

**Organisch-chemisches Praktikum für das Lehramt (LA)**

Torsten Lasse

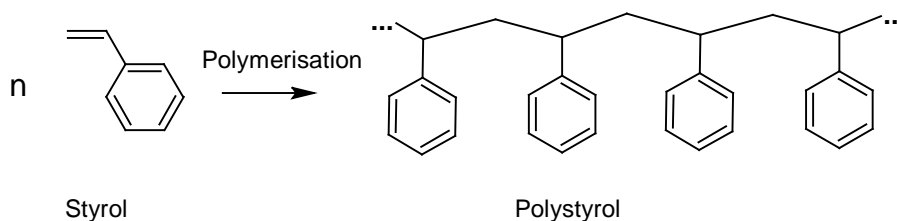
Leitung: Dr. P. Reiß

WS 2008/09

Assistent: Tobias Gerhardt

**Schulversuch (Gruppe 13/Selbst):  
Darstellung von Polystyrol**

Der bekannte Kunststoff Polystyrol wird hergestellt.

**Reaktion****Zeitbedarf**

Vorbereitung: 5 Minuten

Durchführung: 5 Minuten

Nachbereitung: 5 Minuten

**Chemikalien und eingesetzte Substanzen**

Eingesetzte Stoffe	Summenformel	Menge	R-Sätze*	S-Sätze*	Gefahrenkennzeichnung	Schuleinsatz*
Styrol	C <sub>8</sub> H <sub>8</sub>	etwa 2 mL	10-20-36/38	23.2	Xn	SI
Cumolhydroperoxid	C <sub>8</sub> H <sub>9</sub> O <sub>2</sub>	etwa 0,5 ml	7-21/22-23-34-48/20/22-51/53	3/7-14.11-36/37/39-45-50.1-61	O, T, N	SI, besondere Hinweise beachten
oder: Dibenzoylperoxid <sup>1</sup>	C <sub>14</sub> H <sub>10</sub> O <sub>4</sub>	etwa 0,3 g	2-36-43	3/7-14-36/37/39	E, Xi	keine Schülerversuche erlaubt!

\* = nach HessGiss 2006/07

<sup>1</sup> Anmerkung: Bedauerlicherweise ist mir nicht mehr exakt bekannt, welches Peroxid (Cumolhydroperoxid oder Dibenzoylperoxid) letztlich in diesem Versuch verwendet wurde (s. Fachliche Analyse).

## Geräte und Materialien

Reagenzglas  
Magnetrührer mit Wasserbad  
Glasstab  
Messpipette

## Versuchsaufbau

~

## Durchführung

Etwa 0,3 g Dibenzoylperoxid wurde in ein Reagenzglas gegeben und etwa 3 mL Styrol hinzugefügt. Der Ansatz wurde dann etwa 3 Minuten im kochenden Wasserbad erhitzt (s. Abb. 1).

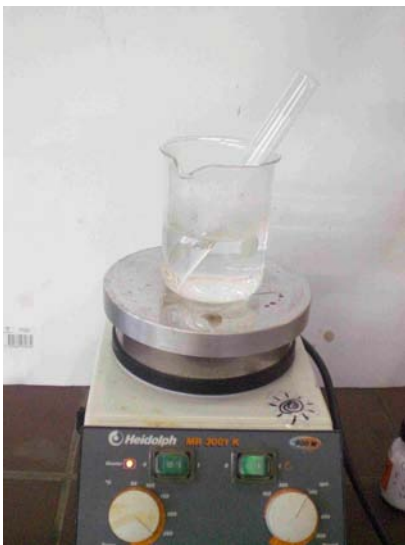


Abb. 1: Ansatz im siedenden Wasserbad

## Beobachtung

Nach der Herausnahme des noch heftig dampfenden und siedenden Ansatzes (s. Abb. 2) sowie der nachfolgenden Abkühlung erstarrte der Inhalt des Reagenzglases (mit eingeschlossenen Luftblasen) (s. Abb. 3). Die entstandene Masse war transparent, hat aber eine leicht gelbliche Färbung. Mit einem Glasstab konnte die Erhärtung des Kunststoffes erfolgreich überprüft werden.

