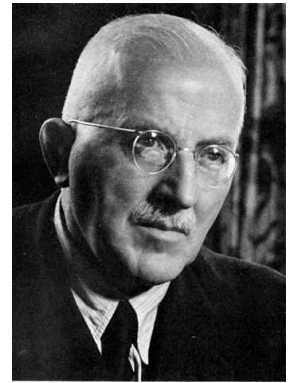


Eine Welt ohne Kunststoffe ist für uns heute nicht vorstellbar. Unsere Nachgeborenen werden sicherlich von der **Plastikzeit** sprechen, wenn sie unsere unverrottbaren Kunststoffe im Erdreich ausgraben. So wie wir heute von der **Bronzezeit** oder der **Steinzeit** sprechen, wenn unsere Archäologen Werkzeuge aus diesen Materialien ausgraben.



HERMANN STAUDINGER
(1881 – 1965)

Die Erforschung der Chemie *natürlicher* Makromoleküle (z.B. Cellulose) und die gezielte Synthese von *Kunst*-Stoffen ist maßgeblich mit dem Namen **HERMANN STAUDINGERS** verbunden. Der gelernte Tischler und Schreiner studierte auf dem zweiten Bildungsweg Chemie. Nach der Entdeckung der **Ketene** (funktionelle Gruppe: ...C=C=O) wurde er schon im Alter von 26 Jahren als Professor für Chemie an die **Technische Hochschule Karlsruhe** (heute: **Karlsruher Institut für Technologie – KIT**) berufen.

Denkwürdig ist sein erfolgloser Versuch, Diamant künstlich unter hohem Druck und Temperatur zu synthetisieren. In einem Steinbruch bei Zürich brachte er dazu in einem Druckbehälter Tetrachlormethan (CCl₄) und metallisches Natrium zur Explosion. Wie Sie bereits aus dem Unterricht wissen sollten (!), sind solche Stoffgemische äußerst brisant! In seinen Memoiren schreibt STAUDINGER, dass der Schlag bis Paris gehört worden sei.

Er prägte Begriffe wie „*Makromolekül*“ und postulierte aufgrund seiner Experimente, dass Moleküle aus hunderttausenden Atomen existieren müssten. Für seine Pionierarbeiten und „*Entdeckungen auf dem Gebiet der makromolekularen Chemie*“ erhielt er **1953** den **Nobelpreis für Chemie**.

HERMANN STAUDINGER ist einer von wenigen deutschen Wissenschaftlern, der sich gegen den imperialistischen Zeitgeist und die allgemeine Kriegsbegeisterung am Vorabend des Ersten Weltkriegs stellte. Nur wenige seiner Kollegen, darunter **MAX BORN** und **ALBERT EINSTEIN**, verweigerten wie er die Mitarbeit an Forschung und Entwicklung von Kriegstechnik. Stattdessen sprach er sich für einen sofortigen Friedensschluss nach Eintritt der USA in den Krieg aus. Nach der Machtübernahme Hitlers geriet Hermann Staudinger erneut in Misskredit. Es wurde ein Amtsenthebungsverfahren gegen ihn eingeleitet und Auslandsreisen wurden ihm verwehrt.

Übungsaufgaben zu Polymerisation, Polykondensation und Polyaddition

1.1. Aus welchem Monomer wird Polypropylen gebildet? Geben Sie einen charakteristischen Ausschnitt aus den Makromolekül an (mindestens 4 Monomere lang).

1.2 Für was steht die Abkürzung PVC? Geben Sie den systematischen Namen des Monomers an, aus dem es synthetisiert werden kann. Zeichnen Sie einen charakteristischen Ausschnitt aus dem Makromolekül und markieren Sie die kleinste wiederkehrende Einheit miteckigen Klammern.

1.3 Proteine können als natürliche Polyamide aufgefasst werden. Zeichnen Sie einen charakteristischen Ausschnitt aus einem solchen Molekül (mindestens 3 Monomere lang) und markieren Sie die charakteristische Gruppe (incl. Name). Hinweis: variable org. Reste können mit R symbolisiert werden.

1.4 Teflon® ist der Handelsname einer makromolekularen Verbindung *Polytetrafluorethen (PTFE)*. Ausschnitt aus Makromolekül: ...-CF₂-CF₂-...

