

## 1.4.2 Erwartungen an Polymere

Ausgewählt aus unterschiedlichen Forschungsgebieten finden sich nachfolgend Themen in denen aufgezeigt wird, mit welchen Entwicklungsschritten in den nächsten ein bis drei Jahrzehnten zu rechnen sein wird. Dementsprechend kann diese Auswahl als rein zufällig bezeichnet werden und kann einzige den Anspruch erfüllen: Neben wissenschaftlicher Neugierde zu wecken, die Chemie als Multitalent zur Erfüllung der Ansprüche im Leben eines modernen Menschen zu schätzen

Chemie als  
Multitalent

### Mikrobielle Ökologie

- Mit der Sesshaftigkeit der Menschheit vor rund 10'00 Jahren ging die Nutzung der Landwirtschaft und Viehzucht einher. Dabei lernte der Einzelne im Laufe der Zeit Mikroorganismen (Pilze u. a. Hefen sowie Bakterien) vermehrt als Helfer für neue Nahrungsquellen zu gebrauchen, z. B. Gärung; in neuerer Zeit biologische Kläranlagen. Extrapoliert aus modernen mikrobiologischen Forschungsergebnissen lautet das Schlagwort: *Mikroben für neue Wege zur biologischen Sanierung von Abfallstoffen, incl. Plastikmüll*. Die stoffliche Entsorgung von schwer abzubauenden Kunststoffen wie Polyethylen, PE, oder Polypropylen, PP, (beide aus Kohlenstoffketten garniert mit Wasserstoffatomen bestehend) zeigte bereits erste Erfolge. Der Durchbruch gelang mit Hilfe neu entdeckter Bakterien und Pilze, deren Enzyme in der Lage sind auch nicht Sauerstoff enthaltende Makromoleküle abbauen zu können bzw. für ihren eigenen Stoffwechsel zu nutzen, z. B. *Bacillus subtilis*. Vice versa: Mikroben zur Herstellung von neuartigen echten Bio-Kunststoffen, vgl. Abschnitt 1.4.3.

Mikroben

### 4D(t)-Druck

- Vergleichsweise mit einem Kinderluftballon, der nur aufgeblasen Sinn macht, existieren für Kunststoffe durch entsprechende Vorbehandlungen seit langem ähnliche Möglichkeiten, z. B. für Schrumpfschlüche in Kombination mit *zeitabhängiger(t)* Wärmezufuhr von außen. Der „kleine“ Unterschied: Irreversibel bei Schrumpfschlüchen! Infolgedessen stellt sich die Frage ob für feste Bauteile oder Halbzeug aus Kunststoff die gleiche oder sogar eine verbesserte *Reversibilität* im Vergleich mit dem Gummiballon möglich ist? Was den 4D(t)-Druck an dieser Stelle besonders attraktiv macht, resultiert aus der nahezu unbegrenzten Formenvielfalt dank dem 3D-Druck. An Anwendungen für diese revolutionäre Art des 3D-Drucks in großem Stil besteht kein Mangel. Beispielsweise die reversible Fertigung platzsparender Teile bis zu ihrem Gebrauch mit vergrößertem Volumen und zurück; evtl. auch in Kombination mit bereits vorhandenen Formgedächtnispolymeren. Trotz erster erfolgversprechender Entwicklungen verbleibt hier noch ein offenes Forschungsfeld oder anders ausgedrückt: es lässt sich ein enormes Entwicklungspotential für ausgereifte Produkte orten, vgl. Abschnitt 3.5.11.5.

zeitabhängiger(t)  
Wärmezufuhr

Formgedächtnispolymeren

### Neue Arten zur Nutzung der Sonnenenergie

- Mit der vermehrten Nutzung der Sonnenenergie beschäftigen sich seit längerer Zeit weltweit viele Institute. Vielversprechend tönen Verfahren, bei denen sich der Klimasünder CO<sub>2</sub> dank seines Gehalts an Kohlenstoff unerwartet als ein begehrter Rohstoff der Zukunft entpuppt. Voraussetzung dafür ist (einer Lupe ähnlich) beispielsweise die Fokussierung des Sonnenlichts zur Nutzung als extrem heiße Energiequelle in Kombination mit CO<sub>2</sub> und Wasser. Ein an der ETH Zürich entwickeltes und bereits erprobtes Verfahren basiert auf CO<sub>2</sub> und H<sub>2</sub>O aus der Luft, bei 1500 °C chemisch in einem Solarreaktor zu *Syngas* umgewandelt, einer Mischung aus H<sub>2</sub> und CO. Diese durch die Fischer-Tropsch-Synthese bereits bekannte Gasmischung, angereichert mit zusätzlichem H<sub>2</sub> sowie in Anwesenheit von Katalysatoren reagiert vorwiegend zu Alkanen und Alkenen

Syngas

Kunststoff aus  
Luft

im Benzinbereich unter Abscheidung von Wasser. Von dort aus ist der Weg zur Erzeugung von *Kunststoff aus Luft* in Anlehnung an das Schlagwort *Benzin aus Luft* technisch kein Problem, vgl. Abschnitt 1.4.3.



### Nanotechnologie

- *Personal Manufacturing Units (PMU)*, auch als „persönliche Fertigungseinheiten“ bezeichnet, ermöglicht jedes gewünschte Produkt mit Hilfe eines dem 3D-Druck ähnlichen Verfahren zusammenzubauen. Allerdings mit dem Unterschied, dass sich das Baumaterial auf atomarer Ebene wiederfindet, d. h. einzelne Atome zur Fertigung dienen. Zugleich könnte hierdurch das Abfallproblem elegant gelöst werden, indem das Produkt nur für einen gewünschten Zeitraum gefertigt wird. Nach Ablauf der im Voraus definierten Zeitspanne übernimmt das *reverse manufacturing*, „Rückentwicklung“ die Aufgabe das nanotechnologische Produkt wieder in seine Atome zu zerlegen und dementsprechend ohne Umweltbelastung zu entsorgen, vgl. Abschnitt 15.3.

### Supraleitersubstanz (Polymer?)

- Es wird eine Supraleitersubstanz (Polymer?) entwickelt, deren Sprungtemperatur bei Normaltemperatur liegt; erwarteter Zeitraum 2021 bis 2025. Diese Aussage entstammt „Delphi 98“, einer Studie im Auftrag des deutschen Bundesministeriums für Bildung, Wissenschaft und Forschung (BMBF), die schon in früheren Auflagen dieses Buches jeweils an dieser Stelle zitiert wurde. Wobei zu bemerken ist, dass „Delphi 98“ in vielen Vorhersagen richtig lag, vgl. Abschnitt 15.1.

### Das zukünftige Puzzle mit den chemischen Elementen:

- Zumindest aus Sicht der theoretischen Chemie besteht kein Einwand neben den bisherigen auch noch weitere chemische Elemente (s. Periodensystem) für zukünftige Entwicklungen im Bereich der Kunststoffe bzw. bei den Polymeren einzubinden. Beispielsweise vermehrt die seltenen Erden und Halbmetalle oder im Extremfall sogar die Edelgase (s. Argon-Schweißen). Es bleibt daher für Spannung weiterhin gesorgt, vgl. Anfang Kapitel 2.

### Grüne Chemie

- Ursprünglich nicht vorgesehen, doch aus aktuellem Anlass wird an dieser Stelle ein Thema aufgefrischt, das bereits seit Jahrzehnten der chemischen Industrie den Weg weist und bei der laufenden „Plastik-Diskussion“ fast nie zu Wort kommt. 1998 formulierten und veröffentlichten Paul Anastas und John Ch. Warner „12 Grundprinzipien der Grünen Chemie“ (12 Principles of Green Chemistry). Im Zentrum steht das Bemühen die Umweltverschmutzung einzudämmen, die Energieeffizienz zu steigern um schlussendlich möglichst umweltverträglich zu produzieren. Da die Beseitigung noch besser Vermeidung von Abfällen sowie die Energieeffizienz zu optimieren nicht zuletzt im ureigenen Interesse liegt, stießen diese Leitsätze auch bei der kunststofferzeugenden Industrie auf offene Ohren. Äußerliches Merkmal ist der „Wöhler-Preis für Nachhaltige Chemie“, der durch die Gesellschaft Deutscher Chemiker (GDCH) seit 1998 jährlich verliehen wird. Anfänglich unter dem Namen: „ressourcenschonende Prozesse“. Vieles wurde in der Zwischenzeit getan. Indes bleibt auch hier noch viel zu tun, vgl. Kapitel 16 und 17.

### Klebstoffe, Beschichtungen (inkl. Farben und Lacke), Dichtungsmaterial und Fasern (beispielsweise aus Polyamid, PA, oder Polypropylen, PP)

- Der Schlussreigen gebührt an dieser Stelle der unglaublichen Vielfalt an Polymeren, die hier Verwendung finden. Auch wenn aus Platzgründen diese Stoffklassen nicht

*reverse manu-*  
*facturing,*  
„Rückentwicklung“  
ohne Umwelt-  
belastung

Sprungtem-  
peratur bei  
Normal-  
temperatur

Extremfall  
sogar die  
Edelgase

12 Principles  
of Green  
Chemistry  
Vermeidung  
von Abfällen  
Energieeffizienz  
zu optimieren

detailliert in diesem Buch erläutert werden können, so mindert dies in keiner Weise ihre fundamentale Bedeutung als unverzichtbare Materialien in diesen Bereichen. Es erstaunt daher nicht, dass gerade hier die Erwartungen an neue Polymere auf eine große Nachfrage stoßen, die vorgängig aus Forschungsprojekten hervorgehen. Als Musterbeispiel diene zum Schluss eine aktuelle Publikation zum Thema: außergewöhnlicher Schutz für die Aluminium-Legierung (AA2024) gegen Korrosion auf der Basis von Polyphenylenmethylen (PPM). Das Polymer leuchtet (fluoresziert) an den Stellen, wo es nicht beschädigt ist, *repariert sich selbst* – und ist mehrfach wiederverwendbar; siehe Literaturverzeichnis.

