



Leseprobe

Georg Abts

Kunststoff-Wissen für Einsteiger

ISBN (Buch): 978-3-446-45041-7

ISBN (E-Book): 978-3-446-45104-9

Weitere Informationen oder Bestellungen unter
<http://www.hanser-fachbuch.de/978-3-446-45041-7>
sowie im Buchhandel.

Inhaltsverzeichnis

Der Autor	VII
Vorwort	IX
Inhaltsverzeichnis	XI
1 Natürliche und synthetische Werkstoffe	1
1.1 Definitionen	1
1.2 Historische Entwicklung	4
1.3 Abgrenzung der Kunststoffe von Metallen und keramischen Werkstoffen	26
1.3.1 Aufbau	27
1.3.2 Dichte	29
1.3.3 Mechanische Eigenschaften	30
1.3.3.1 Allgemeine Betrachtungen	30
1.3.3.2 Metalle	32
1.3.3.3 Keramische Werkstoffe	35
1.3.3.4 Spezifisches Verhalten von Thermoplasten	36
1.3.3.5 Spezifisches Verhalten von Elastomeren	40
1.3.3.6 Spezifisches Verhalten von Duroplasten	41
1.3.3.7 Betrachtung weiterer mechanischer Kennwerte	41
1.3.3.8 Verhalten unter dynamischer Belastung	43
1.3.4 Gebrauchstemperatur	45
1.3.5 Wärmeausdehnung und Wärmeleitfähigkeit	47
1.3.6 Elektrische Leitfähigkeit	48
1.3.7 Optische Eigenschaften	49
1.3.8 Akustische Eigenschaften	50
1.3.9 Verhalten gegenüber Chemikalien und Umwelteinflüssen	51
1.3.10 Prinzipielle Unterschiede bei der Verarbeitung	54
1.3.11 Zusammenfassender Vergleich	55

1.4	Wirtschaftliche Bedeutung der Kunststoffe	58
2	Polymere Werkstoffe	65
2.1	Chemische Grundlagen	65
2.2	Grundlagen polymerer Werkstoffe	72
2.3	Polymerisation, Polyaddition, Polykondensation	77
2.4	Arten polymerer Werkstoffe	78
2.4.1	Klassifizierung	78
2.4.2	Temperaturabhängige Charakteristik	81
2.4.3	Thermoplaste	85
2.4.4	Elastomere	88
2.4.5	Thermoplastische Elastomere	95
2.4.6	Duroplaste	96
2.4.7	Faserverstärkte Kunststoff-Verbundwerkstoffe (Composites)	99
3	Thermoplaste	107
3.1	Herstellung	107
3.2	Einteilung	108
3.3	Standardkunststoffe: Eigenschaften, Charakteristik, Anwendungen	110
3.3.1	Polyethylen (PE)	110
3.3.2	Polypropylen (PP)	112
3.3.3	Polyvinylchlorid (PVC)	113
3.3.4	Polystyrol (PS)	117
3.4	Technische Thermoplaste	118
3.4.1	Styrol-Acrylnitril-Kunststoff (SAN)	118
3.4.2	Acrylnitril-Butadien-Styrol-Kunststoff (ABS)	119
3.4.3	Acrylnitril-Styrol-Acrylat-Kunststoff (ASA)	120
3.4.4	Polyamide (PA)	120
3.4.5	Polymethylmethacrylat (PMMA)	124
3.4.6	Polyethylenterephthalat (PET)	125
3.4.7	Polybutylenterephthalat (PBT)	127
3.4.8	Polycarbonat (PC)	127
3.4.9	Polyoxymethylen (POM)	130
3.4.10	Polyphenylenether (PPE)	130
3.4.11	Polymerblends	131
3.4.12	Thermoplastische Elastomere (TPE)	132

