

Makromolekulare Chemie 2001

In der Grundlagenforschung der Makromolekularen Chemie liegen die Schwerpunkte auf gezielten Verfahren zur Polymerisation bekannter Monomere und auf neuen Polymerarchitekturen. Anwendungsaspekte rücken dabei immer mehr in den Vordergrund – bis zur direkten Entwicklung von Funktionsmaterialien. Die Industrie erweitert mit neuen Katalysatoren, Blends, Additiven und Copolymerstrukturen ihr Repertoire.

Grundlagen, Teil 1

◆ Die exponentielle Zunahme von Publikationen aus der Makromolekularen Chemie macht es schwierig, neue Trends herauszuarbeiten. Um daher einer Konzentration auf „die Lieblingsthemen der Autoren“ vorzubeugen, haben wir für die Zusammenstellung dieses Trendberichtes auf eine Umfrage bei den Mitgliedern der Fachgruppe Makromolekulare Chemie innerhalb der GDCh zurückgegriffen. Zudem wurden Zeitschriften mit hohem Zitationsindex gezielt auf Arbeiten aus der Makromolekularen Chemie hin ausgewertet. Die Redaktion der Zeitschrift *Macromolecular Chemistry and Physics* informierte nach Anfrage über aktuelle Zahlen zu Online-Zugriffen auf ihre Artikel. Auf der Basis dieser Unterlagen wurde der vorliegende Bericht erstellt. Bei einer kritischen Sichtung fällt auf, dass die referierten Themen sicherlich das Ergebnis einer Schwerpunktsetzung aus europäischer/deutscher Sicht sind, da sich zum Beispiel in den USA sehr heiße Themen wie Lithographie, „Microengineering“ oder „Bioengineering“ hier nicht stark wiederfinden.

Bei der präparativen Polymerchemie fällt in Anbetracht der Tatsache,

dass „Chemie“ gesellschaftlich umstritten und teuer ist, zum einen die Konzentration auf die Katalyse und die „grüne Chemie“ auf. Bei der Katalyse wird der synthetische Aufwand auf den Schritt der Herstellung eines Katalysators reduziert, der nur in geringen Mengen benötigt wird. Jüngste Entwicklungen im Bereich der Polymerreaktionen fokussieren dementsprechend hauptsächlich auf metallkatalysierte Polymerisationen und auf lebende radikalische Polymerisationen. In der „grünen Chemie“ dominieren Arbeiten zum Einsatz von Enzymen oder von natürlichen Ausgangsverbindungen zur Herstellung von Polymeren. Dies führt auch zur Bildung neuer Zeitschriften.

Alternativ hierzu – und die Gründe dafür sind im derzeitigen Nanotechnologie-Boom zu suchen – besteht ein vielfältiges Interesse an der Herstellung definierter Polymerstrukturen wie Dendrimere, hyperverzweigte Polymere und Polymerbürsten sowie an Polyelektrolyten und Kolloiden, die Überstrukturen bilden können. Dabei liegt das Augenmerk immer auch auf möglichen Anwendungen, wie auch bei der Funktionalisierung von Biopolymeren, unter denen Cellulose und Cellulosederivate Schwerpunkte der Forschung bilden.

Funktionspolymere für die Medizin, Elektronik und Optik, anorganisch/organische Hybridsysteme, Polymerphysik und -analytik sind die Schwerpunkte in Teil 2 dieses Trendberichts, der in der nächsten Ausgabe der *Nachrichten* erscheinen wird.

Neue Polyreaktionen/Katalyse

◆ Jüngste Entwicklungen bei Polymerreaktionen fokussieren nach wie vor hauptsächlich auf metallkatalysierten Polymerisationen und lebenden radikalischen Polymerisationen.