### 1.4.3 Zukünftige Rohstoffquellen

Die organische Basis der Kunststoffe wird auch in der Zukunft jegliche Strategie zur Erschließung neuer Rohstoffquellen bestimmen. Betrachtet man das Erdöl als letztes Glied einer Kette organischer Prozesse (entstanden aus dem marinen Plankton/Faulschlamm in vorgeschichtlicher Zeit), so stellt sich – technologisch gesehen – die Frage, inwiefern die Menschheit nicht eines Tages in der Lage sein wird, diesen „Alterungsprozess“ von Organismen künstlich zu beschleunigen, d. h. aus in der Natur vorhandenen organischen Verbindungen ebenfalls Erdöl oder dem Erdöl ähnliche Verbindungen kostengünstig herzustellen.

Eine weitere Perspektive ergibt sich aus den rasch fortschreitenden wissenschaftlichen Erkenntnissen der modernen Biologie inklusive Bio- und Gentechnologie, die vielleicht direkt zu geeigneten Rohstoffen für die Kunststofferzeugung führen. Erste Erfolg versprechende Ergebnisse liegen bereits seit Jahren vor. So wird sowohl von Bakterien (*Alcaligenes eutrophus*) wie auch von Pflanzen (*Arabidopsis thaliana*) Polyhydroxybutyrat hergestellt, d. h. „ein technisches Polymer“ natürlichen Ursprungs, vgl. Abschnitt 15.5.2 und 16.4.1.

Nicht zuletzt sei an die Photosynthese, den wichtigsten biochemischen Vorgang auf der Erde, erinnert (jährlich gespeicherte Menge: 1,5 bis  $2 \cdot 10^{11}$  t Kohlenstoff aus dem Kohlendioxid in der Luft). Bei diesem chemischen Prozess erfolgt die Umwandlung von Kohlendioxid und Wasser in so genannte Kohlenhydrate unter Einfluss des Sonnenlichts durch grüne Pflanzen und gewisse Bakterienarten. Die ablaufende chemische Reaktion kann schematisch mit folgender Summengleichung beschrieben werden:



Auf den ersten Blick scheint nach der so dargestellten Gleichung die Photosynthese sehr einfach zu sein. Doch im Detail handelt es sich um einen bis heute erst teilweise erforschten Mechanismus (vergleichsweise wäre die Verwandlung eines Mineralwassers in eine süße Limonade vorläufig nur als amüsantes Zauberkunststück möglich). Dennoch wird die vollständige Aufklärung der ablaufenden chemischen Reaktionen nur eine Frage der Zeit sein und damit in naher oder ferner Zukunft eine weitere Rohstoffbasis für Kunststoffe ermöglichen. Alle hier aufgezeigten Alternativen zum Erdöl bzw. Erdgas bestechen zudem durch die Tatsache, dass zu ihrer Verwirklichung auch *rohstoffarme Länder* – zumindest theoretisch – in der Lage sein sollten. Was die „materiellen Rohstoffe“ zu diesen neuartigen Totalsynthesen von Kunststoffen betrifft, so sind die dafür erforderlichen Ressourcen ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ , Sonnenlicht) fast überall auf der Erde vorhanden. Ganz zu schweigen von dem Reservoir an Stickstoff ( $\text{N}_2$ ) und Sauerstoff ( $\text{O}_2$ ) in der Luft, vgl. Kapitel 2, 8 und 9.

Photosynthese

Chance für  
rohstoffarme  
Länder

**Autopionier  
„Henry Ford“**

Abschließend sei der amerikanische Auto-Pionier Henry Ford zitiert, der bereits in den dreißiger Jahren des letzten Jahrhunderts davon träumte, „einen Wagen wie eine Feldfrucht wachsen zu lassen“. Er war ein leidenschaftlicher Anhänger der „Farm Chemurgy“-Theorie des Chemikers William J. Hale (von engl. „Farm“, „chemistry“ und griech. ἔργον „Arbeit“), die besagte, dass die Ersetzung des Pferdes durch den Verbrennungsmotor, der keine Zellulose fraß und keinen nützlichen Dünger an den Boden zurückgab, ein riesiges Unglück für die Landwirtschaft bedeutete. Henry Ford – 1863 auf einer Farm geboren und dort aufgewachsen – wendete in der Folge erhebliche finanzielle Mittel auf, um in eigenen Forschungslaboreien seines Autokonzerns das industrielle Potenzial von Pflanzen untersuchen zu lassen. Aus den „drei Musketieren in der Natur“, Zellulose, Pflanzenöl und Alkohol, sollten nach seiner festen Überzeugung Rohmaterialien entstehen, die sich in hervorragender Weise zur Autoherstellung eignen. Tatsächlich entwickelten seine Ingenieure den Prototypen eines Plastik-Ford, der im November 1940 den Weg in die Öffentlichkeit fand. Karosse und Innenraumverkleidung des Prototyps bestanden zu 100 % aus einem Biokunststoff (Basis: Sojabohnenöl und Cellulose) und als Treibstoff wurde aus Hanf erzeugtes Methanol eingesetzt.

**Agro-Plastik  
kontra Metall-  
Karosserie**

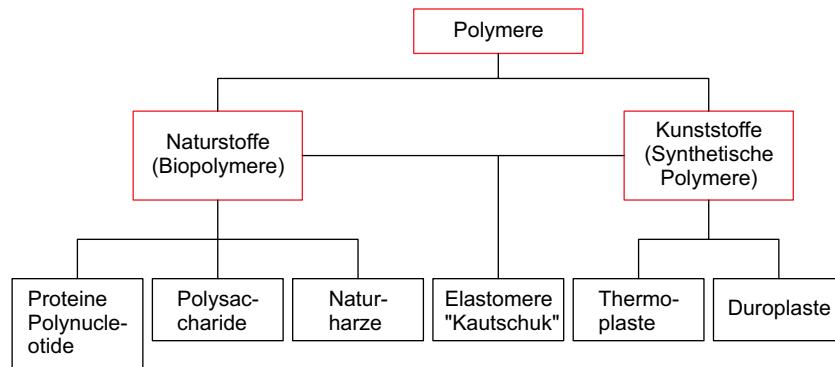
Die Überlegenheit seiner Agro-Plastik gegenüber der althergebrachten Metall-Karosserie demonstrierte Henry Ford eigenhändig, indem er das Heck seines Plastik-Ford mehrfach mit einer Axt bearbeitete und es trotzdem unbeschädigt blieb. Zugleich forderte er die Anwesenden auf, mit ihrem Auto dasselbe zu tun, vgl. Bild 1.13.



**Bild 1.13:** Von Blech zu Plastik: Henry Ford bearbeitet die Kunststoff-Karosserie mit der Axt  
Quelle: The Henry Ford Museum & Greenfield Village

**Plastik-Ford**

Auch wenn seinem Plastik-Ford nicht der Erfolg vergönnt war, den er sich davon erhoffte, so hat doch die Vision eines Henry Ford, die Aussöhnung der beiden



**Bild 1.14:** Klassifizierung der Polymere nach ihrer Herkunft

Seelen in seiner Brust – des Mechanikers und des Naturfreunds – von ihrer Aktualität bis heute nichts eingebüßt.

Die Vision eines Henry Ford erhält zudem ihre absolute Berechtigung aus der Identität im molekularen Aufbau, die sich beim Vergleich zwischen Naturstoffen und Kunststoffen feststellen lässt. Ob Proteine, Polynucleotide (Eiweiße), Polysaccharide (Zellulose, Stärke) oder Naturharze, bei all diesen Naturstoffen handelt es sich um Biopolymere, vgl. Bild 1.14.

Polymere: Basis von Natur- und Kunststoffen

Eine Sonderstellung erfahren dabei die Elastomere, da sie ihrer Herkunft nach sowohl Abkömmlinge von Naturstoffen („Naturkautschuk“) als auch Produkte vollsynthetischen Ursprungs („Synthesekautschuk“) sind.

Gleichzeitig soll in diesem Zusammenhang ein exklusives Einsatzgebiet der Kunststoffe nicht unerwähnt bleiben. Zum einen repräsentieren die Kunststoffe heute eine bedeutende Klasse technischer Werkstoffe (z. B. im modernen Automobil- und Flugzeugbau), zum anderen kommt ihnen das Privileg zu, aufgrund ihrer molekularen Struktur die höchste Kompatibilität mit Polymeren der belebten Natur zu besitzen. Auch in dieser auserlesenen Mittlerfunktion zwischen toter und lebendiger Materie (z. B. für Haut-/ Organersatz in der Medizin) haben Kunststoffe ihre ganz große Zukunft noch vor sich. Oder vereinfacht ausgedrückt: Das Ende der Fahnenstange ist noch lange nicht erreicht.

