehprodukte (z.B. Getränke- oder Joghurtbecher, Obst-, Gemüse- und Fleischschalen) attestiert die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) dem PLA-Rohstoff ein großes Potenzial auch für langlebige Produkte. Beispiele dafür sind Handschalen, 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. Zudem bestehen Druckerfilamente für 3D-Drucker aus PLA.

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

A2

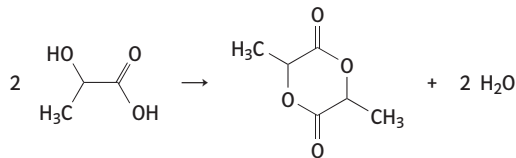
1. Möglichkeit:

Polykondensation von Milchsäure-Molekülen:

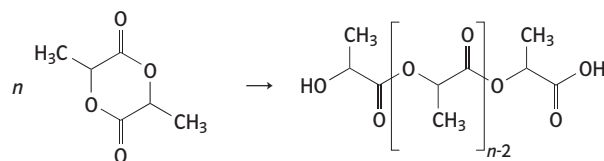


2. Möglichkeit:

Kondensation von zwei Milchsäure-Molekülen zum Lactid-Molekül:

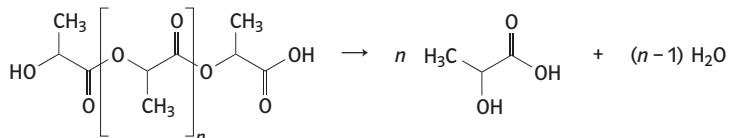


Ringöffnungspolymerisation von Lactid-Molekülen:

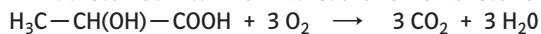
**A3** Es handelt sich um eine Polykondensationsreaktion, da die Monomer-Moleküle unter Abspaltung von Wasser-Molekülen miteinander verknüpft werden.

Monomer

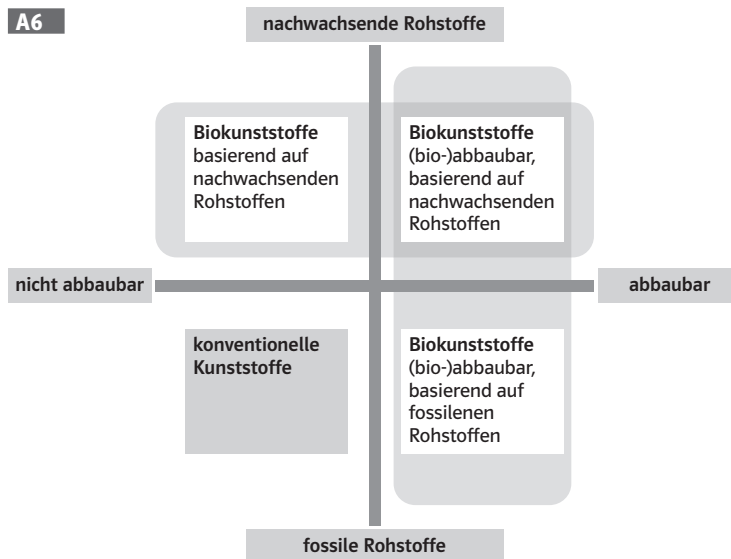
Ausschnitt Polymer-Molekül

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 benutzt 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.

Zum Versuch

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

5.12 Exkurs: Carbonfasern (S. 207)

Zur Aufgabe

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

5.13 Durchblick: Zusammenfassung und Übung (S. 208 – 210)

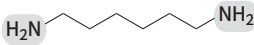
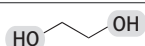
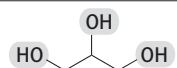
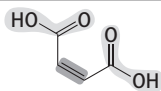
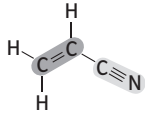
Zu den Aufgaben

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

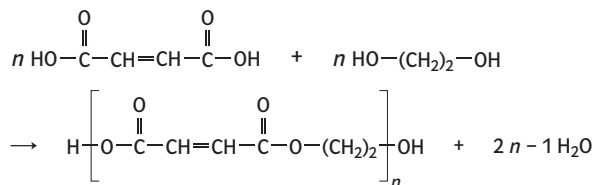
A3

a)

