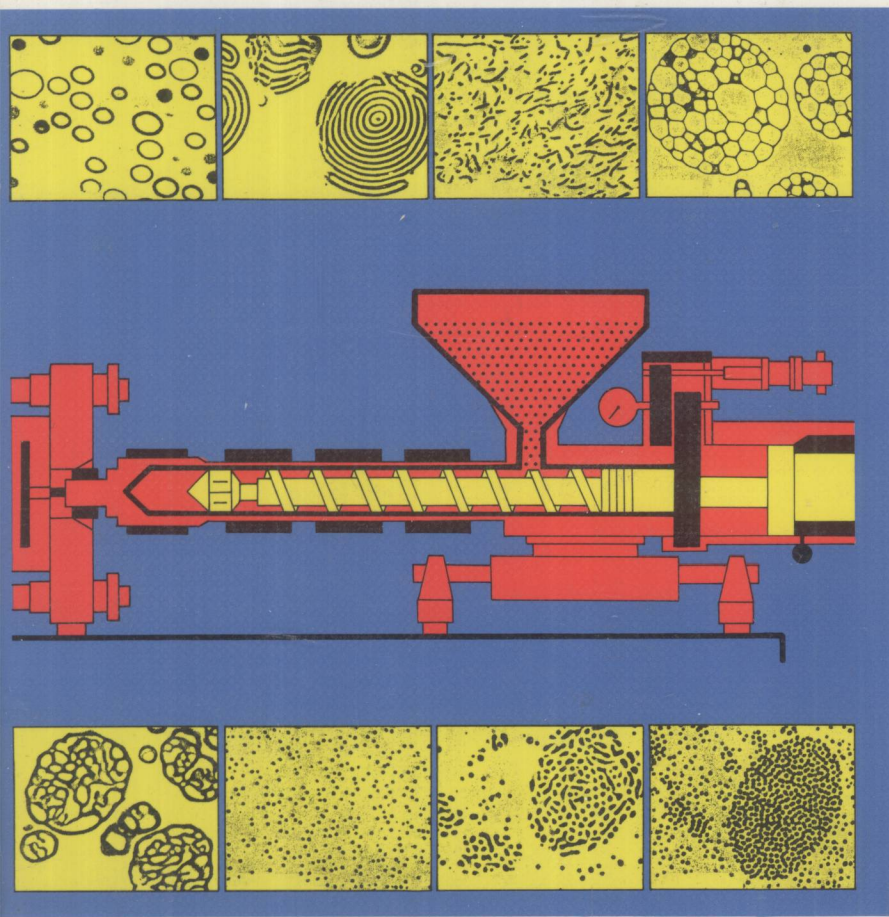


Adolf Echte

Handbuch der Technischen Polymerchemie



063-62
E18

9460807

Adolf Echte

Handbuch der Technischen Polymerchemie



Weinheim · New York · Basel · Cambridge · Tokyo

Prof. Dr. Adolf Echte
Leuschnerstraße 42
6700 Ludwigshafen/Rhein

Das vorliegende Werk wurde sorgfältig erarbeitet. Dennoch übernehmen Autor und Verlag für die Richtigkeit von Angaben, Hinweisen und Ratschlägen sowie für eventuelle Druckfehler keine Haftung.

Lektorat: Philomena Ryan-Bugler
Herstellerische Betreuung: Max Denk

Die Deutsche Bibliothek – CIP-Einheitsaufnahme

Echte, Adolf:

Handbuch der technischen Polymerchemie / Adolf Echte. -

Weinheim ; New York ; Basel ; Cambridge : VCH, 1993

ISBN 3-527-28564-4

© VCH Verlagsgesellschaft mbH, D-6940 Weinheim (Bundesrepublik Deutschland), 1993

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier.

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.

All rights reserved (including those of translation into other languages). No part of this book may be reproduced in any form – by photoprinting, microfilm, or any other means – nor transmitted or translated into a machine language without written permission from the publishers. Registered names, trademarks, etc. used in this book, even when not specifically marked as such, are not to be considered unprotected by law.