## 1.5 Wirtschaftsdaten und Grafiken zu Kunststoffen

### 1.5.1 Einteilung der Kunststoffproduktion nach Typ und Bedarf in Einsatzgebieten

Wie aus Bild 1.15 ersichtlich, entfallen rund 71 % der weltweiten Produktion auf fünf Kunststofftypen, davon alleine rund 46,5 % auf die Polyolefine (PE und PP), gefolgt von Polyvinylchlorid (PVC), den Polystyrolen (PS & PSE) und dem Polyethylenterephthalat (PET) als Flaschenmaterial.

71% der weltweiten Produktion

# Sachwortverzeichnis

## A

Abbau von Polymeren 71  
 Abbaureaktion 128  
 Abbindemechanismus der Klebung 243  
 Abfallhierarchie 596  
 Abfallwirtschaft 596  
 abgewandelte Naturstoffe 12  
 ABS + PA Blends 340  
 ABS + PC Blends 339  
 Abwandlung durch Vernetzen 269  
 Acetal 414  
 Acetal-Thermoplaste 411  
 Acetat-Reyon 373  
 Acetylen 298, 555  
 Acrylatcopolymere 617  
 Acrylfaser 20  
 Acrylglas 366  
 Acrylkunststoff 16  
 Acrylnitril 328, 401  
 Acrylnitril-Butadien-Kautschuke NBR 515  
 Acrylnitril-Butadien-Styrol ABS 333, 335  
 Acrylnitril-Methylmethacrylat AMMA 367  
 Acrylnitril-Styrol-Acrylat ASA 337  
 Acrylsäuremethylester 365  
 ACS 337  
 Additionspolymerisation (Polyaddition) 45, 67  
 Additive 40, 104, 151, 516  
 Additive Fertigungsverfahren 216  
 Adhäsion 241  
 AES 337  
 Agro-Plastik 30  
 AHA-Schutz 589  
 Aktivator 521  
 akzessorische Verunreinigungen 129  
 Allophanat-Gruppe 548  
 Allophansäure 548  
 Allylgruppe 476  
 alternierendes Copolymer 56  
 Alterung 128  
 Alterungsschutz 128  
 Alterungsschutzmittel 521  
 Alterungsvorgänge  
   – chemische 128  
   – physikalische 131  
 Amid-imid-Gruppe 497  
 Amidgruppe 381, 390  
 Amin 545

$\omega$ -Aminocarbonsäuren 382, 387  
 Aminogruppe 63  
 Aminoplaste 451  
 11-Aminoundecausäure 383  
 amorph 41, 44, 91, 118, 397, 488, 503  
 amorphes Polyamid 397  
 amorphes Polyethylenterephthalat PET-A 351  
 Amylopektin 573  
 Amylose 573  
 Animationen zu V  
   – Birkenpech 11  
   – Blasfolienanlagen 166  
   – Carbon Nanotubes (CNT) 568  
   – Compoundieren 152  
   – Elastomeren/Gummi 514  
   – Epoxidharzen 467  
   – Erzeugung von PVC-Polymeren 302  
   – Extrusionsanlagen 165  
   – Extrusionsblasformanlagen 169  
   – Funktion von Leuchtdioden 562  
   – FVK-Urformen 201  
   – PA 382  
   – Phenolharzen 444  
   – Photovoltaik 563  
   – Polykondensation 66  
   – Polymerisation und PMMA 364  
   – PS-E Schaumstoffen 536  
   – PTFE 423  
   – PUR-Schaumstoffen 540  
   – radikalischer Polymerisation 50  
   – Schäumen 206  
   – Spritzgießen 173  
   – Spritz-Streckblasformen 172  
 Anion 51  
 anionische Kettenpolymerisation 52  
 Anisotropie 102, 107, 489  
 antiadhäsiv 425, 429  
 Antioxidantien 108, 129  
 Antiquietscheffekt 329  
 Antistatika 109, 109  
 Aramid 459, 491  
 Aramid-Faser 193  
 aromatische Dicarbonsäure 485  
 aromatische Hydroxycarbonsäure 485  
 aromatische Polyamide 491  
 aromatischer Polyester 347, 485  
 Arrhenius-Gleichung 158  
 Arylimid-Gruppe 497

- ASA + PC Blends 339  
 ataktisch 88  
 ataktisches Polystyrol 322  
 Atom 38  
 Atombindung 39, 72 f.  
 äußere Alterungsursachen 128  
 äußere Weichmachung 107  
 äußerer Weichmacher 307  
 Aufbau eines Extruders 161  
 Aufbereiten (Compoundieren) 104, 145 f.,  
 302  
 Aufbereitungsverfahren 152, 302  
 Aufspleißen 490  
 Aushärten 57 f.  
 Autoxidation 129  
 Autoxidationszyklus 130  
 Avogadro-Konstante 40  
 Azeotropkondensation 69  
 Azodicarbonamid 534  
 Azo-Verbindung 534
- B**
- Bakterien 604  
 Barriere-Kunststoffe 127, 316, 396, 400  
 Batch-Reaktor 62  
 Bauarten des Kalanders 186  
 Baumwolle 371  
 Bedampfen 251  
 Bedrucken 248  
 Beflocken 252  
 Begasung 533  
 Beibehaltung des Polymerisationsgrads 70  
 Benzidin 497  
 Benzolring 324  
 Benzoylperoxid 464  
 Beschichten 145, 245 f.  
 Beschleuniger 57, 441, 463, 521  
 besonders schlagfestes Polyvinylchlorid  
 PVC-HI 305  
 Bestrahlen 254  
 Biegeumformen 226  
 Bigbags 146  
 Bi-Katalysatoren 267  
 Billigplastik 33  
 bimodale Molmassenverteilung 99  
 Bindungen, physikalische 75  
 Bindungsabstände 73  
 Bindungsenergie 73 f., 76  
 Bindungskräfte 72  
 Biocide 529  
 Biocomposites 571, 577, 578  
 biogene Inhaltsstoffe 418  
 Biokompatibilität 570  
 Biokunststoffe 571  
 Biomaterialien 570  
 Bionik 569  
 Bioplastics 571
- Biopolyamide 398, 578  
 Biopolymere 30, 571  
 Bioprinter 222  
 Bioreaktor 575  
 1,1-Bis(4-hydroxyphenyl)-3,3,5-trimethyl-  
 cyclohexan BPTMC 360  
 biotechnologische Verfahren 603  
 Bisphenol A (BPA) 356, 357, 466, 470  
 Bisphenol S 360  
 Bisphenol TMC 360  
 Biuret-Gruppe 547  
 Blasfolienanlage 166  
 Blasformen 168  
 Blend 339 f.  
 Blister-Verfahren 230  
 Blockcopolymer 53, 56, 522  
 Blockschaumstoffe 544  
 BMC 184, 460  
 Bohren 234  
 Brandschutzmittel 109  
 breite Molmassenverteilung 97  
 Brennstoffzellen 565  
 Brennwert 608  
 Butadien 519  
 Butadien-1,3 330  
 Butadien-Styrol-Kautschuk 330, 515  
 Butan 535  
 Butanol 535  
 Butylacrylat 303  
 Butylenglykol 462  
 Butylhydroxytoluol BHT 132  
 Butylkautschuk 515
- C**
- C-Faser 459  
 C=C-Doppelbindung 47  
 ε-Caprolactam 383, 397  
 CAP 347  
 Carbamid 452  
 Carbamidsäure 535  
 Carbanion 52  
 Carbeniumion 51  
 Carbonsäureamidgruppe 381  
 Carboxylgruppe 63, 482  
 Carothers-Gleichung 66  
 CB 347  
 Celluloseacetobutyrat CAB 369  
 Cellophane 573  
 Cellulosewerkstoff 572  
 Celluloid 15, 372  
 Cellulose 71, 370  
 Celluloseacetat CA 369  
 Celluloseacetopropionat CAP 369  
 Cellulosebutyrat CB 369  
 Celluloseester CA, CP, CAB 369 ff.  
 Celluloseether 572  
 Cellulosepropionat CP 369

