

Rolf Froböse
Klaus Jopp

Fußball, Fashion, Flachbildschirme

Die neueste
Kunststoffgeneration

ERLEBNIS
wissenschaft



Rolf Froböse und Klaus Jopp
Fußball, Fashion, Flachbildschirme

Erlebnis Wissenschaft bei WILEY-VCH

Audretsch, Jürgen (ed.)
Verschränkte Welt
Faszination der Quanten
2002, ISBN 3-527-40318-3

Bartels, Cornelia / Göllner, Heike /
Koolman, Jan / Maser, Edmund /
Röhm, Klaus-Heinrich
Tabletten, Tropfen und Tinkturen
2005, ISBN 3-527-30263-8

Emsley, John
Parfum, Portwein, PVC ...
Chemie im Alltag
2003, ISBN 3-527-30789-3

Emsley, John
Fritten, Fett und Faltencreme
Noch mehr Chemie im Alltag
2004, ISBN 3-527-31147-5

Emsley, John
Mörderische Elemente
Prominente Todesfälle
2006, ISBN 3-527-31500-4

Froböse, Gabriele / Froböse, Rolf
Lust und Liebe – alles nur Chemie?
2004, ISBN 3-527-30823-7

Froböse, Rolf / Jopp, Klaus
Fußball, Fashion, Flachbildschirme
Die neueste Kunststoffgeneration
2006, ISBN 3-527-31411-3

Froböse, Rolf
Mein Auto repariert sich selbst
Und andere Technologien von übermorgen
2004, ISBN 3-527-31168-8

Genz, Henning
Nichts als das Nichts
Die Physik des Vakuums
2004, ISBN 3-527-40319-1

Koolman, Jan / Moeller, Hans /
Röhm, Klaus-Heinrich (eds.)
Kaffee, Käse, Karies ...
Biochemie im Alltag
1998, ISBN 3-527-29530-5

Liedtke, Susanne / Popp, Jürgen
Laser, Licht und Leben
Techniken in der Medizin
2006, ISBN 3-527-40636-0

Morsch, Oliver
Licht und Materie
Eine physikalische Beziehungsgeschichte
2003, ISBN 3-527-30627-7

Morsch, Oliver
Sandburgen, Staus und Seifenblasen
2005, ISBN 3-527-31093-2

Reitz, Manfred
Auf der Fährte der Zeit
*Mit naturwissenschaftlichen Methoden
vergangene Rätsel entschlüsseln*
2003, ISBN 3-527-30711-7

Renneberg, Reinhard / Reich, Jens
Liebling, Du hast die Katze geklont!
Biotechnologie im Alltag
2004, ISBN 3-527-31075-4

Schwedt, Georg
Was ist wirklich drin?
Produkte aus dem Supermarkt
2006, ISBN 3-527-31437-7

Unger, Ekkehard
Auweia Chemie!
2004, ISBN 3-527-31238-2

Vowinkel, Bernd
**Maschinen mit Bewusstsein –
Wohin führt künstliche Intelligenz?**
2006, ISBN 3-527-40630-1

Voss – de Haan, Patrick
Physik auf der Spur
Kriminaltechnik heute
2005, ISBN 3-527-40516-X

Zankl, Heinrich
Nobelpreise
*Brisante Affären, umstrittene
Entscheidungen*
2005, ISBN 3-527-31182-3

Rolf Froböse und Klaus Jopp
Fußball, Fashion, Flachbildschirme

Die neueste Kunststoffgeneration



WILEY-
VCH

WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA

Autoren

Dr. Rolf Froböse
Ahornstr. 28
83512 Reitmehring

Dipl.-Chem. Klaus Jopp
WiWiTech
Stübeheide 82 f
22337 Hamburg

1. Auflage 2006

Alle Bücher von Wiley-VCH werden sorgfältig erarbeitet. Dennoch übernehmen Autoren, Herausgeber und Verlag in keinem Fall, einschließlich des vorliegenden Werkes, für die Richtigkeit von Angaben, Hinweisen und Ratschlägen sowie für eventuelle Druckfehler irgendeine Haftung

Bibliografische Information Der Deutschen Bibliothek

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <<http://dnb.ddb.de>> abrufbar.