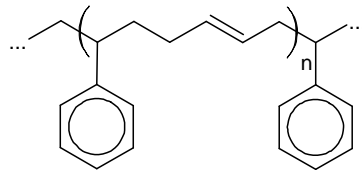
- a) Zeichnen Sie einen Ausschnitt aus dem Makromolekül, der mindestens 3 Monomere lang ist.
- b) Geben Sie den systematischen Namen und die Strukturformel einer niedermolekularen Verbindung aus der PTFE gewonnen werden kann. Benennen Sie den entsprechenden Reaktionstyp.

1.5 Notieren Sie die fehlenden Inhalte

Strukturformel des Monomers oder der Monomere	charakteristischer Strukturformelausschnitt aus dem Kunststoff (wiederholende Einheit in eckigen Klammern [..] _n)	Reaktionstyp (Poly....)	Bezeichnung des Makromoleküls oder der Makromolekülstoffgruppe
a) 2-Aminopropansäure (Formel ergänzen!)	b)	c)	d)

e)		f)	Polyvinylacetat
g) Formel von 1,3-Butandiol ergänzen!			
	h)	i)	j)
Tolylen-2,4-diisocyanat	1,3-Butandiol		

1.6 Aus Styrol und 1,3-Butadien kann ein Copolymerisat mit folgenden Strukturformelausschnitt hergestellt werden:



Durch Zugabe von Schwefel bei erhöhter Temperatur (Vulkanisieren) können die Eigenschaften dieses Kunststoffs verändert werden. Beschreiben Sie, welche Vorgänge beim Vulkanisieren des Copolymerisats ablaufen. Zeichnen Sie dazu auch einen Ausschnitt des Makromoleküls nach Vulkanisieren und erläutern Sie wie sich dabei die Eigenschaften des Kunststoffs ändern.

1.7 Milchsäure (2-Hydroxy-propansäure) lässt sich zu vielseitig einsetzbaren Kunststoffen, den so genannten *Polyactaten* umsetzen.

- Skizzieren Sie einen charakteristischen Strukturformelausschnitt und geben Sie den Reaktionstyp an. Begründen Sie, ob es sich bei diesem Kunststoff um einen Thermoplast oder einen Duroplast handelt. (TG-Ch, 4stg., Abi 04/05 Hauptprüfung)
- Erklären Sie, ob der Kunststoff wasserlöslich ist.

1.8 4-Hydroxybenzoesäure ist zur Bildung von Makromolekülen geeignet.

- Zeichnen Sie die Strukturformeln von Benzoesäure und 4-Hydroxybenzoesäure. Begründen Sie in Worten, weshalb 4-Hydroxybenzoesäure zur Bildung von Makromolekülen geeignet ist, Benzoesäure jedoch nicht.
- Zeichnen Sie einen charakteristischen Ausschnitt aus dem Makromolekül und nennen Sie den Reaktionstyp.
- Begründen Sie das Verhalten des entstehenden Kunststoffs beim Erwärmen.

2. Aufgaben in Anlehnung an vergangene Prüfungsaufgaben

Prüfungsaufgaben erstrecken sich in der Regel über mehrere Themenfelder! Hier wurden aber nur die Themenfelder abgedeckt: Herstellung von Kunststoffmonomeren + Eigenschaften der Monomere + Verknüpfung zu Makromolekülen + Eigenschaften von Makromolekülen

2.1. Kunststoff aus Terephthalsäure und 1,3-Propandiol.

In einer zweistufigen Synthese soll ausgehend von Benzen über ein geeignetes Alkylbenzen als Zwischenprodukt Benzen-1,4-dicarbonensäure (Terephthalsäure) hergestellt werden (*ähnlich einer CL-Prüfungsaufgabe, Winter 05/06*)

- Formulieren Sie eine passende Reaktionsgleichung für den ersten Syntheseschritt und zeigen geben Sie die Strukturformeln weiterer möglicher Konkurrenzprodukte an.
- Formulieren Sie die zweite Reaktionsgleichung mit MnO_4^- als Reaktionspartner (saure Umgebung).

