

Ein Ausflug in die Geschichte

Die erste Kunststoffrevolution: Neue Materialien lieferten Zündfunken für Innovationen

Wie die Vergesslichkeit eines Chemikers einem Superwerkstoff auf die Sprünge half

Die besten Erfindungen kommen manchmal durch Zufall zustande. Diese Erfahrung machte unter anderem der Amerikaner Roy Plunkett. Offensichtlich war der 26 Jahre junge Chemiker frisch verliebt und hatte ein Date im Kopf, als er aus Versehen eine Gasflasche mit der Fluorverbindung Tetrafluorethylen, kurz TFE genannt, auf dem Labortisch stehen ließ, statt sie wie geplant in den Eisschrank zu verfrachten. Vergleichbares war ihm zuvor noch nie passiert! Als am Morgen des 6. April des Jahres 1938 Plunketts Laborassistent Jack Rebok das Ventil aufdrehte, um das komprimierte TFE zu entnehmen, wollte die Flasche partout kein Gas mehr von sich geben. Sie konnte aber unmöglich leer sein! Da sich Plunkett keinen Reim darauf machen konnte, sägte er kurz entschlossen den Stahlzylinder auf und fand einen weißen Belag vor. Nachfolgende Tests bewiesen: Ein neuer Kunststoff war entstanden – das Polytetrafluorethylen, später kurz Teflon genannt. Es war unbrennbar, quoll bei der Einwirkung von organischen Lösungsmitteln nicht auf und trotzte sogar den aggressivsten Säuren. Ein bis dato in dieser Substanzklasse extrem ungewöhnliches Verhalten!

Seine einzigartigen Eigenschaften konnte das Material allerdings erst etliche Jahre später ausspielen – und zwar als Hitzeschutzkachel, Kabelisolierung und in der Raumfahrt als Schutzschicht für die Anzüge der Astronauten. Gerne wird Teflon daher auch als erfolgreicher »Spin-Off« der Raumfahrt bezeichnet. Eine hübsche Legende, mehr nicht. So eroberte Teflon bereits ab 1954 die Brat-

pfanne, erst anschließend, nach dem Sputnik-Schock des Jahres 1957, war der Weltraum an der Reihe.

Aufgrund seiner hervorragenden chemischen und thermischen Beständigkeit hat sich der Werkstoff in den nachfolgenden Jahrzehnten eine große Palette von Einsatzgebieten erobern können. Das Spektrum reicht von chemikalienbeständigen Rohrleitungen für Industrieanlagen über medizinische Injektionsschläuche bis hin zur Mikroelektronik, und ein Ende des Teflon-Booms ist nicht zu erkennen.

Von der »Schwiegermutterseide« zur modernen Kunstfaser

Eine andere bedeutende Innovation, die der ersten Kunststoffrevolution den Weg ebnen sollte, wurde Jahrzehnte zuvor quasi aus der Not heraus geboren: Als am Ende des 19. Jahrhunderts in Frankreich eine Seuche die Seidenraupen befallen hatte, kam der französische Chemiker Hilaire Bernigaud Graf von Chardonnet de Grange, ein Schüler von Louis Pasteur, auf die Idee, seidenartige Fäden künstlich herzustellen. Zu diesem Zweck löste er Schießbaumwolle (Nitrocellulose) in einem Gemisch aus Alkohol und Ether und presste die entstandene Lösung durch feine Glasröhrchen. Nach dem Verdunsten des Lösungsmittels blieben feine seidenglänzende »Reyon-Fäden« (von französisch rayon, Lichtstrahl) zurück, die sich verspinnen ließen. Bernigaud zögerte nicht lange, stellte seine Kunstseide 1889 auf der Pariser Weltausstellung vor und nahm 1891 die kommerzielle Fertigung auf.

Wie sich herausstellte, wiesen Damenkleider aus Bernigauds Kunstseide aber einen entscheidenden Nachteil auf. Sie waren hochgradig brennbar und entzündeten sich bisweilen bereits in der Nähe eines Kamins oder einer Gaslaterne. Als die Presse wiederholt darüber berichtete, machte in Frankreich ein nicht gerade absatzförderndes Bonmot die Runde: »Schwiegermutterseide«. Bernigaud löste das Problem mit Hilfe von Schwefelverbindungen, die denitrierend wirkten und die Brennbarkeit entscheidend herabsetzten, dafür handelt er sich ein neues ein – die Rosskur verhalf zwar den Schwiegermüttern zu einer höheren Lebenserwartung, dafür war die Seide relativ brüchig.

Mehr Glück hatten die englischen Chemiker Charles Frederick Cross, Edward John Bevan und Clayton Beadle, als sie Cellulose

zuerst mit Natronlauge behandelten und anschließend Schwefelkohlenstoff hinzufügten. Das Resultat waren lebhaft orange gelb gefärbte Körnchen aus Cellulosenatriumxanthogenat. Als sie daraufhin den Festkörper mit dem zungenbrecherischen Namen nochmals in Lauge auflösten, entstand eine sirupähnliche Flüssigkeit, die von den Chemikern Viskose getauft wurde. Diese Flüssigkeit pressten sie durch feine Gold- oder Platindüsen in ein Säurebad und erhielten feine glänzende Fäden, die sich leicht verspinnen ließen. Das Austreiben der Kinderkrankheiten überließen die Chemiker der Industrie, die im mehreren Ländern schon bald die Produktion aufnahm. So gab es 1906 in Deutschland bereits sieben Hersteller von Viskose. Auch heute ist Viskose nach wie vor die wichtigste Chemiefaser auf der Basis von Cellulose. Weltweit werden jährlich rund 3 Mio. Tonnen für die Textilindustrie produziert.

Kuriosum am Rande: Der Engländer Joseph Wilson Swan hielt bereits ein Jahr vor Bernigaud den ersten Faden aus Kunstseide in der Hand, den er nach einem ganz ähnlichen Verfahren gewonnen hatte. Er hatte jedoch nicht an die Möglichkeit gedacht, die Fasern zu Garn zu verspinnen. Stattdessen nutzte er die Kunstfasern, die er durch eine gezielte Verbrennung in Kohlefasern verwandelte, als Glühfäden in seinen elektrischen Birnen.

Ein Chemiker wird zum Frauenheld

Nie im Leben hätte der amerikanische Chemiker Wallace Hume Carothers, der sich seit 1929 den linearen Hochpolymeren verschrieben hatte, daran geglaubt, dass er einmal zum Favoriten der Damenwelt avancieren würde. Allerdings hing sein »Frauenglück« buchstäblich an einem seidenen Faden, genauer gesagt am Superpolyamid 6.6. Denn dieser Faden, den er 1935 schuf, war so fein wie Seide, aber fester als Baumwolle: Nylon. Hergestellt hatte Carothers die künstliche Seide aus Hexamethyldiamin und Adipinsäure. Dabei stellte er fest, dass die Fäden durch nachträgliches Strecken eine außergewöhnliche Festigkeit erreichen.