- Chargeenkessel 58  
 Chemiefasern 9, 188 ff.  
 Chemikalienbeständigkeit 126  
 chemisch abbindende Klebstoffe  
     (Reaktionskleber) 243  
 chemische Beständigkeit 125  
 chemische Bindung 72  
 chemische Elemente 6, 38  
 chemische Struktur 81  
 chemische Verbindungen 38  
 chemische Vernetzung 44, 57, 86, 121, 513  
 chemischer Alterungsvorgang 128  
 chemisches Modifizieren 100  
 chemisches Recycling 602  
 chemisches Treibverfahren 203  
 Chlorieren 307  
 chloriertes Polyethylen PE-C 314 f.  
 chloriertes Polyvinylchlorid PVC-C 306  
 Chlorierung 71  
 1-Chlor-2,3-epoxypropan 469  
 Chlor-Kunststoffe 295  
 Chloropren-Kautschuk 515  
 chlorsulfoniertes Polyethylen CSM 270  
 Chlortrifluorethylen 436  
 Chromophore 130  
 chrono-mechanisches Verhalten 122  
 cis-Butendisäure 462  
 Citronsäure 534  
 Clarifier 110  
 CNT, Nanoröhren 567  
 Cobalsalze 464  
 Codierungssystem 614  
 Coextrusion 166, 170  
 Comonomere 55  
 Compatibilizer 102  
 Composites 106  
 Compoundieren 144, 302  
 Compression-RTM-Verfahren 200  
 Copolymeren 55  
 Copolymerisation 101  
 Copolymerisat 55  
 Cossee-Arlman-Mechanismus 54  
 Crazes 296  
 Crazing 296  
 CR-Typ 285  
 Cyanatesterharz 477  
 cycloaliphatische Polyamide 392  
 cycloaliphatisches Epoxidharz 472  
 Cycloalkan 535  
 Cyclohexan-1,4-dimethylol (CHDM) 353  
 1,4-Cyclohexandimethanol 354  
 Cyclohexanonperoxid 464  
 Cycloolefin-Copolymere (COC) 271  
 Cyclopantan 535
- D**
- Datenspeicher 560
- Dehnung 122  
 Dehnviskosität 266  
 Dehydrierung 330  
 Dendrimere 110  
 Dendrimermolekül 43  
 dendronisierte Polymere 44  
 Denisov-Zyklus 133  
 Depolymerisation 85, 414, 426  
 Devulkanisationsverfahren 518  
 Di-Hydroxymethylharnstoff 453  
 Diallylphthalat 463  
 Diamin 382, 388 ff., 500  
 3,3'-Diaminobenzidin 499  
 4,4'-Diaminodicyclohexylmethan PACM  
     394  
 4,4'-Diamino-diphenylether 497  
 Diblockcopolymer 56  
 Dibutylzinndilaurat 544  
 Dicarbonsäure 382  
 Diene 519  
 Diethylentriamin 473  
 Differential-Scanning-Calorimetry DSC  
     137  
 Differentialthermo-Analyse DTA 136  
 Diffusion 127  
 Digital Light Processing (DLP) 219  
 Diglycidether 470  
 1,4-Dihydroxybenzol (Hydrochinon) 50,  
     493  
 diisocyanat 532, 545  
 Diisodecylphthalat DIDP 310  
 Disisononylphthalat DINP 310  
 Dilatanz 112  
 Dimeres 64  
 Dimethylanilin 464  
 Dimethylether 535  
 2,6-Dimethylphenol 419  
 3,3 Dimetyl-p-diaminodicyclohexylmethan  
     MACM 394  
 Diol 349  
 Dioxolan 415  
 Diphenole 485  
 Diphenylcarbonat 358  
 Diphenylether-Gruppe 482  
 Diphenylketon-Gruppe 482  
 Diphenylmethan-4,4'-diisocyanat, MDI  
     497, 547  
 Diphenylsulfid-Gruppe 482, 506  
 Diphenylsulfon-Gruppe 482, 503  
 Dipol 74  
 Dipol-Dipol-Kraft 77  
 Direkt-Veresterung 349  
 Disaccharid 572  
 dispergiert 331  
 Dispersionskräfte 77  
 dispersives Mischen 153  
 Disproportionierung 50  
 distributives Mischen 153

- DMC 184, 460  
 DNA-Struktur 21  
 Dodecandisäure 383  
 Doppelbindung 46, 57  
 Doppelschneckenextruder 162  
 Dotierung 555  
 Drahtummantelungsanlage 168  
 Drehen 234  
 Dreiblockcopolymer 530  
 Drop-in Biokunststoffe 579  
 3D-Drucken 217  
 Druckverformungsrest 518  
 Drug-Delivery-System 10  
 Dry-Blends 154, 312  
 Dry-Jet-Wet-Spinnen 193  
 Dryblend-Verfahren 312  
 Dünnschichtkondensation 69  
 Dünnschliff 140  
 Dünnschnitt 140  
 Durchflusskessel 58  
 Durchflussrohr 58  
 Duroplaste 41, 44, 121, 159, 441  
 Dynamisch-Mechanische Analyse DMA 136
- E**
- e-Methanol 417  
 E-PVC 300  
 Einbetten 216  
 Einfrieren 103  
 Einfriertemperatur 121, 311  
 Einschneckenextruder 161  
 Einteilung der Nebervalenzbindung 76  
 Elastizitätsmodul 122  
 Elastomere/Gummi 41, 121, 159, 513–514  
 – permanent vernetzte 514 f.  
 – reversibel vernetzte 521 f.  
 Elastomerlegierung 522  
 Elektrete, Polymere 557  
 elektrisch leitfähige Compounds 554  
 elektrisch leitfähige Polymere 23  
 Elektroaktive Kunststoffe 553  
 Elektrodekanter 428  
 Elektrolumineszenz 561  
 Elektronegativität 74  
 Elektronenbeschleuniger 255  
 Elektronenpaarbindung 73  
 Elektrospinnen 193  
 Emulgator 59, 543  
 Emulsion 59  
 Emulsionspolymerisation 59  
 Emulsions-Polyvinylchlorid E-PVC 299  
 Endgruppe 83  
 Endgruppen-Stabilisierung 415  
 enerfy 605  
 energetische Verwertung 599  
 Energiebedarf 6  
 Energiebilanz 609
- Energienutzungsgrad 608  
 enge Molmassenverteilung 97  
 engmaschige Vernetzung 44  
 Entformungsmittel 110  
 Entropie 89  
 entropie-elastisch 112  
 EPDM 284, 515  
 Epichlorhydrin 466, 469  
 Epoxid 20, 68  
 Epoxidharz EP 467 ff.  
 Erdöl 29  
 Ermüdungsschutzmittel 521  
 Erweichungstemperatur  $T_g$  118  
 Essigsäure 372, 493  
 Essigsäureanhydrid 493  
 Ester 347  
 Ester-imid-Gruppe 497  
 Estergruppe 347  
 Ether-imid-Gruppe 497  
 Ether-Thermoplast 411  
 Ethylen 261  
 Ethylen-Chlortrifluorethylen-Copolymer ECTFE 433, 436  
 Ethylen-Copolymere 271  
 Ethylen-Copolymere mit  $\alpha$ -Olefinen 267  
 Ethyldiamin 547  
 Ethylenglykol 349, 462  
 Ethylenoxid 348, 415  
 Ethylen-Ethylacrylat-Copolymere (EEA) 273  
 Ethylen-Polymerisate, modifizierte 269  
 Ethylen-Propylen-Kautschuk EPM 284  
 Ethylen-Tetrafluorethylen-Copolymer ETFE 433  
 Ethylen-Vinylacetat-Copolymere (EVAC) 272  
 Ethylen-Vinylalkohol-Copolymere (EVOH) 274  
 Extender 107  
 externe Gleitmittel 302  
 Extruder 160  
 Extruder-Schaumstoff 537  
 Extrudieren (Strangpressen) 160 ff.  
 Extrudierwerkzeug 163  
 Extrusions-Streckblasformen 171  
 Extrusionsanlage 160  
 Extrusionsblasformen 169
- F**
- Fällungspolymerisation 59  
 Farbmittel 107, 151  
 Farbpigment 108  
 Farbstoff 108  
 Faserorientierungswinkel 198  
 Faserspritzen 198  
 Faserverstärkte Kunststoffe, FVK 197  
 Faserwickeln 198

- FCKW/Fluorchloralkane 543  
 Ferroelektrische Polymere 558  
 Fertigungsverfahren 143  
 Festkörperstruktur 89  
 Festphasenkondensation 350  
 FFS-lines 231  
 Fibrille 492  
 Filmgießen (Foliengießen) 215  
 flammhemmende Zusätze 109  
 Flammenschutzmittel 109  
 flammwidrig 296  
 Fließhilfe 110  
 Fließtemperaturbereich 119  
 Fließverhalten 95, 111  
 Fluidinjektionstechnik 179  
 Fluor-Elastomere 437  
 Fluor-Kunststoffe 425  
 Fluor-Thermoplaste 431, 437  
 Fluorchlorkohlenwasserstoff, FCKW 535  
 Flüssigkristalline Polymere LCP 488  
 Form-/Werkstoff 41  
 Formaldehyd 414, 448, 452  
 Formgießen 388  
 Formmasse 41, 151  
 Formmassen 588  
 Formschaumstoffe 544  
 Formstoffe 151  
 Formteil 159  
 Fräsen 234  
 Fügen 145, 235  
 Fullerene 569  
 Füllstoffe 105, 151, 521  
 Fungistatika 105, 529  
 funktionalisierte Polymere 560  
 funktionelle Gruppe 63  
 Funktionskunststoffe 560  
 Funktionswerkstoffe 7  
 Fused Deposition Modeling (FDM) 220  
 Fused Layer Modeling (FLM) 220  
 FVK-Urformen 197
- G**
- Galvanisierbarkeit 334  
 Galvanisieren 251  
 Gebrauchsadditive 104  
 Gelcoat 201  
 Gelcoat-Harze 463  
 Gele 560  
 Gelelektrophorese 584  
 Gelieren 310  
 Gel-Spinnen 192  
 Gelierprozess 246  
 gemischtzellig 201  
 Geschichte der Kunststoffe 11  
 geschlossenzellig 201  
 Gesundheitsaspekte 587  
 gesättigte Polyester 64, 348
- Gewichtsmittel 98  
 Gewindeschneiden 234  
 Gießen 212  
 Gießharz 442  
 Glas 459  
 Glasfaser 106  
 Glastemperatur  $T_g$  118, 311  
 Glasübergangstemperatur  $T_g$  121  
 Gleichgewichtsreaktionen 62  
 Gleitmittel 110, 151  
 Glucose 371  
 Glycidester 470–471  
 GMC 460  
 GMT 185  
 Granulieren 155  
 Graphen 568  
 Grenzflächenkondensation 68, 359  
 Grundlagen des Spinnprozesses 189  
 Grüne Chemie 28  
 Gummi 121, 514 ff.  
 Gummi-Schaumstoffe 551  
 Guss-Polyamid 388
- H**
- Haargel 584  
 Haftvermittler 170  
 Halbacetal 414  
 Halbzeug 159  
 HALS, HAS 133  
 Hamsterrad 618  
 Handlamинieren 200  
 Harnstoff-Formaldehyd-Schaumstoffe 560  
 Harnstoffharz UF 451  
 Harnstoff 452  
 Hart-Polyvinylchlorid PVC-U 295  
 Hartsegment 522, 531  
 Hart-Weich-Kombination 525  
 Härter 441  
 Härtezeit 117  
 Härtung 441  
 Harzblase 447  
 Harze 441  
 Harzformstoff 442  
 Harzmasse 442  
 Harzmatte 443  
 Harzträger 442  
 HAS 133  
 Hauptsatz der Kunststofftechnik 104, 135  
 Hauptvalenzbindungen 72 ff.  
 Hausmüll 605  
 HBHV-Copolymer 576–578  
 H-Brücken 390  
 Heizwerte 608  
 – unterer 608  
 Heizelementschweißen 238  
 Heißabschlag 155