Satz: Hagedornsatz GmbH, D-6806 Viernheim

Druck: betz-druck gmbh, D-6100 Darmstadt 12

Bindung: Verlagsbuchbinderei Kränkl, D-6148 Heppenheim

Printed in the Federal Republic of Germany

Adolf Echte

**Handbuch der
Technischen Polymerchemie**



300346

© VCH Verlagsgesellschaft mbH, D-6940 Weinheim (Bundesrepublik Deutschland), 1993

Vertrieb:

VCH, Postfach 101161, D-6940 Weinheim (Bundesrepublik Deutschland)

Schweiz: VCH, Postfach, CH-4020 Basel (Schweiz)

United Kingdom und Irland: VCH (UK) Ltd., 8 Wellington Court, Cambridge CB1 1HZ (England)

USA und Canada: VCH, 220 East 23rd Street, New York, NY 10010-4606 (USA)

Japan: VCH, Eikow Building, 10-9 Hongo 1-chome, Bunkyo-ku, Tokyo 113, Japan

ISBN 3-527-28564-4

Vorwort

Dieses Buch ist aus einer Vorlesungstätigkeit entstanden, die ich am Ende einer mehr als 30jährigen Berufstätigkeit ausüben durfte. Es macht den Versuch, Erfahrungen und Kenntnisse weiterzugeben, die ich in Produktion und Forschung an Hochpolymeren in der BASF AG sammeln konnte, und es versucht, einen Überblick zu vermitteln über die technischen Aspekte der Polymerchemie.

Die vorliegende Arbeit wendet sich an fortgeschrittene Studenten der Chemie, Diplomanden und Doktoranden ebenso wie an Berufskollegen, die mit der Technischen Polymerchemie praktisch umzugehen haben.

In meiner Studienzeit habe ich das Fach Technische Chemie – mir ohnehin nur aus Büchern bekannt – immer für langweilig und überflüssig angesehen. Als ich dann in die Praxis geworfen wurde, habe ich schmerzlich erfahren, wie notwendig eine sorgfältige Beschäftigung mit diesem Thema gewesen wäre. Galt es damals, die in Kriegs- und Nachkriegszeit in oft genialer Improvisation zum Laufen gebrachten Provisorien in systematischer Kleinarbeit zu optimieren und während des laufenden Prozesses Produkt- und Verfahrensentwicklung zu treiben, so kamen später andere Herausforderungen hinzu. Nicht nur Menge und Qualität der Erzeugnisse, sondern mehr und mehr Arbeitshygiene und Umweltverantwortung bestimmten und bestimmen die Tätigkeit eines Industriechemikers.

Das Bild, das die öffentliche Meinung von industriell betriebener Chemie zeichnet, ist kein freundliches. Der Argwohn wächst, hier werde verantwortungslos mit den Lebensgrundlagen der Menschheit umgegangen. Studenten der Chemie sagten mir, daß ihre Kommilitonen aus geisteswissenschaftlichen Fächern oft kein Verständnis dafür haben, wie jemand überhaupt ein solches Fach studieren könne; aus moralischen Gründen sei dies nicht zu vertreten.

Der wahre Kern einer solchen Haltung ist, daß der Umgang mit gefährlichen Stoffen und Prozessen ein hohes Maß von Verantwortung bedingt. Das erfordert genaue Kenntnis der Zusammenhänge und Sorgfalt im Detail. Verzichteten aber können wir auf Chemie und ihre Anwendung nicht, ohne sie lassen sich die Grundbedürfnisse der wachsenden Menschheit noch weniger abdecken als jetzt. Dieses Buch soll helfen, das Wissen und Können zu wahren, das wir brauchen – nicht um alles zu tun, was wir können, sondern um alles zu können, was wir tun müssen.

Bei der Abfassung dieses Buches haben mir viele Kollegen geholfen, ohne die es nicht zustande gekommen wäre. Besonders danke ich Herrn Prof. Dr. H. Gerrens für zahlreiche Hinweise und freundliche Unterstützung, ebenso Herrn Prof. Dr. P. Wittmer für geduldige Mithilfe und kritische Begleitung, Herrn Dr. H. P. Hofmann, Herrn Dr. H. Thiele und Herrn Dipl.-Ing. J. Hofmann für die kritische Lektüre des Manu-

skripts. Herrn Dipl.-Inform. G. Mayer-Laforet danke ich für die laufende Unterstützung der Arbeit, Frau E. Gunkel für die Anfertigung und Umsetzung der Zeichnungen und Frau K. Schade, die den Text geschrieben hat, für ihre Sorgfalt und ihre Geduld bei den häufigen Änderungen. Der BASF AG danke ich für die stetige Förderung und Unterstützung dieser Arbeit.

