

Angewandte Makromolekulare Chemie

In der industriellen Polymerchemie gab es sowohl technische Neuerungen als auch besondere Marktentwicklungen. Dabei ist die Wachstumsdynamik der Kunststoffindustrie ungebrochen. Nach vorläufigen Berechnungen stieg der weltweite Verbrauch an Kunststoffen im Jahr 2000 auf über 150 Millionen Tonnen. Dies entspricht gegenüber 1999 einem Wachstum um 5,3 %. Einen Überblick über die Mengenentwicklung einzelner Kunststoffe liefert Abbildung 1.

Die sprunghaft gestiegenen Rohölpreise verstärkten weiterhin den Kostendruck; die Margenprobleme der Erzeuger und Verarbeiter nahmen zu. Dies führte einerseits zu kontinuierlicher Kostendegression und andererseits zur Fortführung der seit einigen Jahren zu beobachtenden Restrukturierung und Konsolidierung der Kunststoffindustrie.

Polyolefine

Zwei Trends seien bei den PP-Produkten herausgegriffen. Zum einen treten für transparente Spritzgussteile neue Typen mit attraktiven Kombinationen von Steifigkeit, Zähigkeit und Transparenz gegen klassische Ziegler-Random-Copolymere an. Dies sind kürzlich in den Markt eingeführte Random-Blockcopolymere auf Ziegler-Natta-Basis sowie Metallocen-Impact-Copolymere.¹⁾ Zum anderen ermöglichen bei den Ziegler-Impact-Copolymeren Fortschritte in der Katalysator- und Prozesstechnologie eine signifikante Verbesserung der Balance von Steifigkeit, Zähigkeit und Fließfähigkeit. Die Konsequenzen des verbesserten Eigenschaftsprofils machen sich vor allem bei der Herstellung von Verpackungen durch Dünnwandstritzguss, bei Verbraucherprodukten sowie bei den hochschlagzäh thermoplastischen Olefinelastomeren bemerkbar, wie sie beispielsweise zur Herstellung von Stoßdämpfern eingesetzt werden.^{2,3)}

Zu wesentlichen Fortschritten bei den Materialeigenschaften von PE-LLD (linear low density) führten die Produkttypen der zweiten Generation (inklusive Metallocen).^{4,5)} Nachdem die anfänglichen Schwierigkeiten wie geringe Verfügbarkeit und Verarbeitungsprobleme eliminiert sind, ist bei den Verarbeitern die Bereitschaft, die inhärenten Vorteile der neuen PE-LLD-Typen zu nutzen, so groß wie nie.⁶⁾

Bei den Polyolefinproduzenten setzte sich die in den letzten Jahren initiierte Konsolidierungswelle fort. Zu Beginn des vierten Quartals 2000 nahm mit Basell, das aus den BASF- bzw. Shell-Töchtern Elenac, Montell und Targor entstand, das global größte Polyolefin-Unternehmen seinen Betrieb auf. Hinsichtlich der PP-Produktion ist Basell weltweiter Marktführer, während es bei PE global nach Dow, Exxon Mobil, Equistar und Chevron/Phillips den fünften Platz einnimmt. In Europa ist Basell vor Borealis Marktführer bei PE. Die Novolen-Technologie wurde aus kartellrechtlichen Gründen von Targor an das von ABB und Equistar gegründete Joint-Venture Novolen Technology Holdings übertragen, das auch Metallocen-Rechte von Targor erwarb.

Polyvinylchlorid (PVC)

Die PVC-Diskussion in politischen Gremien gewinnt an Sachlichkeit. Als Folge haben zahlreiche Bundesländer sowie Städte und Kreise PVC-Beschränkungen bei öffentlichen Bauvorhaben zurückgenommen oder gelockert. Im vergangenen Jahr unterzeichneten die PVC-Hersteller und ihre Partner die erste europaweite Selbstverpflichtung einer gesamten Branche zur „Nachhaltigen Entwicklung“. Hierbei werden in den nächsten zehn Jahren Projekte in einem Gesamtvolumen von ca. 250 Mio. Euro finanziert. Als Ergänzung zu inzwischen etablierten werkstofflichen Recyclingverfahren werden jetzt Schwerpunkte bei der Entwicklung von Verfahren zum rohstofflichen Recycling gesetzt.