- Heißmischung 312  
 Heißprägen 250  
 Helix 90  
 Herstellung von Chemiefasern 189  
 heterophasische Copolymerne 279  
 Hexafluorpropylen 434  
 Hexahydrophthalsäure 472  
 Hexahydrophthalsäure-diglycidester 472  
 Hexa-Hydroxymethylmelamin 456  
 Hexamethylendiamin 383  
 Hexamethylentetramin 449  
 High-Density-Polyethylen PE-HD 266  
 Hilfsstoffe 543  
 HM-C-Faser 402  
 Hochdruckanlage 207  
 Hochdruckharze 442  
 Hochdruckverfahren 261  
 hochfeste Polymerfasern 22  
 Hochleistungspolymerne 481  
 hochmolekulare Stoffe 40  
 Homopolymerisate 55  
 homöopolare Bindung 73  
 Hookesches Gesetz 122  
 HT-Faser 402  
 Hybride Polymersysteme 566  
 Hydrocellulose 573  
 Hydrofluor-Kohlenwasserstoffe 535  
 Hydrogele als Funktionspolymerne 584  
 Hydrolyse 372  
 hydrolytischer Abbau 351  
 Hydroperoxid 129  
 2-Hydroxybenzophenon 134  
 Hydroxylgruppe 63  
 Hydroxymethylgruppe 448  
 $\beta$ -Hydroxyvaleriansäure, HV 576  
 hygroskopisch 272  
 hyperverzweigtes Makromolekül 43
- I**
- Imidgruppe 381, 494  
 Imprägnieren 216  
 in situ-Polymerisation 59, 388  
 In-Mold Coating, IMC 250  
 In-Mold Decoration, IMD 249  
 In-Mold Labeling, IML 170, 249  
 Induktionskräfte 78  
 Induktionsschweißen 240  
 Inertgas 69  
 Inhibitor 50  
 Initiatoraddition 50  
 Initiator 47, 51 f.  
 Initiierung/Startreaktion 47, 51  
 innere Alterungsursachen 128  
 innere Weichmachung 107, 372  
 Insertion 262  
 Integral-Schaumstoffe 107
- International Material Data System, IMDS 3  
 interne Gleitmittel 302  
 intrinsisch elektrisch leitfähige Polymere 555  
 Ionenbindungen 79  
 Ionomere 79  
 irreversibel 514  
 Isobuten-Isopren-Kautschuk 515  
 Isobutylen 257  
 Isocyanat 535  
 isocyanatfreie Polyurethane (NIPU) 548  
 Isophthalsäuredichlorid 492  
 Isophthalsäure 353, 395, 462  
 Isopren-Kautschuke IR 515  
 isotaktisch 88  
 isotaktisches Polypropylen PP-it 87 f.
- K**
- K-Wert 297  
 Kalandrieren 186  
 Kaltabschlag 155  
 kalte Verbrennung 565  
 Kaltformen 225  
 Kalthärtung 464  
 Kasein 14  
 Katalysator 57  
 Kation 51  
 kationische Kettenpolymerisation 51  
 Kautschuk 121  
 Kautschuktyp 514  
 Kehrlichtheizkraftwerk (KHK) 605  
 Kerbschlagzähigkeit 416  
 Keto-Enol-Tautomerie 134  
 Kettenabbruch 49, 52 f.  
 Kettenkopolymerisation 55  
 Kettenlänge 95  
 Kettenpolymerisation 45–46  
 Kettenstabilisierung 415  
 Kettenübertragung 48, 51 f.  
 Kettenverzweigung 49, 85  
 Kettenwachstumsreaktion 45, 70  
 Kettenwachstum 48, 51 f.  
 Kevlar-Faser 492  
 Kicker 535  
 Kleben 241 ff.  
 Ko-Kneter 154  
 Kofler-Heizbank 140  
 Kohlenhydrate 29  
 Kohlenstofffasern (C-Fasern) 402  
 Kohlenwasserstoffe 38  
 Kohäsion 241  
 kombinierte Verfahren 227  
 Kondensation 62  
 Kondensationsenthalpie 608  
 Kondensationscopolymerisation 63  
 Kondensationsharze 442

Kondensationspolymerisation  
   (Polykondensation) 45, 62 f.  
 Kondensationspolymerisation unter  
   Ringschluss 498  
 Konditionieren 254  
 Konfiguration 44, 81, 87, 89  
 Konstitution 44, 81 f.  
 konstitutionelle Repetiereinheit 83  
 koordinative Kettenpolymerisation 54  
 koordinative Polyinsertion 54  
 Kopf-Kopf-Anordnung 86  
 Kopf-Schwanz-Anordnung 86  
 Kopf-Schwanz-Polymerisation 48  
 kovalente Bindungen 73  
 Kreislaufwirtschaft 591  
 Kristallinität 93  
 Kristallisierungsgrad 93  
 Kristallschmelztemperatur 119  
 Kristallembildner 93  
 Kristalllamellen 92  
 Kunststoffabfälle 596  
 Kunststoffe 1, 37, 41, 104, 143  
 Kunststoff-Flaschen 316  
 Kunststoffverpackungen 593  
 Kupplungsschicht 201  
 Kurzkettenverzweigung 257  
 Kurzzeichen für Kunststoffe 12

**L**

Lackieren 248  
 Lactam 382, 386  
 Laminat 459, 461, 468  
 Laminierharze 443  
 Laminierverfahren 460  
 Länge eines Makromoleküls 42  
 Langkettenverzweigung 257  
 Laserbeschriften 250  
 latent 473  
 Latex 521  
 $\omega$ -Laurinlactam 383  
 lebende Polymere (living polymers) 53  
 Lebensdauer 128, 592  
 Leiterpolymere 44, 499  
 Leitfähigkeit 24  
 Leitfähigkeitszusätze 109, 554  
 Lichtemittierende Polymere 24, 561  
 Lichtinduzierte Alterung 130  
 Lichtschutzmittel 129, 521  
 Lichtstabilisatoren 296  
 lineare Polyolefine 22, 257  
 lineare Verarbeitungs- und Nachschwindung 94  
 Linters 371  
 Lösekerntechnik 181  
 Lösemittel 151  
 Lösungs-Additionspolymerisation 68  
 Lösungs-Kondensationspolymerisation 68

Lösungsverfahren 57, 263  
 low profile (LP) 463  
 low shrink (LS) 463  
 lyotrop 488

**M**

M-Kautschuke 514  
 m-Phenyldiamin 492  
 m-Xylyldiamin 395  
 Makrokonformation 89  
 Makromoleküle 16, 40 ff., 100  
 Maleimid-Gruppe 497  
 Maleinsäure/cis-Butendisäure 462  
 MAP-Verpackungen 583  
 Maslowschen Bedürfnispyramide 8  
 Massenfließrate 95  
 Massenwirkungsgesetz, MWG 62  
 Massepolymerisation-Polyvinylchlorid  
   M-PVC 301  
 Masterbatch 108  
 Mastikation 71, 519  
 MC 460  
 mechanische Bindungen 72, 79  
 mechanische Treibverfahren 203  
 Mehrkomponenten-Spritzgießen 178  
 mehrschichtige Flasche 171  
 Melamin 456  
 Melamin-Phenol-Formaldehyd 455  
 Melamin-Polyester 455  
 Melaminharz MF 454  
 Melaminharze, modifizierte 455  
 Memory-Effekt 171  
 mesogen 488  
 mesomorph 488  
 meta-Kresol 447  
 Metallfolien 180  
 Metallisieren 250  
 Metallocen-Katalysatoren 55  
 Metallocen-katalysierte Ethylenkopolymerne  
   PE-MC 268  
 Metallocen-katalysiertes Polypropylen mPP  
   282  
 meta-Phenyldiamin 473  
 Methacryl-imid-Gruppe 497  
 Methacrylnitril 401  
 Methacrylsäuremethylester 365  
 Methacrylsäure 466  
 Methylamin 368  
 Methylcellulose 573  
 Methylchlorid 535  
 Methyleneharnstoff-Gruppe 457  
 Methylenmelamin-Gruppe 457  
 Methylenphenol-Gruppe 450  
 Methylethylketonperoxid 464  
 Methyl-Fluor-Siloxan-Kautschuk MFQ 515  
 Methylmethacrylat 365