Ludwigshafen/Rh., im Februar 1993

Adolf Echte

Geleitwort

Die Vielfalt der alltäglichen Anwendungen von Kunststoff-Werkstoffen, die Wirkung von Kunststoffen in komplexen Systemen, das Entstehen neuer Technologien unter Nutzung außergewöhnlicher Stoffeigenschaften sind Ergebnis konsequenter Forschung und Entwicklung. Das Grundthema bildet dabei die Übersetzung makroskopischer Eigenschaften in molekulare und übermolekulare Strukturen. Dies erfordert interdisziplinäres Zusammenwirken von makromolekularer Chemie, Polymerphysik, Ingenieur-, Apparate- und Maschinentechnik. Hier liegt auch das Feld traditioneller Kooperation und zugleich Arbeitsteilung zwischen breit angelegter Grundlagenforschung an Hochschulen und anwendungsorientierter Entwicklung in der Industrie.

Neben die chemische tritt die physikalische Erscheinungsform der Kunststoffe und die innere Architektur wird mehr und mehr zum Instrument der Materialentwicklung. Die Einstellung definierter Ordnungszustände in den Materialien gelingt nicht mehr auf den gewachsenen Wegen der Chemie. Neuartige Anforderungen stellt auch die Verwertung von Altkunststoffen. Anspruchsvolle, nicht konventionelle Reaktionsführung und Verfahrenstechnik zur Herstellung und Verarbeitung der Kunststoffe sind heute gefragt. Chemisches und nichtchemisches Know-how gehören zusammen, denn die Anwendung von Kunststoffen ist fast immer Systemanwendung.

Die Ausbildungsgänge unserer Hochschulen haben hier Bedarf. Dem Fluß von chemischem Grundlagenwissen aus der Hochschule in die Industrie steht deshalb an vielen Stellen bereits der Rückfluß von technischem anwendungsorientierten Know-how in die Hochschulen gegenüber. Eine beachtliche Zahl sachkundiger Kollegen aus der Industrie ist hier nebenamtlich engagiert.

So geht auch die vorliegende Monographie auf eine Vorlesung über Technische Makromolekulare Chemie an der Universität Bayreuth zurück, die Herr Professor Echte noch während seiner aktiven Tätigkeit in der Kunststoff-Forschung der BASF übernommen hatte. Das nachhaltige Interesse zahlreicher Hochschulen an diesem Thema veranlaßten den Unterzeichner dieses Geleitwortes, eine Publikation in Buchform vorzuschlagen. Wegen des erheblichen Aufwandes stieß dies auf verständliche, anfängliche Zurückhaltung. Mit profundem Fachwissen und didaktischem Geschick hat Herr Kollege Echte die aufwendige Überarbeitung des Vorlesungsmanuskriptes dann doch übernommen und rasch abgeschlossen. Dabei entstand ein Lehrbuch und Nachschlagewerk, das den aktuellen Wissensstand über Technische Makromolekulare Chemie im Werkstoffbereich vermittelt und Brücken zwischen wissenschaftlichen Grundlagen und anwendungsorientierter Praxis schlägt.

Grundoperationen

Inhalt

Grundoperationen

1	Allgemeine Einführung in die technische Polymerchemie	1
1.1	<i>Polymere Stoffe und ihre Herstellung</i>	1
1.2	<i>Einteilung der synthetischen Polymeren</i>	2
1.2.1	Einteilung nach der Syntheseart	2
1.2.2	Einteilung nach dem molekularen Aufbau	4
1.2.3	Einteilung nach Verarbeitung und Verwendung	4
1.3	<i>Einteilung der Grundoperationen</i>	5
1.3.1	Elemente einer Anlage	5
1.3.1.1	Rohrleitungen	6
1.3.1.2	Armaturen	10
1.3.1.3	Behälter	12
1.3.1.4	Apparate	12
1.3.1.5	Maschinen	13
1.3.2	Werkstoffe	14
1.3.2.1	Allgemeines	14
1.3.2.2	Metallische Werkstoffe	15
1.3.2.3	Anorganische Werkstoffe	16
1.3.2.4	Organische Werkstoffe	18
1.3.3	Energien	18
1.3.3.1	Energiequellen	18
1.3.3.2	Wasserdampf	19
1.3.3.3	Elektrischer Strom	20
1.3.3.4	Weitere Energieformen	20
2	Mechanische Grundoperationen	23
2.1	<i>Lagern</i>	23
2.1.1	Lagern von Feststoffen	23
2.1.2	Lagern von Flüssigkeiten	24
2.1.3	Lagern von Gasen	26
2.2	<i>Fördern</i>	26
2.2.1	Strömung von Fluiden	26
2.2.1.1	Grundlagen	26
2.2.1.2	Exkurs zur Abschätzung der Viskosität von Polymerschmelzen	28
2.2.1.3	Exkurs zur Ähnlichkeitstheorie	34