In einem kürzlich erschienenen Übersichtsartikel wird die Synthese von verzweigtem Polyethylen mittels Tandem-Katalyse beschrieben.¹⁾ Tandem-Katalyse basiert auf dem Zusammenwirken zweier oder mehrerer Katalysatoren in einem Ansatz und führt zu einem Produkt, das mit den einzelnen Katalysatoren nicht erreichbar ist. Das Konzept der Tandem-Katalyse zur Synthese von verzweigtem Polyethylen (linear low density polyethylene, LLDPE) führt im Idealfall zunächst zu Oligoethylenen mit Vinylendgruppe und anschließend zur Copolymerisation der α -Olefine und Ethylen. Im genannten Übersichtsartikel werden Titan-, Nickel- und Single-Site-Katalysato-

ren für die Tandem-Katalyse zur Synthese von LLDPE diskutiert.

Polyethylen mit polymodaler Molekulargewichtsverteilung wurde durch Polymerisation von Ethylen mit 1,4-(Bis(2,6-diisopropylphenyl)acenaphthendiiminickel(II)-dichlorid, gelöst in einer ionischen Flüssigkeit des Typs 1-Butyl-3-methylimidazolium-organochloroaluminat, erhalten.²⁾ Dabei tritt charakteristischerweise ein Zweiphasensystem auf. Die polymodalen Molekulargewichtsverteilungen sind vermutlich auf mehrere katalytisch aktive Spezies zurückzuführen, die sehr wahrscheinlich beim Recycling des Katalysators gebildet werden.

Die Synthese von isotaktischem Polypropylen gelang durch Polymerisation von Propylen mit Titankatalysatoren.³⁾ Titandiiminokomplexe, beispielsweise $[\text{ArN}(\text{CH}_2)_2\text{NAr}]\text{TiCl}_2$ ($\text{Ar} = 2,6\text{-iPr}_2\text{C}_6\text{H}_3$), wurden zusammen mit Trialkylaluminiumverbindungen (AlMe_3 , AlEt_3 , AlnBu_3 , $\text{Al}(\text{Hex})_3$, $\text{Al}(\text{Oct})_3$) und Borverbindungen ($\text{Ph}_3\text{CB}(\text{C}_6\text{F}_5)_4$, $\text{B}(\text{C}_6\text{F}_5)_3$) als Cokatalysatoren eingesetzt. Dabei wurde mit einigen Katalysatorsystemen isotaktisches Polypropylen erhalten. Entscheidend hierbei war der sterische Anspruch der Cokatalysatoren.

Die Polymerisationseffizienz von Constrained-Geometry-Katalysatoren ließ sich signifikant erhöhen, wenn bei der Copolymerisation von Ethylen und Octen Borane durch Alane wie $\text{Al}(\text{C}_6\text{F}_5)_3$ ersetzt wurden.⁴⁾ Entscheidend ist offensichtlich eine doppelte Aktivierung der Metallkomplexe.

Stereospezifische Polymerisation von Methylmethacrylat (MMA) gelang mit einkomponentigen kationischen Zirconocen-Katalysatoren.⁵⁾ $[\text{Me}_2\text{CCpIndZrMe}(\text{thf})][\text{BPh}_4]$ (1) mit $\text{B}(\text{C}_6\text{F}_5)_3$ ergab isotaktisches Polymethylmethacrylat (PMMA), und mit $[\text{Me}_2\text{CCp}_2\text{ZrMe}(\text{thf})][\text{BPh}_4]$ entstand syndiotaktisches PMMA.

Ethylen/MMA-Blockcopolymere wurden mit Katalysator (1) durch sequentielle Monomerzugabe erhalten, wobei zuerst Ethylen polymerisiert wurde.⁶⁾ Neben den Blockcopolymeren bildete sich auch Homopolyethylen. Die Polymerisationsmechanismen beider Monomere sind