Als am 15. Mai 1940 erstmals Nylonstrümpfe auf dem amerikanischen Markt auftauchten, kam dies einer Sensation gleich. Allein in New York City wurden innerhalb weniger Stunden vier Millionen Paare verkauft, und nur wenige Monate nach der Markteinführung mussten die Produktionskapazitäten bereits erweitert werden.



Wallace Hume Carothers, Erfinder des Nylon

Nach dem 2. Weltkrieg ging der einzigartige Siegeszug des Produktes aus der Retorte unaufhaltsam weiter: Nylonstrümpfe, Coca Cola und Lucky Strike wurden zu Statussymbolen, die eine neue Ära des Massenkonsums einläuteten. Damit war das Potenzial des Nylons aber lange noch nicht ausgeschöpft. Vielmehr eröffnete die vollsynthetische Faser der Textilindustrie in nahezu allen Bereichen neue Anwendungsmöglichkeiten.

Nahezu zeitgleich mit dem Amerikaner Carothers hatte auch ein deutscher Chemiker, Dr. Paul Schlack, an Polyamiden gearbeitet. Als Ausgangssubstanz verwendete er jedoch das Caprolactam, das er im Januar 1938 zusammen mit einer kleinen Menge Aminocaprönsäurehydrochlorid und einer Spur Wasser in einem Bombenofen auf 240 °C erhitzt hatte. Daraus erhielt er ein Produkt, das in seinen Eigenschaften dem Nylon völlig adäquat war: Perlon. Eine Lücke im amerikanischen Patent hatte Schlacks Erfindung zu weltweitem Erfolg verholfen. So hatte Carothers behauptet, dass sich Superpolyamid aus Caprolactam nicht herstellen lasse – ein folgenschwerer Irrtum! Dennoch kam es zu einer gütlichen Einigung. Da die Eigenschaften von Nylon und Perlon praktisch identisch waren, schlossen die beteiligten Unternehmen in Deutschland und den USA einen Vertrag über die Verwertung der Verfah-

ren, der später einen vollständigen Patentaustausch sowie eine Aufteilung der Absatzgebiete mit sich brachte.

Bereits 1939 brachte die deutsche chemische Industrie Perlon auf den Markt. Größter Abnehmer wurde aber bald die Rüstungsindustrie, die großen Bedarf an Fallschirmseide hatte. So sprangen während des 2. Weltkrieges deutsche Soldaten mit Perlon-Schirmen, amerikanische dagegen mit Nylon-Schirmen vom Himmel. Ähnlich wie beim Nylon setzte der Perlon-Boom erst richtig in der Nachkriegsära ein. Des Weiteren stellte sich bald heraus, dass sich aus Carothers und Schlacks Erfindung nicht nur Fasern, sondern auch komplexe Spritzgussteile herstellen lassen. Die ersten Zahnkränze aus Polyamid wurden 1966 auf der Hannover-Messe vorgestellt.

Bevor auf die zweite Kunststoffrevolution eingegangen wird, sollen in den nachfolgenden Kapiteln die weiteren Highlights der ersten Revolution chronologisch gestreift werden.

Chemiefasern: Vom Autoreifen zur Mikrofaser

1935 Reifencord

In den dreißiger Jahren machte das Bestreben der Industrie, klassische Produkte aus Naturstoffen durch synthetische Produkte zu ersetzen, auch vor dem Automobilssektor nicht mehr Halt. So stellte ein deutscher Reifenhersteller bereits 1933 einen Autoreifen aus dem noch relativ neuen synthetischen Kautschuk Buna her. Nur zwei Jahre später tauchte der erste Reifencord aus synthetischen Fasern auf. Ein technisch wichtiger Meilenstein war der Bau einer Doppeldraht-Zwirnmaschine für Fasern aus Reyon im Jahre 1935. Sie ermöglichte es erstmals, bei einem Spindelumlauflauf zwei Drehungen in den Faden einzubringen. Das Prinzip war seit Mitte des 19. Jahrhunderts zwar bekannt, aber erst mit der Erfindung der so genannten Speicherscheibe im Jahre 1930 wurde es technisch möglich, Doppeldrahtzwirnmaschinen industriell einzusetzen.

1937 Elasthan

Die Herstellung der ersten elastischen Chemiefaser auf der Basis von Polyurethan war ein weiterer bedeutender Meilenstein in der Entwicklung der Chemiefaser. Die hervorstechende Eigenschaft dieser Faser ist ihre Elastizität, die ihr zu dem Namen Elasthan verhalf. Verglichen mit Gummi ist Elasthan reißfester, um ein Drittel leichter und darüber hinaus wesentlich haltbarer. Dennoch hielt das Elasthan erst rund 25 Jahre später unter den Namen Lycra und Dorlastan Einzug in die Textilbranche, wo es zur Herstellung von Miederwaren, Sport- und Badebekleidung sowie Strümpfen verwendet wurde. Insbesondere aus dem Bereich der Sportbekleidung ist das Elasthan heute nicht mehr wegzudenken.

1941 Polyester

Carothers, der Entdecker des Nylons, hatte über Polyester einst ein vernichtendes Urteil gefällt: Für Kunstseide ungeeignet. Die englischen Chemiker John R. Whinfield und James T. Dickson wollten es indessen genauer wissen und entschlossen sich zu einer Vorgehensweise, die sich für die damalige Zeit schlicht utopisch anhörte: Anstatt in hunderten von Reaktionen eine Substanz nach der anderen zu testen, entwarfen sie ein Polyester-Riesenmolekül mit positiven Fasereigenschaften zunächst auf dem Papier. Aus der vorliegenden Struktur folgerten sie wiederum, dass »nur die Terephthalsäure zusammen mit Glykolen einen faserbildenden Polyester ergeben« könne. Gesagt, getan – als die beiden die genannten Komponenten aufeinander einwirken ließen, erhielten sie eine neuartige Faser, die sich hervorragend verstrecken ließ und über eine hohe Knitter- und Reißfestigkeit verfügt. Damit hatten Whinfield und Dickson zugleich das Fundament für die moderne synthetische Chemie geschaffen. Die industrielle Produktion des nach der Terephthalsäure benannten »Terrylen« begann 1953.