3.5	Hochleistungskunststoffe	137
3.5.1	Fluorkunststoffe	137
3.5.2	Polyarylsulfone (PSU), Polyethersulfone (PES), Polyphenylensulfone (PPSU)	138
3.5.3	Polyphenylensulfid (PPS)	139
3.5.4	Polyaryletherketone (PAEK)	140
3.5.5	Polyimide (PI)	140
3.5.6	Selbstverstärkende teilkristalline Polymere (LCP)	141
3.6	Spezialkunststoffe	142
3.6.1	Elektrisch leitfähige Polymere	142
3.6.2	Biopolymere/Biokunststoffe	143
4	Kunststoffadditive	155
4.1	Füllstoffe	155
4.2	Faserwerkstoffe	156
4.3	Weichmacher	158
4.4	Flammschutzmittel	158
4.5	Stabilisatoren	159
4.6	Farbmittel	161
4.7	Weitere Additive	162
5	Die Verarbeitung von Thermoplasten	165
5.1	Aufbereiten	166
5.2	Urformen	167
5.2.1	Spritzgießen	167
5.2.2	Extrusion	173
5.2.3	Blasformen	176
5.2.4	Kalandrieren	178
5.2.5	Rotationsformen (Rotomolding)	179
5.2.6	Wirbelsintern	180
5.2.7	Schäumen	181
5.2.8	Tempern	182
5.2.9	Additive Fertigung	182
5.3	Umformen	183
5.4	Fügen	185
5.4.1	Schweißen	186
5.4.2	Kleben	188

5.4.3	Nieten	189
5.4.4	Schrauben	189
5.4.5	Schnappverbindungen	190
5.5	Veredelung	191
6	Kennwerte von Thermoplasten	193
6.1	Rheologische Eigenschaften	194
6.1.1	Schmelzindex (MVR, MFR), ISO 1133	194
6.1.2	Schwindung, ISO 294	194
6.2	Mechanische Eigenschaften	195
6.2.1	Zugversuch, ISO 527	195
6.2.2	Schlag- und Kerbschlagbiegeversuch, ISO 179 (Charpy)/ ISO 180 (Izod)	195
6.3	Thermische Kennwerte	196
6.4	Brandverhalten	197
6.5	Elektrische Prüfungen	198
6.6	Sonstige Kennwerte	198
6.6.1	Härte	198
6.6.2	Druckverformungsrest (ISO 815)	199
6.6.3	Dauerschwingversuch (DIN 53442)	199
7	Kunststoffe und Umwelt	201
8	Übersichtstabellen	207
9	Glossar	225
10	Weiterführende Literatur	239
	Index	241

Vorwort

Einer aktuellen Studie zufolge sind Kunststoffe bei mehr als zwei Dritteln der deutschen Bevölkerung mit einem positiven Image belegt. Die Gründe dafür sind unter anderem die vielfältigen Gestaltungsmöglichkeiten und Einsatzbereiche moderner Kunststoffe, aber auch die durch Kunststoffe ermöglichte Gewichts- und Energieersparnis.

Dabei sind synthetische Polymerwerkstoffe im Vergleich zu Metallen und Keramik eine relativ junge Werkstoffklasse, die aufgrund ihrer maßgeschneiderten Eigenschaften mittlerweile einen Spitzenplatz unter den modernen Werkstoffen erobert hat. Kunststoffe besetzen nicht nur die Lücke zwischen natürlichen Werkstoffen wie Holz oder Keramiken einerseits und hochfesten metallischen Werkstoffen andererseits. Sie haben sich in vielen Fällen auch als günstige Alternativen für diese Materialien durchgesetzt. Somit haben sie sich aus der ursprünglich zgedachten Rolle als Ersatzprodukte für edle Naturstoffe wie Elfenbein oder für knapper werdende Rohstoffe wie Naturkautschuk längst zu einer eigenständigen Werkstoffklasse weiterentwickelt, die für die heutige hoch industrialisierte Gesellschaft unverzichtbar geworden ist.

Allerdings trägt die zunehmende Belastung der Umwelt, insbesondere der Meere, mit Kunststoffabfällen immer mehr zu einem negativen Image der Kunststoffe bei. Daher ist es umso wichtiger, auf die positiven Eigenschaften der Kunststoffe aufmerksam zu machen, gleichzeitig aber auch ein Umdenken hinsichtlich der manchmal noch allzu großen Sorglosigkeit in Bezug auf Kunststoffabfälle anzuregen.