X *Inhalt*

2.2.1.4	Druckverlust in Rohrleitungen	36
2.2.2	Fördern von Schüttgütern	39
2.2.2.1	Fördermethoden	39
2.2.2.2	Dosieren von Feststoffen	47
2.2.3	Fördern von Flüssigkeiten	47
2.2.3.1	Pumpentypen	47
2.2.3.2	Zentrifugalpumpen	48
2.2.3.3	Verdrängerpumpen	56
2.2.3.4	Schneckenpumpen und Extruder	63
2.2.4	Verarbeitung von Thermoplasten	74
2.2.4.1	Extrusion	74
2.2.4.2	Spritzgießen	83
2.2.4.3	Kalandrieren	87
2.2.5	Fördern von Gasen	90
2.3	<i>Mechanische Stoffvereinigung</i>	93
2.3.1	Mischen	94
2.3.1.1	Mischen von Feststoffen	94
2.3.1.2	Mischen von Flüssigkeiten	104
2.3.1.3	Mischen von Gasen	120
2.3.2	Agglomerieren	121
2.3.3	Kontaktieren	123
2.3.3.1	Festkörper und Fluide	123
2.3.3.2	Flüssigkeiten und Flüssigkeiten	125
2.3.3.3	Flüssigkeiten und Gase	126
2.4	<i>Mechanische Stofftrennung</i>	128
2.4.1	Zerkleinern	128
2.4.1.1	Feststoffe	128
2.4.1.2	Flüssigkeiten	132
2.4.2	Trennung von Feststoffgemischen	137
2.4.2.1	Sieben	137
2.4.2.2	Klassieren	138
2.4.2.3	Sortieren	141
2.4.2.4	Entstauben	142
2.4.3	Trennung von Fest/Flüssig-Gemischen	142
2.4.3.1	Filtrieren	142
2.4.3.2	Zentrifugieren	146
3	Thermische Grundoperationen	151
3.1	<i>Wärmetransport</i>	151
3.1.1	Stationärer Wärme flu ß	151
3.1.1.1	Wärmeleitung	151
3.1.1.2	Wärmetransport durch Konvektion	153
3.1.1.3	Wärmeübergang	153
3.1.1.4	Wärmedurchgang	158
3.1.2	Instationärer Wärme flu ß	160
3.2	<i>Stofftransport</i>	162

3.2.1	Stationärer Stofftransport	162
3.2.1.1	Stofftransport durch Diffusion	162
3.2.1.2	Stofftransport durch Konvektion	164
3.2.2	Stoffübergang	165
3.2.2.1	Übergang von einer festen zu einer flüssigen Phase	165
3.2.2.2	Stoffübergang zwischen zwei fluiden Phasen	167
3.3	<i>Wärmeaustausch</i>	169
3.3.1	Allgemeines	169
3.3.2	Röhrenbündelwärmetauscher	169
3.3.3	Sonstige Wärmetauscher	172
3.4	<i>Thermische Trennverfahren</i>	175
3.4.1	Grundlagen	175
3.4.2	Destillation und Rektifikation	185
3.4.3	Entgasung von Polymeren	199
3.4.3.1	Entgasen von Polymerlösungen und -schmelzen	199
3.4.3.2	Entgasen von festen Polymeren	206
3.4.4	Absorption	207
3.4.5	Extraktion	208
3.4.6	Trocknung	210
3.4.7	Kristallisation	212
3.4.8	Adsorption	214
3.4.9	Ionenaustausch	216
4	Meß-, Steuer- und Regelungstechnik	219
4.1	<i>Einleitung</i>	219
4.1.1	Begriffs-Definitionen	219
4.1.2	Meßfehler	220
4.2	<i>Meßtechnik</i>	221
4.2.1	Temperaturmessung	222
4.2.1.1	Widerstandsthermometer	222
4.2.1.2	Thermoelemente	223
4.2.1.3	Ausdehnungsthermometer	224
4.2.1.4	Strahlungs-pyrometer	224
4.2.2	Druckmessung	225
4.2.3	Mengenmessung	227
4.2.4	Volumenmessung	229
4.2.4.1	Füllstandsmessung	229
4.2.4.2	Durchflußmessung	231
4.2.5	Dichtemessung	238
4.2.6	Viskositätsmessung	239
4.2.7	Messung der Zusammensetzung	239
4.3	<i>Meßwertverarbeitung</i>	241
4.3.1	Meßumformer und Meßumsetzer	241
4.3.2	Meßwertausgeber	242
4.4	<i>Regelungs- und Steuertechnik</i>	244
4.4.1	Allgemeines	244