1941 Polyacrylnitril (PAN)

Die Suche nach Möglichkeiten, dem Kunststoff Polyacrylnitril (PAN) brauchbare Fäden abzurufen, hat den Chemikern viel Kopferbrechen bereitet. Da das PAN jedes dargebotene Lösungsmittel hartnäckig verabscheute, war an ein Verspinnen des Kunststoffs

einfach nicht zu denken. Einer, der sich nicht geschlagen gab, war der deutsche Chemiker Herbert Rein. Im Jahre 1941 hatte er im Dimethylformamid (DMF) ein passendes Lösungsmittel gefunden.

Nicht nur in Deutschland, sondern auch in den USA und in Japan hatten Chemiker zu dieser Zeit fieberhaft nach einem passenden Elixier gesucht, wobei den Amerikanern in den Jahren 1942/43 Erfolg beschieden war. So wurden in den USA sofort großtechnische Spinnversuche unternommen, während in Deutschland der Bombenkrieg die Arbeit an der PAN-Faser zunächst unterbrach.

Dennoch hatten die Chemiker diesseits und jenseits des Atlantiks unabhängig voneinander die Basis für den Nachkriegserfolg der Faser geschaffen. Die Amerikaner führten die PAN-Faser 1950 unter dem Namen »Orlon« auf dem Markt ein, Deutschland zog 1954 mit »Dralon« nach. PAN, das inzwischen nicht nur nass, sondern auch trocken versponnen wird, kommt heute nicht nur im Bekleidungsbereich, sondern auch auf dem breiten Sektor der Heim- und Haustextilien zum Einsatz.

1965 Spinnvlies

Ursprünglich wollte der deutsche Chemiker Dr. Carl Nottebohm ein synthetisches Leder entwickeln, doch dann kam alles anders. 1948 fand er »im Vorbeigehen« einen Weg, textile Flächen direkt aus Fasern herzustellen – die Vliesstoffe. Die ersten Marken waren »Vlieseline« (Einlagestoffe für die Bekleidungsindustrie) und »Vileda« (Haushalts- und Reinigungstücher).

Mit der Einführung des so genannten Spinnvliesverfahrens im Jahre 1965 wurde schließlich die gesamte industrielle Textilfertigung revolutioniert. Dabei wird ein polymeres Granulat – zum Beispiel Polyester – geschmolzen und durch Spinn Düsen gepresst. Die dabei entstehenden Endlosfasern werden abgekühlt und auf einem Träger zu einem gleichmäßigen Flor geformt. Vliesstoffe bestehen zu einem großen Teil aus Luft, die innerhalb des Fasergewebes eingeschlossen ist. Diese Eigenschaft macht sie zu hervorragenden Kälteisolatoren, weshalb Textilien aus Spinnvlies insbesondere beim Einsatz in polaren Gegenden und im Hochgebirge favorisiert werden.

1980 Mikrofasern

Die Mikrofaser verbindet den Vorteil der heutigen Polyesterfäden mit den Eigenschaften äußerst feiner Fäden. Das Ergebnis ist ein Stoff, der natürliche Grenzen überspringt: Mikrofasern sind hundertmal feiner als ein Menschenhaar, und 10 000 Meter wiegen noch nicht einmal ein Gramm. Nur knapp 30 Kilo eines solchen Fadens wären notwendig, um die Entfernung zum Mond zu überbrücken. Deshalb gehört die Mikrofaser zu den interessantesten Materialinnovationen der jüngeren Zeit.

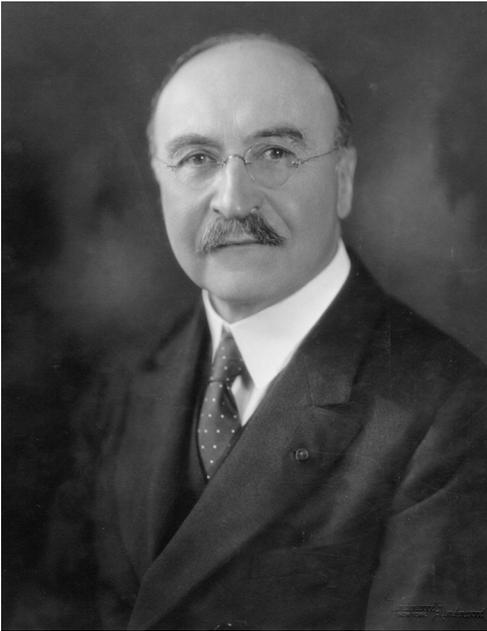
Ursprünglich hatte man Mikrofasern für Funktionsbekleidung im Hochleistungssport entwickelt, denn die hohe Dichte von Fäden bei geringem Gewicht bedeutet eine hohe Anzahl von Luftkammern und Poren, was der Hautatmung und Thermoregulierung des Körpers entgegenkommt. Bald darauf erkannten jedoch die Modeschöpfer das Potenzial der Mikrofaser, die sich problemlos auch mit anderen Chemiefasern kombinieren lässt. Mischungen von Mikrofasern mit Seide, Wolle, Baumwolle oder Viskose haben dazu geführt, dass über 75 % dieser Materialien heute für modische Bekleidung eingesetzt werden.

Klebstoffe: Von der Fokker zur Chipkarte

1909 Phenolharze

Klebstoffe benutzten die Menschen bereits in vorchristlicher Zeit. Von den Sumerern ist beispielsweise bekannt, dass sie um 3000 v. Chr. einen Leim, den sie SE.GIN nannten, aus tierischen Häuten gewannen. Etwa um 1500 v. Chr. verwendeten die Ägypter tierische Leime für Furnierarbeiten. Zeugnis von dieser Epoche legt eine Tafel Hautleim ab, die im Grab des Königs Tut-ench-Amun gefunden wurde. Im alten Griechenland gab es bereits den Beruf des Leimsieders (Kellopsos), und auch die Römer verwendeten einen Leim (Glutinum). Die erste Leimfabrik nahm 1690 in Holland ihren Betrieb auf, während Ferdinand Sichel 1889 den ersten gebrauchsfertigen Pflanzenleim vorstellte.

Das Zeitalter der Klebstoffe auf der Basis synthetischer Rohstoffe begann aber erst 1909, als Leo Hendrik Baekeland ein Verfahren zur Phenolharz-Härtung zum Patent anmeldete. Noch im selben Jahr wurden die Flügel der Fokker erstmals mit Phenolharzen



Leo Hendrik Baekeland, Erfinder der Phenolharzhärtung

geklebt. Zur Herstellung des Klebers hatte Baekeland Phenol und Formaldehyd miteinander reagieren lassen, eine Reaktion, an der sich zuvor zahlreiche andere Chemiker vergeblich versucht hatten. Einer von diesen war Adolf von Baeyer, der 1872 aus beiden Stoffen bereits ein künstliches Harz herstellte. Weil ihm das Produkt aber zu unansehnlich war und darüber hinaus scheußlich klebte, ließ er rasch die Finger davon und wandte sich einem attraktiveren Produkt zu – dem blauen Indigo.