Nach einem historischen Rückblick auf die Entwicklung der Werkstoffe werden die verschiedenen Arten synthetischer Werkstoffe von den traditionellen Werkstoffen auf metallischer und keramischer Basis abgegrenzt und ihre Vor- und Nachteile erläutert. Aufgrund ihrer wirtschaftlichen Bedeutung liegt der Schwerpunkt auf den Thermoplasten, die jeweils einzeln mit einem kurzen Eigenschaftsprofil vorgestellt werden. Daneben werden aber auch die Werkstoffklassen der Elastomere und Duroplaste charakterisiert, um das Spektrum der synthetischen Werkstoffe

vollständig aufzuzeigen. In der vorliegenden dritten Auflage werden erstmals auch Verbundwerkstoffe beschrieben, die insbesondere im Leichtbau eine immer größere Bedeutung gewinnen.

Ein weiteres Kapitel befasst sich mit den am meisten verbreiteten Verarbeitungsverfahren. Hier wird nun auch ein kurzer Abriss über die Möglichkeiten der additiven Fertigung gegeben. Außerdem werden einige Prüfverfahren und Werkstoffkenngrößen vorgestellt, um einen Bezug zu den in den Werkstoffbeschreibungen gegebenen Daten zu bieten.

Aufgrund der regen Entwicklungstätigkeit in diesem Bereich wurde das Kapitel der Biopolymere überarbeitet und ergänzt. Auf die Problematik der zunehmenden Umweltverschmutzung durch Kunststoffe, insbesondere des Marine Litter, wird ebenfalls eingegangen.

Ich bedanke mich bei allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Hanser Verlags, insbesondere bei Ulrike Wittmann für ihre Unterstützung als Lektorin sowie Jörg Strohbach für die Umsetzung und Produktion dieses Buches.

April 2016, Georg Abts

1

Natürliche und synthetische Werkstoffe

Erdgeschichtlich betrachtet, sind synthetische Polymere eine recht junge Werkstoffklasse. Die meisten wurden erstmalig Anfang bis Mitte des zwanzigsten Jahrhunderts hergestellt. Einige Kunststoffe gab es auch schon im auslaufenden neunzehnten Jahrhundert, ohne dass ihre genaue Zusammensetzung jedoch bekannt war. Im Vergleich dazu sind metallische und keramische Werkstoffe bereits seit Jahrtausenden in Gebrauch.

Definiert man Kunststoffe als nicht natürlich vorkommende, künstlich hergestellte Stoffe, muss man aber auch solche Materialien dazu zählen, die durch Umwandlung aus natürlichen Stoffen hergestellt werden. Dann allerdings reicht die Geschichte der Kunststoffe viele tausend Jahre zurück. Bevor näher auf die Geschichte der polymeren Werkstoffe eingegangen wird, sollen daher zuerst natürliche und synthetische Werkstoffe voneinander abgegrenzt werden.

■ 1.1 Definitionen

Nach Brockhaus sind Werkstoffe „alle Materialien mit technisch nutzbaren Eigenschaften (...). Der Zustand eines Werkstoffes wird durch seinen Aufbau und seine Eigenschaften charakterisiert (...). Der Aufbau eines Werkstoffes ergibt sich aus der chemischen Zusammensetzung (...). Entsprechend der technischen Anwendung werden Werkstoffe nach ihren mechanischen (z.B. Zugfestigkeit, Elastizität, Härte), chemisch-physikalischen (z.B. Schmelzpunkt, Dichte, Korrosionsbeständigkeit), Feld- (magnetischen, elektrischen, elektromagnetischen) oder verarbeitungstechnischen Eigenschaften ausgewählt.

Die Werkstoffe lassen sich in die drei Hauptgruppen Metalle, nichtmetallisch-anorganische Werkstoffe und organische Stoffe unterteilen. Zur Herstellung von Ver-

bundwerkstoffen werden verschiedene Werkstoffe miteinander kombiniert.“ [8]. Eine Einteilung der Werkstoffe nach Zusammensetzung zeigt Bild 1.1.

Natürliche Werkstoffe sind beispielsweise Holz, Pflanzenfasern (Baumwolle, Flachs und Hanf), Metalle, Minerale, Erdöl, Erdgas, Kohle, Asphalt, Harze und Naturkautschuk. Metalle zählen aufgrund ihres Vorkommens (fast ausschließlich Erze) auch zu den Mineralien. Als mineralische Werkstoffe im engeren Sinne sollen hier natürlich vorkommende anorganische (meist silikatische) Verbindungen oder deren chemische Umwandlungsprodukte betrachtet werden. Für ihre weitere Verwendung werden natürliche Werkstoffe mechanisch oder chemisch-thermisch umgewandelt, wobei letzteres oft mit einer deutlichen Änderung von Eigenschaften einhergeht.