Im Flaschenmarkt wurde PVC in hohem Maße durch PET substituiert. Im Bausektor dagegen dominiert PVC weiterhin als wichtigster Kunststoff. Neben Rohren als größtem Einsatzgebiet ist hier vor allem der Profilmbereich zu nennen. Der Marktanteil der Kunststoffenster, überwiegend aus PVC hergestellt, hat gegenüber Holz-Aluminium-Fenstern zugenommen und liegt inzwischen bei über 55 %. Fensterprofile mit verbesserter Wärmedämmung für Passivhäuser stellen die neuesten Entwicklungen in diesem Bereich dar.

Auch im Jahr 2000 war die im PVC als Weichmacher eingesetzte Substanzgruppe der Phthalate in der öffentlichen Diskussion. 1999 wurden in Europa ca. 1 Mio. t Weichmacher produziert, wovon über 95 % in Weich-PVC eingesetzt werden. Für einige wichtige Phthalate werden derzeit in der EU Risikobewertungen im Rahmen der EU-Altstoffverordnung durchgeführt. Erste Ergebnisse sollen in der ersten Hälfte 2001 publiziert werden.

Für Kleinkinderspielzeug werden derzeit sechs explizit genannte Phthalate aufgrund eines Verbotes basierend auf der allgemeinen Produktsicherheitsrichtlinie der EU nicht mehr verwendet. Diese Maßnahme wird derzeit alle drei Monate um weitere drei Monate verlängert. Um eine einheitliche Risikobeurteilung zu ermöglichen, bemühen sich EU und Industrie derzeit gemeinsam um die Festlegung einer europaweit anerkannten Prüfmethode zur Quantifizierung der Weichmachermigration.

Polystyrol (PS)

Die Restrukturierung bei den PS-Herstellern setzte sich auch 2000 ungebrochen fort: Mit der Fusion von Total Fina und Elf Atochem entstand ein weiterer, in allen Regionen mit Produktionsanlagen vertretener Hersteller. In den USA fusionierten Chevron und Phillips 66. In Europa haben die Nova Chemicals die Polystyrol-Aktivitäten der Shell übernommen.

Trotz anziehender Polymerpreise verbesserten sich die Margen der Hersteller kaum, da sich die Vorprodukte ungleich stärker verteuerten. Die Hersteller versuchten, ihre Kostenposition durch Investitionen in die Monomertechnologie zu verbessern. Dazu bauten sie zunehmend Neuanlagen auf Basis der SMPO-Technologie (Styrol/Propylenoxid-Koppelproduktion; Shell/BASF und Dow/Nishnekamskneftechim).

Die Styrol-Butadien-Blockcopolymeren (SBS) entwickelten sich stürmisch: Die BASF kündigte eine Verdreifachung, die AtoFina eine Verdoppelung ihrer Kapazitäten an. Nach einem tragischen Großbrand bei der amerikanischen Phillips 66 wurden die dortigen Kapazitäten vorerst stillgelegt.

Am Standort Schkopau der Dow entstanden weitere Fertigungsstätten der Styrol-Veredlungskette. Eine 36 000 t·a⁻¹-Anlage für syndiotaktisches Polystyrol (sPS) nahm Ende 1999 die Produktion auf. sPS positioniert sich im Bereich technischer Thermoplaste gegen Polyester und Polyphenylsulfide (PBT, LCP und PPS). Außerdem wird in Schkopau eine 12 000 t·a⁻¹-Anlage zur Hydrierung von Polystyrol errichtet. Das produzierte Polycyclohexylethylen ist vor allem durch seine optischen Eigenschaften und seine Dimensionsstabilität in feuchter Umgebung ein Konkurrent zum Polycarbonat und soll als digitaler Datenträger zum Einsatz kommen.

Polycarbonate (PC)

Der weltweite Bedarf an Polycarbonat (PC) hat sich innerhalb eines Jahrzehnts mehr als verdoppelt. Er stieg von 0,5 Mio. t im Jahr 1988 auf ca. 1,5 Mio. t in 2000. Das entspricht einer durchschnittlichen Steigerungsrate von ca. 10 % pro Jahr. Die wesentlichen Einsatzgebiete von PC sind: Elektrotechnik/Elektronik 38 %, optische Datenspeicher 19 % sowie Massiv- und Stegplatten 20 %.