1920–1931 Kaurit-Leime

Ähnlich wie Baeyer erging es dem Chemiker C. Goldschmidt, als er 1896 ein klebriges Kondensat aus Formaldehyd und Harnstoff in den Händen hielt, dessen Klebstoff-Natur erst 1920 von John erkannt wurde. Im Jahre 1931 gelang es der chemischen Industrie, aus dem Kondensat einen Klebstoff herzustellen, der unter dem Namen Kaurit auf den Markt kam. Eine hohe Festigkeit in Verbin-

dung mit einer guten Verarbeitbarkeit ließen ihn bald zu einem der führenden vollsynthetischen Klebstoffe werden. Kaurit wird heute noch zur Verleimung von Massivholz, Furnierplatten und Holzspanplatten eingesetzt.

1943 Dispersionshaftklebstoffe

Mit dem Begriff Dispersion bezeichnet der Chemiker eine extrem feine Verteilung eines Stoffes in einem anderen, wobei die Teilchen sich nicht durch die Schwerkraft trennen, sondern dauerhaft in dem anderen Medium schweben. Auch die historischen Kleister waren nichts anderes als Dispersionen von Stoffen wie Mehl, Baumharz oder Knochen in Wasser. Die erstmals in einem Patent aus dem Jahre 1943 beschriebenen und Anfang der fünfziger Jahre auf dem Markt eingeführten Dispersionshaftklebstoffe basierten dagegen auf Kunstharz-Dispersionen in Wasser. Sie läuteten eine neu Ära der Klebtechnik ein.

Dispersionshaftklebstoffe verfügen über große Adhäsions- und kleine Kohäsionskräfte, die sie bereits unter leichtem Druck auf den verschiedensten Oberflächen sofort haften lassen. Ihre heutige Domäne sind Folienetiketten, selbstklebende Bänder, doppelseitige Klebebänder und Isolierbänder.

1958–1960 Cyanacrylat-Klebstoffe

Ein bedeutender Meilenstein in der Geschichte der Klebstoffe sind die so genannten Sofortkleber (auch Blitz- oder Sekundenkleber). Sie basierten auf Cyanacrylat und kamen 1958 erstmals in den USA unter dem Namen »Eastman 910« auf den Markt, gefolgt vom deutschen »Sicomet«, welches ab 1960 erhältlich war. Beide gehörten zu den Einkomponenten-Klebstoffen und zeichneten sich durch eine rasche Aushärtung auf nahezu allen Oberflächen unterschiedlichster Beschaffenheit aus. Damit war der Klebstoffindustrie ein entscheidender Durchbruch im Bereich der Metall- und Kunststoffverbindungen gelungen.

Cyanacrylat-Klebstoffe, die selbst poröse Oberflächen fest miteinander verbinden, werden nicht nur von Hobbybastlern geschätzt, sondern kommen heute auch in technologisch anspruchsvollen Gebieten wie der Elektronik-Industrie zum Verkleben von Chips, in der

Mess- und Regeltechnik, bei optischen Geräten und Uhren sowie in der Zahntechnik zum Einsatz. Anwendungen, die vor einigen Jahren noch utopisch anmuteten, finden sich in der Medizintechnik. So lassen sich mit Cyanacrylat-Klebstoffen nicht nur Hautgewebe kleben, sondern selbst feinste Nervenfasern neurochirurgisch miteinander verbinden.

1970 UV-vernetzbare Klebstoffe

Um 1970 konnten erstmals Klebstoffe auf der Basis von Acrylat-Formulierungen hergestellt werden, bei denen sich die Aushärtung gezielt mit Hilfe von ultraviolettem Licht realisieren ließ. Diese so genannten lichthärtenden Polymere werden heute in den verschiedensten Industrien, zum Beispiel bei der Herstellung von CDs, Chipkarten und Elektronikteilen, eingesetzt.

1979 Leitfähige Klebstoffe

Seit längerem war bekannt, dass durch die Zugabe elektrisch leitfähiger Partikel – zum Beispiel feinverteilter Nickel-, Silber- oder Goldkörnchen – Klebstoffen metallische Eigenschaften verliehen werden können. Konkrete Anwendungen brachte aber erst vor gut 20 Jahren die aufstrebende High-Tech-Industrie, wo mit Silberpartikeln beladene Epoxidharze zum Einsatz gelangten. Wärmeempfindlichen Hochleistungsbausteinen muss dank der Chemie heute nicht mehr mit dem Lötkolben zu Leibe gerückt werden. Ein im wahrsten Sinne des Wortes bodenständige Anwendung ist die ableitfähige Verklebung von Bodenbelägen.

1981 Lösemittelfreie Klebstoffe

Lösemittelfreie Klebstoffe basieren auf feinsten Polymerpartikeln, die im »natürlichsten« aller Lösungsmittel, Wasser, verteilt sind. Sie sind umweltfreundlich, weisen keinerlei Geruchsbelästigung auf und erfreuen sich einer wachsenden Beliebtheit. Auf »natürliche« Materialien wie Holz, Papier oder Textilien aufgebracht, entfalten sie die gleiche Klebewirkung wie die lösemittelhaltigen Klebstoffe. Wegen der langsameren Verdunstung des Wassers im Vergleich zu organischen Lösungsmitteln muss allerdings eine

längere Trocknungszeit in Kauf genommen werden. Darüber hinaus müssen die Klebestellen vor Frost geschützt werden.

Kunststoffe in der Informationstechnik: Von Großmutter's Kintopp zum Flüssigkristall

1869 Celluloid

Ursprünglich hatte er lediglich nach einem widerstandsfähigen Material für Buchdruckwalzen gesucht. Dass er im Zuge seiner Entdeckungsreise Elefanten das Leben rettete und den Bildern das Laufen beibrachte, hätte er in seinen kühnsten Träumen nie für möglich gehalten. Die Rede ist von John Wesley Hyatt, dem amerikanischen Erfinder, Drucker und Vater der Kunststoffe schlechthin.