Ausgehend von den bekannten Eigenschaften der Rohmaterialien lassen sich die entsprechenden Anwendungsgebiete relativ leicht erschließen. Die aus Eisenerzen gewonnenen Stähle sind wichtige Konstruktionswerkstoffe. Edelmetalle sind neben ihrer Verwendung als Schmuck und Zahlungsmittel unverzichtbare Rohstoffe für die Elektro- und Elektronikindustrie. Holz wird als Bauwerkstoff und Rohstoff für die Papierherstellung verwendet. Pflanzenfasern sind wichtige Rohstoffe für die Textilindustrie. Erdöl, Erdgas und Kohle dienen in überwiegendem Maß als fossile Brennstoffe, daneben bilden sie die Rohstoffbasis der gesamten organischen Chemie. Asphalt, ein Gemisch aus hochmolekularen Kohlenwasserstoffen (Bitumen) und Mineralstoffen, dient als Straßenbelag. Asphalt wird heute zwar meist synthetisch hergestellt, es gibt jedoch noch bedeutende natürliche Vorkommen. Das verwendete Bitumen kann wiederum sowohl aus natürlichen als auch synthetischen Quellen, wie etwa der Erdöldestillation, stammen.

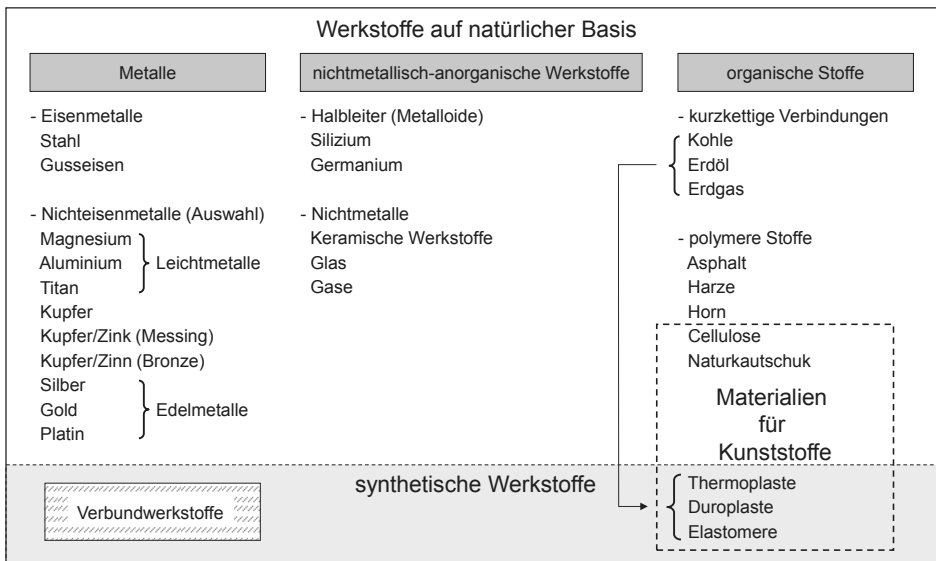


Bild 1.1 Einteilung der Werkstoffe aufgrund ihrer Zusammensetzung

Tabelle 1.3 Historische Entwicklung der synthetischen Werkstoffe (Auswahl) (Fortsetzung)

1969:	Thermoplastisches Polyurethan (TPE-U)
1971:	Polyphenylensulfid
1974:	Elektrisch leitfähiger Polyacetalfilm (H. Shirakawa, A. G. Diarmid, A. J. Heeger)
1975:	Polynorbornenkautschuk
1976:	Polymerblend aus Polycarbonat und Acrylnitril-Butadien-Styrol
1978:	Ethylen-Acrylatkautschuk
1979:	Polyetheretherketon, thermoplastische Elastomere auf Basis von Verschnitten aus vernetztem Ethylen-Propylen-Kautschuk und Polyolefinen (TPE-O), hydrierter Nitrilkautschuk
1981:	Polytetrafluorethylen-Polyolefin-Blends
1982:	Polyetherimid
1987:	Thermoplastische Polyether-Polyamid-Block-Copolymeren (TPE-A)
1988:	Flüssigkristalline Polymere
1989:	Copolymer aus Ethylen und chlorsulfoniertem Polyethylen
1990:	Licht-emittierende Polymere auf Basis von Poly- <i>p</i> -Phenylenvinylen (R. H. Friend, A. B. Holmes)