Eine Substitution von Glas durch PC zeichnet sich bei der Automobilverschleißung ab. Neue Bewertungsmaßstäbe für das Scheibenmaterial, z. B. Gewichtsreduzierung und damit Senkung des Treibstoffverbrauchs, verbesserte Sicherheit sowie nahezu unbeschränkte Formgebung lassen eine hohe Bereitschaft der Automobilindustrie an Entwicklungen mit „organischem Glas“ erkennen. Wesentliches Ziel dabei ist es, die Glaseigenschaften – wie Kratzfestigkeit und Witterungsbeständigkeit – mit der leichten Formbarkeit von PC zu kombinieren. Neueste Lackentwicklungen gewährleisten auf PC bereits Abriebfestigkeiten in einer von Glas bekannten Größenordnung.

Eine höhere Wärmeformbeständigkeit des PC bei weitgehend gleichem Eigenschaftsprofil lässt sich durch einen partiellen Ersatz des Monomers Bisphenol-A durch Trimethyl- cyclohexyl-bisphenol (Bisphenol-TMC) erreichen. Die Wärmeformbeständigkeit ist so zwischen 150 °C und ca. 240 °C variabel einstellbar.

Die Herstellung von PC erfolgte bislang nach dem Phasengrenzflächenverfahren, bei dem Na-Bisphenolat mit Phosgen zu Polycarbonat in einem Wasser/Lösungsmittel-Gemisch reagiert. Neue Anlagen, wie die von Bayer in Antwerpen im August 2000 in Betrieb genommene, arbeiten auf der Basis der Schmelzekondensation von Diphenylcarbonat mit Bisphenol-A ohne Lösungsmittel.

Ein hohes Wachstum versprechen extrudierbare PC/ABS-Blends mit halogenfreier Flammenschutzrüstung. Aus diesen Werkstoffen lassen sich sowohl Profile als auch tiefziehbare Platten extrudieren. Letztere können beispielsweise im Nutzfahrzeug-Innenraum eingesetzt werden. Aufgrund ihrer Flammwidrigkeit eignen sich die Materialien auch zur Herstellung von Kabelkanälen, Elektroisierrohren und Stromschienenführungen. Sie zeichnen sich im Brandfall durch eine niedrige Rauchgaskorrosivität aus. Weitere Vorteile sind ihre hohe Wärmeformbeständigkeit sowie die sehr gute Schlagzähigkeit und Kälteelastizität.

Polyurethane (PUR)

Innerhalb der polymeren Werkstoffe nehmen die Polyurethane eine Sonderstellung ein, da die chemische Industrie lediglich die Ausgangsprodukte Isocyanate, Polyole und Additive herstellt und als Grundprodukte oder Systemkomponenten vertreibt. Die klassischen Einsatzbereiche für Polyurethane sind die Automobil- und Baubranche, die Möbel- und Matratzenindustrie sowie die Wärmeisolierung von Kühlschränken. Auf diese Anwendungsgebiete entfallen rund 70 % des Weltverbrauchs, der sich im Jahr 2000 auf ca. 8,6 Mio. t beläuft.

Bei PUR-Schäumen lagen die Schwerpunkte neben der Verbesserung der Produkteigenschaften in der Weiterentwicklung neuer Treibmittelgenerationen sowie der Entwicklung von Komplettmodulen für die Automobilindustrie. Thermoplastische Polyurethane (TPU) erlebten hier als glasfaserverstärkte Produkte eine Renaissance. Zukünftig wird TPU auch zunehmend zur Herstellung von Fasern eingesetzt werden. Wegen ihrer hohen Elastizität und Reißfestigkeit werden aus ihnen zusammen mit anderen Fasern beispielsweise Damenstrumpfhosen gefertigt.

Die Kombination von hoher Energieabsorption und Elastizität mit erstaunlicher Volumenkompressibilität von bis zu 80 % bei exzellenter Temperaturbeständigkeit machen mikrozelluläre PUR-Spezialelastomere zu einem idealen Werkstoff für die Schwingungsdämpfung. Weltweit ist jedes neue Auto heute mit mindestens zwei dieser Fahrwerksfedern ausgerüstet. Eingebaut werden diese Spezialelastomere außerdem in neuen, computergeregelten Stoßdämpfersystemen.