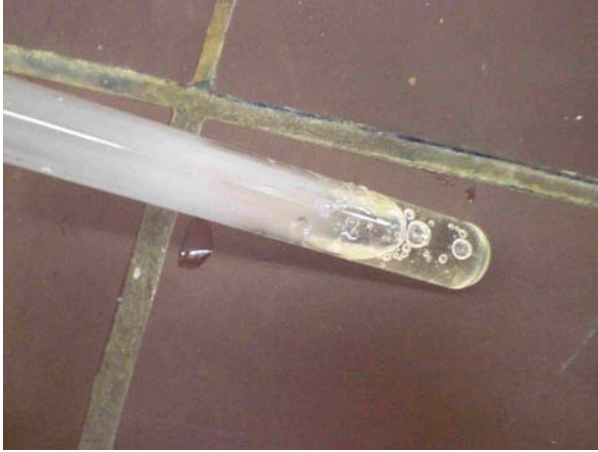


Abb. 2: Der noch dampfende und siedende Ansatz    Abb. 3: Abkühlung auf Raumtemperatur: Erhärtung

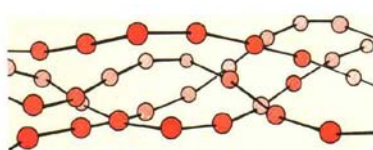
### Entsorgung

Das Reagenzglas mit dem erhärteten Kunststoff konnte erkalte im Feststoffabfall entsorgt werden.

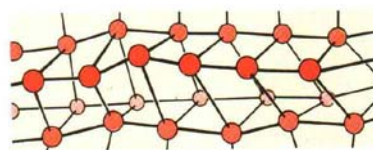
### Fachliche Analyse

Kunststoffe stellen makromolekulare, synthetisch hergestellte Verbindungen dar, welche aus Monomeren aufgebaut sind. Die Monomere verbinden sich durch unterschiedliche Reaktionen zu Polymeren. Die jeweilige Struktur der zugrunde liegenden Moleküle bestimmt letztlich die Eigenschaften der entsprechenden Kunststoffe.

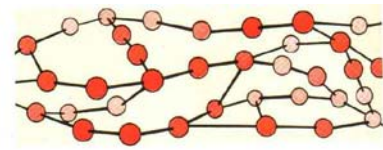
Je nach Eigenschaften kann man Kunststoffe in Thermoplasten, Duroplasten und Elastomere unterteilen. Thermoplasten haben meist wenige verzweigte Polymerketten – sie liegen überwiegend linear vor. Erwärmt man einen derartigen Kunststoff, können die einzelnen Polymerketten aneinander entlang gleiten (vergleichbar mit gekochten Spaghetti). Bei Erwärmung ist also eine Verformbarkeit zu beobachten, beim Erkalten erhärten diese Stoffe wieder. Diese Vorgänge können (beliebig) oft wiederholt werden.



*Thermoplaste*



*Duroplaste*



*Elastomere*

Duroplaste bestehen aus engmaschigen, fest verbundenen und vernetzten Ketten. Bei Erwärmung ist keine Verformbarkeit feststellbar. Sie sind damit nicht schmelz- oder formbar. Elastomere hingegen sind elastisch wie Gummi, sie lassen sich zusammendrücken oder dehnen und liegen in der Folge wieder in ihrer Ausgangsform vor. Dies wird durch eine knäuelartige Verdichtung der Polymerketten im Netzwerk ermöglicht. Diese werden beim Dehnen des Kunststoffes auseinandergezogen, verknäueln sich aber wieder beim Nachlassen der einwirkenden Verformung. Somit kann auf diese Art keine Verformung erreicht werden.