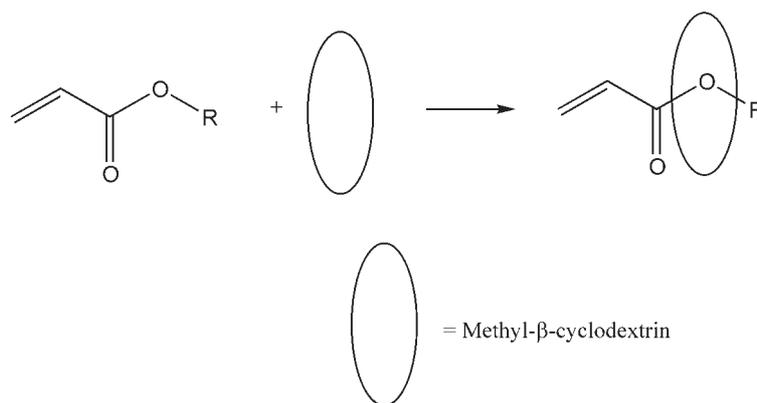


Abb. 1.
Die Komplexbildung mit Cyclodextrin ermöglicht die Polymerisation hydrophober Monomere in wässrigem Medium.¹⁰⁾

grundlegend verschieden, was auch dazu führt, dass bei umgekehrter Monomerzugabe keine Blockcopolymeren erhalten werden.

Vinylische Homo- und Copolymerisationen von Norbornen (Copolymerisation mit CO) bzw. Phenylnorbornen wurden mit dikationischen einkomponentigen Palladium(II)-Komplexen mit verschiedenen Donoratomen in den Liganden erreicht.⁷⁾ Die Polymerisationseffizienz für Norbornen stieg in der Reihenfolge der Donoratome $\text{P} > \text{As} > \text{S}$. Die Umsätze mit Norbornen waren deutlich höher als die Umsätze mit Phenylnorbornen. Die geringe Reaktivität von Phenylnorbornen ist offensichtlich auf den hohen Anteil des Endoisomers (80%) zurückzuführen, dass deutlich langsamer reagiert als das entsprechende Exoisomer. IR-spektroskopisch konnten eindeutig *exo*-verknüpfte Sequenzen nachgewiesen werden. Sowohl Polynorbornen als auch Poly(phenylnorbornen) sind amorph und löslich in organischen Lösungsmitteln. Kritisch zu bewerten ist die Aussage, dass für Polynorbornen ein Glaspunkt bei 330 °C nachgewiesen wurde, obwohl der Glaspunkt von Polynorbornen bisher nicht mittels Differential-Scanning-Kalorimetrie (DSC) eindeutig nachweisbar ist.

Die vinylische Polymerisation von Norbornen mit Nickel-Phosphoraniminatokomplexen/MAO führt zu hochmolekularen amorphen löslichen Polynorbornenen.⁸⁾ Das Molekulargewicht ließ sich durch Zusatz von Ethylen oder α -Olefinen regulie-

ren. Es wurden vinylterminierte Polynorbornenketten durch β -H-Eliminierung gebildet, wobei die Olefine nicht in Polynorbornenketten eingebaut wurden. Je größer der sterische Anspruch der α -Olefine war, desto niedriger waren Molekulargewichte und Ausbeuten.

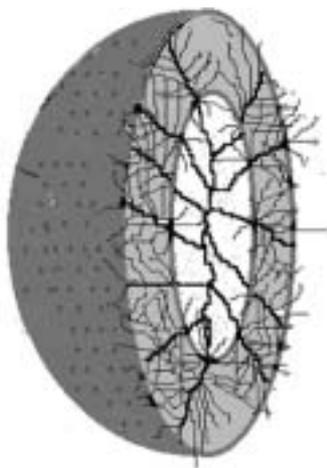
Vinylische Polymerisation und Copolymerisation als Polyinsertion von Ethylen und von Norbornen als Emulsionspolymerisation im wässrigen Medium gelang mit neutralen Nickelkomplexen.⁹⁾ Spektroskopisch konnten für Homopolyethylen 5–20 Verzweigungen auf 1000 C-Atome nachgewiesen werden. Bis zu 25 Mol-% Norbornen lagen in den Ethylen/Norbornen-Copolymeren vor.