Duroplaste

Die Hersteller glasfaserverstärkter Kunststoffe (GFK) können aufatmen. Die Nachfrage nach GFK zog bereits Ende 1999 kräftig an und hat in Europa im Jahr 2000 erstmals die Gesamtproduktionsmenge von 1 Mio. t deutlich überschritten. Der Anstieg betraf fast alle Marktsegmente. Deutlich aus dem Rahmen fielen nach dem Schleuderverfahren hergestellte Rohre, die wegen der erhöhten Nachfrage der Kommunen nach Abwasserrohren um 20 % zulegten. Einen bedeutenden Nachfrageschub gab es außerdem beim Handlaminieren durch den stark wachsenden Bau von Windkraftanlagen (Abbildung 2). Da fast 80 % des Weltbedarfs an Windkraftanlagen in Dänemark hergestellt werden, kam das Marktwachstum von über 50 % weitgehend dem westeuropäischen GFK-Markt zugute.

Für die duroplastischen Formmassen zeigte sich, nach einem Rückgang 1999, eine positive Entwicklung mit einem Wachstum von ca. 3 % für das Jahr 2000.⁷⁾

Chemiefasern

Die Produktion von Chemiefasern wuchs im Jahr 1999 gegenüber dem Vorjahr um 4 % auf annähernd 30 Mio. t. Dieses Wachstum ging hauptsächlich zurück auf einen achtprozentigen Zuwachs bei Polyesterfilamenten und -stapelfasern. Der Gesamtanteil der Polyesterfasern an der Chemiefaserproduktion lag 1999 bei 60 %. Die Produktion der anderen bedeutenden Chemiefasern schrumpfte mehr oder weniger stark (Polyamid: 3,9 Mio. t (-1 %), Cellulosefasern: 2,6 Mio. t (-5 %), Polyacryl: 2,5 Mio. t (-5 %)). Die übrigen Chemiefasern (Polypropylen, Aramide, Elastane u. a.) hatten einen Produktionsanteil von ca. 11 %.

Die Produktionsmengenentwicklung verlief regional sehr unterschiedlich. Während in den traditionellen Herstellerregionen (USA, Westeuropa, Japan) die Produktion um 2 – 3 % abnahm, verzeichneten einige andere Produktionsländer Zuwachsraten von über 20 % (China, Indonesien, Thailand, Türkei).

Neben den bisher genannten, klassischen Chemiefasern, die auf absehbare Zeit den Hauptanteil des Chemiefaserbedarfs decken werden, gibt es verschiedene aussichtsreiche Neuentwicklungen. Mehrere Hersteller entwickeln zur Zeit Biopolymere, die sich sowohl als Kunststoff wie auch als Fasergrundstoff einsetzen lassen. Dabei handelt es sich meist um spezielle Polyester, bei denen entweder ein Rohstoff biochemisch hergestellt wird oder das Polymer biologisch abbaubar ist.⁸⁾ Ein Beispiel für einen biochemisch hergestellten Fasergrundstoff ist das Polylactid (PLA, Dow Cargill Polymer) auf Basis von Milchsäure aus der Fermentation von Dextrose aus Mais. Durch die wirtschaftliche Herstellung in Großanlagen – für PLA ist die Inbetriebnahme einer 140 000 t·a⁻¹-Anlage in 2002 angekündigt – soll der Einsatz solcher Biopolymere auch außerhalb von Marktnischen möglich werden.⁹⁾

Spezialpolymere

Die Gruppe der Spezialpolymere wird vor allem durch wasserlösliche Polymere mit funktionellen Gruppen repräsentiert. Ihr weltweites Marktvolumen beträgt mehr als 10 Milliarden Euro und wächst weiter.¹⁰⁾ Wegen ihrer interessanten Lösungseigenschaften werden sie in sehr verschiedenen Anwendungsgebieten eingesetzt.