■ 1.3 Abgrenzung der Kunststoffe von Metallen und keramischen Werkstoffen

Aufgrund ihrer deutlich geringeren Dichte und der Möglichkeit, auch Teile mit komplizierter Geometrie in einem Arbeitsgang und relativ preiswert herzustellen, haben Kunststoffe in vielen Anwendungen Metalle ersetzt. Allerdings sind dabei grundlegende Unterschiede zwischen den verschiedenen Werkstoffen zu berücksichtigen. Kunststoffe besitzen eine deutlich geringere Steifigkeit und Festigkeit als Metalle, was nicht in allen Fällen durch entsprechende Formteilgestaltung ausgeglichen werden kann. Aufgrund ihrer besonderen Molekularstruktur kriechen Kunststoffe bei fortwährender Belastung, was sie erheblich von Metallen und keramischen Werkstoffen unterscheidet. Bei dynamischer Beanspruchung erlauben Keramiken und Metalle weit höhere Kräfte und Frequenzen, aber geringere Auslenkungen als Kunststoffe, von denen wiederum Elastomere die größte dynamische Beständigkeit aufweisen.

Im Gegensatz zur Schmelztemperatur von Metallen oder keramischen Werkstoffen liegt die Glas temperatur von Kunststoffen viel näher an ihrer Gebrauchstemperatur, was deutliche Einflüsse auf Elastizitätsmodul und Festigkeit hat. Auch hinsichtlich elektrischer Leitfähigkeit und Wärmeleitfähigkeit unterscheiden sich Kunststoffe meist deutlich von anderen Werkstoffen.

1.3.1 Aufbau

Kunststoffe bestehen aus polymerisierten Kohlenwasserstoffen, also zum größten Teil aus den chemischen Elementen Kohlenstoff und Wasserstoff. Die Makromoleküle der Kunststoffe liegen nebeneinander mehr oder weniger verknäuel vor und sind untereinander entweder nicht vernetzt (Thermoplaste), schwach vernetzt (Elastomere) oder stark vernetzt (Duroplaste). Als Modellbeispiel kann hier ein Knäuel aus langen Schnürsenkeln dienen. Solange diese nicht miteinander verbunden sind, kann man einzelne Schnürsenkel relativ problemlos gegeneinander bewegen oder aus dem Knäuel herausziehen (Thermoplaste). Feste Gegenstände lassen sich relativ leicht durch dieses Knäuel durchdrücken, da die einzelnen Schnürsenkel sich leicht gegeneinander verschieben lassen. Werden die Schnürsenkel an einigen wenigen Stellen miteinander verknotet, lassen sie sich zwar nicht mehr einzeln trennen, jedoch lässt sich das Knäuel insgesamt noch in Grenzen, die durch die Anzahl der Verknotungen bestimmt werden, strecken (Elastomere). Auch feste Gegenstände lassen sich noch mit einiger Kraft durch die meisten der durch die Knoten gebildeten Maschen hindurchdrücken. Sind aber die Schnürsenkel in dichten Abständen miteinander verknotet, kann das hierdurch gebildete engmaschige Netz nur noch als Ganzes bewegt werden (Duroplaste). Feste Gegenstände vermögen es nicht mehr zu durchdringen.

Bei Thermoplasten unterscheidet man zwischen solchen mit völlig ungeordneten Strukturen (amorphe Thermoplaste; amorph = gestaltlos) und solchen mit teilweise parallel angeordneten Makromolekülen (teilkristalline Thermoplaste). Die hier auftretenden starken physikalischen Wechselwirkungen tragen zur Versteifung bei. Teilkristalline Thermoplaste schmelzen daher erst nach Überschreiten der Kristallit-Schmelztemperatur, bei der sich die parallelen Stränge voneinander lösen. Amorphe Polymere schmelzen dagegen bereits bei Erreichen ihrer Glasübergangstemperatur.