Ebenfalls in wässrigen Systemen konnten an sich hydrophobe Monomere wie *n*-Propylacrylat, *n*-Butylacrylat, *n*-Pentylacrylat, *n*-Hexylacrylat und Cyclohexylacrylat via freier radikalischer Polymerisation polymerisiert werden.¹⁰⁾ Entscheidend war die Komplexbildung und damit Solubilisierung der hydrophoben Monomere in Wasser mit β -Cyclodextrin (Abbildung 1).

Matyjaszewski gab einen umfassenden Überblick über die Atom Transfer Radical Polymerization (ATRP).¹¹⁾ In diesem sehr lesenswerten Beitrag diskutiert er ausführlich Monomere, Initiatoren, Katalysatoren, Lösungsmittel, Temperatur, Reaktionszeit, Additive und die resultierenden Polymere bezüglich ihrer Materialeigenschaften.

Mit 1,1-Diphenylethylen als neuem Additiv für die kontrollierte radi-

Abb. 2.
Sphärische Hohlstrukturen durch verzweigte Pfropfcopolymere. (Abdruck mit freundlicher Genehmigung aus Lit.¹⁶); Copyright American Chemical Society



kalische Polymerisation wurde ein sehr schöner Weg zur Synthese von Blockcopolymeren vorgestellt.¹² Durch einfaches Erhitzen eines mit 1,1-Diphenylethylen terminierten PMMA in Styrol konnten entsprechende Blockcopolymerer erhalten werden.

Ein heteroleptischer Samarium-Phosphoraniminato-Komplex bildete die Basis für die erstmals mit zweiker-nigen Samariumkomplexen gelungene lebende ringöffnende Polymerisation von Lactonen.¹³ Bemerkenswert dabei ist, dass der Samariumkomplex nicht dissoziiert, sondern offensichtlich zwei Polylactonketten pro Samariumkomplex simultan wachsen.

Eine Reihe neuer Katalysatoren wurde für die Schmelz-Umesterung von Diphenylcarbonat mit Bisphenol A zur Synthese von Polycarbonat vorgestellt.¹⁴ Ein generelles Problem bei Schmelz-Umesterungen ist die Verfärbung der Polycarbonate. Mit [La(acac)₃] wurde ein sehr aktiver Katalysator gefunden, der nur gering gefärbte Polycarbonate ergab.

Komplexe Polymerarchitekturen

◆ Der Übergang von komplexen Polymerarchitekturen, supramolekularen Strukturen bis hin zu nanodimensionierten Confinement-Strukturen ist fließend geworden. Phasenseparierte Polystyrol/Polyisopren-Pfropfcopolymere mit verzweigten Pfropfästen wurden als neuartige

thermoplastische Elastomere mit vielversprechenden mechanischen Eigenschaften vorgestellt.¹⁵ Kern-Schale-Strukturen wurden mit Polystyrol-Polychlorethylvinylether-Pfropfcopolymeren erhalten.¹⁶ Durch sukzessiven Aufbau ergeben sich verzweigte Strukturen, die zur Bildung sphärischer Hohlstrukturen führen (Abbildung 2).

Mittels ATRP wurden amphiphile Pfropfcopolymere durch „Grafting From“-Technologie mit zylindrischer Polymerbürsten-Struktur aufgebaut („Flaschenbürsten“).¹⁷ Zunächst wurde durch ATRP 2-Hydroxyethylmethacrylat (HEMA) polymerisiert und anschließend durch Veresterung der freien Hydroxygruppen mit 2-Bromisobutyrobromid ein entsprechender Polyinitiator erhalten, der für die ATRP verschiedener Monomere (*tert*-Butylacrylat, Styrol) eingesetzt wurde. Die erhaltenen amphiphilen zylindrischen Polymerbürsten bilden nach Hydrolyse wurmartige mizellare Strukturen.