Der erste Kunststoff wurde vor etwa 150 Jahren hergestellt. Dabei wurden zunächst meist vorhandene Naturprodukte chemisch umgewandelt. So war beispielsweise das Milcheiweiß Kasein Ausgangsstoff für die Produktion von Kunsthorn, und aus Cellulose wurde Celluloid entwickelt. Ein harzähnlicher Kunststoff aus Phenol und Formaldehyd wurde 1907 hergestellt; er erhielt den Namen Bakelit. Seit Mitte des 20. Jahrhunderts stieg die jährliche Kunststoffproduktion rapide an.

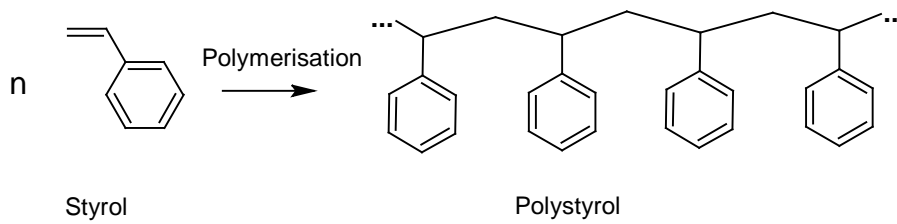
Bekannte Thermoplaste stellen das Polyethen (PE), das Polyvinylchlorid (PVC) und das hier hergestellte Polystyrol (PS) dar. Aus PE werden z.B. Plastikbeutel, Eimer und Folien hergestellt. PVC wird vielfach als Fußbodenbelag verwendet; aus Polystyrol werden Einwegbecher, Zeichengeräte und diverse Haushaltsartikel hergestellt. Durch Aufschäumen mit Wasserdampf erhält man Styropor®.

Bekannte Duroplaste sind Phenoplast und Aminoplast, ein bekanntes Elastomer ist das Polyurethan (PU).

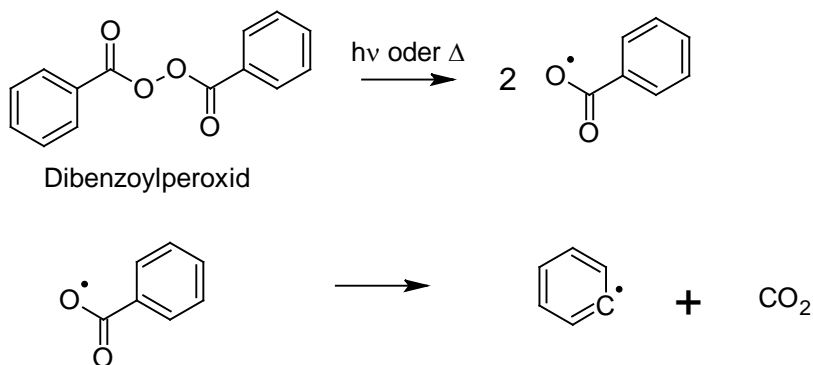
Polymere können durch Polykondensation, Polyaddition und Polymerisation entstehen. Bei der Polykondensation verbinden sich zwei unterschiedliche Molekülsorten zu höherwertigen Molekülen. Dabei wird z.B. Wasser abgespalten (Beispiel: Polyethylenterephthalat, PET). Bei der Polyaddition werden Monomere an den Endgruppen verknüpft (Beispiel: Polyurethan, PU).

Bei der Polymerisation vereinigen sich Moleküle durch eine Auflösung ihrer Doppelbindungen (Beispiel: Polystyrol, PS oder Polyethen, PE).

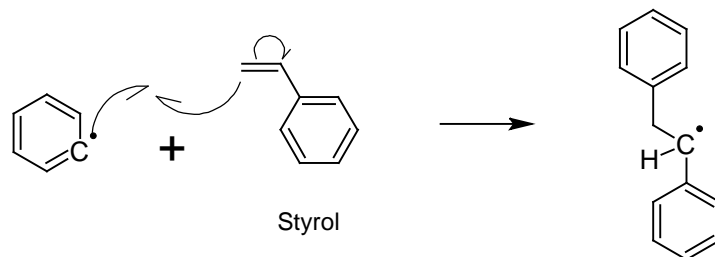
Die dem Versuch zur Herstellung von Polystyrol zugrunde liegende Reaktion wird als radikalische Polymerisation bezeichnet. Polystyrol wurde bereits in den 30er Jahren des letzten Jahrhunderts im großtechnischen Maßstab hergestellt.