XII *Inhalt*

4.4.2	Die Regelstrecke	246
4.4.3	Regler	248
4.4.4	Stellungsregler	253
4.4.5	Leitgeräte	254
4.4.6	Steuereinrichtungen	255
4.4.7	Prozeßleitsysteme	255
4.4.8	Stellgeräte	257
5	Prüfung von Polymeren	263
5.1	<i>Allgemeines</i>	263
5.2	<i>Prüfmethoden</i>	264
5.2.1	Grundeigenschaften	264
5.2.2	Verarbeitungseigenschaften	266
5.2.3	Gebrauchseigenschaften	267
5.2.3.1	Mechanische Eigenschaften	267
5.2.3.2	Elektrische Eigenschaften	271
5.2.3.3	Optische Eigenschaften	272
5.2.3.4	Thermische Eigenschaften	273
5.2.3.5	Beständigkeitsprüfungen	275

Prozeßkunde

6	Mechanismus und kinetischer Ablauf technischer Polymerisationen	279
6.1	<i>Homogene Polyreaktionen</i>	280
6.1.1	Polymerisation in der Gasphase	280
6.1.2	Polymerisation in flüssiger Phase	286
6.1.2.1	Einleitung	286
6.1.2.2	Radikalische Homopolymerisation	286
6.1.2.3	Radikalische Copolymerisation	291
6.1.2.4	Anionische Polymerisation	295
6.1.2.5	Kationische Polymerisation	300
6.1.2.6	Insertions-Polymerisation	301
6.1.2.7	Group-Transfer-Polymerisation	306
6.1.2.8	Polymerverknüpfung	307
6.1.3	Polymerisation in fester Phase	313
6.2	<i>Heterogene Polyreaktionen</i>	314
6.2.1	Polymerisation durch Reaktion von Gasen mit Flüssigkeiten	314
6.2.2	Polymerisation durch Reaktion von Gasen mit oder an Festkörpern	314
6.2.3	Polymerisationen in Emulsionen aus zwei nicht miteinander mischbaren Flüssigkeiten	315
6.2.3.1	Öl-in-Öl-Emulsionen	315
6.2.3.2	Suspensionspolymerisation	316
6.2.3.3	Emulsionspolymerisation	322
6.2.4	Polymerisationen mit flüssiger und fester Phase	345
6.2.4.1	Fällungspolymerisation	345
6.2.4.2	Heterogene Ziegler/Natta-Katalyse	347

7	Reaktortechnik	351
7.1	<i>Reaktoren</i>	351
7.2	<i>Die idealisierten Reaktortypen</i>	355
7.2.1	Begriffsbestimmung	355
7.2.2	Modellierung der Reaktor-Grundtypen	356
7.2.2.1	Der Chargenkessel (BR)	357
7.2.2.2	Der ideal rückvermischte Durchflußkessel (HCSTR)	361
7.2.2.3	Der segregierte Durchflußkessel (SCSTR)	370
7.2.2.4	Das ideale Strömungsrohr	373
7.2.2.5	Kesselkaskaden	376
7.2.2.6	Strömungsrohr mit Rückführung	378
7.2.3	Vergleich der Reaktor-Grundtypen	379
7.2.3.1	Reaktorleistung	379
7.2.3.2	Verweilzeitspektrum	380
7.3	<i>Reale Reaktoren</i>	383
7.3.1	Monomerverknüpfung mit Abbruch	383
7.3.1.1	Reaktionszeit	383
7.3.1.2	Molmassenverteilung	390
7.3.1.3	Beispiel einer Reaktorauslegung	395
7.3.1.4	Copolymerisation	404
7.3.2	Monomerverknüpfung ohne Abbruch	406
7.3.3	Polymerverknüpfung	409
7.3.4	Zusammenfassung	412