Supramolekulare Nanoröhren wurden mit Polystyrol-Seitengruppen an steifen Makrocyclen auf der Basis von Phenyl-ethinyl-Einheiten erhalten.¹⁸ Diese Ring-Knäuel-Blockcopolymerer aggregieren in schlechten Lösungsmitteln wie Cyclohexan zu Hohlzylindern. Die Struktur der Hohlzylinder wird maßgeblich durch die Länge der Polystyrolseitengruppen bestimmt.

Lineare bis hochverzweigte Poly(etherimide) wurden durch Copolymerisation von AB/AB₂-Monomeren synthetisiert und charakterisiert.¹⁹ Zwischen den Eigenschaften der Polymere und der Copolymerzusammensetzung bestand kein systematischer Zusammenhang.

Polykondensation von Carboxyphenyl(hydroxyethyl)triazenen führte zu hochverzweigten Polytriazenestern.²⁰ Diese neuartigen hochverzweigten Polymere sind photo- und thermolabil.

Eine neue divergente Synthese aliphatischer Ester-Dendrimere wurde durch Anhydridkupplung erreicht.²¹ Dabei wurden acetalgeschützte Anhydride der 2,2-Bis(hydroxymethyl)propionsäure umgesetzt und mit Ver-

zweigern Dendrimere bis zur 6. Generation aufgebaut.

Strukturtreue Polyphenylen-Dendrimere, aufgebaut durch sukzessive [2+4]-Cycloaddition ethynylsubstituierter Polyphenylen- und Tetraphenylcyclopentadienon-Derivate, wurden mit hochauflösender „Magic-Angle-Spinning“-Festkörper-NMR-Spektroskopie untersucht.²² Die Dynamik dieser Dendrimere ist auf die beschränkte Reorientierung der terminalen Phenylsubstituenten um die starren Achsen des Polyphenylengerüsts limitiert. Eine neue Klasse amphiphiler Polymere ist mit „Superstar“-Polymeren erreicht, die durch Kombination hydrophiler Poly(propylenimin)-Dendrimere mit Polytetrahydrofuranketten entstehen.²³ Lebend-kationisches Polytetrahydrofuran wurde auf Poly(propylenimin)-Dendrimere aufgefropft und so hydrophil/hydrophob modifizierte Dendrimederivate erhalten, deren Löslichkeit in Wasser, Cyclohexan und Diethylether über die Pfropfdichte und die Länge der Pfropfäste (Poltetrahydrofuran) eingestellt werden kann.

Potentielle Anwendungen von hochverzweigten Polymeren und Dendrimern wurden in einer Reihe von Beiträgen diskutiert.^{24–26} So wurden z. B. Polyether-ester-Dendrimere basierend auf Glycerol und Milchsäure zum Aufbau von Dendrimern eingesetzt, die Biokompatibilität mit typischen Dendrimereigenschaften wie niedrige Viskosität verknüpfen.²⁵ DNA-Microarrays wurden mittels Dendrimer-modifizierter Glasplatten hergestellt.²⁶ Diese neuartigen DNA-Microarrays ließen sich mit deutlich mehr Oligonucleotiden beladen als konventionelle DNA-Microarrays.

Ein interessanter Beitrag jenseits von hochverzweigten Polymeren und Dendrimern beschäftigt sich mit proteinähnlichen Faltungen von Poly(isocyanopeptiden).²⁷ Die helicale Struktur der Poly(isocyanopeptide) wird durch Wasserstoffbrückenbindungen der Amidgruppen stabilisiert.