Das basierende Verfahren gilt als am meisten verwendete Methode zur Herstellung von Polymeren. In einem ersten Schritt bilden sich Radikale als Radikalstarter, die letztlich als Reaktionsstarter (oder „Aktivator“) fungieren. Vielfach werden hierfür organische Peroxide verwendet.<sup>2</sup>

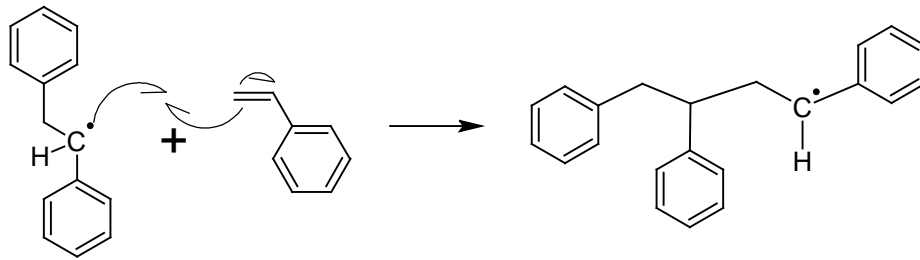


Im zweiten Schritt erfolgt eine Kettenstartreaktion. Durch das entstandene Radikal wird auch ein Styrol-Radikal gebildet



Im nächsten Schritt setzt sich das Kettenwachstum stetig fort.

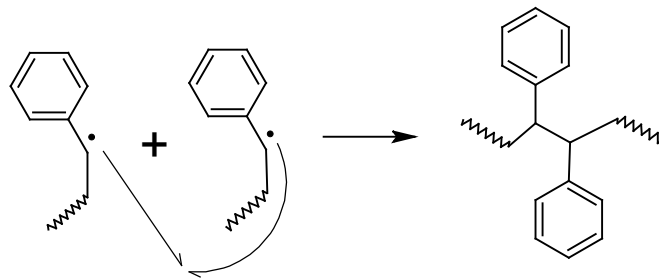
<sup>2</sup> Bedauerlicherweise ist mir nicht mehr exakt bekannt, welches Peroxid in diesem Versuch verwendet wurde; im Folgenden wird hier Dibenzoylperoxid als Reaktionsstarter angenommen.



Es setzt sich so lange fort, bis eine Kettenabbruchreaktion durch Disproportionierung oder Rekombination von Radikalen stattfindet – oder bis keine Styrolmoleküle mehr vorhanden sind.

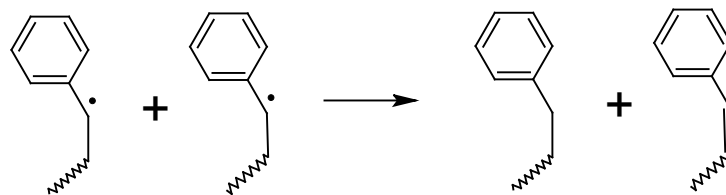
Im Folgenden wird die Abbruchreaktion an zwei Beispielen angeführt. Aus der Kombination zweier Radikale entsteht eine nicht-radikalische Spezies:

Rekombination zweier Styrol-Radikale (Ausschnitt)



Bei der Disproportionierung zweier Polymerradikale wird das der radikalischen Position benachbarte Wasserstoffatom eines Polymerradikals auf ein angreifendes Polymerradikal übertragen<sup>3</sup>.

Disproportionierung zweier Styrol-Radikale (Ausschnitt)



### Methodisch-didaktische Analyse

Die Herstellung des Polystyrols kann im Rahmen der Behandlung der Kunststoffe in der Jahrgangsstufe 12 sowohl in Grund- als auch Leistungskursen durchgeführt werden. Ggf. kann auch bereits in der 11. Jahrgangsstufe (Grund- und Leistungskurs) im Rahmen der

<sup>3</sup> Selten können auch andere Atomgruppen übertragen werden.

lehrplanmäßigen Behandlung der synthetischen Makromoleküle eine sinnvolle Eingliederung erfolgen.