- c) Terephthalsäure wird anschließend mit 1,3-Propanediol umgesetzt. Formulieren Sie die Reaktionsgleichung. Zu welcher Gruppe von Reaktionen gehört diese Umsetzung? Benennen Sie auch die Stoffklasse zu der dieser Kunststoff gehört.

2.2 Kunststoffe aus Styren und Phenol *(ähnlich einer CL-Prüfungsaufgabe, Winter 06/07)*

- a) Bei Raumtemperatur ist Phenol im Gegensatz zu Styren fest. Geben Sie hierfür eine Erklärung
- b) Aus Styren kann ein Kunststoff gewonnen werden. Geben Sie einen charakteristischen Ausschnitt aus dem Makromolekül an und benennen Sie den Reaktionstyp.
- c) Auch Phenol kann Kunststoffe bilden, wenn man es mit Formaldehyd umsetzt. Formulieren Sie einen Strukturformelausschnitt und benennen Sie den Reaktionstyp. .

2.3. Polyamide als Kunststoffe *(ähnlich einer CL-Prüfungsaufgabe, Winter 06/07)*

- a) Aus dem cyclischen Säureamid ϵ -Caprolactam (besitzt eine Amidgruppe) kann unter Ringöffnung ϵ -Aminocapronsäure (6-Aminohexansäure) entstehen. Formulieren Sie die Reaktionsgleichung und benennen Sie den Reaktionstyp.
- b) 6-Aminohexansäure bildet einen Kunststoff. Formulieren Sie die Reaktionsgleichung für einen Ausschnitt der Makromoleküls und benennen Sie den Reaktionstyp.

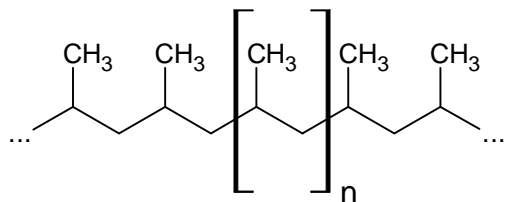
Lösungen unter www.laborberufe.de

Lösungen oder Lösungshinweise ohne Gewähr

1.1

Monomer: Propen („Propylen“)

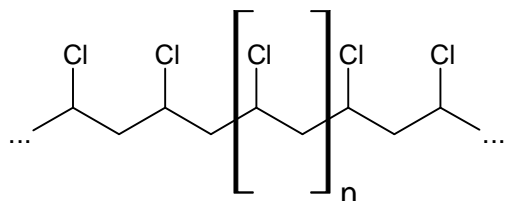
Ausschnitt und wiederkehrende Einheit:



1.2

Polyvinylchlorid

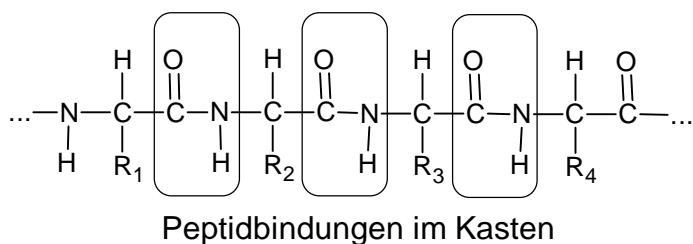
Monomer: Chlorethen (= „Vinylchlorid“)



Bekannt ist PVC durch seine Verwendung in Fußbodenbelägen, zu Fensterprofilen, Rohren, für Kabelisolierungen und -ummantelungen und für Schallplatten, die in der englischen Sprache „Vinyls“ genannt werden.

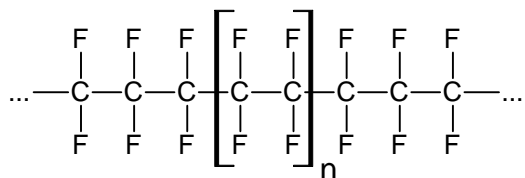
1.3

z.B. Ausschnitt



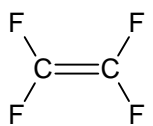
1.4

a)