Polyelektrolyte und Kolloide

◆ Das Hauptinteresse an Polyelektrolyten lässt sich an ihrer Fähigkeit, Überstrukturen auszubilden, festmachen. Ein Teilaspekt entsprechender Arbeiten ist die Herstellung von Multischichten durch sequentielle Adsorption von Polyelektrolyten auf festen Substraten. Hervorzuheben sind hierbei Arbeiten, die sich mit der Theorie der Adsorption von Polyelektrolyten beschäftigen. Sie zeigen zum Beispiel, wie sich in Abhängigkeit von der Oberflächenladung entweder eine Adsorption zu dünnen, überwiegend zweidimensionalen oder zu dicken, überwiegend dreidimensionalen Filmen einstellt und wie es als Folge der Polyelektrolytadsorption zu einer Ladungsüberkompensation kommt.²⁸⁾ Weiter hervorzuheben sind Untersuchungen, welche die Möglichkeit aufzeigen, Ordnung in Multischichten zu erzeugen. Laschewsky gelang es durch Adsorption von lyotropen Polymeren in einem Mehrstufenprozess, geordnete Multischichten mit interner Schichtstruktur aufzubauen.²⁹⁾ Auch der Aufbau von polaren Strukturen ist möglich: eine Kombination aus Polyelektrolytadsorption und Cyclodextrin-Komplex wurde genutzt für die nicht-zentrosymmetrische Anordnung von NLO-Chromophoren.³⁰⁾ Des weiteren ist eine Arbeit interessant, die anhand der Adsorption steifer helicaler Polymere eine Orientierung der Polymere als Folge der Struktur des zugrunde liegenden Substrates beschreibt.³¹⁾ Anwendungsinteresse finden Multischichten z. B. als Trennmembranen. Dabei kann die Trennleistung durch die Ladungsdichte bestimmt werden.³²⁾

Lyotrope Phasen und Polyelektrolytkomplexe

Bezüglich der Ausbildung geordneter Strukturen und der Aggregatbildung in Lösung fanden Polyelektrolytkomplexe und die damit einhergehende Einstellung von Überstrukturen auch im letzten Jahr wieder große Beachtung. Hervorgehoben seien hier Arbeiten zur Aufstellung

der Phasendiagramme von Polyelektrolytkomplexen in Lösung bis zur Ausbildung lyotroper Phasen³³⁾ sowie die Untersuchung von Wechselwirkungen in den Systemen Polyelektrolyt-amphiphile Komponente, Polyelektrolyt-Zelle oder Polyelektrolyt-Mikroemulsion. Besonderes Interesse finden dabei Polyelektrolytkomplexe in stark aggregierenden Systemen.^{34,35)} Polyelektrolytkomplexe führen beispielsweise in salzfreien Lösungen steifer Polyelektrolyte zur Bildung von zylindrischen Überstrukturen und lyotropen Phasen³⁶⁾ sowie zur Bildung homogener Ionenblends aus sonst nicht mischbaren steifen (flüssigkristallinen) und flexiblen Polymeren, was in diesem Fall zur molekularen Verstärkung ausgenutzt werden kann.³⁷⁾ Weiteres Interesse an solchen Polyelektrolytkomplexen besteht in Verbindung mit der Komplexierung von Proteinen oder DNA. Von der Komplexierung von Proteinen mit Polyelektrolyten erwartet man eine Verbesserung der Stabilität von Enzymen in unnatürlichen Medien, was zum Beispiel der Erhöhung der Stabilität von Enzymen bei organischen Synthesen dienen könnte.³⁸⁾ Komplexe aus Polyelektrolyten und DNA finden Interesse zum Einschleusen von DNA in Zellen. Arbeiten zu diesem Thema beschäftigen sich mit der thermodynamischen Charakterisierung von Polyelektrolyt-DNA-Komplexen,³⁹⁾ mit der Komplexbildung von DNA mit Dendrimeren, wobei je nach Generation unterschiedliche Komplexe erhalten werden können,^{39,40)} sowie mit der Komplexbildung von DNA mit kationischen Mizellen⁴¹⁾ und der Wechselwirkung von DNA mit polykationischen Graft-Copolymeren.⁴²⁾

Als Materialien interessieren Polyelektrolyte in Verbindung mit der Ionenleitfähigkeit. Hierbei konnte erstmals gezeigt werden, dass die Ionenleitfähigkeit – unter bestimmten Bedingungen – in der kristallinen Phase höher als die in der amorphen sein kann, was den normalen Erfahrungen widerspricht.⁴³⁾ Neue Methoden zur Einzelmolekülcharakterisierung mit Rasterkraftmikroskopie (AFM)

machen zudem einzelne Polyelektrolyt-Moleküle zum Gegenstand von Untersuchungen, wie in einer Arbeit von Gaub et al.,⁴⁴⁾ die die Elastizität einzelner Polyvinylaminketten als Funktion der Elektrolytkonzentration untersuchten.

