

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 einzig 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 10'000 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) zeitigte 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 Schrumpfschläuche in Kombination mit *zeitabhängiger (t)* Wärmezufuhr von außen. Der „kleine“ Unterschied: Irreversibel bei Schrumpfschläuchen! 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 CO₂ 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 CO₂ und Wasser. Ein an der ETH Zürich entwickeltes und bereits erprobtes Verfahren basiert auf CO₂ und H₂O aus der Luft, bei 1500 °C chemisch in einem Solarreaktor zu *Syngas* umgewandelt, einer Mischung aus H₂ und CO. Diese durch die Fischer-Tropsch-Synthese bereits bekannte Gasmischung, angereichert mit zusätzlichem H₂ 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.

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

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.

Sprungtem-
peratur bei
Normal-
temperatur

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.

Extremfall
sogar die
Edelgase

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.

12 Principles
of Green
Chemistry
Vermeidung
von Abfällen
Energieeffizienz
zu optimieren

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

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:

Photosynthese



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 (CO_2 , H_2O , Sonnenlicht) fast überall auf der Erde vorhanden. Ganz zu schweigen von dem Reservoir an Stickstoff (N_2) und Sauerstoff (O_2) in der Luft, vgl. Kapitel 2, 8 und 9.

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. *érgon* „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 Forschungslaboratorien 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. Karosserie 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

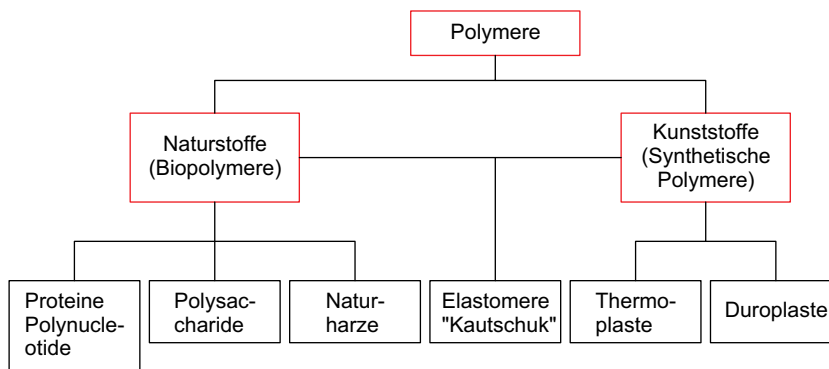


Bild 1.14: Klassifizierung der Polymere nach ihrer Herkunft

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.

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.

Polymere: Basis von Natur- und Kunststoffen

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
- ω -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
 Aufspießen 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
 Cellophan 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