Man kann heute darüber spekulieren, ob es eine Ausschreibung der Firma Phelan & Collendar war, die Hyatts Ehrgeiz beflügelte. Das Unternehmen, Hersteller von Billardkugeln aus Elfenbein, hatte demjenigen 10 000 Dollar versprochen, der ein Ersatzmaterial für Elfenbein erfinden würde, weil in den 1860er Jahren der Preis für Elfenbein aufgrund der hohen Nachfrage ins Astronomi-



John Wesley Hyatt, Erfinder des Celluloids

sche geklettert war und es schließlich immer schwerer wurde, das »weiße Gold« zu beschaffen. In den Jahren zuvor hatten zweifelhafte Jäger und organisierte Verbrecher Jahr für Jahr rund 70 000 afrikanische Elefanten erlegt, was dazu führte, dass die Tiere innerhalb nur weniger Jahre vom Aussterben bedroht waren.

Als Hyatt im Jahre 1869 gewöhnliches Papier mit Salpetersäure durchfeuchtete und die entstandene Nitrocellulose mit Campher verknetete, erhielt er einen hornartigen Stoff, der sich sehr gut verformen ließ: Celluloid. Bald sollte sich herausstellen, dass man aus diesem Material auch wesentlich kostbarere Dinge als Buchdruckwalzen wie Perlen, Billardkugeln, Schmucksachen und Spielzeuge fertigen konnte. Im Zuge dieser Entwicklung verdrängte das Celluloid Horn und Gummi aus der Industrie der Käämme und Schirmgriffe.

Einen geradezu sensationellen Aufschwung erlebte die noch junge Celluloidindustrie, als George Eastman, Chef des Kodak-Konzerns, im Jahre 1884 den fotografischen Film auf Celluloidbasis zum Patent anmeldete. Nach einer stürmischen Entwicklung trug der Celluloid-Film den Sieg über die fotografische Platte davon. Eine andere Anwendung zeichnete sich in der aufkeimenden Filmindustrie ab, deren jährlicher Bedarf rasch auf einige Zehntausend Kilometer Celluloid-Film kletterte. Bereits kurz nach der Jahrhundertwende zählte der Besuch von Lichtspielhäusern in Europa und Amerika zu den beliebtesten Freizeitvergnügen.

Ihren Höhepunkt erreichte die Celluloid-Produktion mit 50 000 Jahrestonnen im Jahre 1930. Danach brach die Ära der modernen Polymere an, die das Celluloid nach und nach verdrängten.

1900–1942 Silicone

Bei Versuchen, kunststoffartige Verbindungen nicht aus Kohlenstoff, sondern aus Siliciumketten aufzubauen, entdeckte der englische Chemiker Frederic Stanley Kipping im Jahre 1900 die Familie der Silicone. Silicium ist das zweithäufigste Element der oberen Erdkruste und kommt buchstäblich wie Sand an Meer vor, der bekanntlich aus Siliciumdioxid besteht. Möglicherweise wurde Kipping durch den deutschen Chemiker Friedrich Wöhler inspiriert, der rund 50 Jahre zuvor spekuliert hatte, dass man eines Tages aus Siliciumverbindungen künstliche Lebewesen erschaffen könne.

Aus unerklärlichen Gründen wertete Kipping seine Entdeckung aber nicht weiter aus. Als im Jahre 1942 die industrielle Produktion von Siliconen einsetzte, wurden die neuen Materialien wegen ihrer herausragenden Materialeigenschaften noch während des Zweiten Weltkriegs als hitzebeständige Schmierstoffe und Isoliermassen eingesetzt. In den vergangenen fünf Jahrzehnten konnte die Silicone nahezu alle Branchen erobern. Das Spektrum reicht von Dichtstoffen in der Elektroindustrie über Autopflegemittel bis hin zur Medizintechnik, wo Silicone wegen ihrer exzellenten Körperverträglichkeit in Form künstlicher Adern oder als Herzklappenventile zum Einsatz gelangen.

1902 Laccain

Weitaus weniger Erfinderglück als Hyatt hatte der deutsche Chemiker Carl Heinrich Meyer, der Erfinder des Laccains, eines zu den Phenol-Formaldehydharzen gehörenden Novolaks. Wie zahlreiche andere Forscher suchte Meyer zu jener Zeit nach einem geeigneten Ersatz für ein teures Naturprodukt namens Schellack. Hierbei handelt es sich um das Stoffwechselprodukt der Lackschildlaus, die auf einigen harzreichen asiatischen Baumarten beheimatet ist. Mit Hilfe von Schellack wurden Möbel poliert, Briefe versiegelt, Hüte gesteift, elektrische Geräte isoliert und später auch Schallplatten hergestellt.

Bereits nach relativ kurzer Forschungstätigkeit wurde Meyer fündig. In einem im Frühjahr 1902 angemeldeten Patent hatte er ein »Verfahren zur Herstellung eines dem Schellack ähnlichen harzartigen Kondensationsproduktes aus Phenol und Formaldehydlösung« beschrieben. Das auf den Namen Laccain getaufte Produkt verkaufte sich in den ersten Jahren gut, bevor sich Beschwerden über den strengen Phenolgeruch und die Nachdunkelung von Möbelpolituren häuften. Als Meyers Versuche zur Produktverbesserung nicht von Erfolg gekrönt waren, verschwand das Laccain nach einigen Jahren wieder vom Markt. Obwohl Meyer der geschäftliche Erfolg letztendlich versagt blieb, hatten seine Pionierarbeiten der weiteren Entwicklung von Phenolharzen entscheidende Impulse verliehen.

1907–1909 Bakelit

Aufbauend auf die von Carl Heinrich Meyer erzielten Ergebnisse mit Phenolharzen wollte der gebürtige Belgier Leo Hendrik Baekeland der Natur der Reaktion von Phenol mit Formaldehyd, welche die Chemiker trotz unentwegter Versuche seit 1872 immer wieder an der Nase herumgeführt hatte, nochmals auf den Grund gehen. Minutiös wiederholte er die Experimente seiner Vorgänger, machte kleine Änderungen und notierte sich sämtliche Details. Im Jahre 1907 konnte er schließlich zeigen, wie man Phenole und Formaldehyd durch Anwendung basischer Katalysatoren und durch Wärme-Druck-Härtung zu einem brauchbaren Kunstharz umsetzen konnte, in das sich obendrein Füllstoffe einarbeiten ließen. Bei der nachfolgenden Formulierung seines Patentess ließ er sich Zeit und schützte buchstäblich jeden noch so kleinen Schritt. Zu groß war seine Angst, dass Nachahmer, die er bereits in den Startlöchern witterte, gnadenlos über seine Erfindung herfallen würden. Erst im Jahre 1909 stellte Baekeland seine Ergebnisse der Öffentlichkeit vor. Somit wurde er zum Erfinder des ersten »richtigen« Kunststoffes – des später nach ihm benannten Bakelit.