- Methylmethacrylat-Acrylnitril-Butadien-Styrol MABS 367  
 Methylmethacrylat-Polymerisate, modifizierte 366  
 4-Methylpenten-1 289  
 $\alpha$ -Methylstyrol 325  
 MFR-Wert 95  
 Micellen 59  
 migrieren 311  
 mikrobielle Ökologie 27  
 mikrobieller Angriff 308  
 Mikrofibrillen 93  
 Mikroplastik 613  
 Mikopräzisions-Spritzgießen 413  
 Mikro-Suspensionspolymerisation 299  
 Milchsäure 535  
 Milieu-Harz 463  
 Mischen 152  
 mittlere Molmasse 50, 95 f.  
 mittlerer Polymerisationsgrad 98  
 Modifizierung  
  – physikalische 101  
  – von teilaromatischen Polyamiden 398  
 Modifizierung 100  
 Molding Compounds 184, 460  
 Molekulare Nanotechnologie 569  
 Molekulargewicht 40  
 Moleküle 38, 40  
 Molmassenregler 359  
 Molmassenverteilung 41, 95 f.  
 Molmasse 40, 85, 96  
 Mono-Hydroxymethylharnstoff 453  
 Monomer casting 388  
 Monomer 45  
 Morphologie 93  
 MuCell-Verfahren 180  
 Mulchware 260  
 Multiblockcopolymer 530  
 Multifunktionalität, smart Polymers 566  
 multimodale Molmassenverteilung 266  
 MVR-Wert 96
- N**
- Nachfolgevorrichtung 164  
 Nachhaltigkeit 590  
 Nachschwindung 94  
 Nachstabilisierung 601  
 Nanocomposites 568  
 Nanofasern 193  
 Nanoröhren CNT 567  
 Nanotechnologie 569  
 Nassspinnen 192  
 Natriumhydrogencarbonat 534  
 Natriumsulfid 508  
 Naturkautschuk NR 31, 515, 519, 521  
 Nebervalenzbindungen 72, 75, 390  
 Nebervalenzkräfte 75, 118
- Newton'sches Fließgesetz 111  
 Niederdruckanlage 207  
 Niederdruckharze 442  
 Niederdruckverfahren 262  
 Nitril-Kautschuk 515  
 Nitrilgruppe 381, 400  
 Nomex-Faser 492  
 Norbornen 271  
 Norrish-Reaktionen 130  
 Novolake 444, 447 f.  
 Nukleierungsmittel 93, 109, 350  
 Nylon 18, 399  
 Nylon-Rope-Trick 69
- O**
- O-Kautschuke 514  
 Oberflächenharze 463  
 Oberflächenspannung/Oberflächenenergie 242  
 Oberflächenvorbehandlung 249  
 Octabins 146  
 offenzellig 201  
 OLEDs 561  
 Olefine 257, 290  
 $\alpha$ -Olefin 267  
 One-shot-Verfahren 543  
 On-line-Lackierbarkeit 420  
 opak 258  
 optische Aufheller 108 f.  
 organische Chemie 38  
 Organisole 247  
 Orientierung 102, 171  
 oxidative Kupplung 420
- P**
- p-Dichlorbenzol 508  
 p-Methylstyrol 325  
 p-Phenyldiamin 492  
 p.h.r. 310  
 Paraffine 265  
 Partikel-Schaumstoffe 536  
 Pasten-Extrusion 426  
 Pastenverarbeitung 309  
 Pathogenese 146  
 Pathologie eines Werkstoffs 146  
 pathologische Technologie 146–147, 149  
 pathologischer Befund bei den  
   Aufbereitungsverfahren 156  
 pathologischer Befund beim Schweißen 240  
 pathologischer Befund beim Urformen 222  
 pathologischer Befund beim Umformen 231  
 PC+ASA-Blends 361  
 PC+LCP-Blends 361  
 PC+PBT-Blends 361

- PE-HD (PE hoher Dichte) 257  
PE-LD (PE niedriger Dichte) 257, 266  
PE-LLD/PE-VLD (lineares PE niedriger/sehr niedriger Dichte) 266  
PE-MD (PE mittlerer Dichte) 257  
Pentan 535  
Perfluoralkoxy-Copolymer PFA 432  
Perfluorpropylvinylether 434  
Perkolationsgrenze 555  
Permeation 126–127  
Peroxid 47  
Petrochemie 5  
PE-UHMW 266  
Pfropfcopolymere 56 f., 530  
Phasengrenzflächen-Verfahren 359  
Phasenvermittler 102  
Phenol-Formaldehyd-Harze 15, 443  
Phenol-Formaldehyd-Schaumstoffe 550  
Phenol 447  
Phenoplaste (Phenol-Formaldehyd-Kondensationsharze) PF 443 f.  
Phosgen 357  
photoaddressierbare Polymere 561  
Photolacke 564  
Photolithographie 564  
Photoresists 564  
Photosynthese 27, 29  
Phthalsäure 462  
physikalisch abbindende Klebstoffe 243  
physiologischen Unbedenklichkeit 297  
PICVD-Technologie 252  
Piezo- und Pyroelektrizität 558  
piezoelektrische Polymere 558  
Pilze 604  
PIR 548  
Planetenwalzenextruder 163  
Plasmabeschichten 252  
plasmainduzierte Polymerisation 62  
Plasmapolymerisation 62  
plastics 1  
Plastikmüll im Meer 599  
plastischer Zustand 1  
Plastisole 247  
PMDI 547  
PMMA+ABS-Blends 368  
PO-Schaumstoffe 538  
Polarität 74, 77, 126  
Polieren 234  
Poly-4-methylpenten-1 (PMP) 288–289  
Polycetale 412  
Polyacetylen PAC 555  
Polyacrylester 366  
Polyacrylnitril PAN 400 f.  
Polyaddition 45  
Polyaddukte 67  
Polyalkylenterephthalate 348  
– modifizierte 353  
Polyamid PA 63, 381  
Polyamid-imid 496, 500  
Polyanilin PANI 556  
Polyarylamid PARA 398, 497  
Polyarylate PAR 347, 485, 487  
Polyaryletherketone PAEK 482  
Polyarylsulfone PSU, PES, PPSU 503  
Polybenzimidazol 495, 499  
Polybismaleimid 495, 501  
Polybutadien 330, 519  
Polybuten-1 (PB-1) 287  
Polybutylen-Adipat-Terephthalat PBAT 580  
Polybutylenoxid 531  
Polybutylensuccinat PBS 347  
Polybutylenterephthalat PBT 349 ff.  
Polycaprolacton PCL 582  
Polycarbonat PC 21, 356 ff.  
Polycarbonat-Cokondensate 360  
Polycarbonate, modifizierte 359  
Polycarbonat-Siloxan-Blockcopolymeren 361  
Polychlortrifluorethylen PCTFE 433, 436  
Polydiallylphthalatharz PDAP, PDAIP 476  
Polyelektrolytmembran PEM 566  
Polyestercarbonat PEC 362, 486  
Polyesterimid 496, 501  
Polyester-Polyole 546  
Polyesterurethan-Kautschuke 516, 523  
Polyester 20, 347 ff.  
Polyetheramid-Block-Copolymere 523, 532  
Poly-Ether-Block-Amide PEBA 532  
Polyetheretherketon PEEK 483 ff.  
Polyetherimid 496, 501  
Polyetherketon PEK 483 f.  
Polyetherketonetherketonketon 484  
Polyether-Polyole 545  
Polyethersulfon PES 503, 505  
Polyetherurethan-Kautschuk 516  
Polyethylen PE 17, 46, 257 ff.  
Polyethylenedi oxythiophen PEDOT 563  
Polyethylennaphthalat PEN 354  
Polyethylenterephthalat PET 350 ff.  
Polyformaldehyd 411  
Polyharnstoff 535, 545  
Polyhydroxyalkanoate PHA 575  
Polyhydroxybutyrat PHB 29  
Polyimid PI 494 ff.  
Polyimidazole 495  
Polyisobutylene (PIB) 285, 525  
Polyisocyanat 543 ff.  
Polyisocyanurat PIR 548  
Polyisopren 519  
Polyketon PK 276  
Polykondensate 63  
Polykondensation 45  
Polylactid PLA 10  
Polymer 41 f.  
Polymerblends (Polyblends) 101, 354, 361

