

# Chemische Schulexperimente zu makromolekularen Stoffen



Zusammengestellt und bearbeitet von:

Dr. A. Geuther  
H. Barth

in Anlehnung an das Arbeitsmaterial des „Arbeitskreises im KÖLNER MODELL“  
an den Chemischen Instituten der Universität zu Köln

Gießen, September 2006

# Inhaltsverzeichnis

## **SYNTHETISCHE MAKROMOLEKULARE STOFFE ..... 2**

### ***Polykondensationsprodukte* ..... 2**

**Herstellen eines Phenoplastes: Polykondensation von Resorcin und Propanal ..... 2**

**Polykondensation von Glycerin mit Citronensäure. Heißspinnen von Fäden ..... 3**

**Polykondensation von D-Sorbit und Citronensäure. Heißspinnen von Fäden ..... 4**

## **NATÜRLICHE MAKROMOLEKULARE STOFFE ..... 5**

**Leim aus Casein ..... 5**

## **VERARBEITUNG UND EINSATZ VON KUNSTSTOFFEN ..... 6**

**Herstellen eines elastischen Bällchens („Flummi“) ..... 6**

## **QUELLENVERZEICHNIS ..... 8**

# Synthetische makromolekulare Stoffe

## *Polykondensationsprodukte*

### Herstellen eines Phenoplastes: Polykondensation von Resorcin und Propanal

Geräte: 1 Spatel, 2 Pipetten, 1 Reagenzglas (16 mm), Brenner

Chemikalien: Resorcin [Xn, N], Propanal [Xi, F], Salzsäure (konz.) [C]

Durchführung:

- In das trockene Reagenzglas 2 Spatel voll Resorcin geben.
- Mittels Pipette (!) das gleiche Volumen an Propanal zufügen.
- Über kleiner Flamme kurzzeitig erwärmen, bis eine klare Lösung entstanden ist.
- Reagenzglas abstellen.
- Erst dann e i n e n Tropfen konz. Salzsäure zufügen. **VORSICHT**, heftige Reaktion!
  
- Reaktionsprodukt und Reagenzglaswandung betrachten und beschreiben. Erklären.
- Produkt erkalten lassen, evtl. mit kaltem Wasser kühlen.

Entsorgung:

Reagenzgläser geordnet ablegen. Sie werden später dem organischen Feststoffabfall übergeben.

Methodische und fachliche Bemerkungen:

Dieses Experiment kann an die Stelle des früher üblichen Schulexperiments zur Herstellung eines Phenoplasten aus Phenol und Methanal treten.

Aus Resorcin (1,3-Dihydroxybenzol) und Propanal entsteht ebenfalls durch Polykondensation ein Phenoplast. Vermutlich ist auch der Ablauf der Reaktion identisch (elektrophile Substitution  $S_E$ ). Die positive Polarisierung des C-Atoms der Carbonylgruppe im Propanal wird durch Zugabe von  $H^+$  (aus HCl konz.) verstärkt. Damit ist der elektrophile Angriff an ein C-Atom, das sich in o- oder p-Stellung zu einer OH-Gruppe des Resorcins befindet, erleichtert. Die Moleküle vernetzen räumlich.

Literatur:

F.W. DORST, PdN 1971, S. 192; ref. in: W. FRANCK et al., HENNIGER-FRANCK – Lehrbuch der Chemie -, Bemerkungen, Hinweise. 1. Aufl., Stuttgart 1972, S. 45

## Polykondensation von Glycerin mit Citronensäure. Heißspinnen von Fäden

Geräte: 1 Reagenzglas (16 mm), 1 Spatel, 1 Messpipette,  
1 Holzstab (Schaschlikspieß), Reagenzglashalter, Brenner, Waage

Chemikalien: Glycerin (wasserfrei), Citronensäure [Xi]

### Durchführung:

- In das trockene Reagenzglas 1,9 g Citronensäure o d e r 2,1 g Citronensäure-Monohydrat einfüllen.
- Mit der Messpipette 0,3 ml Glycerin zufügen.
- Stoffe mittels Holzstab vermischen.
- Über kleiner Flamme unter Schütteln langsam erhitzen und ca. 2 Minuten sieden lassen. Das Gemisch sollte sich nicht verfärben!
- Reaktionsprodukt und Reagenzglaswandung betrachten und beschreiben. Erklären.
- Produkt bis zur Zähigkeit erkalten lassen und mittels Holzstab Fäden ziehen.