Produktkunde

8	Thermoplastische Werkstoffe und Polymerisatharze	415
8.1	<i>Polyolefine</i>	416
8.1.1	Allgemeines	416
8.1.2	Monomere	417
8.1.3	LDPE	418
8.1.3.1	Allgemeines	418
8.1.3.2	Technische Herstellung	419
8.1.3.3	Anwendung	423
8.1.4	HDPE	424
8.1.4.1	Allgemeines	424
8.1.4.2	Katalysatoren	424
8.1.4.3	Technische Herstellung	425
8.1.4.4	Struktur und Eigenschaften	429
8.1.5	LLDPE	433
8.1.5.1	Allgemeines	433
8.1.5.2	Technische Herstellung	434
8.1.5.3	Eigenschaften	434
8.1.6	Polypropylen	434
8.1.6.1	Allgemeines	434
8.1.6.2	Katalysatoren	436

XIV *Inhalt*

8.1.6.3	Technische Herstellung	437
8.1.6.4	Eigenschaften	439
8.2	<i>Polyvinylverbindungen</i>	441
8.2.1	Polyvinylchlorid	441
8.2.1.1	Allgemeines	441
8.2.1.2	Monomeres Vinylchlorid (VCM)	441
8.2.1.3	Technische Herstellung	442
8.2.1.4	Eigenschaften	452
8.2.1.5	Verarbeitung	458
8.2.1.6	Modifiziertes PVC	459
8.2.2	Polyvinylidenchlorid (PVDC)	460
8.2.3	Polyvinylester	462
8.2.3.1	Allgemeines	462
8.2.3.2	Technische Herstellung	463
8.2.3.3	Anwendung	464
8.2.4	Exkurs über Klebstoffe	467
8.2.5	Polyvinylalkohol	472
8.2.6	Sonstige Polyvinylverbindungen	472
8.2.6.1	Polyvinylacetale	472
8.2.6.2	Polyvinylether	474
8.2.6.3	Polyvinylactame	474
8.2.6.4	Polyvinylamine	475
8.3	<i>Styrolpolymere</i>	475
8.3.1	Allgemeines	475
8.3.2	Unmodifiziertes Polystyrol	476
8.3.2.1	Herstellung im Masse-Prozeß	476
8.3.2.2	Sonstige Herstellverfahren	479
8.3.3	Expandierbares Polystyrol (EPS)	480
8.3.3.1	Suspensionsverfahren für EPS	480
8.3.3.2	Verarbeitung von Schaumpolystyrol	480
8.3.4	Unmodifizierte Styrolcopolymere	482
8.3.4.1	Styrol-Acrylnitril-Copolymere (SAN)	482
8.3.4.2	Sonstige Styrolcopolymere	483
8.3.5	Kautschukmodifiziertes Polystyrol	484
8.3.5.1	Technische Herstellung	484
8.3.5.2	Morphologie und Eigenschaften	486
8.3.6	Kautschukmodifizierte Styrolcopolymere	489
8.3.6.1	ABS-Polymere	489
8.3.6.2	Barriere-Kunststoffe	492
8.4	<i>Polymere der (Meth-)Acrylsäure und ihrer Derivate</i>	493
8.4.1	Allgemeines	493
8.4.2	Polyacrylsäure	493
8.4.3	Poly(meth)acrylsäureester	495
8.4.3.1	Polyacrylate	495
8.4.3.2	Polymethylmethacrylat	497
8.4.4	Polyacrylamid (AA)	499

