

die von den experimentellen Daten ausgezeichnet erfüllt wird. Die summarische Größe K ist bei der Photopolymerisation bei kleinen Intensitäten proportional  $I^{1/2}$ , bei großen Intensitäten proportional I; bei der AIBN-gestarteten Polymerisation ist ein analoger Trend bezüglich der Starterkonzentration nicht einwandfrei erkennbar, es gilt etwa  $K \propto [AIBN]^{0.75}$ .

Der abbruchfreie Charakter der Polymerisation weist auf einen ionischen Mechanismus hin; bei Copolymerisation mit Styrol oder Methylmethacrylat als Comonomeren wird nahezu ausschließlich NVC in das Polymere eingebaut: Dies ist typisch für einen kationischen Polymerisationsmechanismus.

Der kationische Charakter der AIBN-gestarteten Polymerisation ist dadurch zu erklären, daß die durch Starterzfall gebildeten Radikale schon nach wenigen radikalischen Wachstumsschritten durch Übertragungsreaktion mit dem wirksamen Kettenüberträger  $CBr_4$  in 1-Brom-1-carbazylalkyl-Strukturen übergeführt werden, die als Zentren kationischen Kettenwachstums (mit  $Br^-$  als Gegenion) fungieren.

Beim Photostart entstehen zunächst Radikalkationen, deren ionische Funktion wahrscheinlich schon selbst wachstumsfähig ist, während die radikalische Funktion ebenfalls wieder durch Kettenübertragung mit  $CBr_4$  in ein kationisch aktives 1-Brom-1-carbazylalkyl-Derivat umgewandelt wird.

#### Über das Anfangsstadium des oxidativen Abbaus nativer Cellulose durch molekularen Sauerstoff

Von G. V. Schulz (Vortr.), S. Jovanović und A. Palma<sup>[\*]</sup>

*Native Cellulose:* Im Gewächshaus gezogene Baumwollkapseln werden unmittelbar vor oder nach dem Aufplatzen geerntet, organisch extrahiert und mit 2-proz. Natronlauge unter Zusatz von Na-Dithionit gekocht. Ergebnis: Ein in Cuoxam oder nach Nitrierung in Aceton restlos lösliches Material, das nach Lichtstreuungs-(LS)-Messungen keine Gelteilchen enthält und zu 90% aus Molekülen mit dem einheitlichen Polymerisationsgrad 14000 besteht.

*Abbau:* 1. Behandlung mit 20-proz. NaOH unter strengem Ausschuß von Sauerstoff bei 20°C. 2. Die so hergestellte Alkalicellulose wird molekularem Sauerstoff ausgesetzt und dabei die Verminderung des Molekulargewichts ( $M_w$ ) durch LS- und  $[r]$ -Messungen verfolgt. An den Nitraten werden die Molekulargewichtsverteilungen während dieser Behandlungen laufend bestimmt.

*Ergebnis:* Die Behandlung mit Alkali allein führt zu einer erheblichen Abnahme der Viskosität, während LS-Messungen zeigen, daß  $M_w$  konstant bleibt, der Trägheitsradius abnimmt und der 2. osmotische Virialkoeffizient  $A_2$  zunimmt. Auch weitere physikalische Eigenschaften (Dichte, Brechungskrement) ändern sich. Fraktionierversuche zeigen, daß diese Eigenschaftsänderungen an allen Molekülen praktisch gleichmäßig erfolgen. Sie sind phänomenologisch als eine Art molekularen Schrumpfungsprozesses anzusehen. Der Effekt zeigt sich in gleicher Weise an den Cuoxamlösungen der Cellulose wie an den Acetonlösungen des Nitrates. Er ist also von erheblicher chemischer

[\*] Prof. Dr. G. V. Schulz, Doz. Dr. S. Jovanović [\*\*] und Dr. A. Palma  
Institut für physikalische Chemie der Universität  
65 Mainz, Jakob-Welder-Weg 15

[\*\*] Gegenwärtige Adresse: Technološki fakultet, Beograd  
(Jugoslawien)

Resistenz. Der Stickstoffgehalt ist beim Nitrat der ursprünglichen wie der geschrumpften Cellulose gleich.

*Deutung:* Wir nehmen an, daß diese Schrumpfung durch eine intramolekulare chemische Vernetzung der Celluloseketten zustandekommt. Das gelöste Molekül erhält dadurch mehr oder weniger große Zyklen, die den Trägheitsradius in Lösung vermindern. Diese Deutung wird dadurch gestützt, daß eine oxidative Spaltung glucosidischer Bindungen am alkalibehandelten Material zunächst zu einem Anstieg des Staudinger-Index bei gleichbleibendem LS-Molekulargewicht führt; das bedeutet, daß nach längerer Alkalibehandlung fast alle Glucoseeinheiten in den Zyklen liegen, deren Öffnung den Trägheitsradius erhöht, ohne das Molekül zu spalten. Daß die Vernetzung rein intramolekular ist, wird dadurch bewiesen, daß in der Molekulargewichtsverteilung des alkalibehandelten Materials kein Anteil mit höherem Polymerisationsgrad als 14000 nachweisbar ist.