© 2006 WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim

Alle Rechte, insbesondere die der Übersetzung in andere Sprachen, vorbehalten. Kein Teil dieses Buches darf ohne schriftliche Genehmigung des Verlages in irgendeiner Form – durch Photokopie, Mikroverfilmung oder irgendein anderes Verfahren – reproduziert oder in eine von Maschinen, insbesondere von Datenverarbeitungsmaschinen, verwendbare Sprache übertragen oder übersetzt werden. Die Wiedergabe von Warenbezeichnungen, Handelsnamen oder sonstigen Kennzeichen in diesem Buch berechtigt nicht zu der Annahme, dass diese von jedermann frei benutzt werden dürfen. Vielmehr kann es sich auch dann um eingetragene Warenzeichen oder sonstige gesetzlich geschützte Kennzeichen handeln, wenn sie nicht eigens als solche markiert sind.

Printed in the Federal Republic of Germany

Gedruckt auf säurefreiem Papier.

Satz Kühn & Weyh, Satz und Medien,
Freiburg

Druck und Bindung Ebner & Spiegel GmbH, Ulm

ISBN-13: 978-3-527-31411-9

ISBN-ePDF: 978-3-527-64090-4

ISBN-ePub: 978-3-527-64089-8

ISBN-Mobi: 978-3-527-64091-1

*Unseren Vätern in dankbarer Erinnerung,
unseren Familien in dankbarer Zuneigung.*

Inhalt

Ein Ausflug in die Geschichte 1

Die erste Kunststoffrevolution: Neue Materialien
lieferten Zündfunken für Innovationen 1

Wie die Vergesslichkeit eines Chemikers
einem Superwerkstoff auf die Sprünge half 1

Von der »Schwiegermutterseide« zur modernen Kunstfaser 2

Ein Chemiker wird zum Frauenheld 3

Chemiefasern: Vom Autoreifen zur Mikrofaser 5

1935 Reifencord 5

1937 Elasthan 6

1941 Polyester 6

1941 Polyacrylnitril (PAN) 6

1965 Spinnvlies 7

1980 Mikrofasern 8

Klebstoffe: Von der Fokker zur Chipkarte 8

1909 Phenolharze 8

1920–1931 Kaurit-Leime 9

1943 Dispersionshaftklebstoffe 10

1958–1960 Cyanacrylat-Klebstoffe 10

1970 UV-vernetzbare Klebstoffe 11

1979 Leitfähige Klebstoffe 11

1981 Lösemittelfreie Klebstoffe 11

Kunststoffe in der Informationstechnik:

Von Großmutter's Kintopp zum Flüssigkristall 12

1869 Celluloid	12
1900–1942 Silicone	13
1902 Laccain	14
1907–1909 Bakelit	15
1907–1935 Farbfilm	15
1928–1934 Tonband	16
1953 Makrolon	16
1973 Flüssigkristalle	17
Kunststoffe als Werkstoffe	18
1909–1929 Synthetischer Kautschuk	18
1912 PVC	19
1920–1930 Polystyrol	20
1933 Polyethylen	20
1937–1941 Polyurethan	21
1951 Styropor	22
Generationswechsel: Die neuen Polymere	23
Moderne Flachbildschirme: Eldorado für neue Polymere	25
Organische Leuchtdioden überzeugen durch viele Vorteile	27
Effizienz bis an die Grenze des Möglichen gesteigert	31
Entwicklungskosten schlagen zu Buche	33
Licht in dunklen Kanälen	37
Entwickler, Zulieferer, Hersteller: Bewegung am OLED-Markt	39
Werden organische Solarzellen eines Tages Silicium ersetzen?	44
Bei Fußballübertragungen spielen Kunststoffe in der ersten Liga	47
Polymere Flüssigkristalle – von der Laborkuriosität zur Schlüsselkomponente moderner Displays	49
Die großen Vorteile der Flüssigkristalle	50
Innovations- und Weltmarktführer bei Flüssigkristallen	52
Liquid Crystals: Dominante Grundlage für flache Displays	54
Verbesserungen bei Blickwinkelabhängigkeit und Kontrastverhältnis	56

Umweltverträglichkeit intensiv untersucht	57
Große Wirkung mit geringsten Mengen	59
Flache Displays: Die weltweite Nachfrage boomt weiter	60
Exklusive Zusammenarbeit mit allen Display-Herstellern	62

