

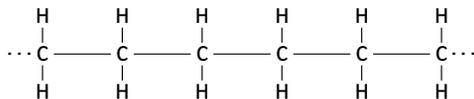
# 6 Kunststoffe

## 6.14 Durchblick: Zusammenfassung und Übung

Zu den Aufgaben

**A1**

a)



b) Mechanismus der radikalischen Polymerisation

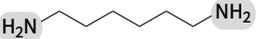
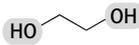
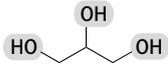
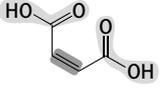
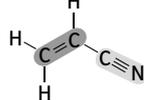
c) Man benötigt ein lipophiles Lösungsmittel, denkbar sind flüssige Alkane, z.B. Benzin oder Petroleum.

d) Herunterkühlen der Platte mit flüssigem Stickstoff, der eine Temperatur von  $-196^\circ\text{C}$  hat.

e) Diese Kunststoffe sind leichter und korrosionsfest, damit sind sie langlebiger und widerstandsfähiger.

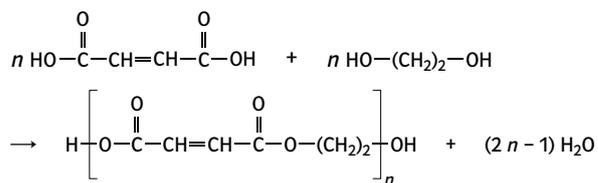
**A2**

a)

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

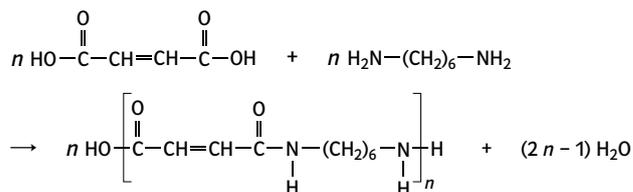
b) Beispiellösung:

Herstellung eines thermoplastischen Polyesters:



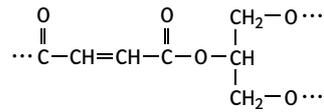
(Z)-Butendisäure + Ethandiol (Glycol)

Herstellung eines thermoplastischen Polyamids:



(Z)-Butendisäure + 1,6-Diaminohexan

c) Beispiellösung: Formelausschnitt eines möglichen Duomer-Moleküls



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

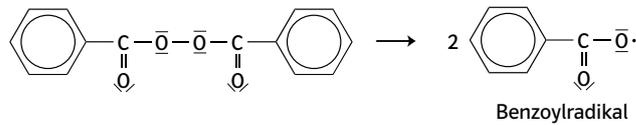
**A3**

a) Radikalische Polymerisation von Vinylchlorid zu PVC:

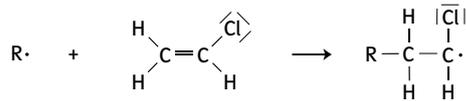
Erzeugung von Startradikalen:



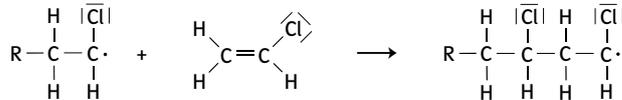
Beispiel:



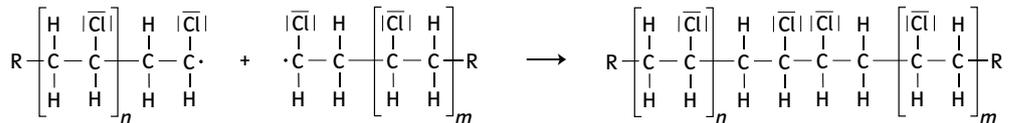
1. Kettenstart (Erzeugung von Monomer-Radikalen):



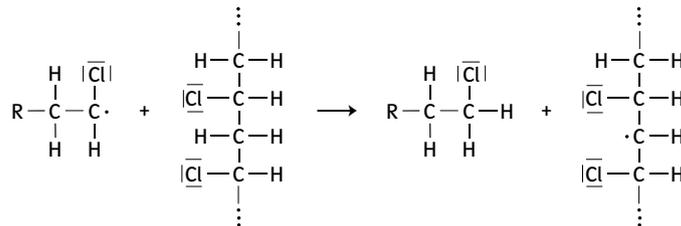
2. Kettenwachstum (Verlängerung der „Radikalkette“):



3. Kettenabbruch (Zusammenschluss von Radikalen):



Kettenverzweigung (Nebenreaktion):



Erläuterungen zu den Reaktionsschritten:

**Erzeugung von Startradikalen:** Eine Polymerisation muss durch Start-Moleküle 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.

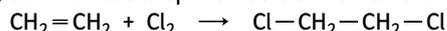
2. **Kettenwachstum:** Das verlängerte Radikal reagiert mit einem weiteren Vinylchlorid-Molekül unter Kettenverlängerung. Diese Reaktion setzt sich so lange fort, bis das kettenförmige Radikal mit einem weiteren Radikal reagiert (Kettenabbruch).