8.4.5	Exkurs über Beschichtungen und Anstrichmittel (Lacke)	501
8.5	<i>Technische Kunststoffe</i>	505
8.5.1	Polycarbonat	506
8.5.1.1	Allgemeines	506
8.5.1.2	Technische Herstellung	506
8.5.2	Polyoxymethylen (POM)	510
8.5.2.1	Allgemeines	510
8.5.2.2	Technische Herstellung	510
8.5.2.3	Anwendung	513
8.5.3	Polyphenylenether	514
8.5.3.1	Allgemeines	514
8.5.3.2	Technische Herstellung	514
8.5.3.3	Eigenschaften und Anwendung	515
8.6	<i>Hochtemperaturbeständige Thermoplasten</i>	515
8.6.1	Allgemeines	515
8.6.2	Fluorpolymere	516
8.6.2.1	Allgemeines	516
8.6.2.2	Technische Herstellung	516
8.6.2.3	Eigenschaften und Anwendung	517
8.6.3	Polyaromaten	517
8.6.3.1	Allgemeine Produktübersicht	517
8.6.3.2	Polyphenylensulfid	519
8.6.3.3	Polyethersulfone	520
8.6.3.4	Polyetherketone	521
8.6.3.5	Polyimide	524
8.6.3.6	Polychinoxaline	529
8.6.3.7	Polychinoline	530
8.6.3.8	Polybenzimidazole	530
8.6.4	Flüssig-kristalline Polymere (LC-Polymere)	531
8.6.4.1	Allgemeines	531
8.6.4.2	Lyotrope LC-Polymere	534
8.6.4.3	Thermotrope LC-Polymere	538
8.6.4.4	Seitenketten LC-Polymere	540
8.6.4.5	Anwendungen	541
9	Faserpolymere	545
9.1	<i>Allgemeines</i>	545
9.2	<i>Polyamide</i>	545
9.2.1	Technische Herstellung	546
9.2.1.1	Herstellung aus diprimären Diaminen und Dicarbonsäuren (Typ AA-BB)	546
9.2.1.2	Herstellung aus Aminocarbonsäuren oder Lactamen (Typ A-B)	550
9.2.2	Anwendung	554
9.3	<i>Polyester</i>	554
9.3.1	Allgemeines	554
9.3.2	Technische Herstellung von PET	555

9.3.3	Polyester als Werkstoffe	557
9.4	<i>Polyacrylnitril</i>	558
9.5	<i>Cellulosische Faserpolymere</i>	559
9.5.1	Allgemeines	559
9.5.2	Technische Herstellung	560
9.5.2.1	Viskoseverfahren	560
9.5.2.2	Kupfer-Verfahren	561
9.5.2.3	Acetat-Verfahren	561
9.5.3	Kunststoffe auf Cellulosebasis	562
9.6	<i>Herstellung von Chemiefasern</i>	563
9.6.1	Allgemeines	563
9.6.2	Grundlagen des Spinnprozesses	567
9.6.3	Technische Spinnverfahren	572
9.6.3.1	Schmelzspinnen	572
9.6.3.2	Trockenspinnen	575
9.6.3.3	Naßspinnen	576
9.6.4	Nachbehandlung	577
9.6.4.1	Verstrecken	577
9.6.4.2	Fixieren	578
9.6.4.3	Texturieren	578
10	Polyurethane	583
10.1	<i>Chemie der Polyurethane</i>	583
10.2	<i>Ausgangsmaterialien</i>	585
10.2.1	Polyisocyanate	585
10.2.2	Polyole	588
10.2.2.1	Polyetherpolyole	588
10.2.2.2	Polyesterpolyole	593
10.2.3	Hilfsstoffe	595
10.3	<i>Technische Herstellung</i>	596
10.3.1	Chemismus und Gebrauchseigenschaften	596
10.3.2	Exkurs über Schaumstoffe	597
10.3.3	Polyurethan-Schaumstoffe	600
10.3.4	Nicht zellige Polyurethane	607
10.4	<i>Sonstige Polymere auf Isocyanatbasis</i>	608
11	Kautschuke und Elastomere	611
11.1	<i>Allgemeines</i>	611
11.2	<i>Kautschuk</i>	613
11.2.1	Polyolefinkautschuke	613
11.2.1.1	Ethylen-Propylen-Kautschuke (EPM/EPDM)	613
11.2.1.2	Polyisobutylen und Butylkautschuk	614
11.2.1.3	Ethylen-Vinylacetatkautschuk	617
11.2.2	Polydiene	617
11.2.2.1	Styrol-Butadien-Kautschuk (SBR) aus Emulsionspolymerisation	617
11.2.2.2	SBR aus Lösungspolymerisation	619