Auf Acrylsäure und Maleinsäure basieren Polycarboxylate für die Wasserenthärtung und die Partikeldispersierung. Zu diesem Zweck werden sie hauptsächlich in Waschmitteln und in Pigmentslurries eingesetzt. Bei den Wasch- und Reinigungsmitteln gewinnt daneben die Ausrüstung bestehender Produkte mit zusätzlichen Eigenschaften an Bedeutung. So verhindern polymere Effekstoffe bei der Wäsche den Farbverlust, die Farbübertragung und den Verschleiß von Textilien.¹¹⁾

In der Kosmetikindustrie finden sich Polymere hauptsächlich in Haarstylingprodukten (Abbildung 3). Da immer mehr Jugendliche und Männer Haarfestigergele verwenden, hat insbesondere die Bedeutung der „Klassiker“ Polyvinylpyrrolidon (PVP) und PVP-Copolymere zugenommen. Weltweit werden jährlich ca. 24 000 t Polymere für die Haarfestigung verbraucht. Ein neuer Trend ist dabei die Betonung von „Feeling“ und Flexibilität. Diese Ziele werden durch eine Mischung oder eine chemische Verknüpfung von konventionellen Haarfestigerpolymeren mit Siliconderivaten erreicht.

Das mengenmäßig bedeutendste Einsatzgebiet der Acrylsäurepolymere sind die Superabsorber (SAP), die hauptsächlich für Babywindeln und für Inkontinenzartikel verwendet werden. Geprägt ist diese Verbindungsklasse durch einen starken Ausbau der Produktionskapazitäten auf etwa 1,1 Mio. t im Jahr, durch stetig sinkende Preise und durch eine ständige Weiterentwicklung der Produkte.

Durch die steigenden Anteile an Superabsorber in den Hygieneprodukten auf mittlerweile bis zu über 60 Gew.-% sind heute neben einer hohen Flüssigkeitsaufnahmekapazität unter Druckbelastung zusätzliche Eigenschaften von besonderer

Bedeutung. Zu ihnen gehören insbesondere die Fähigkeit, Flüssigkeit zwischen den Partikeln leiten zu können, die Elastizität der gequollenen Partikel sowie die Geruchskontrolle. Ein neueres Anwendungsgebiet von Polycarboxylaten ist ihre Verwendung als Fließverbesserern für Beton.

Polymerdispersionen

Weltweit werden derzeit rund 13 Mio. t Dispersionen in flüssiger Form oder als Pulver verbraucht. Regional gesehen weisen Nordamerika und Europa mit 45 % bzw. 33 % die deutlich größten Anteile auf. Mit einigem Abstand folgt der stark wachsende asiatische Markt. Im Wesentlichen bestimmen den Dispersionsmarkt die Rohstoffklassen Styrol-Butadiendispersionen, Acrylatdispersionen und Vinylacetatdispersionen, die je etwa ein Drittel des Volumens ausmachen.

Während der Großteil der Polymerdispersionen immer noch mit Feststoffgehalten von 50 Gew.-% hergestellt und vermarktet wird, gibt es kommerziell auch Produkte mit Feststoffgehalten von 70 Gew.-%. Intensive Arbeiten haben das Ziel, den Feststoffgehalt weiter anzuheben.

In der Bauchemie geht der Trend zu redispersierbaren Dispersionspulvern. Als Ergänzung zu den bestens eingeführten Vinylacetat-Homo- und -Copolymerisaten gewinnen Acrylatpulver und Pulver auf Styrol/Butadien-Basis an Bedeutung.

Eine Neuentwicklung sind wasserunlösliche Monomere wie Stearylacrylate in der Emulsionspolymerisation. Dies macht Cyclodextrin als Phasentransferagens in der wässrigen Phase möglich.¹²⁾ Weitere neue Anwendungseigenschaften erschließt die Mikroverkapselung. So wird die latente Wärmespeicherung von kristallinen Wachsen durch deren Einbettung in Mikrokapseln genutzt: Das System erhöht die thermische Masse von Gipsputz und verbessert so das Raumklima. Die anhaltende Nachfrage nach umweltfreundlichen, lösemittelfreien Produkten führt zur Applikation von wasserunlöslichen, cholesterischen Effektfarben auf Leder und Textil in Form wässriger Emulsionen (Abbildung 4).