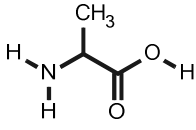
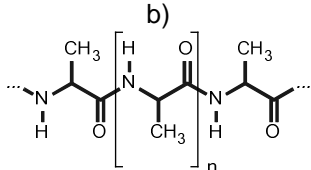
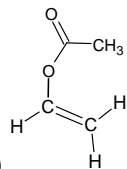
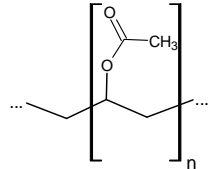
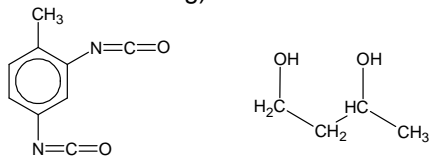
b)

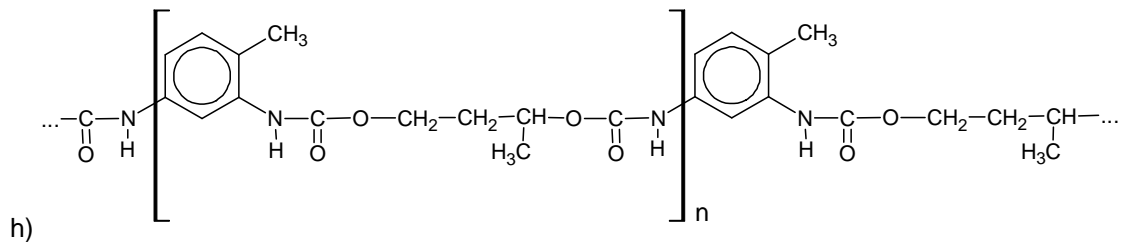
PTFE kann durch radikalische Polymerisation aus Tetrafluoethen (Tetrafluorethylen) gewonnen werden.



Anmerkung: Der Mechanismus der Reaktion entspricht dem der Herstellung von Polyethen aus Ethen.

1.5

Strukturformel des Monomers oder der Monomere	charakteristischer Strukturformelausschnitt aus dem Kunststoff (wiederholende Einheit in eckigen Klammern $[...]_n$)	Reaktionstyp (Poly....)	Bezeichnung des Makromoleküls oder der Makromolekülstoffgruppe
<p>a)</p> 	<p>b)</p> 	<p>c)</p> Polykondensation	<p>d)</p> Polypeptid/Protein/Polyamid
<p>e)</p> 		<p>f)</p> Polymerisation	Polyvinylacetat
<p>g)</p>  <p>Tolylen-2,4-diisocyanat 1,3-Butandiol</p>	<p>h) [siehe unten]</p>	<p>i)</p> Polyaddition	<p>j)</p> Polyurethan

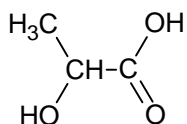


1.6

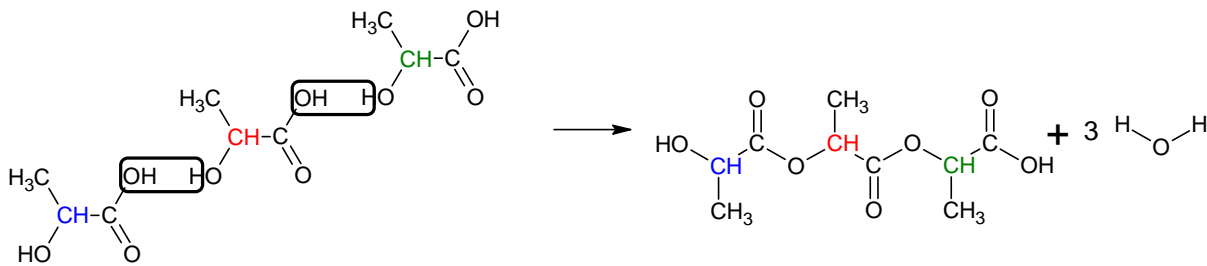
Beim Vulkanisieren wird ein einem makromolekularen Stoff (meist bezieht sich der Ausdruck auf natürlichen Kautschuk) ein elastischer, chemisch stabiler und mechanisch stark beanspruchbarer Stoff („Gummi“). Bei der Vulkanisation werden dabei einzelnen Makromoleküle an Doppebindungen über Schwefelketten (...S-S-S-S-S-S-...) vernetzt.

1.7

a) Bei 2-Hydroxy-propansäure handelt es sich um Propansäure (C3-Carbonsäure) mit einer OH-Gruppe am mittleren C-Atom.