3. **Kettenabbruch:** Reagieren zwei Radikale miteinander, ist die Reaktionskette beendet und somit die Bildung eines Polymer-Moleküls abgeschlossen.

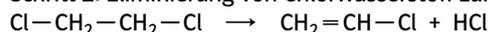
**Kettenverzweigung:** Das bei dieser Nebenreaktion gebildete Radikal kann mit einem Monomer-Molekül reagieren.

- 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, welcher mit Wasser bzw. Luftfeuchtigkeit Salzsäure bildet, daher stark korrodierend auf die Anlagenteile wirkt und aus Umweltschutzgründen aus dem Rauchgas entfernt 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 (Vinylchlorid):



Schritt 2: Eliminierung von Chlorwasserstoff zur Chlorethen:

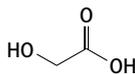


#### A4

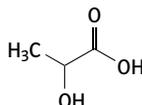
- a) – Isotaktisch: Die Methylgruppen sind stets auf derselben Seite angeordnet.  
– Syndiotaktisch: Die Methylgruppen sind jeweils wechselseitig angeordnet.  
– Ataktisch: Bei der Anordnung der Methylgruppen ist kein Ordnungsmuster erkennbar.
- b) Da sich im isotaktischen Polypropen die Polymer-Moleküle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

#### A5

- a) Synthesetyp: Polykondensation;  
Stoffklasse: Polyester  
Benennung:

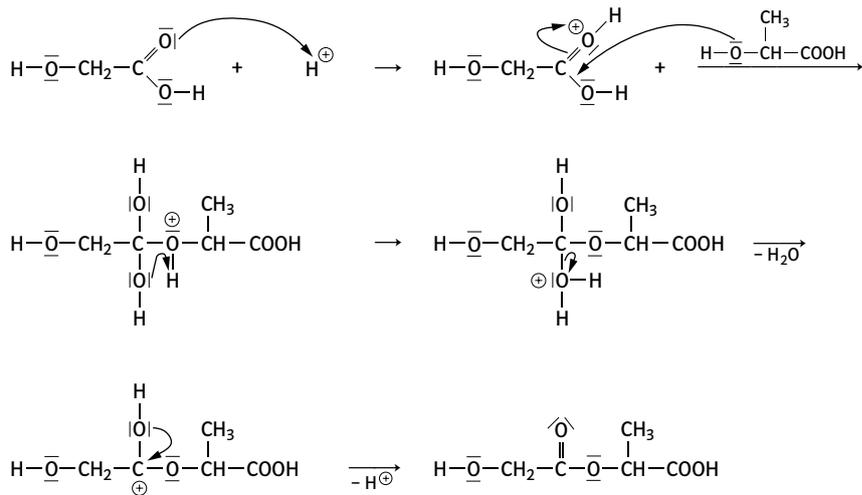


Hydroxyethansäure  
(Glycolsäure)

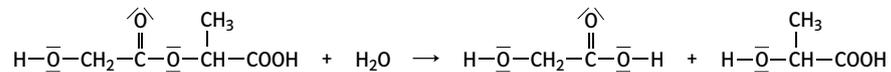


2-Hydroxypropansäure  
(Milchsäure)

b) Reaktionsmechanismus:

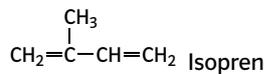


c) Esterspaltung (Esterhydrolyse) am Beispiel des Moleküls aus b):



**A6** Verändert nach: Hessisches Landesabitur 2010, LK Nachtermin, Vorschlag C, Aufgabe 3.3:

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



Die Kettenfortpflanzung kann sowohl ausgehend vom C<sub>2</sub>- als auch vom C<sub>4</sub>-Atom erfolgen.

**A7**

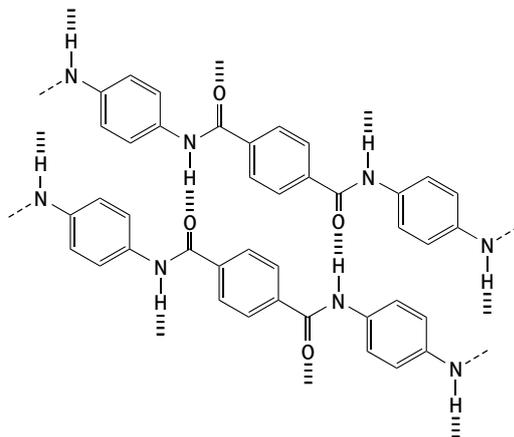


Synthesetyp: Polykondensation

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.