- Polymerdruckverfahren 219  
 Polymere Leuchtdioden PLEDs 561  
 Polymere Photovoltaik PPV 562  
 polymeres Gel 222  
 Polymergemische 101  
 Polymerisate 46  
 Polymerisation 45  
   – in Emulsion 57, 59  
   – in Lösung 57 f.  
   – in Masse 58  
   – in Substanz 57 f.  
   – in Suspension (Perlpolymerisation) 57, 61  
   – unter Fällung 57 f.  
 Polymerisationsgrad  $n$  46, 70, 98  
   – mittlerer  $\bar{P}$  98  
 Polymer-LED 561  
 Polymerlegierung 101–102  
 Polymermatrix 106, 330  
 Polymermolekül 41  
 Polymer-Rohstoff 104  
 Polymethacrylimid-Schaumstoffe 550  
 Polymethacrylmethyylimid PMMI 368, 502  
 Polymethylmethacrylat PMMA 364  
 Polymilchsäure 10  
 Polymorphismus 278  
 Poly-m-phenylenisophthalamid PMPI 492  
 Polyol 543, 545  
 Polyol-Prepolymer 543  
 Polyolefine 257 ff.  
 Polyolefin-Schaumstoffe 538  
 Polyoxymethylen POM 21, 412 ff.  
 Polyoxymethylen, modifizierte 416  
 Polyparaphenylenvinylén, PPV 556  
 Polyparaphenylen 556  
 Polyphenylchinolin 556  
 Polyphenylenether PPE 418  
 Polyphenylenemethylen PPM 29  
 Polyphenylensulfid PPS 506, 556  
 Polyphenylensulfon PPSU 503, 505  
 Polyphtalamid, PPA 397  
 Poly-p-phenylenterephthalamid PPTA 492  
 Polypropylen PP 277 ff.  
 Polypropylenglykol 546  
 Polypropylenoxid 411, 547  
 Polypyrrrol PPY 556  
 Polyreaktionen 45  
 Polysaccharide PSAC 371, 572  
 Polysiloxane 475  
 Polystyrol, Integralschaumstoffe 206  
 Polystyrol PS 18, 320 ff.  
 Polystyrol-Schaumstoffe PS-E 204, 536 ff.  
   – Hartschaumstoffe 536 f.  
   – Integralschaumstoffe 537  
   – Strukturschaumstoffe 538  
 Polystyrolsulfonat PSS 563  
 Polysulfid-Kautschuk 516  
 Polysulfon PSU 503 f.  
 Polysulfone, modifizierte 506  
 Polytetrafluorethylen PTFE 75, 425 f.  
 Polytetrafluorthylen-Copolymer 429  
 Polytetramethylenterephthalat 352  
 Polythiophen PT 556  
 Polytrimethylenterephthalat (PTT) 353  
 Polyurethan-Schaumstoffe 206, 539 ff.  
 Polyurethan 19, 67 f., 381, 545  
 Polyvinylacetat (PVAC) 581  
 Polyvinylalkohol PVAL (PVOH) 581  
 Polyvinylchlorid PVC 16, 295 ff.  
 Polyvinylchlorid-Schaumstoffe 550  
 Polyvinylfluorid PVF 433, 435  
 Polyvinylidenchlorid PVDC 316  
 Polyvinylidenfluorid PVDF 433, 435, 558  
 POM-Copolymerisate 415  
 POM-Homopolymerisat POM-H 414  
 Porenstruktur 201  
 Powder Injection Molding PIM 182  
 PPE+PA-Blends 420  
 PPE+PS-Blends 420  
 Prepolymerverfahren 543  
 Prepolymer 363, 498  
 Prepregs 443  
 Prepregverarbeitung 197  
 Pressen 183  
 Pressen von Thermoplasten 185  
 Primäracetat 371  
 Primärstruktur 81  
 1,2,3-Propantriol (Glycerin) 547  
 Propylen 257  
 Protein-Struktur 15  
 Proton 38  
 PS + PE Blends 340  
 PS-I 329  
 PS-I + PPE Blends 339  
 Pultrusion 199, 460  
 Pulverbeschichten 247  
 Pulverlacke 468  
 PUR-Gießharze 476  
 PUR-Schaumstoffe, 539 ff.  
   – Halbhart-(semiflexible) Schaumstoffe 541  
   – Hartschaumstoffe 540 f.  
   – Integral-Halbhartschaumstoffe 542  
   – Integral-Hartschaumstoff PUR-I 541  
   – Weichschaumstoffe PUR-W 540  
 PVC Hart-Folie 188  
 PVC-Pasten 313  
 Pyridin-Verfahren 358  
 pyroelektrische Polymere 559  
 Pyrolyse 447  
 Pyromellithsäuredianhydrid 497  
  
 Q  
  
 Q-Kautschuk 514  
 Quaterpolymer 56

- Quinterpolymer 56
- R**
- R-Kautschuke 514  
Radikal 47  
radikalische Kettenpolymerisation 47  
Radom 469  
Rakel 246  
Ram-Extrusion 426  
Random-Copolymere 56 f.  
Rapid Manufacturing 217  
Rapid Prototyping (RP) 216–217  
Rapid Tooling 217  
Raschelware 260  
Rauchgasdichte 483  
Raumgewicht 107, 202, 533  
Reaction Injection Molding 209  
reactive processing 527  
Reaktionsharz-Duroplaste 458 f.  
Reaktionsharz 442, 463  
Reaktionsharzformstoff 442  
Reaktionsharzmasse 463  
Reaktionsmittel 441  
Reaktionsschaumgießen 206, 535  
Reaktionsspinnen 193  
Reaktionsspritzgießen 535  
Reaktionsverlauf 64  
Reaktor 57  
Recken 104, 365  
Recyclierbarkeit 595  
Recycling 595  
recyclinggerechte Konstruktion 615  
recyclingorientierte Produktentwicklung 615  
Redoxreaktionen 565  
Regler 49  
Reibungsschweißen 239  
Reinforced-Reaction-Injection-Molding 544  
Rekombination 49  
relative Molekülmasse 40 f.  
Relaxation 123  
Resitol 449  
Resit 449  
Resole 444 ff.  
Rheologie 111  
RIM-Technik 544  
RIM-Verfahren 209, 535  
Ringmolekül 44  
Ringspaltung 46  
Rohdichte 107  
Rohrextrusionsanlage 165  
Rohrreaktor 261  
rohstoffliches Recycling 602  
Rotationsformen 215  
Rotationsgießen 215  
Rovings 459
- RRIM 210, 544  
RSG-Verfahren 199, 206, 535  
Rückprallelastizität 518  
Rührautoklave 261  
Rumpfplatung 74
- S**
- Sägen 234  
Sandwich-Bauelement 208  
Schadenverhütung/Schadensanalyse 135  
Schaum 107, 201  
Schaumbildung 203  
Schaumstabilisator 544  
Schaumstoffe 533 ff.  
Schaumstoffplatten 208  
Schergeschwindigkeit 111, 115  
Schichtpressen 183, 185  
Schichtpressstoff 446, 455  
Schießbaumwolle 372  
schlagzäh modifizierte Polystyrol PS-I 329  
schlagzähe Acrylnitril-Styrol-Formmassen ASA, AES, ACS 337  
schlagzähes PMMA-HI 367  
schlagzähes PP SHIPP 284  
Schlagzähigkeit 100, 107, 305, 329, 416  
Schleifen 235  
Schleuderverfahren (Schleudergießen) 215  
Schmelz-Additionspolymerisation 68  
Schmelzefließrate 95  
Schmelzekerntechnik 181  
Schmelzindex 95  
Schmelz-Kondensationspolymerisation 68  
Schmelzkondensation 69, 358  
Schmelzspinnen 190  
Schmelztemperaturbereich 119  
Schmiermittel 110  
Schneckenspritzgießmaschine 173  
Schnecke 162  
Schrumpfung 355  
Schrumpfung (Memory-Effekt) 104  
Schub-/Scherspannung 111  
Schubmodul 118  
Schwanz-Schwanz-Anordnung 86  
Schwefelvulkanisation 508  
Schweißen 235  
schwerentflammbar 296  
Schwindung 93  
Schäumen 201  
Sebacinsäure 383, 578  
Seitenketten-LCP 560  
Sekundäracetat 372  
Sekundärbindungen 75  
Sekundärstruktur 89  
Selbstorganisation 221  
Selbstpoliereffekt 369  
selbstverlöschend 296, 488  
Selective Laser Sintering (SLS) 220