1,6-Diaminohexan		Aminogruppe
Ethandiol (Glycol)		Hydroxygruppe
Propan-1,2,3-triol (Glycerin)		Hydroxygruppe
(Z)-Butendisäure		Carboxygruppe und Doppelbindung
Acrylnitril		Cyanogruppe (Nitrilgruppe) und Doppelbindung

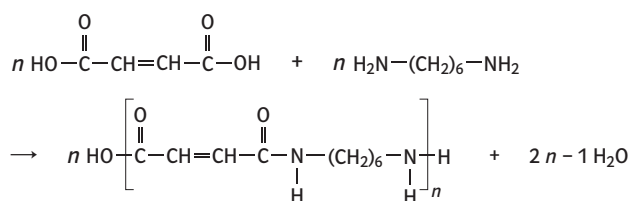
b) Beispiellösung:

Herstellung eines thermoplastischen Polyesters:



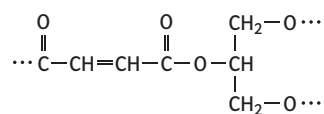
(Z)-Butendisäure + Ethandiol (Glycol)

Herstellung eines thermoplastischen Polyamids:



(Z)-Butendisäure + 1,6-Diaminohexan

c) Beispiellösung: Formelausschnitt eines möglichen Duromer-Moleküls



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

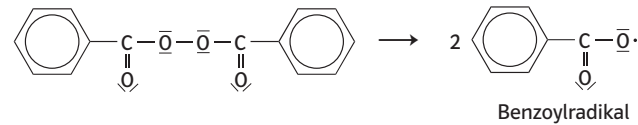
A4

a) Radikalische Polymerisation von Vinylchlorid zu PVC:

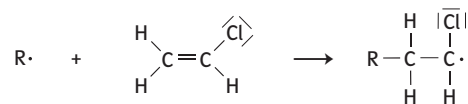
Erzeugung von Startradikalen:



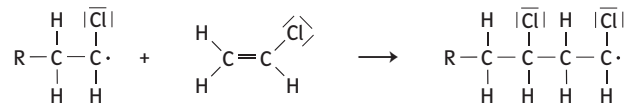
Beispiel:



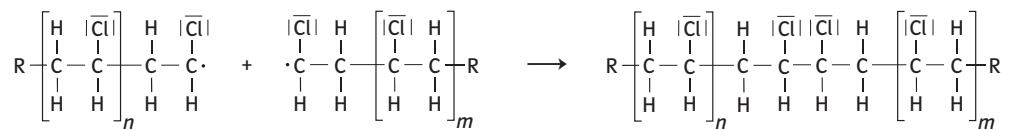
1. Kettenstart (Erzeugung von Monomer-Radikalen):



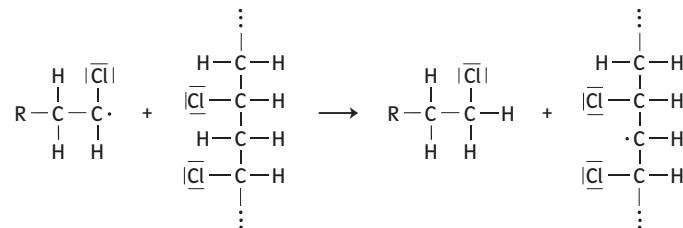
2. Kettenwachstum (Verlängerung der „Radikalkette“):



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. Benzoyl-Radikale aus Dibenzoylperoxid.

1. Kettenstart: Im ersten Schritt der Kettenreaktion spaltet ein Benzoyl-Radikal die Doppelbindung eines Vinylchlorid-Moleküls. Es entsteht ein verlängertes Radikal.

2. Kettenwachstum: Das verlängerte Radikal reagiert mit einem weiteren Vinylchlorid-Molekül 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 Polymer-Moleküls abgeschlossen.

Kettenverzweigung: Das bei dieser Nebenreaktion gebildete Radikal kann wie bei 2. mit einem Monomer-Molekül reagieren.

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

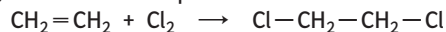
Zum einen kann die Kettenverlängerung (Schritt 2) unterschiedlich oft ablaufen, bevor sie durch einen Kettenabbruch (Schritt 3) gestoppt wird. Zum anderen können die Radikale, die im Abbruchschritt rekombinieren, auch unterschiedlich lang sein. Beides führt dazu, dass Polymere mit unterschiedlichem Polarisationsgrad 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.