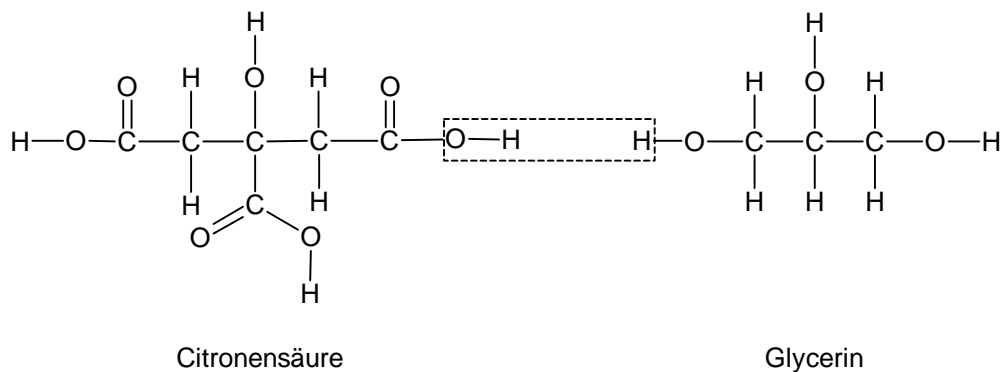
### Entsorgung:

Reagenzgläser geordnet ablegen. Sie können später zum Hausmüll gegeben werden.

### Methodische und fachliche Bemerkungen:

Aus Glycerin und Citronensäure entsteht durch Polykondensation ein Polyester-Harz. Da die Citronensäure zu den Tricarbonsäuren und das Glycerin zu den dreiwertigen Alkoholen zählen, ist der Polyester vernetzt.

Zur Erstellung der Reaktionsgleichung verwendet man am besten die Strukturformeln in dieser Form:



## Polykondensation von D-Sorbit und Citronensäure. Heißspinnen von Fäden

Geräte: 1 Reagenzglas (16 mm), 1 Spatel, Brenner

Chemikalien: D-Sorbit, Citronensäure [Xi]

### Durchführung:

- Je 1 gehäufte Spatel voll Sorbit und Citronensäure (-Monohydrat) - Volumenverhältnis 1:1 - ins Reagenzglas geben und mischen.
- Über kleiner Flamme langsam erhitzen, bis eine klare Schmelze entsteht. Vorsichtig weiter erhitzen, bis Schaumbildung einsetzt und die Schmelze zähflüssig wird. Das Gemisch muss farblos bleiben, aber „durchschäumen“.
- Aus dem Produkt mittels Holzstab Fäden ziehen, dazu evtl. nochmals leicht erwärmen.
- Reaktionsprodukt und Reagenzglaswandung betrachten und beschreiben. Erklären.

### Entsorgung:

Reagenzgläser geordnet ablegen. Sie können später zum Hausmüll gegeben werden.

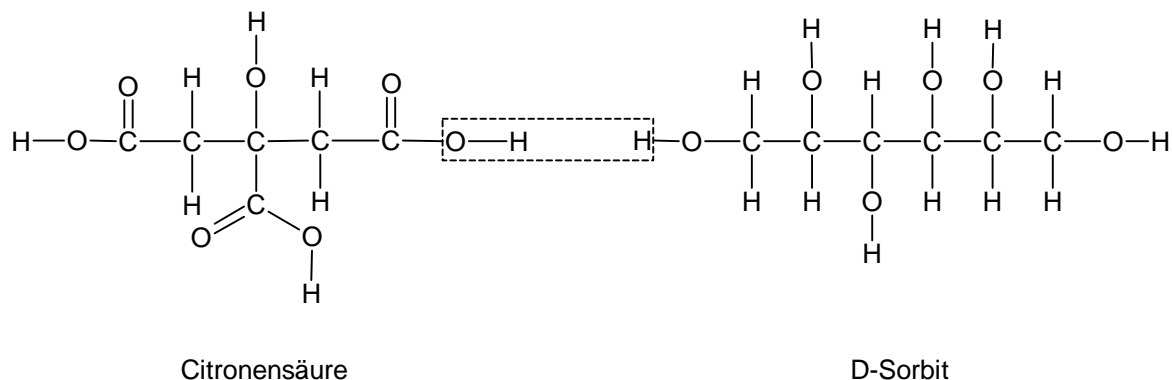
### Methodische und fachliche Bemerkungen:

Aus dem 6wertigen Alkohol D-Sorbit und der Tricarbonsäure Citronensäure entsteht durch Polykondensation ein vernetzter 3dimensionaler Polyester.