Lacke und Klebstoffe

Die Lackindustrie setzt ihren Weg zu ökologisch verbesserten Lacksystemen fort. Dies senkt drastisch den Verbrauch von Energie und organischen Lösungsmitteln. Während auf metallischen Untergründen die Pulverlackierung dominiert, gewinnt bei der Holzlackierung die Strahlungshärtung als ökonomisch und ökologisch fortschrittlichste Härtungsmethode Marktanteile. Zukünftige Entwicklungen gehen in Richtung wässriger Produkte und UV-härtbarer Pulver. Der Markt strahlungshärtbarer Acrylate liegt weltweit bei ca. 120 000 t mit Schwerpunkt in USA und Europa und Wachstumsraten von etwa 8 % pro Jahr in den nächsten 10 Jahren (Abbildung 5). Andere Bindemittel haben momentan im Vergleich zu den Acrylaten eine untergeordnete wirtschaftliche Bedeutung.

Auch bei den Haftklebstoffen etablieren sich zurzeit die UV-ernetzbaren Acrylate als zusätzliche Klebstoffklasse neben den herkömmlichen Systemen wie Polymerlösungen, Dispersionen und Hotmelts auf Basis von Blockcopolymeren (Styrol/Isopren und Styrol/Butadien). Bei den Acrylaten handelt es sich um lösemittel- und wasserfreie 100-%-Systeme, die als Hotmelt verarbeitet werden. Die Elektronenstrahlhärtung, die vor einigen Jahren in der Klebstoffindustrie als interessante Alternative angesehen wurde, konnte sich hingegen im Markt nicht durchsetzen.

Verwertung von Kunststoffen

In Westeuropa werden derzeit etwa 30 % der Post-consumer-Kunststoffabfälle verwertet.¹³⁾ Durch die getrennte Sammlung von Kunststoffverpackungen aus Haushalten (Duales System) besitzt Deutschland eine führende Rolle in der stofflichen Verwertung von Kunststoffen. Die Verwertungssicherheit in diesem Bereich ist heute gewährleistet. Ziel ist nun, die bislang sehr hohen Kosten zu reduzieren, für die vor allem die werkstoffliche Verwertung der Verpackungskunststoffe verantwortlich ist. Diese Verwertungsform ist jedoch nur für einen begrenzten Teil der Abfälle ökologisch vorteilhaft.¹⁴⁾ Bei einem Vergleich der Verwertungsoptionen für Verpackungskunststoffe unter ökologischen und ökonomischen Aspekten, d. h. unter Betrachtung der Ökoeffizienz, zeigte sich, dass für die werkstofflich verwertbare Menge ein optimaler Wert existiert. Wird dieser auf Kosten der energetischen Verwertung überschritten, steigt bei nur unwesentlich erhöhtem Umweltnutzen die ökonomische Belastung deutlich. Entscheidend ist somit nicht die Maximierung der rezyklierten Menge, sondern eine ökologische und ökonomische Optimierung der Verwertung.

Das Duale System (DSD) sieht einen wesentlichen Ansatz zur Kostensenkung in der flächendeckenden Umstellung der bislang überwiegend händischen Sortierung auf vollautomatische Sortiermethoden. Erprobt wurde die Technik mit SORTec 3.0. Diese Anlage des DSD (Abbildung 6) trennte den Verpackungsabfall der Expo in Hannover.¹⁵⁾

Bei der Verwertung von Kunststoffen aus Altautos und Elektro/Elektronikgeräten standen Verfahren zur Aufarbeitung der Schredderleichtfraktion (SLF) im Mittelpunkt. Diese fällt bei Altautos und Haushaltsgroßgeräten nach Behandlung im Schredder und Abtrennung metallischer Bestandteile an. Die SLF besteht aus Kunststoffen, Glas, Elastomeren, Textilien etc. mit einem Kunststoffanteil von etwa 30 bis 35 %. In Versuchen konnte das Sekundärrohstoffverwertungszentrum Schwarze Pumpe die SLF zu Synthesegas rohstofflich verwerten.¹⁶⁾ Weitere Optionen kann die Auftrennung der SLF in verschiedene Fraktionen eröffnen. Dies wird seit letztem Jahr in einer Pilotanlage in Baden-Württemberg erprobt.¹⁷⁾

Ausblick

Für die nächsten Jahre wird weiterhin ein durchschnittliches jährliches Wachstum des weltweiten Kunststoffverbrauchs von 5 – 6 % erwartet. Dies liegt etwa um den Faktor 2 über dem prognostizierten Wirtschaftswachstum. Der Verbrauch von Kunststoffen wird vor allem in Südostasien mit 7 – 8 % überdurchschnittlich wachsen, für Japan dagegen werden mit ca. 3 % nur moderate Steigerungsraten vorhergesagt.