1907–1935 Farbfilm

Sie hatten 1895 das erste Kino eröffnet und wollten nun auch Farbe auf die Leinwand bringen: Gemeint sind die französischen Brüder Louis Jean und Auguste Lumière, die im Jahre 1907 erstmals ein Verfahren zur Herstellung von farbigen Fotografien vorstellten, an dem sie bereits seit 1903 herumtüftelten. Ihr Prinzip basierte auf rot, grün und blau eingefärbten Stärkekörnchen, die auf Glasplatten aufgebracht als Lichtfilter dienten. Dieses Verfahren fußte auf Ideen des englischen Physikers J. C. Maxwell (1855) und des Franzosen D. du Hauron (1862). Auf dem Prinzip des additiven Rasterverfahrens basierte auch die erste Agfa-Farbrasterplatte (1916) und nachfolgend der Agfacolor-Farbrasterfilm (1932). Parallel zu diesen Entwicklungen wurden die ebenfalls additiven Linsenrasterverfahren – Kodak (1928) und Agfa (1931) – für die Amateurkinematografie ausgearbeitet.

Den großen Durchbruch bescherte indessen das Agfacolor-Verfahren im Jahre 1935 auf der Grundlage der subtraktiven Farb-

mischung, bei dem die Farbkuppler in die drei Schichten des Films eingearbeitet waren. Das hatte unter anderem zur Folge, dass die Entwicklung nur noch aus einem einzigen Arbeitsgang bestand. Bereits ein Jahr später gelang Chemikern der nächste große Wurf. Sie stellten fest, dass sich mit Hilfe feinsten Goldkörnchen in der fotografischen Schicht deren Empfindlichkeit ohne Kornvergrößerung auf das Vierfache steigern lässt. Dieser so genannte Goldefekt blieb bis 1945 ein streng gehütetes Geheimnis.

1928–1934 Tonband

Die Ursprünge des Tonbands reichen bis in das 19. Jahrhundert zurück. Die erste Idee, den Magnetismus zum Aufzeichnen von Tönen zu verwenden, hatte 1898 der dänische Physiker Valdemar Poulsen. Er verwendete hierzu einen Stahldraht, der an einem Elektromagneten vorbeilief. Die erste kommerzielle Nutzung gab es aber erst 30 Jahre später, als der deutsche Techniker Fritz Pfleumer den Draht durch ein Band ersetzte und die Erfindung zum Patent anmeldete.

Dem Stahlband war aber nur ein kurzes Leben vergönnt, denn die Fortschritte in der Chemie hatten inzwischen die Grundlage für ein wesentlich verbessertes Verfahren geschaffen. So hatte sich herausgestellt, dass bei der thermischen Zersetzung von Eisencarbonyl ein äußerst feines Metallpulver anfiel, welches sich in einer Kunststoff-Folie, die als Trägermaterial diente, hervorragend verteilen ließ. Im Jahre 1934 wurden von der chemischen Industrie in Deutschland die ersten 50 000 Meter Tonband ausgeliefert. Sein Debüt gab das Tonbandgerät ein Jahr später auf der Funkausstellung in Berlin.

1953 Makrolon

Die Idee hielten seine Forscherkollegen für ziemlich verrückt: Als der Chemiker Dr. Hermann Schnell im Jahre 1953 seine bereits früher begonnenen Arbeiten über Polycarbonate fortsetzte, wollte niemand ernsthaft daran glauben, dass die empfindlichen Ester der Kohlensäure eine geeignete Grundlage für stabile Kunststoffe abgeben könnten. Schnell ließ sich nicht beirren. Er fand noch im gleichen Jahr heraus, dass ein schon seit langem bekanntes Kon-

densationsprodukt aus Phenol und Aceton, das Dian, mit Hilfe von Phosgen in Polykohensäureester überführt werden konnte. Diese polymerisierten Ester wiesen als Kunststoff eine Reihe von unerwartet guten Eigenschaften auf, mit denen niemand rechnen konnte. Fünf Jahre später gelang es schließlich, den Polycarbonaten die noch fehlenden Eigenschaften eines gut verarbeitbaren Kunststoffs zu verleihen und das Produkt unter dem Namen Makrolon auf den Markt zu bringen. Makrolon ist bis 135 °C formbeständig und büßt seine Schlagzähigkeit erst unter Weltraumbedingungen von -100 °C ein. Als 1985/86 das frühere Glasdach des Kölner Hauptbahnhofs mit 13 500 Quadratmetern Makrolonplatten neu eingedeckt wurde, kam das Produkt in die Schlagzeilen. In jüngster Zeit hat das Makrolon den Markt der Compact Disks erobert: Rund 75 % aller CD-Platten in Europa werden inzwischen aus Makrolon hergestellt.

1973 Flüssigkristalle

Die Grundlagen der modernen Flüssigkristalldisplays gehen auf eine Entdeckung des österreichischen Botanikers Friedrich Reinitzer zurück, der im Jahre 1888 ein seltsames Verhalten des Cholesterin-Benzozats beobachtete. Reinitzer sah, dass Cholesterin-Benzozat bei 145 °C schmilzt, aber nicht direkt in eine klare Schmelze übergeht, sondern zunächst in eine milchig-trübe Flüssigkeit. Erst beim weiteren Erhitzen auf 179 °C wurde die Schmelze klar und durchsichtig. Kurze Zeit später stellte der deutsche Physiker Otto Lehmann fest, dass es sich hierbei um eine besondere Phase handelt. Welche anwendungstechnische Bedeutung Stoffe, die solche Phasen ausbilden können, einmal haben würden, konnte keiner der beteiligten Wissenschaftler auch nur erahnen.

Erst zu Beginn der 1960er Jahre machte sich bei der Radio Corporation of America (RCA) eine Forschergruppe Gedanken über mögliche Anwendungen von Flüssigkristallen. Richtig spannend wurde es, als auf der ersten wissenschaftlichen Tagung an der Kent State University in Kent/Ohio Vorschläge laut wurden, Flüssigkristalle in elektrooptischen Anzeigen einzusetzen. Ein deutsches Chemieunternehmen hat das Potenzial dieser eigenartigen Stoffklasse auf dem Gebiet der Displaytechniken bereits vor 30 Jahren erkannt und die weiteren Entwicklungen maßgeblich beeinflusst.

Heute finden sich Flüssigkristallanzeigen in vielen Bereichen des täglichen Lebens wieder. In Form von Flachbildschirmen – nicht nur in Notebook-PCs, sondern zunehmend auch in Desktop-PCs – machten sie der Braun'schen Röhre ernsthaft Konkurrenz. Sogar die Spielwarenindustrie kam nicht zu kurz: Ohne Flüssigkristallanzeige kein Tamagotchi!