Polymere Kolloide

Die Arbeiten über Kolloide zielen in verschiedene Richtungen und lassen sich nicht so leicht wie bei den Polyelektrolyten verschiedenen Themengebieten zuordnen. Hervorzuheben sind hier Studien zu doppelt hydrophilen Blockcopolymeren für das „Kristall-Engineering“, die von Cölfen in einem Übersichtsartikel zusammengefasst wurden,⁵³⁾ sowie die Herstellung von „Janus-Mizellen“. Dabei handelt es sich um Mizellen mit erniedrigter Symmetrie, in denen Nord- und Südpol der Mizelle von verschiedenen Polymeren besetzt sind.⁵⁴⁾ Herstellen lassen sich solche Mizellen durch Vernetzung des Mittelblocks von ABC-Copolymeren in der Volumenphase. Weitere Beachtung verdienen Arbeiten zum Nachweis der Phasenumwandlung der äußeren Schale in Kern-Schale-Mizellen durch Kombination von Streumethoden⁵⁵⁾ sowie zur Verwendung von „Inisurfs“ (als Initiator wirkende Surfactants) zur Herstellung von engverteilten Latices mit der Option zur späteren Herstellung von Kern-Schale-Systemen.⁵⁶⁾

Biopolymere

◆ Synthese und Charakterisierung von Cellulose und Cellulosederivaten war auch in diesem Jahr ein besonderer Schwerpunkt, so dass es leicht fällt, einige Arbeiten hervorzuheben. In einer Zusammenfassung von Übersichtsarbeiten wurden Aspekte der Struktur von Cellulosen und Cellulosederivaten im Festkörper, Synthesen, chemische Modifikationen von Cellulosen und Cellulosederivaten, Eigenschaften von Cellulosen und Cellulosederivaten in Lösung und die Funktionalisierung von Chitin vorgestellt.⁴⁹⁾ →

Mit Blends cholesterischer Butyrol-ester der Hydroxypropylcellulose unterschiedlicher Substitutionsgrade gelang die Einstellung unterschiedlicher Helix-Ganghöhen, was zu unterschiedlichen Reflexionsfarben führte.⁵⁰⁾ Es wurden Reflexionsmaxima von 453–938 nm gemessen, die Ganghöhen von 308–640 nm entsprechen.

Die hoch regioselektive 6-O-Silylierung von Stärke gelang mit Thexyldimethylchlorsilan in *N*-Methylpyrrolidon/ NH_3 .⁵¹⁾ Die eingeführten Substituenten können als Schutzgruppe für die primäre Hydroxygruppe von Stärke dienen.

Eine weitgehend homogene Tosylierung von Stärke mit *p*-Chlortoluolsulfonsäurechlorid ist in Dimethylacetamid/LiCl möglich,⁵²⁾ wobei sich der Substitutionsgrad zwischen 0,4 und 2,0 einstellen ließ. Die Lösungsviskosität dieser Stärkederivate konnte durch die Menge an LiCl kontrolliert werden.

Im Hinblick auf medizinische Anwendungen von Cellulosen ist der Einsatz von Bakteriencellulose für Blutgefäßimplantate besonders erwähnenswert.⁵³⁾ Durch tubulares Wachstum der Bakteriencellulose konnten künstliche Blutgefäße mit Durchmessern von ca. 1 mm hergestellt werden. Diese Blutgefäße zeigten im Tierexperiment ausgesprochen gute Blutverträglichkeit.