Obwohl D-Sorbit insgesamt über 6 Hydroxylgruppen verfügt, ist aus räumlichen Gründen die Polykondensation an den Kohlenstoffatomen C<sub>1</sub> und C<sub>6</sub> am wahrscheinlichsten. Die Vernetzung der Makromoleküle kann über die freie Carboxylgruppe der Citronensäure oder über die restlichen Hydroxylgruppen des D-Sorbit und der Citronensäure erfolgen. In allen Fällen findet eine Veresterung statt.

D-Sorbit kommt in den Früchten der Eberesche (Vogelbeerbaum) und im Weißdorn vor.

Zur Erstellung der Reaktionsgleichung verwendet man am besten die Strukturformeln in dieser Form:



### Literatur:

H.J. BADER/H. SOMMERFELD/(N.N.) HAAS, Nachwachsende Rohstoffe (Beiheft zum Experimentierset). Veröffentlicht bei Hedinger (Lehrmittel), Stuttgart 1995, Versuch Nr. 17

# Natürliche makromolekulare Stoffe

## Leim aus Casein

Geräte: 1 kleine Glas-, Porzellan- oder Kunststoffschüssel, 1 Teelöffel oder Löffelspatel, außerdem: flache Holzbrettchen zum Verleimen, Reagenzglashalter oder Wäscheklammer, evtl. Papier-Küchentücher

Chemikalien: Magerquark, Natronlauge 10%ig [C]

### Durchführung:

- In das Schüsselchen die Menge von 2-3 gehäuften Teelöffeln Magerquark geben.
- Den Quark durch Abdrücken mit Papiertaschentüchern oder Küchentüchern weitgehend von Feuchtigkeit befreien.
- Den Quark mit der Menge von 2-3 Teelöffeln Natronlauge zu einem dickflüssigen Brei rühren und 10-15 Minuten ruhen lassen.

Klebeproben durchführen:

- 2 Holzstückchen auf der jeweils zu verklebenden Seite mit Leim bestreichen, aufeinander legen, mit einer Klammer fixieren und trocknen lassen.
- Klebkraft testen.

### Hinweis:

Das Durchtrocknen der Verklebungen dauert mindestens 24 Stunden. Dabei müssen die Klebestellen durch die Wäscheklammern ständig unter Druck gehalten werden.

### Entsorgung:

Leimreste mit Papier aufnehmen. Alle Reste im Hausmüll werfen.

### Methodische und fachliche Bemerkungen:

Es wird ein sog. Caseinleim hergestellt.

Das natürliche Makromolekül Casein ist in Form von Calciumcaseinat der wichtigste Eiweißbestandteil der Säugetiermilch. Bei Zimmertemperatur quillt Casein in verdünnter Natronlauge auf. Dabei entstehen um die Carboxylat-Ionen und die Hydroxylgruppen in den Seitenketten Hydrathüllen, die durch ihre räumliche Ausdehnung die Caseinmoleküle auseinander drängen; in die entstehenden Hohlräume können weitere Wassermoleküle eingelagert werden.

Die Klebkraft des Caseinleims beruht auf den starken Bindungskräften zwischen den Wasserstoffbrücken und den schwächeren van-der-Waals-Kräften zwischen den unpolaren Kohlenwasserstoff-Abschnitten der beteiligten Stoffe.

Andere Arten von Bindungen ergeben sich in der Trocknungsphase der Verklebungen („Abbinden“ des Klebstoffs). Sie entstehen zum einen zwischen den einzelnen Caseinmolekülen; hier bewirken sie die für Klebstoffe charakteristische starke Kohäsion. Zum anderen werden sie zwischen den Caseinmolekülen und den Bestandteilen des zu verklebenden Holzes ausgebildet; dort sorgen sie für die ebenfalls charakteristisch große Adhäsion der Klebstoffe.

In der Praxis werden Caseinleime ausschließlich zum („umweltverträglichen“) Verkleben von Holz eingesetzt.

Caseinleim wurde bereits von den Ägyptern um 1300 v.Chr. zur Holzverleimung verwendet („Leim der alten Ägypter“).

### Literatur:

G. VOLLMER, CH. MERSCHEMKE (Hrsg.), Chemie in Köln und Umgebung. Bonn 1997, S. 3-6 (Fa. Wacker Chemie GmbH, Köln-Niehl)

# Verarbeitung und Einsatz von Kunststoffen

## Herstellen eines elastischen Bällchens („Flummi“)

Geräte: 1 kleine Glas- oder Kunststoffschüssel, 2 Esslöffel, 1 Metall-Gabel (am besten Kuchengabel), Alufolie (mit Kunststoff beschichtet) oder Frischhaltefolie, Einweg-Handschuhe

Chemikalien: Ponal® (Holzleim der Fa. Henkel), Boraxlösung 2%ig

### Durchführung:

Das Tragen von Einweg-Handschuhen ist ratsam.