Die unterschiedlichen Reaktionen zur Entwicklung von Makromolekülen können in diesem Zusammenhang besprochen werden. Eine zumindest grobe Behandlung der Thematik Kunststoffe bzw. synthetische Makromoleküle sollte jedoch vorrangig sein bzw. vorgezogen werden. Sind diese Voraussetzungen erfüllt, kann ein überaus weites Feld an theoretischem Hintergrund zu diesem Versuch vermittelt werden. Dabei bleibt der Versuch durch die Herstellung des nahezu alltäglichen Polystyrols stets im Bereich relevanter Praktikabilität.

An diesem Beispiel lässt sich eine prominente Polymerisationsreaktion experimentell demonstrieren und der Reaktionsmechanismus der (radikalischen) Polymerisation bei Bedarf sinnvoll in das Unterrichtskonzept einarbeiten.

Für die Vorbereitung, Durchführung und Nachbereitung sind jeweils etwa 5 Minuten einzuplanen. Styrol und Peroxide sind vermutlich keine selbstverständlichen Chemikalien im schulischen Labor. Der Aufwand ist bei Vorhandensein der Chemikalien jedoch relativ gering. Durch die Verwendung der explosiven Peroxide ist eine Durchführung als Schülerversuch nicht erlaubt. Somit kann der Versuch als klassisches Demonstrationsexperiment des Lehrers angesehen werden.

Bei der Demonstration des Versuches sollten ggf. die Mengen an verwendeten Chemikalien vergrößert werden, da der Versuchsablauf sonst bei zumindest größeren Klassen nicht von allen Schülern geeignet verfolgt werden kann.

Als Alternative zum Dibenzoylperoxid bietet sich u.a. das weniger ‚heikle‘ Cumolhydroperoxid an. Nach HessGiss 2006/07 sind hiermit sogar Schülerversuche erlaubt, obwohl auch hier besondere Hinweise auf die Gefährlichkeit des Stoffes hinweisen und eine Ersatzstoffprüfung empfehlen.

Der Alltagsbezug kann weiterhin erhöht werden, indem thematisch auf das aufgeschäumte Polystyrol Styropor® eingegangen wird. Hiermit würden sich einige interessante weiterführende Experimente anbieten.

## *Literatur*

McMurry J: Organic Chemistry; 4. Auflage 1996, Brooks/Cole Publishing Company, Pacific Grove, CA, USA

*Idee aus:*

Blume R, Kunze W, Obst H, Rossa E, Schönemann H: „Chemie für Gesamtschulen – Band 2 (Klasse 9/10)“ NRW, 1997 (Nachdruck der 1. Auflage, 2000), Cornelsen Verlag, Berlin, S. 202

<http://www.chemieunterricht.de/dc2/auto/a-v-kst9.htm>; Zugriff am 20.03.09

<http://www.mvo.ehb-schweiz2.ch/pdf/Chemie/Kunststoffe/Versuche.pdf>; Zugriff am 20.03.09

[http://www.chids.de/dachs/praktikumsprotokolle/PP0071Polymerisation\\_von\\_Styrol.pdf](http://www.chids.de/dachs/praktikumsprotokolle/PP0071Polymerisation_von_Styrol.pdf); Zugriff am 21.03.09

*Weitere Quellen:*

Hessisches Gefahrstoffinformationssystem Schule; <http://www.hessgiss.de/>; Version 2006/07

Hessischer Lehrplan Chemie G8; unter <http://www.kultusministerium.hessen.de/>; Zugriff am 21.03.09

<http://www.chemgapedia.de/vsengine/tra/vsc/de/ch/9/mac/radpolystyren/radpolystyren.tra/Vlu/vsc/de/ch/9/mac/radpolystyren/grundreaktionen/radikalende.vlu.html>; Zugriff am 19.4.09