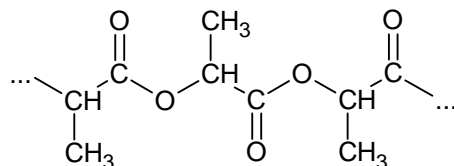
Die Hydroxylgruppe der Carboxylgruppe kann sich mit der Hydroxylgruppe des anderen Moleküls unter Abspaltung von H_2O verbinden. Es handelt sich also um eine Kondensationsreaktion. Für die Verknüpfung von 3 Monomeren kann man z.B. aufstellen:



Beachten Sie folgende Anmerkungen zur Reaktionsgleichung:

- Zur Besseren Übersichtlichkeit wurden einige C-Atome farblich hervorgehoben.
- Bei der Kondensationsreaktion spaltet sich das O der Carboxylgruppe ab, das O der allein stehenden OH-Gruppen bleibt bestehen! (Dies haben wir auch schon bei der Besprechung des genauen Mechanismus der Veresterung kennen gelernt).

Zur Bildung eines Makromoleküls laufen viele Kondensationsreaktionen ab, es handelt sich also um eine *Polykondensation*. Hier ein Ausschnitt aus dem Makromolekül.



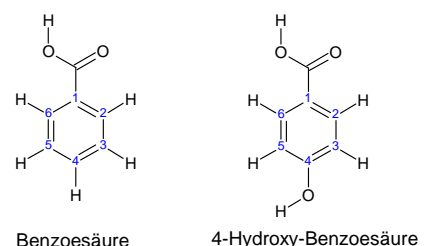
Ob es sich um einen Thermoplast handelt entscheiden Sie bitte selbst. Wenn Sie nicht wissen, wie Sie das entscheiden sollen, dann überlegen Sie ob die Makromoleküle über Elektronenpaarbindungen untereinander verknüpft sind. Lesen Sie dazu den entsprechenden Abschnitt auf dem im Unterricht ausgeteilten Infotext/Schulbuchseite.

b) Ob der Stoff wasserlöslich ist, entscheidet sich vor allem daran, ob im Stoff polare Hydroxylgruppen vorhanden sind. Dies ist bei diese, Kunststoff nicht der Fall. Außerdem können große Makromoleküle meist gar nicht makromolekular in Lösung gehen, es entsteht mehr oder weniger eine gequollene Masse und keine echte Lösung (sondern eine kolloidale Lösung).

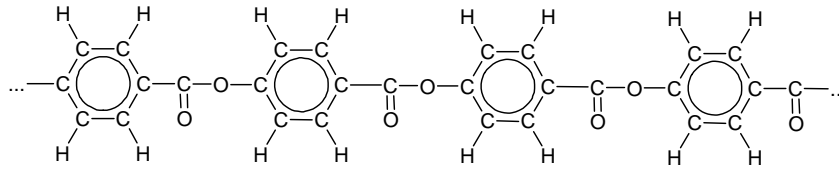
1.8

a) Benzoesäure ist eine wichtige aromatische Carbonsäure, deren Strukturformel man auswendig können muss. Was dann 4-Hydroxybenzoesäure ist, kann man dann selbst herleiten

4-Hydroxybenzoesäure ist bifunktionell, meint hier, dass das Molekül 2 Hydroxylgruppen besitzt. So sind hintereinander geschaltete Kondensationsreaktionen, also Polykondensation, möglich. Benzoesäure hingegen ist monofunktionell, kann also, das nur eine funktionelle Gruppe (Carboxylgruppe), keine Makromoleküle bilden.



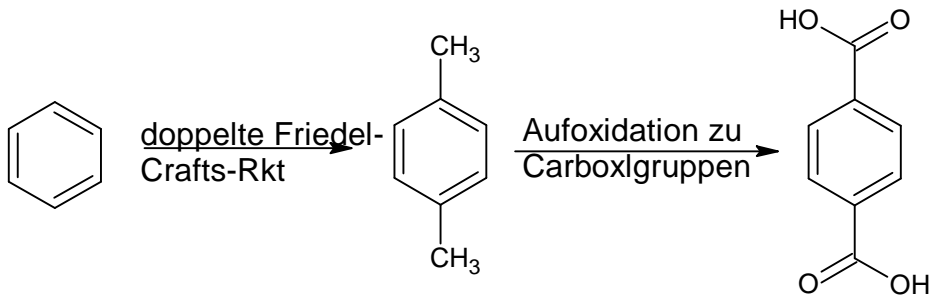
b) Ein Strukturformelausschnitt aus dem durch Polykondensation hervorgehenden Makromolekül:



c) Die Makromoleküle sind untereinander nicht verknüpft. Was das für Auswirkungen hat, und viel wichtiger, warum es zu diesen Auswirkungen kommt haben Sie auf einem Infotext/Schulbuchseite im Unterricht erfahren.