Da die Makromoleküle von Thermoplasten und Elastomeren verknäuel vorliegen, lassen sie sich bei Zugbelastung leichter und deutlich weiter dehnen als die kristallin aufgebauten Metalle. Die Polymerketten gleiten relativ leicht voneinander ab, wodurch plastische Verformung auftritt. Dabei wird die Beweglichkeit der Makromoleküle durch die Vernetzungsdichte (Anzahl an vernetzten Monomerbausteinen bezogen auf ihre gesamte Anzahl) und den Kristallisationsgrad (Anteil an kristallinen Bereichen) bestimmt. Die dicht vernetzten Duroplaste verhalten sich hier ähnlich wie keramische Werkstoffe und lassen sich nicht merklich dehnen.

Metalle besitzen eine Gitterstruktur aus dicht gepackten Metallatomen. Ihre Elektronen sind nicht vollständig an die Atomkerne gebunden, sondern vermögen sich im gesamten Gitter zu bewegen. Man spricht hier auch von einem Elektronengas. Es verleiht den Atomkernen eine gewisse Bewegungsfreiheit bei mechanischer Beanspruchung, was die plastische Verformung von Metallen erst ermöglicht. Gleich-

Reaktionen dienen oft erhöhte Temperatur und/oder erhöhter Druck; meist ist auch die Anwesenheit eines Katalysators erforderlich.

Katalysatoren unterstützen oder ermöglichen chemische Reaktionen, ohne dabei selbst an der Reaktion teilzunehmen. Also werden Katalysatoren theoretisch nicht verbraucht. In der Praxis zeigt sich jedoch, dass diese oberflächenaktiven Substanzen durch Ablagerungen auf ihrer Oberfläche oder eingeschleppte Substanzen im Laufe der Zeit inaktiv werden. So dürfen z.B. Kraftstoffe für Fahrzeuge mit Abgaskatalysator keine Bleiverbindungen zur Verbesserung der Klopfestigkeit enthalten. Abgesehen von ihrer Giftigkeit, würde der Katalysator diese zerlegen, wodurch sich metallisches Blei auf der Oberfläche des Katalysators abscheidet. Damit wird der Katalysator für die Abgasreinigung unbrauchbar. Für die meisten chemischen Prozesse in der Industrie werden Katalysatoren eingesetzt. Dabei erfordern unterschiedliche chemische Reaktionen auch verschiedene Katalysatoren.

■ 2.2 Grundlagen polymerer Werkstoffe

Polymere Werkstoffe sind aus langkettigen Molekülen aufgebaut, den sogenannten Makromolekülen (makros [griechisch] = groß). Diese setzen sich aus sehr vielen (etwa zwischen 10^4 bis 10^6) gleich aufgebauten Teilen, den sogenannten Monomeren (monos [griechisch] = allein) zusammen und werden daher Polymer (polys [griechisch] = viel, meros [griechisch] = Teil) genannt. Das entsprechende Verfahren heißt Polymerisation (Bild 2.3).