Aufgrund der hohen Rohstoffpreise besteht auch in Zukunft ein großer Druck zur Kostenoptimierung. Dem wird vor allem durch den Bau moderner Polymeranlagen, durch Einsparungen bei der Logistik sowie nicht zuletzt durch weitere Industriezusammenschlüsse begegnet werden.

Tief greifende Veränderungen auf der Seite der Kunststoffvermarktung werden in der nächsten Zukunft von dem Instrument „E-Commerce“ ausgehen. Die großen Kunststoffhersteller haben sich im Juni 2000 zu Omnexus, einem gemeinsamen Internet-Marktplatz für Thermoplaste, zusammengeschlossen.¹⁹⁾ Es wird erwartet, dass bis zum Jahr 2004 etwa 50% der Geschäftsabschlüsse über Internet abgewickelt werden.

Pia Baum und Jochen Engelmann, BASF, Ludwigshafen

Die Autoren danken T. Eckel, K. Horn, K. Kircher und A. Seidel (Bayer AG), den Kolleginnen und Kollegen M. Balsam, G. Esswein, R. Funk, S. Hahn, S. Koltzenburg, F. Lehrich, R. Leyrer, R.-D. Maier, R. Otter, E. Parzich, T. Plesniviy, S. Quaiser, C. Schade, J. Schmidt-Thümme, W. Schrof, W. Schunter, F. Speidel, A. Stange, A. Wilms, E. Wistuba.

- 1) A. Winter, Vortrag auf Maack-Konferenz, Sept. 2000.
- 2) R. D. Leaversuch, Mod. Plast. Int. 1999, 12, 58.
- 3) J. A. Grande, Mod. Plast. Int. 2000, 1, 131.
- 4) M. Balsam, C. Lach, R. D. Maier, Nachr. Chem. 2000, 3, 345.
- 5) R. D. Maier, Kunststoffe 1999, 89, 120.
- 6) R. D. Leaversuch, Mod. Plast. Int. 2000, 5, 63.
- 7) Pressemappe der Pressekonferenz AVK-TV, Frankfurt, 31.08.2000.
- 8) A. Scott, Chem. Week 2000 (13.09.), 73.
- 9) J. Lunt, Intern. Fiber J. 2000 (Juni), 48.
- 10) ACS Symp. Ser. 2000, 755 (Specialty Polymers: Diverse Properties and Applications), 2.
- 11) SÖFW-Journal 2000, 126 (9), 72.
- 12) R. J. Leyrer, W. Mächtle, Macromol. Chem. Phys. 2000, 201, 1235.
- 13) Association of Plastics Manufacturers in Europe, An analysis of plastics consumption and recovery in Western Europe 1998, Brüssel 2000.
- 14) Association of Plastics Manufacturers in Europe, Assessing the eco-efficiency of plastics packaging waste recovery, Brüssel 2000.
- 15) a) UTA vom 12.11.1999, 4; b) Euwid Re. 1999, 47, 2.
- 16) SVZ newsletter 1999, 7.
- 17) a) Euwid Re. 2000, 16, 8; b) EP 2000, 6, 12.
- 18) A. Wood, A. Scott, Chem. Week, 2000 (9. Aug.), 39.
- 19) Chem. Week 2000 (27. Sept.), 31.

Abb. 1. **Weltweiter Verbrauch von Kunststoffwerkstoffen in Mio. t im Jahr 2000 und Wachstumsraten gegenüber 1999.** (Abb. BASF)

Abb. 2. **Windkraftanlagen steigern die Nachfrage nach glasfaserverstärkten Duroplasten.**

Abb. 3. **Spezialpolymere sorgen in der Haarkosmetik für interessante Effekte.** (Foto: BASF)

Abb. 4. **Wässrige, weiße Emulsionen als umweltfreundliche Effektfarben für Leder.** (Foto: BASF)

Abb. 5. **Regionale Marktaufteilung für strahlungshärtbare Acryllacke.** Abb. BASF)

Abb. 6. **Sortieranlage für den Verpackungsabfall der Expo 2000.** (Foto: DSD)

Im Beitrag verwendete Abkürzungen für Polymere

PCMEA = Poly(zimtsäuremethacrylat)