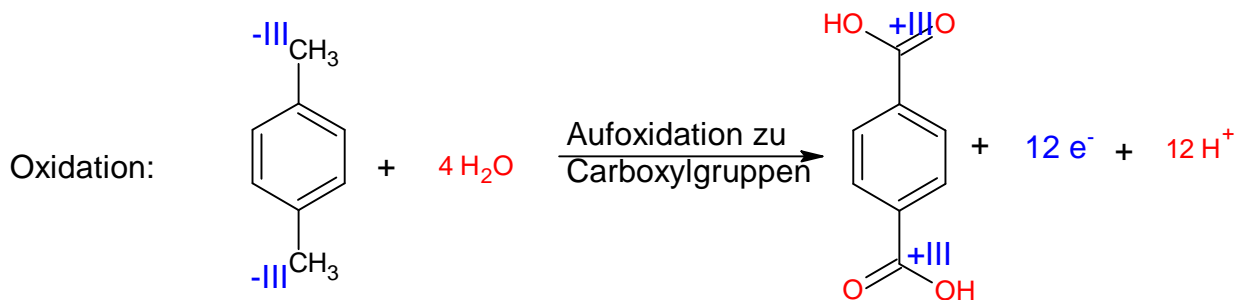
2.1

a) Reaktionsschema



a) Selber formulieren! Sie müssen eine doppelte Friedel-Crafts-Reaktion durchführen. Da hier Methylgruppen an den Aromaten angelagert werden sollen, brauchen Sie Chlormethan (ClCH_3) als Ausgangsstoff. Pro Benzenmolekül werden 2 Chlormethanmoleküle benötigt. Wenn Sie Hilfe brauchen, dann konsultieren Sie das Übungsblatt zur Chemie der Aromaten oder suchen im Internet unter den Stichworten „Chlormethan“ + „Benzen“.

b) Es handelt sich um eine Redoxreaktion.



Oxi. (Summenformeln) $(\text{H}_3\text{C}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{CH}_3 + 4\text{H}_2\text{O} \xrightarrow{\text{Oxidation}} \text{HOOC}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{COOH} + 12\text{e}^- + 12\text{H}^+)*5$

Red: $(\text{MnO}_4^- + 8\text{H}^+ + 5\text{e}^- \xrightarrow{\text{Reduktion}} \text{Mn}^{2+} + 4\text{H}_2\text{O})*12$

Redox-Reaktion: $5 \text{H}_3\text{C}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{CH}_3 + 12 \text{MnO}_4^- + 36 \text{H}^+ \rightarrow 5 \text{HOOC}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{COOH} + 12 \text{Mn}^{2+} + 28 \text{H}_2\text{O}$

Wenn Redoxreaktionen nicht explizites Thema der Klassenarbeit sind, beschränke ich mich bei der Aufgabenstellung auf einfachere Redox-Aufgaben als diese hier! Da aber Redoxreaktionen explizites Thema der Abschlussprüfung sind, kommen Sie nicht umher diese bei der Prüfung auch lösen zu müssen.

c) Hier kommt es zur Bildung eines linearen, d.h. unverzweigten, Polyesters. Beide Moleküle sind bifunktionell. Es handelt sich also um eine Polykondensation. Wie der Strukturformelausschnitt des Produkts aussieht, können Sie selbst herleiten. Wenn Sie Hilfe brauchen, dann schlagen Sie nach, welche Beispiele wir im Unterricht behandelt haben. Dort haben wir auch Polyester behandelt, die aus Di-olen und Di-Carbonsäuren gebildet werden. Sie können auch <https://de.wikipedia.org/wiki/Polyester> konsultieren.