Kunststoffe als Werkstoffe

1909–1929 Synthetischer Kautschuk

Kautschuk, der »Vater« aller Kunststoffe, ist benannt nach dem indianischen Wort »cahachu« für »weinender Baum«. Seine Eigenschaften waren den Mayas bereits im 11. Jahrhundert bekannt. So fanden Archäologen bei Ausgrabungen historische Darstellungen von Gummibällen und Ballspielen, und als Christoph Columbus während seiner zweiten Amerikareise auf diese Bälle aufmerksam wurde, transportierte er erstmals Kautschuk von Haiti nach Europa. Gegen Ende des 18. Jahrhunderts wurden in London und Paris Kautschukwürfel öffentlich feil geboten, und der englische Chemiker Priestley demonstrierte einem staunenden Publikum, dass man mit solchen Würfeln Bleistiftstriche wegradieren kann. Folgerichtig nannten die Briten den Radiergummi »India Rubber«. Bis ins 20. Jahrhundert hinein blieb der Gummibaum »Hevea brasiliensis«, der ursprünglich nur im Amazonasgebiet, später aber in nahezu allen Tropenländern angepflanzt wurde, die einzige Rohstoffquelle.

Die stürmisch einsetzende Motorisierung zu Beginn des 20. Jahrhunderts führte zu einer dramatisch gestiegenen Nachfrage und zu einer Verknappung des Naturkautschuks auf dem Weltmarkt. Als die Preise im Jahre 1906 mit bis zu 28 Mark pro Kilogramm dem Wochenlohn eines Industriearbeiters entsprachen, entschloss sich ein deutsches Chemieunternehmen zu einem ungewöhnlichen Schritt und schrieb einen Preis in Höhe von 20 000 Mark für denjenigen seiner Chemiker aus, dem es innerhalb von drei Jahren gelingen würde, ein Verfahren zur Herstellung von Kautschuk oder eines Ersatzes zu entwickeln. Fritz Hofmann, ein Chemiker, der sich eigentlich auf Pharmaka spezialisiert hatte, nahm die Herausforderung an. Zu der Zeit war lediglich

bekannt, dass der Naturkautschuk aus langen Ketten aneinander gereihter Isopren-Moleküle besteht.

Hofmann entschloss sich, zunächst reines Isopren zu synthetisieren und es dann zu polymerisieren. Die Arbeiten waren rechtzeitig vor Ablauf der Frist von Erfolg gekrönt. Im August 1909 hielt er das Polymerisat des Isoprens in den Händen, das unabhängige Prüfer als »veritablen Kautschuk« charakterisierten. Die Produktion des ersten synthetischen Kautschuks wurde im Jahre 1919 allerdings wieder eingestellt, nachdem es nach dem Ersten Weltkrieg zu einem dramatischen Preisverfall für Naturkautschuk gekommen war. Hinzu kam, dass die englischen Chemiker Francis Edward Matthews und Edward Halford Strange im Jahre 1910 entdeckt hatten, dass sich Butadien in Gegenwart von Alkalimetallen wie Natrium rasch polymerisieren ließ. Damit schlug die Geburtsstunde des Buna (Butadien-Natrium), der dem synthetischen Kautschuk ab 1929 zu einer steilen Karriere verhelfen sollte. Weitere Produkt- und Verfahrensverbesserungen führten von diesem Zeitpunkt an zum so genannten »Buchstaben-Buna« – einem Mischpolymerisat von Butadien mit Styrol und anderen Monomeren.

1912 PVC

Wenn er nur im Entferntesten geahnt hätte, was er in den Händen hielt, wäre der französische Chemiker Henri Victor Regnault in die Annalen der Kunststoffchemie eingegangen. Seine im Jahre 1835 durchgeführten Versuche, in der er alkoholische Kalilauge auf diverse organische Substanzen einwirken ließ, hatten in einem Kölbchen, das auf einer Fensterbank dem Sonnenlicht ausgesetzt war, zu einem weißen Niederschlag geführt, mit dem Regnault nichts anzufangen wusste. Ohne es zu wissen, hatte er in seinem Labor in Lyon erstmals PVC hergestellt. Gewissenhaft notierte Regnault seine Beobachtung und überließ alles Weitere dem Schicksal.

Erst knapp 80 Jahre später, am 11. Oktober 1912, hatte der Frankfurter Chemiker Dr. Fritz Klatt ein patentreifes Verfahren entwickelt, das die Synthese des Vinylchlorids, der Vorstufe des PVC, aus Acetylen und Salzsäure in Gegenwart von Salzen des Quecksilbers zum Gegenstand hatte. Die Herstellung von Acetylen war denkbar einfach: Man brauchte nur Wasser auf Carbid einwirken zu lassen, ein Prinzip, das zu Klattes Zeiten jeder Radfahrer von der Carbid-

lampe her kannte. Nachdem Klatté das Vinylchlorid isoliert hatte, beobachtete er kurze Zeit später, dass sich die bei Zimmertemperatur gasförmige Verbindung unter der Einwirkung von Hitze oder Licht zu PVC polymerisieren lässt. Ähnlich wie beim synthetischen Kautschuk ebneten erst die ab den dreißiger Jahren begonnenen industriellen Entwicklungen der weiteren Karriere des PVC den Weg, eines Kunststoffes, dem wir heute wegen seiner herausragenden Eigenschaften in beinahe allen Bereichen des täglichen Lebens auf Schritt und Tritt begegnen – und zwar nicht nur in Form von Fußbodenbelag.

1920–1930 Polystyrol

Die Vorgeschichte eines weiteren Meilensteins bei den Werkstoffen, des Polystyrols, weist in vielfacher Hinsicht Parallelen zum PVC auf. So wurde das Polymere bereits wiederholt von Chemikern des 19. Jahrhunderts beschrieben, aber erst der deutsche Chemiker Hermann Staudinger erkannte im Jahre 1920, dass das Produkt aus kettenförmig aneinander gereihten Styrol-Molekülen bestand. Auf Staudingers Erkenntnissen aufbauend konnten Chemiker in Ludwigshafen bis 1929 ein Syntheseverfahren entwickeln, das ein Jahr später die Ära der großtechnischen Produktion einläutete. Der eigentliche Siegeszug des Polystyrols setzte 1951 ein, als es unter dem Warenzeichen »Styropor« auf den Markt kam.