Sabine Mayer, Rudolf Zentel
Institut für Organische Chemie der
Universität Mainz
Manfred Wilhelm
Max-Planck-Institut für
Polymerforschung, Mainz
Andreas Greiner
Institut für Physikalische Chemie,
Kernchemie und
Makromolekulare Chemie
FB Chemie der Universität Marburg

Das Literaturverzeichnis finden Sie im Internet (www.gdch.de/nch/index.htm). Es ist in gedruckter Form auch über die Redaktion erhältlich.

Industrielle Makromolekulare Chemie

◆ In den letzten Jahren waren alle Berichte zur wirtschaftlichen Lage der Kunststoffe durch satte Zuwachsraten und geradezu euphorische Prognosen für die Zukunft bestimmt. Nach dem „Super-Jahr“ 2000 (Abbildung 1) scheint die industrielle Polymerchemie nun auf dem harten Boden der konjunkturellen Tatsachen gelandet zu sein. Bei den Standardkunststoffen werden in einigen Ländern für 2001 Verbrauchsrückgänge festzustellen sein und bei den Spezialitäten liegen die Einschätzungen zwischen „Stagnation“ und „deutlich unter den Erwartungen“.^{1,2)} Umso schwieriger ist es, zum jetzigen Zeitpunkt Marktdaten für die einzelnen Polymerklassen zu präsentieren. Einig sind sich jedoch die Experten, dass spätestens im Sommer 2002 mit einem wirtschaftlichen Aufschwung und mit zunehmenden Absatzmengen für Kunststoffe zu rechnen ist. Mittelfristig werden für die Polymere wieder Zuwachsraten von etwa 5 % erwartet.

Damit ist aber der zweite wichtige Wirtschaftsfaktor für die Kunststoffhersteller noch nicht berücksichtigt: Das Verhältnis von Rohstoff- zu Verkaufspreisen hat die Gewinnspannen bis an die Schmerzgrenze dahinschmelzen lassen. Da Preiserhöhungen bei den Kunden nur bedingt durchsetzbar waren, musste weiter die interne Kostenstruktur optimiert werden. Dies geschieht durch Konzentration auf kleinere Produktpaletten, Firmenzusammenschlüsse aller Art (von Akquisitionen bis Joint Ven-

tures), Anlagenoptimierung hin zum World-Scale-Maßstab und nicht zuletzt durch Personaleinsparungen.

Vom technischen Standpunkt aus betrachtet besteht weiterhin ein doppelter Substitutionsdruck. Einerseits ersetzen Polymere in immer mehr Anwendungen andere Werkstoffe wie Metall und Glas; andererseits breiten sich viele Polymere über ihren angestammten Platz hinaus in andere Anwendungen aus. Dabei greifen nicht nur die spezialisierten Produkte Standardmaterialien an, sondern auch umgekehrt (vgl. Abbildung 2).

Neben der klassischen Materialforschung gewinnt die Entwicklung komplexer und integrierter Systeme zunehmende Bedeutung. Klar im Trend liegen die Optimierung und das Fine Tuning bekannter Materialien z.B. durch neue Blends, Verbundwerkstoffe oder Compoundierung mit Additiven. Zusätzlich gehören neue Copolymerstrukturen aus bekannten Monomeren und neue Polymerisationskatalysatoren für die Synthese von maßgeschneiderten Polymeren zum Repertoire der industriellen F+E-Labors. Eine ebenso wichtige Rolle spielt die Verfahrensentwicklung, die immer wieder neue, kostengünstigere Wege zu bekannten Produkten findet.

Die wirtschaftliche und technische Kunststoffszene insgesamt lässt sich mit der ketzerischen Feststellung beschreiben, dass in den letzten Jahren mehr neue Firmen- als Produktamen entstanden sind. Dieser Eindruck entstand auch auf der Kunststoffmesse in Düsseldorf (K 2001), der weltweit bedeutendsten Informationsplattform für die Kunststoffindustrie.

Abb. 1.
Weltverbrauch an synthetischen Polymeren für das Jahr 2000 inklusive Fasernwendungen.
(Quelle: Bayer)