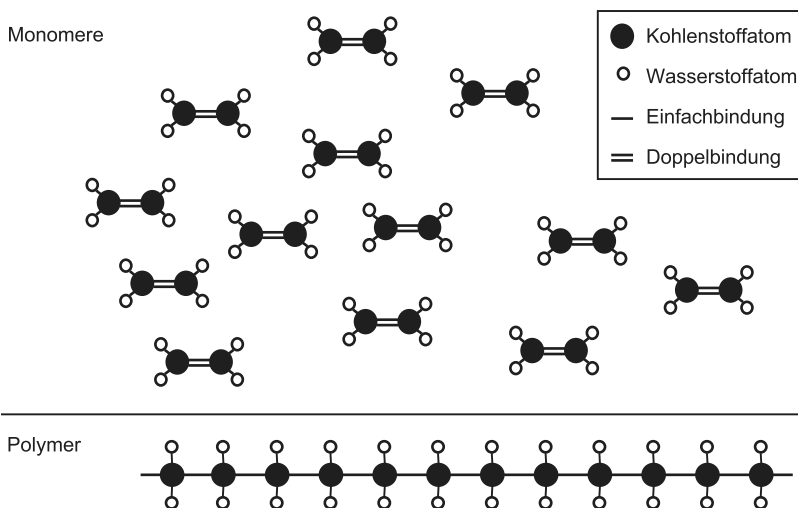


Bild 2.3 Vergleich von Monomeren und Polymer am Beispiel Ethylen/Polyethylen

Zur einfachen und anschaulichen Darstellung der extrem großen Polymerelemente bedient man sich ebenfalls einer Kurzschreibweise. Längere Moleküle werden als Zick-Zack-Ketten dargestellt, wobei Wasserstoff meist weggelassen wird. Jeder Knick sowie die Anfangs- und Endpunkte stehen für ein Kohlenstoffatom mit den dazugehörigen Wasserstoffatomen. Noch einfacher ist die Verwendung von Summenformeln mit Indizes für die Anzahl der jeweiligen Monomersegmente. Die Segmentgröße wird meist im Kontext angegeben, etwa $n = 20.000$. Allerdings sagen solche Schreibweisen nichts über die tatsächliche Verteilung der Monomere aus (statistisch, alternierend, in Segmenten/Blöcken oder gepfropft), Bild 2.4.

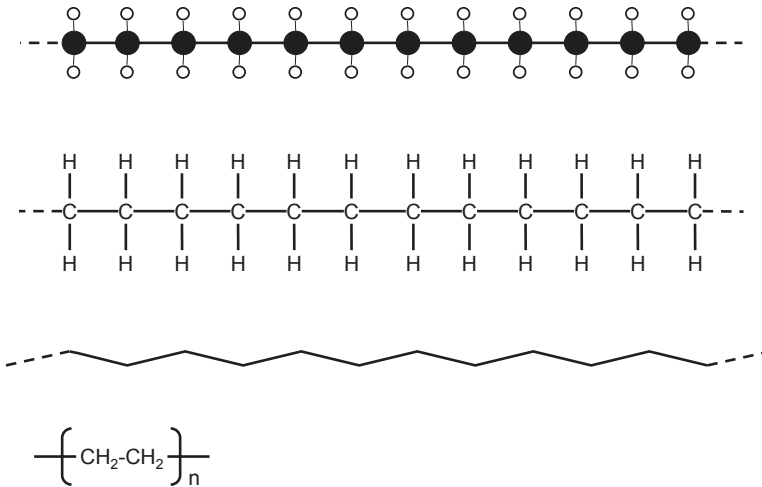


Bild 2.4 Verschiedene Schreibweisen für Polyethylen

Monomere sind chemische Verbindungen, die die Eigenschaften der Polymere bestimmen. Durch entsprechende Wahl der Monomere und Steuerung der Polymerisation ist es möglich, gezielt Werkstoffe mit neuen Eigenschaften herzustellen. Je nach Monomer und Reaktionsbedingungen entstehen bei der Polymerisation bei gleicher Summenformel unterschiedliche räumliche Strukturen. Die Reaktionsbedingungen entscheiden beispielsweise über die durchschnittliche Kettenlänge, die Molmassenverteilung sowie die Entstehung linearer oder verzweigter Polymere (Bild 2.5). Aufgrund ihrer größeren räumlichen Ausdehnung haben verzweigte Polymere eine etwas geringere Dichte und eine geringere Kristallisationstendenz; das parallele Zusammenlagern der Makromoleküle wird durch die sperrigen Verzweigungen erschwert. Weiterhin weisen verzweigte Polymere höhere Schmelztemperaturen als lineare Polymere aus den gleichen Grundbausteinen auf.

Bei der Polymerisation ungesättigter Verbindungen öffnet sich, ausgelöst durch spezielle Initiator-moleküle, jeweils eine der Bindungen aus der Doppelbindung und bindet sich an das nächste Monomermolekül. Auf diese Weise findet ähnlich

3.3.2 Polypropylen (PP)

Polypropylen ist mit rund 20 % Anteil an der Gesamtproduktion der zweitwichtigste Kunststoff. Obwohl Polypropylen dem PE chemisch relativ ähnlich ist, ist es deutlich härter, fester und thermisch höher belastbar. Die maximale Dauereinsatztemperatur liegt bei etwa 100 °C. Unter 0 °C steigt jedoch die Schlagempfindlichkeit stärker an als bei PE. Spezialtypen ermöglichen sowohl höhere als auch niedrigere Einsatztemperaturen. Durch Wahl der Polymerisationsbedingungen lassen sich neben isotaktischen und syndiotaktischen auch ataktische Polymerisate erhalten. Dies ermöglicht eine große Vielfalt verfügbarer Typen.