PDMS = Polydimethylsiloxan

PEO = Polyethylenoxid

PE = Polyethylen

PEI = Polyethylenimin

PI = Polyimid

PMMA = Poly(methylmethacrylat)

PNIPAAm = Poly(N-isopropylacrylamid)

PP = Polypropylen

PPP = Poly(p-phenylen)

PPV = Poly(p-phenylen-vinylen)

P4VP = Poly(4-vinylpyridin)

PS = Polystyrol

PtBA = Poly(*tert*-butylacrylat)

Polyvinylformamid und Polyvinylamin

Ab 2002 wird der chemischen Industrie eine neue Klasse von Spezialpolymeren aus großtechnischer Produktion zur Verfügung stehen: Die aus dem Monomer Vinylformamid (VFA) hergestellten Polyvinylformamide (PVFA) und Polyvinylamine (PVAm). Das heutige, von der BASF entwickelte kontinuierliche Verfahren liefert in hohen Ausbeuten hochreines VFA und dessen Polymere als Folgeprodukte. Derzeit wird in Ludwigshafen eine Anlage mit einer jährlichen Kapazität von 8 000 t VFA und 60 000 t Polymerlösung gebaut. Neben der BASF befasst sich Mitsubishi Chemicals mit der Herstellung von VFA und betreibt seit Anfang der neunziger Jahre in Japan eine Pilotanlage.

PVFA ist ein Polymer mit linearer Struktur, dessen Molekulargewicht durch die Wahl der Bedingungen bei der radikalischen Polymerisation über einen breiten Bereich variiert werden kann. Durch partielle Verseifung von PVFA lässt sich ein PVAm mit unterschiedlicher Dichte (bis 100 Mol-%) an primären Aminogruppen herstellen. Daraus folgt nach Protonierung eine unterschiedliche Ladungsdichte. Vorteile bieten VFA und die davon abgeleiteten Polymere auch aus ökotoxikologischer Sicht: Die Polymere enthalten weder organisch gebundenes Chlor noch Formaldehyd. Das ist vor allem für die aktuellen Anforderungen an Papiernassverfestiger von großer Bedeutung.

Vielversprechende Anwendungen für PVFA und PVAm gibt es hier: Papierherstellung, Textilausrüstung, Abwasserklärung, Ölförderung, Klebstoffe, Hygiene und Kosmetik.

Kombinatorische Materialforschung

Während die kombinatorische Chemie noch vor wenigen Jahren der Wirkstoffforschung vorbehalten war, setzen inzwischen zahlreiche Firmen auch in der Polymerforschung (Katalysatoren, Materialien und Formulierungen) auf das Prinzip „Kombinatorik“. Mit Miniaturisierung, Automatisierung und Parallelisierung wird versucht, schnell kleine Mengen von neuen Materialien herzustellen und auf gewünschte Eigenschaften zu untersuchen. Dies soll Forschungsprozesse deutlich beschleunigen und die Effektivität steigern. Wichtige Voraussetzungen dafür sind schnelle serielle oder parallele Charakterisierungsmethoden für Anwendungseigenschaften sowie ein Datenmanagement, das High-Troughput-Design, Archivierung und Visualisierung großer Datenmengen sowie die Identifizierung von Leitstrukturen und Struktur-Wirkungsbeziehungen umfasst. Ebenso müssen Parallelreaktoren für die Bedürfnisse der Materialforschung wie hohe Viskositäten, hohe Temperaturen und hohe Drücke, aufgerüstet werden.

Führend in der kombinatorischen Materialforschung ist zur Zeit die US-amerikanische Symyx. Sie arbeitet bei der Polymerforschung mit Firmen wie BASF, Bayer, Dow Chemical und Unilever zusammen.¹⁸⁾ Die Etats für diese Kooperationen liegen teilweise im zweistelligen Millionenbereich. Neben Symyx entstehen zahlreiche andere Unternehmen, die sich ausschließlich mit dem Prinzip der kombinatorischen Chemie beschäftigen. Dazu gehören Avantium, Cambridge Discovery, CombiCat und HTE. Außerdem arbeiten viele der Chemiefirmen, die momentan mit Kombinatorikunternehmen kooperieren, an dem Aufbau eigener Kompetenzzentren.