Chargenkessel 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
 Citronensäure 534
 Clarifier 110
 CNT, Nanoröhren 567
 Cobaltsalze 464
 Codierungssystem 614
 Coextrusion 166, 170
 Comonomere 55
 Compatibilizer 102
 Composites 106
 Compoundieren 144, 302
 Compression-RTM-Verfahren 200
 Copolymere 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
 Cyclopentan 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
 Diisononylphthalat DINP 310
 Dilatanz 112
 Dimeres 64
 Dimethylanilin 464
 Dimethylether 535
 2,6-Dimethylphenol 419
 3,3 Dimethyl-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
 Durchflussskessel 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 Nebenvalenzbindung 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
 Elektrodekantieren 428
 Elektrolumineszenz 561
 Elektronegativität 74
 Elektronenbeschleuniger 255
 Elektronenpaarbindung 73
 Elektrosinnen 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 α -Olefinen 267
 Ethylendiamin 547
 Ethylenglykol 349, 462
 Ethylenoxid 348, 415
 Ethylen-Ethylacrylat-Copolymere (EEA)
 273
 Ethylen-Polymerisate, modifizierte 269
 Ethylen-Propylen-Kautschuk EPM 284
 Ethylen-Tetrafluorethylen-Copolymere 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
 Flammschutzmittel 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
 Fulleren 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
 Handlaminieren 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 Copolymere 279
 Hexafluorpropylen 434
 Hexahydrophthalsäure 472
 Hexahydrophthalsäure-diglycidester 472
 Hexa-Hydroxymethylmelamin 456
 Hexamethyldiamin 383
 Hexamethylentetramin 449
 High-Density-Polyethylen PE-HD 266
 Hilfsstoffe 543
 HM-C-Faser 402
 Hochdruckanlage 207
 Hochdruckharze 442
 Hochdruckverfahren 261
 hochfeste Polymerfasern 22
 Hochleistungspolymere 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 Funktionspolymere 584
 Hydrolyse 372
 hydrolytischer Abbau 351
 Hydroperoxid 129
 2-Hydroxybenzophenon 134
 Hydroxylgruppe 63
 Hydroxymethylgruppe 448
 β -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.
 Kettencopolymerisation 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
 Kristallisationsgrad 93
 Kristallitschmelztemperatur 119
 Kristallkeimbildner 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
 ω-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-Phenylendiamin 492
 m-Xylylendiamin 395
 Makrokonformation 89
 Makromoleküle 16, 40 ff., 100
 Maleinimid-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 Ethylencopolymere
 PE-MC 268
 Metallocen-katalysiertes Polypropylen mPP
 282
 meta-Phenylendiamin 473
 Methacryl-imid-Gruppe 497
 Methacrylnitril 401
 Methacrylsäuremethylester 365
 Methacrylsäure 466
 Methylamin 368
 Methylcellulose 573
 Methylchlorid 535
 Methylenharnstoff-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
 α -Methylstyrol 325
MFR-Wert 95
Micellen 59
migrieren 311
mikrobielle Ökologie 27
mikrobieller Angriff 308
Mikrofibrillen 93
Mikroplastik 613
Mikropräzisions-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
Nebenvalenzbindungen 72, 75, 390
Nebenvalenzkräfte 75, 118

Newtonsches 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
 α -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-Phenylendiamin 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
 Perkulationsgrenze 555
 Permeation 126–127
 Peroxid 47
 Petrochemie 5
 PE-UHMW 266
 Pfcopolymere 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
 photoadressierbare 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
 Polyacetale 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
 Polybismaleinimid 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-Blockcopolymere 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.
 Polyethylenedioxythiophen PEDOT 563
 Polyethylenaphthalat PEN 354
 Polyethylenerephthalat 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
 Polymethacrylmethylimid 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
 Polyparaphenylenvinyle, PPV 556
 Polyparaphenylene 556
 Polyphenylchinolin 556
 Polyphenylenether PPE 418
 Polyphenylenemethylen PPM 29
 Polyphenylensulfid PPS 506, 556
 Polyphenylensulfon PPSU 503, 505
 Polyphthalamid, PPA 397
 Poly-p-phenylenterephthalamid PPTA 492
 Polypropylen PP 277 ff.
 Polypropylenglykol 546
 Polypropylenoxid 411, 547
 Polypyrrol 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.
 Polytetrafluoräthylen-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.
 Reaktionsharze 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
 Rohrextensionsanlage 165
 Rohrreaktor 261
 rohstoffliches Recycling 602
 Rotationsformen 215
 Rotationsgießen 215
 Rovings 459

RRIM 210, 544
 RSG-Verfahren 199, 206, 535
 Rückprallelastizität 518
 Rührautoklave 261
 Rumpfladung 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 modifiziertes 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
 Schnecken-spritzgießmaschine 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
 Spannungsrisssbeständigkeit 258
 Spannungsrisssbildung 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
 Strangaufweitung 112
 Strecken 104
 Streichen und Gelieren 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 α - 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
 Suspenderhilfsmittel 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
 Tetrahydrophthalsäure 462

- 2,2,4,4-Tetramethyl-1,3-cyclobutandiol
 CBDO 354
 Tetramethyldiamin 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 Waalssche Kräfte 76
 Vanadiumbasis 282
 VDA 260 3
 Verarbeitungsadditive 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-Cyclohexylmaleinimid 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 η 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