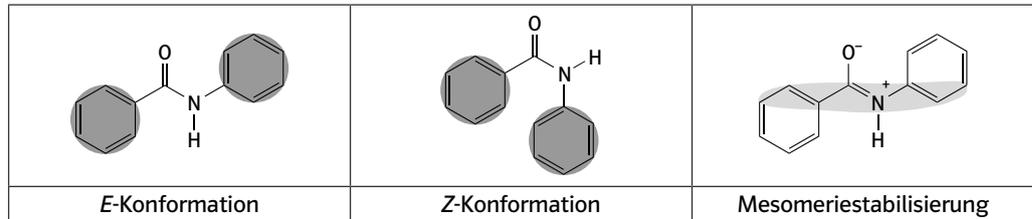


### Ergänzung:

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

Die bevorzugte all-*E*-Konformation führt zur Ausbildung von Wasserstoffbrücken über alle Amidbindungen der Polymerstränge, sodass diese lang gestreckte Konformation stabilisiert wird.

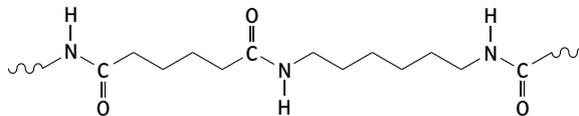
Zwischen den aromatischen Ringen der einzelnen Molekülketten können sich zudem London-Kräfte ausbilden.



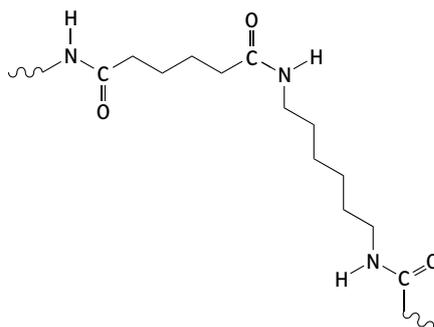
### Nylon

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 ausladenden 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-*E*)



Nylon 6,6 mit einer *Z*-Konformation

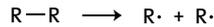
**A8**

a) Der Kunststoff besteht aus linearen Makromolekülen, zwischen denen London-Kräfte, Dipol-Dipol-Kräfte und – wenige – Wasserstoffbrücken wirken. Folglich liegt ein Thermoplast vor.

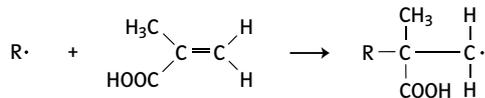
b) Die Bildung des Copolymers erfolgt in einer Polymerisationsreaktion. Das wichtigste Strukturmerkmal der Monomer-Moleküle ist die C=C-Doppelbindung, sie ist Voraussetzung für die Polymerisationsreaktion.

Eine Polymerisationsreaktion muss durch Start-Moleküle in Gang gesetzt werden. Im Fall der radikalischen Polymerisation wird ein Start-Radikal gebildet; dieses erzeugt durch Reaktion mit einem Monomer-Molekül ein Monomer-Radikal. Dieses reagiert mit einem weiteren Monomer-Molekül unter Kettenverlängerung.

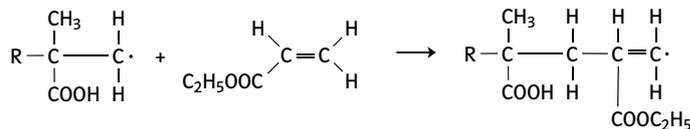
Erzeugung von Start-Radikalen:



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 protonierten Form 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.

© Ernst Klett Verlag GmbH, Stuttgart 2022. Alle Rechte vorbehalten. [www.klett.de](http://www.klett.de)  
Von dieser Druckvorlage ist die Vervielfältigung für den eigenen Unterrichtsgebrauch gestattet. Die Kopiergebühren sind abgegolten.

**Autorinnen und Autoren:** Prof. Ulrich Bee, Oliver Blauth, Paul Gietz, Prof. Heike Maier, Prof. Karsten Wiese  
Bei der Erstellung dieses Unterrichtswerkes wurde auch auf andere Titel des Ernst Klett Verlags zurückgegriffen.  
Deren Autorinnen und Autoren sind: Prof. Ulrich Bee, Oliver Blauth, Edgar Brückl, Prof. Werner Eisner, Paul Gietz, Heike Große, Dr. Erhard Irmer, Axel Justus, Prof. Dr. Klaus Laitenberger, Prof. Heike Maier, Dr. Martina Mihlan, Peter Nelle, Hildegard Nickolay, Dr. Carsten Penz, Horst Schaschke, Prof. Dr. Werner Schierle (†), Bärbel Schmidt, Andrea Schuck, Michael Sternberg, Dr. Jutta Töhl-Borsdorf, Prof. Karsten Wiese, Peter Zehentmeier, Dr. Thorsten Zippel.

**Illustrationen:** Ernst Klett Verlag GmbH, Stuttgart: 1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 1.5, 1.6, 1.7, 1.8, 2.1, 2.2, 3.1, 4.1, 4.2, 4.3, 4.4, 5.1, 5.2, 5.3, 5.4, 6.1