- Selektives Lasersintern 220  
 Shore-Härtebereich 524  
 Si-Wafer 564  
 Sicherheitsaspekte 587  
 Silanvernetzung 259  
 Silicone 19, 475  
 Siliconharze 475  
 Siliconöl 544  
 siliertes Polyethylen 269  
 Skinpack-Verfahren 230  
 Slicen 217  
 SMC 184, 460  
 SMS 324  
 Solarzellen 562  
 Sonderverfahren 178, 235  
 Sonderwerkstoffe 553  
 Spacer 488, 493  
 Spannungs-Dehnungs-Diagramm 124  
 Spannungsrissbeständigkeit 258  
 Spannungsrissbildung 126  
 spezifisches Volumen 94  
 Sphärolith 92  
 Spinnprozess 190  
 Spinnverfahren 188  
 Spritzblasformen 172  
 Spritzgießen 173 ff.  
 – von vernetzenden Polymeren 182  
 Spritzgießen 173  
 Spritzgießmaschine 175  
 Spritzgießwerkzeug 175, 176  
 Spritzpressen 183 f.  
 Spritzprägen 181  
 Spritz-Streckblasformen 172  
 Stabilisatoren 108, 129, 301  
 statistische Copolymere 56  
 statistisches Terpolymer 276  
 Stereo-Kautschuk 519  
 Stereolithografie (SL) 218  
 stereospezifischer Katalysator 13  
 Stereospezifität 54  
 sterische Konfiguration 87  
 Sternmolekül 43  
 STL-Format 217  
 Stoffumwandlung 572, 580  
 Stoßelastizität 518  
 Strahlenvernetzung 254  
 Strahlungsschweißen 238  
 Strangauflistung 112  
 Strecken 104  
 Streichen und Gelenken von PVC-Weich-Pasten 246  
 Streichverfahren 245  
 Struktur von Gummi 16  
 Strukturmerkmale 80  
 Struktur-Schaumstoffe (Integral-) 107  
 strukturviskos 111  
 Stufenwachstumsreaktion 45, 63, 70  
 Styrofoam-Verfahren 205  
 Styrol mit  $\alpha$ - bzw. p-Methylstyrol 324  
 Styrol-Acrylnitril SAN 327 f.  
 Styrol-Butadien SB 329  
 Styrol-Butadien-Blockcopolymer SBS 333  
 Styrol-Butadien-Kautschuk 515  
 Styrolpolymere 321 ff.  
 – modifizierte 326  
 Styrolpolymere 321  
 Styrol 57, 323  
 Styropor-Verfahren 204, 536  
 Stärkeblends 574  
 Stärkewerkstoffe 573  
 Substanzmischung 41  
 Substanz 41  
 Suspendierhilfsmittel 61  
 Suspensions-Polyvinylchlorid S-PVC 299  
 Suspension 61  
 Sustainable Development Goal (SDG) 591  
 Switchboard-Modell 91  
 syndiotaktisches Polystyrol PS-s 326  
 syndiotaktisch 88  
 Synergismus 133  
 Syngas 27  
 Synthesekautschuk/Gummi 17, 31, 514 ff.  
 Systemgrenze 609
- T**
- Tafel-/Extrusionsanlage 165  
 Tampondruck 249  
 Tauchformen 216  
 TDI 545  
 Technoklima 125, 128  
 Technologie 143  
 Teflon 19  
 teilaromatische Polyamide 394  
 teilkristallin 41, 91, 118, 397  
 (teil)kristallin 44  
 teilkristalline aliphatische Polyamide 381  
 – modifizierte 391  
 teilkristallines Polyethylenterephthalat  
 PET-C 350  
 Temperaturleitfähigkeit 196  
 Tempern 253  
 Terephthalsäuredichlorid 492  
 Terephthalsäure 348, 395, 462  
 Terpolymere 56, 276  
 Terpolymerisate 416  
 Tertiärstruktur 90  
 Tetrabrombisphenol A 471  
 Tetrachlorbisphenol A 471  
 Tetraedermodell 87  
 Tetrafluorethylen-Hexafluorpropylen-Copolymer FEP 432  
 Tetrafluorethylen-Hexafluorpropylen-Vinylidenfluorid-Terpolymer THV 433  
 Tetrafluorethylen 428  
 Tetrahydraphthaltsäure 462

2,2,4,4-Tetramethyl-1,3-cyclobutandiol  
CBDO 354  
Tetramethylendiamin 383  
Textile Flächengebilde 196  
Texturieren 195  
thermisch-mechanisches Verhalten 117  
Thermoanalyse TA 136  
Thermoelaste 120, 366, 425  
Thermofixieren 194  
Thermoformen 225  
Thermoformmaschine 230  
Thermografie 560  
Thermogravimetrische Analyse TGA 136  
Thermomechanische Analyse TMA 136  
Thermooptische Analyse TOA 136  
thermooxidative Alterung 129  
thermooxidativer Abbau 71  
Thermoplaste 41, 117 f., 156  
thermoplastisch verarbeitbare Fluor-Kunststoffe 430, 432, 436  
thermoplastische Elastomere auf Olefinbasis, TPE-O/TPE-V TPO/TPV 527  
thermoplastische Elastomere auf Styrolbasis, TPE-S TPS 527  
thermoplastische Elastomere TPE 41, 120 f., 514, 521 ff.  
thermoplastische Polyamid-Elastomere, TPE-A TPA 528  
thermoplastische Polyester-Elastomere, TPE-E TPC 528  
thermoplastische Polyurethan-Elastomere, TPE-U TPU 529  
Thermoplast-Schaum-Blasformen 535  
Thermoplast-Schaum-Extrusion 535  
Thermoplast-Schaum-Spritzgießen 535  
thermotrop 488  
Thiole 49  
tie-Moleküle 92  
Tissue Engineering 570  
T-Kautschuke 514  
Topologie 42  
Tränken 216  
transluzent 258  
transparent 258  
Traubenzucker 371  
Treibmittel 107, 533, 543  
– chemische 533  
– mechanische 533  
– physikalische 533  
Treibverfahren, physikalische 203  
Trennen (Spanen) 145, 233 ff.  
Trennmittel 110  
2,4,6-Triamino-1,3,5-triazin 456  
Triazinharze 478  
Triblockcopolymere 56  
Triboelektrizität 559  
Tri-Hydroxymethylmelamin 456  
Trimellithsäureanhydrid 500

1,1,1-Tris (4-hydroxyphenyl)-ethan THPE 360  
Trioxan 414  
Trockenmischungen 312  
Trockenspinnen 192  
Trommsdorff-Effekt 50, 366  
TSE-Verfahren 180, 535 f.  
TSG-Verfahren 180 f., 206  
Typen von Makromolekülen 43

**U**

U-Kautschuke 514  
ultrahochfeste Fasern 24  
Umesterung 349, 358  
Umformen 145, 225  
Umwandlung von Naturstoffen 71  
Umwelteinflüsse 125  
Umweltschutz 595, 612  
ungesättigte Polyesterharze UP 57, 458  
UP-Reaktionsharzmasse 460  
Urethangruppe 67, 381, 545  
Urformen 145, 159  
UV-Absorber 108, 296  
UV-Stabilisatoren 108, 460

**V**

Vakuumgießen 213  
van der Waals-Bindungen 76  
van der Waalsche Kräfte 76  
Vanadiumbasis 282  
VDA 260 3  
Verarbeitungssadditive 104  
Verarbeitungsschwindung 94  
Verarbeitung 143  
Verbundwerkstoffe 106  
Veredeln 145, 247  
Veresterung 83  
Verfahrenstechnik beim Kalandrieren 187  
Verfahrenstechnik der Kettenpolymerisation 57  
Vergrößerung des Polymerisationsgrads 70  
vernetztes Polyethylen PE-X 254  
Vernetzung 64 ff., 101, 117, 436, 441, 519, 520  
– physikalische 45, 513  
Vernetzungsgrad 85  
Vernetzungsmittel 465, 520  
Verringerung des Polymerisationsgrads 71  
Verseifung 83  
Verstrecken 104, 194  
Verstärkungsmittel 521  
Verstärkungsstoffe 106, 151  
Verteiler 521  
Verweilzeit 116  
Verwertung 594

- Verzug 93  
 Verzweiger-Monomere 359  
 Verzweigungsgrad 85, 265  
 Vinylchlorid 299  
 Vinylchlorid-Copolymerisate 303  
 Vinylchlorid/Ethylen/Vinylacetat VCEVAC 306  
 Vinylchlorid/N-Cyclohexylmaleimid 304  
 Vinylchlorid-Polymerisate, modifizierte 302 ff.  
 Vinyl-Elastomere 525  
 Vinylesterharz VE 465  
 Vinylfluorid 436  
 Vinylidenchlorid VDC 317  
 Vinylidenchlorid-Copolymerisate 317  
 Vinylidenfluorid 435  
 Vinylmonomer 47  
 viskos-elastisch 112  
 Viskose 15  
 Viskositätsfunktion 113  
 Viskositätskurve 113  
 Viskositätsskala 113  
 Viskosität 95, 111, 113, 114  
 Volatile Organic Compounds (VOCs) 417  
 Volumenschwindung 94  
 Volumen-/Töpfchen-Modell 94  
 Vorbehandlungsverfahren 249  
 Vorkondensat 453  
 Vorstabilisierung 301  
 Vortrocknen 156  
 Vulkanisation 14, 121, 514, 518
- W**
- Wärmestabilisatoren 109, 301  
 Warmformen 225  
 Warmgasschweißen 238  
 Warmhärtung 464  
 Wasseraufnahme 126  
 Wasserstoffbrückenbindungen 78, 390
- Weichmacher 107, 151, 308 ff., 372, 391, 420, 521  
 Weich-Polyvinylchlorid PVC-P 307, 525  
 Weichschaumstoffe 542  
 Weichsegment 522, 531  
 weitmaschige Vernetzung 44  
 Weißbruch 296  
 Wendelstruktur (Helix) 90, 429  
 Werkstoffdatenbanken 4  
 werkstoffliches Recycling 599  
 Werkstoffklassen 1  
 Wiederholungseinheit 81  
 Wieder- oder Weiterverwertung 596  
 Wirbelmischer 154, 313  
 Wirbelsintern 247  
 Wirkungsgrad  $\eta$  608  
 Wood Plastics Composites WPC 571
- X**
- 3,5-Xylenol 447  
 1,3-Xylylendiamin 398
- Z**
- Zahlenmittel 97  
 Zellglas 373  
 Zellstoff 371  
 Zellstruktur 201, 533  
 Zementindustrie 611  
 Zerkleinern 155  
 Zersetzungstemperatur 73, 121  
 Ziegler-Natta-Katalysatoren 54, 263  
 Zirkonocene 282  
 z-Mittel 98  
 Zucker 371  
 Zugdruckumformen 227  
 Zugspannung 122  
 Zugumformen 227  
 Zusatzstoffe 40, 104 f., 151  
 zwischenmolekulare Kräfte 75