*Schlufffolgerung:* Die Cellulosemoleküle müssen in den Elementarfibrillen gefaltet sein.

#### Polymerisation von Trioxan zu kristallinem POM im Gleichgewicht

Von Rosa Mateva und G. Wegner (Vortr.)<sup>[\*]</sup>

Seit langem wird vermutet, daß Polymerisation und Kristallisation bei der kationischen Polymerisation von Trioxan miteinander gekoppelt sind. Wir haben deshalb das Wachstum der sofort nach Zugabe des Katalysators ( $BF_3 \cdot Et_2O$ ) entstehenden hexagonalen Blättchen von POM mit Hilfe elektronenmikroskopischer Methoden untersucht. Die Ergebnisse lassen sich mit Messungen des Umsatzes, des Molekulargewichtes, der Dichte, des Schmelzverhaltens und der thermischen Stabilität der erhaltenen Polymeren korrelieren.

Nach Abschluß der Keimbildungsperiode liegen lamellare Einkristalle von ca. 80–150 Å Dicke und einem Durchmesser von ca. 1 µm vor. In diesen Lamellen sind die Ketten in üblicher Weise gefaltet. Überraschenderweise wachsen diese Kristalle mit steigendem Umsatz sowohl in Dicke als auch in Durchmesser. Dieses Wachstum setzt sich auch dann noch fort, wenn der durch das vorliegende Ceiling-Gleichgewicht bedingte Grenzwert des Umsatzes erreicht ist. Die treibende Kraft dieser Reaktion ist die Minimalisierung der Freien Oberflächenenergie der vorliegenden, mikroskopischen Kristalle, die in Gegenwart des Katalysators über das Polymerisations-Depolymerisations-Gleichgewicht miteinander im Gleichgewicht stehen; d. h. kleinere Kristalle lösen sich wieder auf, während größere weiterwachsen.

Das laterale Wachstum der Kristalle vollzieht sich über die normale Polymerisationsreaktion. Dagegen erfolgt das Dickenwachstum durch Insertion von Monomeren in die Ketteneschlaufen der Deckflächen. Diese Reaktion verläuft in kristallchemisch einheitlicher Weise unter Ausbildung von Wachstumsspiralen. Die Dicke der Kristalle wächst dabei bis auf ca. 3000 Å an. Diese im thermodynamischen Gleichgewicht erzeugten Kristalle haben den Charakter von „extended chain-crystals“.

[\*] Dr. R. Mateva  
Höheres Chemisch-Technologisches Institut  
Sofia 56 (Bulgarien)  
Prof. Dr. G. Wegner  
Institut für Physikalische Chemie der Universität Mainz  
65 Mainz, Jakob-Welder-Weg 15

Die angeführten Ergebnisse können a) verallgemeinert werden für zahlreiche ringöffnende Polymerisationen, bei denen kristallines Polymeres entsteht, und haben b) Bedeutung für die Theorie der Copolymerisation in solchen Systemen.

### Zur Analyse der Taktizität Polymerer durch $^{19}\text{F}$ -NMR-Spektroskopie

Von W. Regel (Vortr.), L. Westfelt und H.-J. Cantow<sup>[\*]</sup>

Von monomerem *p*-Fluor- $\alpha$ -methylstyrol werden die  $^1\text{H}$ - und  $^{19}\text{F}$ -NMR-Spektren diskutiert. Das gemessene Spektrum vom Typ AA'BB'X ( $X = ^{19}\text{F}$ ) stimmt mit dem berechneten quantitativ überein.

Beim kationisch synthetisierten – vorwiegend syndiotaktischen – Polymeren beobachtet man Signalaufspaltung der  $\alpha$ -Methylprotonen bei 220 MHz und des Fluors bei 94.1 MHz nach Taktizitäten, wobei die Aufspaltung im  $^{19}\text{F}$ -Spektrum größer ist. Der aus der  $^{19}\text{F}$ -Resonanz berechnete Anteil an syndio- (83%) und heterotaktischen Triaden (17%) stimmt mit dem aus den Resonanzen der  $\alpha$ -Methylprotonen ermittelten überein.

Eine hier für das Varian HA-100-Spektrometer (100 MHz) entwickelte heteronukleare Entkopplungstechnik (Protonen) führt für das Fluor beim Monomeren zum erwarteten Einzelsignal, beim Polymeren zu einer Aufspaltung nach Pentaden.