High Tech für Sport und Spiel 63

Fußballschuhe und Bälle: Das Märchen vom Leder	63
Fußballstiefel: immer leichter, präziser, kraftvoller	64
Ein Kunststoff schafft den Spagat zwischen flexibel und stabil	65
Der Ball ist gar nicht rund – und schon gar nicht aus Leder	66
Sportbodenbeläge aus Polyurethan: Leistung mit Sicherheit	68
Parkettböden sind besonders für Kinder gefährlich	70
In bleibender Erinnerung	71
Fertigung vor Ort hat Vorteile	71
Voll im Trend: Fallschutzbeläge für Kinderspielplätze	73

Polyurethane: Technische Kunststoffe mit riesigem Potenzial 75

Große Produktpalette	76
»Orkankleber« zum Schutz von Ufern und Küsten	77
Die besten Wärmedämmwerte überhaupt	79
Sprit sparen durch die thermische Motorkapselung	79
Neuartiges Verfahren zur Pipeline- und Rohrleitungsisolierung	81
Neue Sitzmöbel – bequem und funktional	83
Dämpfungssystem aus Polyurethan für mehr Fahrkomfort	86
Flach statt rund – bei Leitern ein großer Vorteil	88
Ein perfektes Team aus Kunststoff und Stahl	89
SPS – auch für Brücken und andere Bauten interessant	90
Superweiche Kunststoffe ohne Weichmacher	91
Polyurethan in der Medizintechnik	92
»Deep Impact« für die Polyurethanchemie	93
Eine Prise Katalysator	94

Impact contra Fogging	95
Kunststoff-Spezialitäten: Renner auf dem chinesischen Markt	99
Beratung und Unterstützung sind die Trumpfkarten des China-Geschäfts	100
High-Tech-Kunden verlangen maßgeschneiderte Lösungen	101
Kunststoffspezialitäten bereichern die Automobiltechnik	103
Automatisierung erschließt Carbonfasern neue Potenziale	107
Produktivität wird verdoppelt	108
Mechatronik im Auto: Laserstrukturierte Thermoplaste	110
Laserstrukturierbare Kunststoffe sparen Platz und Gewicht	111
Doppelte Funktion des Lasers	112
Kunststoffe mit erhöhter Wärmeleitfähigkeit	114
Fluorflüssigsiliconkautschuke widerstehen Benzin und Öl	115
Höherer Fluorgehalt schafft Zuverlässigkeit	116
Exzellente Haftungs- und Farbgebungseigenschaften	117
Innovationen im Weltmarkt für Chemiewerkstoffe	117
Eine Sache von Millisekunden: Silicone als Lebensretter im Airbag	119
Mit der Wucht eines Raketentriebwerks	120
Fest wie Stahl, aber sechsmal leichter	120
Silicone schützen Gewebe	121
Druckspitzen werden verhindert	121
Auch Passagiere im Fond sind gefährdet	122
Bei Überschlägen muss der Gasdruck länger halten	122
Mit maßgeschneiderter Chemie zum sicheren Curtain-Airbag	123
Einfache und wirtschaftliche Verarbeitung	123
Hightech-Folien für mehr Sicherheit im Verkehr	125
Reflektierende Werbung gewinnt zunehmend an Interesse	127
Glaskugeln oder Prismen in der Reflexionsschicht	128
Fahrbahnmarkierungen mit Methacrylatharzen	130

- Leuchtende Autokennzeichen erhöhen die Sicherheit 132
- Spezialfolien zur Beschilderung von Gefahrenstellen
und Ortseinfahrten 133
- Innovative Folien dank Mikrostrukturierung 134
- Mit Spezialfolien gegen den Vandalismus in Verkehrsmitteln 138
- Folien statt Lackierung: Kostengünstig und schnell 140

PVC: Oldie mit Wachstumspotenzial 143

- Dritter Platz in der Bestenliste 144
- Spektakuläre Bauprojekte mit PVC-Membranen 146
- Großer Erfolg mit Innovationspreis für PVC 148
- Neue Recycling-Verfahren 149
- Schwermetalle aus alten PVC-Abfällen sicher entsorgen 151
- Löslichkeit von PVC sinnvoll nutzen 152
- Fortschritte bei Weichmachern und Stabilisatoren 157
- Eine sensible Sache – PVC in Kinderhand 158