- In der Schüssel 1 Esslöffel Boraxlösung und ½ Esslöffel Ponal® mit Hilfe der Gabel gründlich verkneten, bis sich eine formbare Masse gebildet hat.
- Diese Masse so lange zwischen den Händen rollen, bis die dabei entstehende Kugel so elastisch geworden ist, dass man sie auf dem Tisch hüpfen lassen kann.

### Hinweis:

Die Herstellungsdauer kann 5-10 Minuten betragen.

Zum Mitnehmen und kurzzeitigen Aufbewahren schlägt man den „Flummi“ in ein Stück kunststoffbeschichtete Alufolie oder Frischhaltefolie ein. Die Haltbarkeit des Bällchens in der Folie ist – vermutlich auf Grund mikrobieller Zersetzung – auf einige Tage beschränkt.

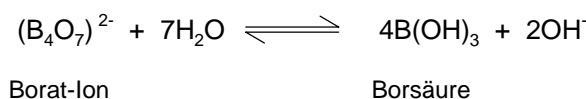
### Entsorgung:

Alle Reste im Hausmüll verwerfen.

### Methodische und fachliche Bemerkungen:

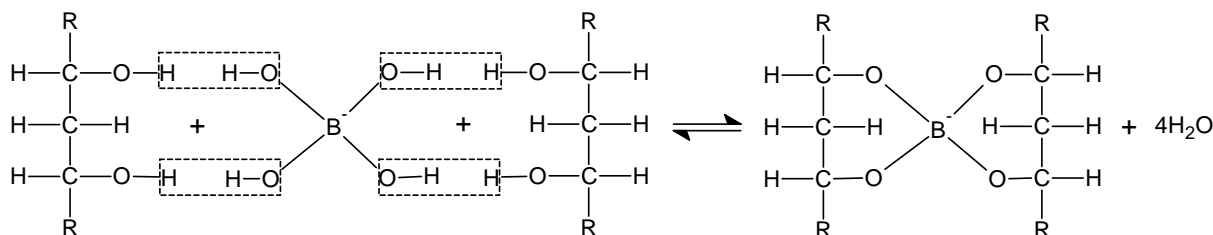
Der Holzleim Ponal® ist ein Dispersionsklebstoff, der neben dem Hauptbestandteil Polyvinylacetat auch einen Zusatz von Polyvinylalkohol enthält. Dieser wird über die Hydroxylgruppen des (linearen) Makromoleküls durch Borax (Di-Natriumtetraborat,  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ ) vernetzt:

Die wässrige Boraxlösung reagiert unter Bildung der sehr schwachen Borsäure stark alkalisch:



Die LEWIS-Säure  $\text{B}(\text{OH})_3$  addiert das Hydroxid-Ion unter Bildung des Anions  $[\text{B}(\text{OH})_4]^-$ .

Dieses  $[\text{B}(\text{OH})_4]^-$ -Anion vernetzt die Polyvinylalkohol-Moleküle (PVA) unter Abspaltung von Wasser zu einem dreidimensionalen Raumnetzwerk:



Der Ladungsausgleich erfolgt jeweils durch die Natrium-Ionen des Borax. Durch die Vernetzung sinkt die Wasserlöslichkeit der Polyvinylalkohols.

Literatur:

O. A. NEUMÜLLER et al., Römpps Chemie-Lexikon, 8. Aufl., Stuttgart 1979, Band 5, S. 3327

A. F. HOLLEMANN, E. WIBERG, Lehrbuch der Anorganischen Chemie, 81.-90. Auflage, Berlin 1976, S. 628

H. J. BADER, Z. HARIJ; SLIME – Die Faszination von „Glibber“. PdN - Chemie in der Schule, 49(2000)Heft 1, S. 38

Fa. Henkel, Düsseldorf, Technische Beratung Ponal®, Tel. 0211/7978272



---

## Quellenverzeichnis

Experimente zu Makromolekülen. Arbeitsmaterial des Arbeitskreises im KÖLNER MODELL an den Chemischen Instituten der Universität zu Köln. Workshop anlässlich der GDCh-Jahrestagung der FG Chemieunterricht, Rostock 2006