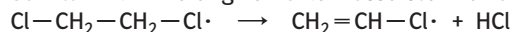
Bei hohen Temperaturen verläuft die thermische Spaltung des Starters schneller, es werden daher mehr Startradikale pro Zeit gebildet, sodass auch in diesem Fall gleichzeitig mehr Ketten wachsen und die mittlere Molekülmasse kleiner ist.

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



Schritt 2: Eliminierung von Chlorwasserstoff zur Chlorethen:



A5

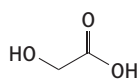
- a) – Isotaktisch: Die Methylgruppen sind stets auf derselben Seite angeordnet.
 – Syndiotaktisch: Die Methylgruppen sind jeweils wechselseitig angeordnet.
 – Ataktisch: Bei der Anordnung der Methylgruppen ist kein Ordnungsmuster erkennbar.
 b) Da sich im isotaktischen Polypropylen die Polymer-Moleküle besser parallel anordnen können, hat der Kunststoff mehr kristalline Bereiche und besitzt eine hohe mechanische Festigkeit.

A6

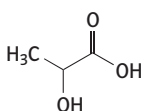
- a) Synthesetyp: Polykondensation;

Stoffklasse: Polyester

Benennung:

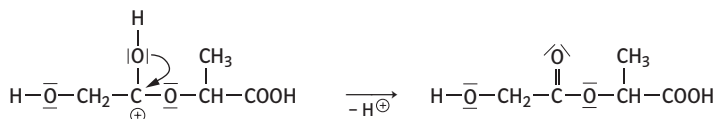
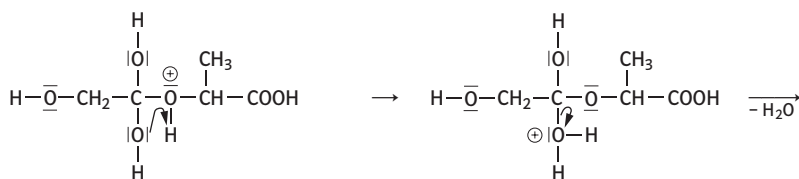
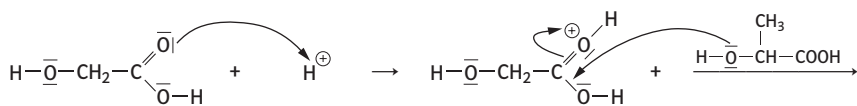


Hydroxyethansäure
(Glycolsäure)

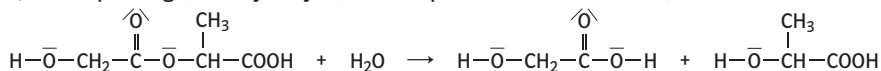


2-Hydroxypropansäure
(Milchsäure)

- b) Reaktionsmechanismus:

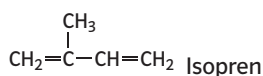


- c) Esterspaltung (Esterhydrolyse) am Beispiel des Moleküls aus b):



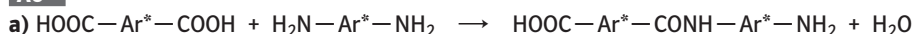
A7 Verändert nach: Hessisches Landesabitur 2010, LK Nachtermin, Vorschlag C, Aufgabe 3.3:

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

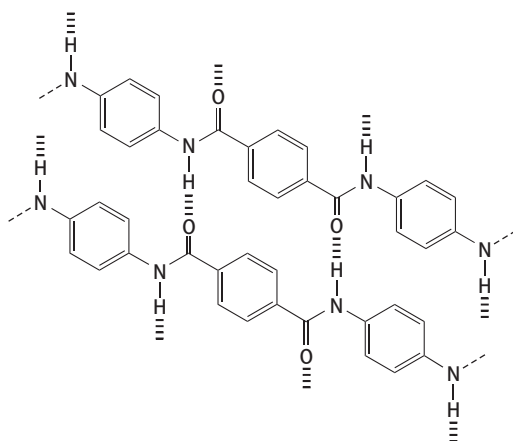


Synthesetyp: Polykondensation

Stoffklasse: Polyamid

Ar* = Benzolring

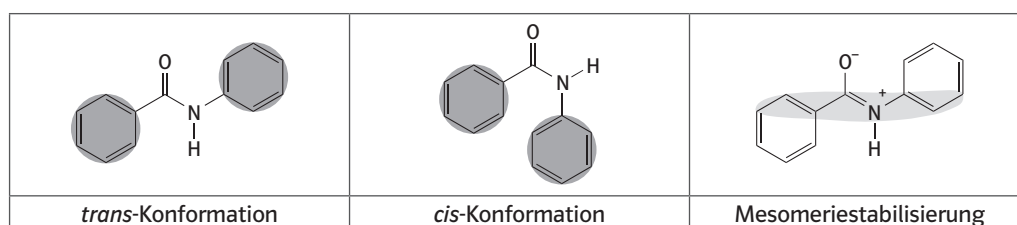
- b) Die Makromoleküle in den Aramidfasern können sich parallel anordnen, da die einzelnen Moleküle durch Wasserstoffbrücken zwischen den CO-Gruppen des einen und den NH-Gruppen des anderen Moleküls zusammengehalten werden. Es bilden sich also kristalline Bereiche entlang der Streckrichtung mit sehr 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, sodass diese lang gestreckte Konformation stabilisiert wird. Zwischen den aromatischen Ringen der einzelnen Molekülketten können sich zudem London-Kräfte ausbilden.

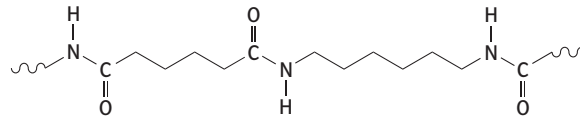


Nylon

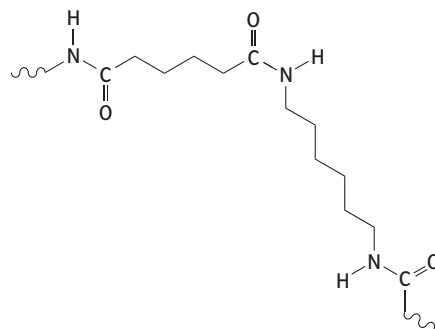
In den Makromolekülen des Nylons liegen zwischen den Amidbindungen Kohlenwasserstoff-Ketten vor (z. B. aus 6 oder 10 C-Atomen). Auch in diesem Fall kommt es über die Amidgruppen beim Verstrecken zur Ausbildung von Wasserstoffbrücken zwischen den Molekülketten. Zwischen den Kohlenwasserstoff-Molekülsegmenten können jedoch nur schwächere London-Kräfte wirken. Die Amidbindungen liegen jedoch hier nicht komplett in *trans*-Konformation vor, da es keine räumlich aus-

ladenden aromatischen Ringe gibt, die eine Drehung um die Amidbindung verhindern. Es kann daher zu Knicken in den Molekülketten kommen. 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)



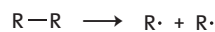
Nylon 6,6 mit einer *cis*-Konformation

A9

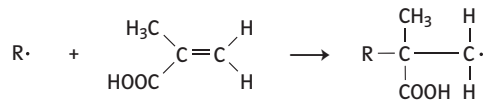
- a) Der Kunststoff besteht aus linearen Makromolekülen, zwischen denen London-Kräfte, Dipol-Dipol-Kräfte und – wenige – Wasserstoffbrücken wirken. Folglich liegt ein Thermoplast vor.
- b) Die Bildung des Copolymers erfolgt in einer Polymerisationsreaktion. Das wichtigste Strukturmerkmal der Monomer-Moleküle 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-Molekül ein Monomer-Radikal. Dieses reagiert mit einem weiteren Monomer-Molekül unter Kettenverlängerung.

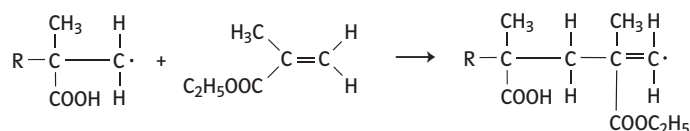
Erzeugung von Start-Radikalen:



1. Kettenstart (Erzeugung von Monomer-Radikalen):



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.