Silicone: Trendsetter in Wachstumsmärkten 161

- Bauchemie: Schutz vor Kälte, Wasser und Feuer 163
- Winzlinge mit großer Wirkung: Nanoteilchen
halten Feuchtigkeit ab 166
- Silicongum-Granulate für effizientes Compoundieren 169
- Kleine Menge – große Wirkung 170
- Oberflächen werden kratz- und abriebfest 170
- Nanoskalige Silicone: Kleinste Teilchen für große Märkte 171
- Organofunktionelle Silane: Für Überraschungen gut 174
- Silane mit Turbo-Effekt 175
- Thermoplastische Siliconelastomere: Traumhochzeit
im Werkstofflager 177
- Weich plus hart gleich »smart« 178
- Organische Komponente ist »Juniorpartner« 179
- Attraktive Einsatzgebiete winken 179

Starke Typen: Selbsthaftende Flüssigsiliconkautschuke	180
Verbundteile aus einem einzigen Arbeitsgang	181
Der Markt wächst exponentiell	182
Optimale Sicherheit rund um den Airport	183
Silicone in Kosmetika: Chemie vom Feinsten	187
Widerspenstige Haare werden gezähmt	188
Was heiÙe KÙsse mit Chemie verbindet	190
Chemische Zutaten sorgen für den Mehrwert	190
Synergieeffekte: Forscher und Trendscouts	193
Textilien: Chemie vom Scheitel bis zur Sohle	197
Chemiefasern – fein wie Seide, fester als Baumwolle	198
Mikrofasern und Gore-Tex läuteten eine neue Ära ein	198
Die Zukunft: Elektronik-Pullover	201
Der Blutdruck des Torwarts beim Elfmeter	202
See me, feel me, touch me, smell me...	205
Textilien mit eingebautem Kosmetikkoffer	205
Ein Insekt als Vorbild für extravagante Moden	206
Wenn High-Tech »in die Hose« geht	207
Polycarbonat: Moderne Datenspeicher und mehr	209
Die Schutzschicht ist unverzichtbar	212
Höchste Anforderungen an die Eigenschaften der Schutzfolie	213
Polycarbonat ist ein junger Kunststoff	219
Klar wie Glas und gleichzeitig bruchfest	223
Polymerelektronik vor dem Durchbruch	233
Kunststoffe mit der Leitfähigkeit von Kupfer	234
Organische Metalle: Eine neue Werkstoffklasse	235
Dispersion als Schlüssel zur Verarbeitung	237
Die Geburtsstunde der Plastikelektronik	239
Kurz vor der Marktreife	240

Leitfähige Polymere: Leicht, robust, umweltfreundlich,
kostengünstig 241
Alternative: Gezielt ausgerichtete Metallfasern
in Kunststoffen 242
Auf der Suche nach kostengünstiger Massenelektronik 244
Gedruckte Transistoren für RFID-Tags 246
Vergleiche mit der Silicium-Elektronik nicht hilfreich 248
Intelligente Brillengläser, Uhren oder Textilien 249
Riesige Märkte für gedruckte Elektronik 252
Sieben Schritte zum Produkt: Live-Fertigung
von Polymerelektronik 253

**Mit Infrarot-Absorbern zu einem effektiven
Wärmemanagement 255**

Nanopartikel: Revolution für den Spritzguss 257
Sieben Prozent Wachstum pro Jahr 257
Wie Baumstämme über Rollen 259
Zykluszeiten um 20 Prozent verringert 260

Bindemittel aus Polyvinylbutyral: Verpackte Glanzleistung 263
Flexibilität ist Trumpf 264
Auf die Bedürfnisse der Kunden abgestimmt 265

Mit Titandioxid zu verbesserten PE-Filmen 267
Durch Viskositätssenkung zu höheren
Verarbeitungsgeschwindigkeiten 268

Medizintechnik: Hochleistungskunststoffe verdrängen Metalle 271
Kunststoffe als Trendsetter in der Medizintechnik 273
Winzige Pumpen aus Kunststoff – kleiner als ein Centstück 275
Mikrosystemtechnik als Voraussetzung für die
Telemedizin 276
Winzige Strukturen für die Biogentechnik 277

Zukunft der Polymere: Zusammenwachsen mit der

Zwergenwelt 279

Vier Trends tragen die Zukunft der Kunststoffe 280

Impulse durch die Weiße Biotechnologie:

Von der Natur lernen 281

Neue Spielregeln durch die Nanotechnologie 282

Kunststoffe als Wegbereiter für den
gesellschaftlichen Fortschritt 284

Der letzte Schrei: Kunststoffe mit Gedächtnis 285

Holografische Speicher 289

Kunststoffe aus Kohlendioxid 291

Werkstoffe werden »smart« 295

Quellennachweis der Abbildungen 299

Personen-, Sach- und Firmenregister 303

Vorwort

Manchmal sind sie elektrisch leitfähig, dann wieder isolierend oder biologisch abbaubar und bei Bedarf sogar selbsttätig leuchtend. In Gestalt lichtbeschreibbarer Typen finden wir sie in holografischen Datenspeichern vom Kaliber »Terabyte«, als Wärmedämmung in Passivhäusern und in Form von Schlankmachern in Energie sparenden Automobilen. Einige Vertreter machen auf Grund ihrer Brandeigenschaften Airports und U-Bahnen sicherer, sorgen in Form von Bodenbelägen für sportliche Höchstleistungen und verleihen Tastaturen einen samtigen Touch. Wenn es sein muss, legen sie Fälschern von Geldscheinen und Ausweisen das Handwerk, verfügen über ein bemerkenswertes Erinnerungsvermögen und machen sich darüber hinaus auch beim Küssen nützlich. Sie... – nein, die Aufzählung soll hier enden, denn hinter all den Beispielen verbergen sich Polymere, die Tausendsassas unter den Materialien. Bisherige Entwicklungen deuten darauf hin, dass sich Kunststoffen bereits in naher Zukunft beinahe jede erdenkliche Eigenschaft verleihen lässt.

Ihre Allgegenwart könnte leicht zu der Annahme verleiten, dass die Innovationspotenziale dieser Werkstoffklasse nahezu erschöpft seien. Doch weit gefehlt! Bescherte uns die erste Kunststoffrevolution den großen Siegeszug – angefangen vom Nylonstrumpf über das Einweggeschirr bis zum Fernsehgehäuse –, dann hat die zweite Revolution gerade erst begonnen. In dieser zweiten Revolution offenbaren uns die Kunststoffe ein völlig neues Antlitz voller Geheimnisse und scheinbarer Widersprüche.

Begleiten Sie die Autoren nun auf eine weltweite »Magical Mystery Tour« durch die Forschungslabors und erleben Sie mit, wie aus Ideen Erfindungen, aus Erfindungen Innovationen und aus Innovationen revolutionäre Produkte werden. Lassen Sie sich aber auch von den Pionieren unter den Forschern begeistern, die

heute bereits die Innovationen des Jahres 2020 und danach vorbereiten. Hierzu gehört zum Beispiel die Herstellung von Kunststoffen aus der Luft – genauer gesagt aus den darin enthaltenen Komponenten Kohlendioxid und Wasserdampf. Die erste Hürde auf dem langen Weg wurde jetzt an der Universität Pittsburgh genommen. Die Forscher denken, dass es in 15 bis 20 Jahren gelingen könnte, das in der Atmosphäre enthaltene Kohlendioxid zur Herstellung wertvoller Thermoplaste zu nutzen.

Nicht minder utopisch muten die Arbeiten anderer Forschergruppen an, die sich heute bereits mit »Smart Polymers«, auch in Verbindung mit anderen Werkstoffen beschäftigen. Im Gegensatz zu herkömmlichen Materialien besitzen smarte Materialien keine festgelegten Eigenschaften mehr. Vielmehr werden diese selbsttätig aufgrund von äußeren Einflüssen variiert. Die Vision umfasst Leitern, die bei Überlastung ein Warnsignal abgeben ebenso wie Gebäude und Brücken, die sich während eines Erdbebens selbsttätig verstärken und entstandene Risse wieder verschließen.

Unseren Familien danken wir für die große Geduld und moralische Unterstützung bei der Anfertigung des Werkes. Unser ausdrücklicher Dank gilt auch Frau Dr. Gudrun Walter und Frau Dr.-Ing. Waltraud Wüst sowie allen weiteren Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Verlags Wiley-VCH für die ausgezeichnete Zusammenarbeit.

Dr. Rolf Froböse und Klaus Jopp,
im Frühjahr 2006

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 Automobilsektor 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 Kopfzerbrechen bereitet. Da das PAN jedes dargebotene Lösungsmittel hartnäckig verabscheute, war an ein Verspinnen des Kunststoffes

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