Somit konnte gezeigt werden, daß die  $^{19}\text{F}$ -NMR-Spektroskopie selbst für den vom Kettengerüst weit entfernten *p*-Fluor-Kern sehr gute Auflösung bei kurzer Meßzeit ermöglicht.

[\*] Dr. W. Regel und Prof. Dr. H.-J. Cantow  
Institut für makromolekulare Chemie der Universität  
78 Freiburg, Stefan-Meier-Straße 31  
Dr. L. Westfelt  
University of Massachusetts,  
Chemistry and Engineering Department  
Amherst, Mass. (USA)  
jetzige Adresse: Centre Technique, Domaine Universitaire  
F-38 Grenoble (Frankreich)

### Über die Polymerisation und Copolymerisation von 1,2-Dimethoxyäthylen

Von Norbert Vollkommer<sup>[\*]</sup>

1,2-Dimethoxyäthylen wird aus Trimethoxyäthan durch Methanolabspaltung am Festbettkatalysator in der Gasphase hergestellt.

Während mit radikalischen und anionischen Initiatoren kein Polymerisat erhalten wird, gelingt die Auslösung der Polymerisation mit kationischen Initiatoren. Neben Friedel-Crafts-Katalysatoren, Perchloraten und Oxoniumsalzen werden auch halogenhaltige Organometall-Verbindungen sowie synkatalytische Initiatorsysteme eingesetzt.

[\*] Dr. N. Vollkommer  
Dynamit Nobel AG, Zentrallabor 1  
521 Troisdorf

Als günstigste Gruppe kationischer Initiatoren erwiesen sich chlorhaltige Organoaluminium-Verbindungen wie Diäthylaluminiumchlorid und Äthylaluminiumdichlorid.

Besonders vorteilhaft läßt sich die Polymerisation von Dimethoxyäthylen mit der letztgenannten Initiatorgruppe im Bereich um  $-50^\circ\text{C}$  und unter Verwendung verflüssigter niedrigsiedender aliphatischer Kohlenwasserstoffe als Suspensionsmittel vornehmen. Der Einfluß von Initiatorkonzentration, Polymerisationstemperatur und Suspensionsmittelanteil auf Polymerisationsumsatz und Molekulargewicht wird untersucht. Es können in nahezu quantitativen Umsätzen Polydimethoxyäthylen mit Molekulargewichten  $\bar{M}_w$  um 290000 erhalten werden.

Die wichtigsten Eigenschaften von Polydimethoxyäthylen werden mitgeteilt, insbesondere das Verhalten in wäßriger Lösung in Anwesenheit von Elektrolyten oder wasserlöslichen Polymerisaten, die Wasseraufnahme an der Atmosphäre bei unterschiedlicher Luftfeuchtigkeit sowie einige physikalische und mechanische Eigenschaften.

Außerdem wurden Copolymerisationsversuche mit ringöffnend polymerisierenden Monomeren wie Sechsringcarbonaten sowie Vier- und Siebenringlactonen vorgenommen.

### Modellberechnungen zur hydrolytischen Polymerisation von Caprolactam

Von Ferdinand Hafner, J.-C. Heilig und Paul Wittmer (Vortr.)<sup>[\*]</sup>

Caprolactam kann auf verschiedene Weise polymerisiert werden; die technisch wichtigste Reaktion ist die Polykondensation oder hydrolytische Polymerisation. Es laufen dabei nebeneinander drei Gleichgewichtsreaktionen (hydrolytische Ringöffnung, Polykondensation und Monomeraddition) ab. Darüberhinaus unterliegen Amidgruppen einer Umamidierung.

Wir wenden kinetische Gleichungen zur formalen Beschreibung der Gesamtreaktion an. Die zur numerischen Rechnung benötigten Konstanten wurden aus der Literatur entnommen. Eine Konstante wurde, zur besseren Anpassung der berechneten Werte an Meßergebnisse, gegenüber den Literaturangaben verändert. Die Regelung durch Amin- oder Carbonylgruppen wird berücksichtigt.

Die kinetischen Gleichungen können zusammen mit formalen Gesetzmäßigkeiten von Reaktoren, z. B. Verweilzeitspektren, zur mathematischen Simulation des Polymerisationsverlaufs in vorgegebenen Ansätzen und Reaktoren benutzt werden. Dies ist bei der Planung und Optimierung von Reaktoren eine große Hilfe.

Die Gleichungen eignen sich auch zur Berechnung der Remonomerisierungsgeschwindigkeit beim Aufschmelzen des entlactamisierten Polymeren.

[\*] Dipl.-Math. F. Hafner, Dr. J.-C. Heilig und Dr. P. Wittmer  
Badische Anilin- und Soda-Fabrik AG  
Kunststofflaboratorium und Datenverarbeitung  
67 Ludwigshafen