1933 Polyethylen

Der 24. März 1933 war ein ganz besonderes Datum in der Geschichte der Polymerchemie. In England wollten zwei junge Wissenschaftler – Reginald Oswald Gibson und Eric William Fawcett – wissen, wie sich der einfachste ungesättigte Kohlenwasserstoff, das Gas Ethylen, unter Überdruck verhält. Hierzu erhitzen sie in einer stählernen Bombe das Gas auf 170 °C und ließen den Druck im Innern des Behälters auf 1900 Atmosphären steigen. Als sie drei Tage später das Experiment beendeten, fanden sie im Innern des Behälters eine wachsartige Schicht vor. Es war die Geburtsstunde des Polyethylens! Ausgehend von diesem Experiment wurden in England bald Versuche unternommen, ein großtechnisches Verfahren zu entwickeln. 1939 waren die Vorbereitun-

gen soweit abgeschlossen, dass die großtechnische Produktion des Polyethylens begann.

Nach dem 2. Weltkrieg suchte der deutsche Chemiker Karl Ziegler nach geeigneten Katalysatoren, um die Polymerisation des Ethylens auch im Niederdruckbereich durchführen zu können. Als er es am 26. Oktober 1953 mit einem Aluminium/Zirkonium-Katalysator ausprobierte, hatte er doppeltes Glück: Die Niederdruck-Polymerisation war nicht nur erfolgreich verlaufen, sondern sie lieferte ihm zugleich ein Polyethylen, das dem Hochdruck-Polyethylen hinsichtlich der Elastizität und anderer mechanischer Eigenschaften deutlich überlegen war. Gemeinsam mit dem Mailänder Chemiker Giulio Natta, der ihm mit einem ganz ähnlichen Verfahren bei der Polymerisation des Polypropylens zuvorgekommen war, wurde er für seine Leistungen im Jahre 1963 mit dem Chemie-Nobelpreis ausgezeichnet.

Polyethylen kommt heute als umweltfreundlicher und wiederverwertbarer Werkstoff in nahezu allen Bereichen des täglichen Lebens – quasi von der Frischhaltefolie bis zur Mülltonne – zum Einsatz. Seinen ersten Massenmarkt eroberte das Niederdruck-Polyethylen in den fünfziger Jahren im Spielwarenbereich, in Gestalt des von der Wham-O-Toy Company herausgebrachten Hula-Hoop-Reifens.

1937–1941 Polyurethan

Als der deutsche Chemiker Otto Bayer in den dreißiger Jahren nach neuen Makromolekülen Ausschau hielt und anfangs, mit Isocyanaten zu experimentieren, hielten nicht wenige seiner Fachkollegen dies für ziemlich abwegig. Den Skeptikern konnte Bayer im Jahre 1937 eine Patentschrift unter die Nase halten, in der von einem »neuartigen und wertvollen hochmolekularen Produkt« die Rede war. Als »Backzutaten« hatte Bayer Isocyanate und Polyole zusammengebracht. Weil die Reichsstellen und die Wehrmacht im anschließend ausgebrochenen Zweiten Weltkrieg vorrangig nach neuen und besseren Kautschuk-Sorten suchten, wurden die Eigenschaften elastischer Polyurethan-Gießmassen untersucht. Einer dieser Versuche schlug fehl, dennoch öffnete das Ergebnis den Beteiligten die Augen für den Weg, den es einzuschlagen galt. So waren einige der Gussmassen derart mit Blasen durchsetzt, dass

die Prüfzelle sich zu einer ironischen Bemerkung hinreißen ließ: »Allenfalls brauchbar zur Herstellung von Emmentaler-Käse-Imitationen.« Otto Bayer zögerte nicht lange, um dem »Pseudo-Käse« auf die Schliche zu kommen. Indem er in nachfolgenden Versuchen die Kohlendioxidabspaltung, die zur Blasenbildung geführt hatte, durch Zugabe von Wasser zum Reaktionsgemisch absichtlich herbeiführte, fand er den Polyurethan-Schaumstoff. Als in den Kriegsjahren 1943/44 die ersten Gegenstände aus Polyurethan – Propellerblätter, Landeklappen und Schneekufen für Flugzeuge – zum Einsatz gelangten, war dies »geheime Kommandosache«. In den Nachkriegsjahren setzte dann der unaufhaltsame Siegeszug des Polyurethans ein, das aus unserem heutigen Leben beim besten Willen nicht mehr wegzudenken ist.

1951 Styropor

Mit einer gezielten »Schaumschlägerei« gelang dem Chemiker Fritz Stastny der erste große Wurf der Nachkriegsära. Seit 1949 arbeitete der Ludwigshafener an einem Verfahren zur Verschäumung des Polystyrols. Zwei Jahre später, als er das richtige Treibmittel und die beste Mischung gefunden hatte, waren seine Arbeiten von Erfolg gekrönt. Das einfache Herstellungsverfahren und die vielseitige Anwendung machten den neuen Schaumstoff schon bald zu einem der erfolgreichsten Kunststoffe. Zu 98 % aus Luft bestehend wird Styropor (Styrol + porös) heute vor allem in der Verpackungstechnik, Isolationstechnik, im Schwimmkörperbau, im Metallbau und im Metallguss eingesetzt. Die wohl spektakulärste Anwendung fand 1964 statt, als der im Hafen von Kuwait gesunkene Frachter »Al Kuwait« mit Hilfe von 2500 Kubikmetern Styropor, das man in die Laderäume gepumpt hatte, erfolgreich gehoben wurde. Eine Patentierung des Verfahrens scheiterte indes, da Walt Disney diese Idee bereits 1949 hatte: In einer Comic-Geschichte kommt Donald Duck auf die Idee, ein gesunkenes Schiff mit Ping-Pong-Bällen zu heben.

Generationswechsel: Die neuen Polymere

Bereits aus der Historie wird deutlich: Ohne geeignete Werkstoffe wären nicht nur die meisten Errungenschaften der Technik auf der Strecke geblieben. Vielmehr müssten wir auch im täglichen Leben auf nahezu sämtliche lieb gewordenen Gewohnheiten – von der Mobilität bis zur Schönheitspflege und vom Informationsbedarf bis hin zum Freizeitvergnügen – wohl oder übel verzichten. Denn polymere Werkstoffe sind nicht nur in Autokarosserien vertreten, vielmehr wirken sie in vielfältigster Weise auch hinter den Kulissen und haben in allen erdenklichen Bereichen vielen Entwicklungen erst zum technischen und wirtschaftlichen Durchbruch verholfen. »Die Erforschung neuer Werkstoffe gehört zu den innovativsten und wichtigsten Schlüsseltechnologien des 21. Jahrhunderts überhaupt«, heißt es in einer aktuellen Studie des US-Handelsministeriums. Welche Überraschungen polymere Werkstoffe noch bereithalten und wohin die Reise geht, zeigen die folgenden Beispiele.