2.2

a) Die Phenolmoleküle (C_6H_5-OH) besitzen jeweils eine Hydroxylgruppe. Sie können untereinander neben den van-der-Waals-Kräften auch Wasserstoffbrückenbindungen ausbilden. So ist der intermolekulare Zusammenhalt größer als bei Styren ($C_6H_5-CH_2=CH_2$), denn bei Styren wirken nur van-der-Waals-Kräfte. Deshalb muss mehr Wärme aufgebracht werden um die bindenden Wechselwirkungen zwischen den Phenolmolekülen zu überwinden. Phenol hat einen höheren Schmelz- und Siedepunkt als Styren. Phenol ist bei Raumtemperatur fest (Smp $\approx 40^\circ C$, Sdp $\approx 180^\circ C$), Styren jedoch flüssig (Smp $\approx -30^\circ C$, Sdp $\approx 145^\circ C$).

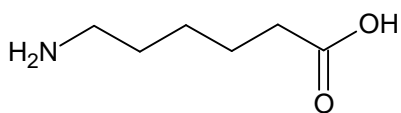
b) Diesen Kunststoff haben wir im Unterricht im Rahmen eines Versuchs hergestellt. Die notwendigen Informationen dazu müssten also in Ihren Unterrichtsunterlagen zu finden sein. Es handelt sich hier um eine **Polymerisation**. Nutzt man Radikalstarter wie AIBN oder organische Peroxide, so handelt es sich um eine **radikalische Polymerisation**.

c) **Nur für Klassearbeit Juni 2015:** Diese Polykondensation ist komplexer und wir haben sie im Unterricht noch nicht behandelt. Deshalb ist diese Teilaufgabe nicht relevant für die Klassenarbeit!

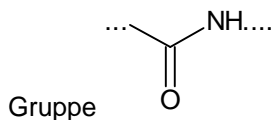
Es handelt sich um eine Polykondensation zu einem Phenoplasten: <http://de.wikipedia.org/wiki/Phenoplast>

2.3

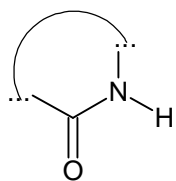
a) In der Aufgabenstellung ist erwähnt, dass es sich um ein cyclischen Ausgangsstoff handelt, der nach der Ringöffnung 6-Aminohexansäure bildet:



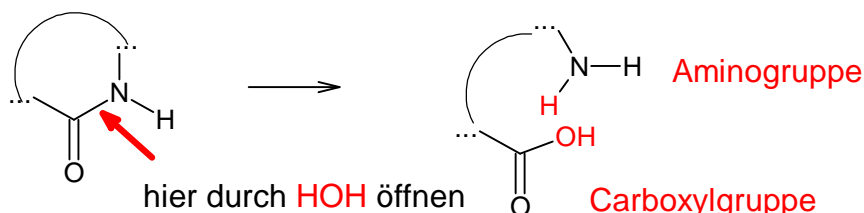
Außerdem muss es sich beim Ausgangsstoff um ein Säureamid handeln, also um ein Molekül mit der funktionelle



Ein cyclisches Säureamid muss also folgendes Bauprinzip besitzen:



Wenn man dieses cyclische Säureamid hydrolytisch öffnet, entstehen eine Aminogruppe und eine Carboxylgruppe:



Da Sie wissen, dass 6-Aminohexansäure entsteht, können Sie nun selber überlegen, wie die konkrete Reaktionsgleichung dieser Hydrolyse aussieht. Sollten Sie noch Hilfe benötigen, empfehle ich Ihnen den Artikel <https://de.wikipedia.org/wiki/Caprolactam>

b) Da es sich um ein bifunktionelles Molekül handelt (an einem Ende: Aminogruppe, am anderen Ende: Carboxylgruppe), kann es zur fortgesetzten Kondensation, also zu einer **Polykondensation** kommen. Es entsteht ein unverzweigtes Polyamid, da eine wiederkehrende funktionelle Gruppe eine Amidgruppe (Peptidgruppe,

„Peptidbindung“) ist. Hierzu haben wir im Unterricht mehrere Beispiele kennen gelernt (auch Versuche). Bekannte Polyamide sind Nylon und Perlon.