Die meisten Polypropylen-Typen sind isotaktisch aufgebaut. Der gleichmäßige Aufbau ist Ursache für den hohen Kristallisationsgrad und damit für die gegenüber PE-HD größere Festigkeit und Steifigkeit sowie die höheren Schmelz- und Gebrauchstemperaturbereiche. Die Methyl-Seitengruppen verhindern jedoch eine enge Zusammenlagerung wie bei PE, daher hat isotaktisches Polypropylen (PP-I) auch eine etwas geringere Dichte. Syndiotaktisches Polypropylen (PP-S) ist transparent und sehr schlagzäh, allerdings weniger steif als isotaktisches PP. Ataktisches Polypropylen (PP-R) ist amorph, bei Raumtemperatur jedoch klebrig und wird vornehmlich als Vergussmasse in der Elektroindustrie sowie als Dicht- oder Dämmmasse verwendet.

Die elektrischen Isoliereigenschaften und die chemische Beständigkeit des unpolaren PP sind mit PE vergleichbar; PP ist etwas empfindlicher gegen starke Säuren und Oxidationsmittel. PP ist wie PE brennbar und nicht witterungsbeständig. Auch hier sind entsprechende Additive erforderlich.

Aufgrund seiner hohen Dehnbarkeit und seiner relativ hohen dynamischen Belastbarkeit erlaubt PP die Herstellung von Filmscharnieren.

PP ist der Massenkunststoff mit dem stärksten Wachstum. Mehr als ein Drittel der synthetischen Fasern werden auf Basis PP hergestellt. Weitere wichtige Anwendungsgebiete sind Verpackungsfolien sowie starre Verpackungen. Die in jüngerer Zeit entwickelten neuen Spezialtypen finden zunehmend auch als Ersatz für technische Thermoplaste wie ABS und PA Verwendung. PP wird auch als Gehäusewerkstoff für Kleinkleinlektrogeräte, Formteile für Haushaltsgeräte sowie für Karosserieteile (Stoßfänger) und Formteile im Innenraum von Kraftfahrzeugen eingesetzt. Im Bausektor findet PP unter anderem für Rohre, Heißwasserbehälter und Gartenmöbel Verwendung.

Wichtige Spezialtypen und Copolymere sind:

- **glasfaserverstärkte Typen (PP-GF):** mit bis zu 40 % Glasfasern für höhere Steifigkeit
- **geschäumte PP-E-Typen (expanded):** mit Dichten bis hinunter zu 10 kg/m³

- **Copolymer mit Ethylen (EPM):** oder mit Ethylen und Ethylidennorbornen, Dicyclopentadien oder 1,4-Hexadien (EPDM); dies sind bedeutende Synthesekautschuke mit guter Hitze- und Wetterbeständigkeit
- **(PP+EPDM)-Blends:** diese Produkte zählen zu den thermoplastischen Elastomeren

3.3.3 Polyvinylchlorid (PVC)

Nach Polyethylen und Polypropylen belegt Polyvinylchlorid (PVC) allen Unkenrufen zum Trotz mit 15 % Anteil an der Kunststoffproduktion immer noch den dritten Platz.

Vinylchlorid wird außer als Ausgangsmonomer für PVC auch zur Pfcopolymerisation von Acrylatkautschuken und Ethylen-Vinylacetat-Copolymeren verwendet.

PVC lässt sich durch die Verwendung von Weichmachern zu einem relativ elastischen Material verarbeiten; die hierzu üblicherweise verwendeten Phthalsäureester (Phthalatweichmacher) sind jedoch toxikologisch umstritten.

Aufgrund des hohen Chloranteils in Vinylchlorid (etwa 56 %) hat Hart-PVC (PVC-U, unplasticized) eine hohe Dichte von etwa 1380 bis 1400 kg/m³. Die Dichte von Weich-PVC (PVC-P, plasticized) wird von Art und Menge des Weichmachers bestimmt. Bei einem Gehalt von 25 % Phthalatweichmacher liegt die Dichte von Weich-PVC bei etwa 1240 bis 1280 kg/m³. Wird der Anteil auf 40 % erhöht, beträgt die Dichte etwa 1150 bis 1200 kg/m³. Die geringe thermische Stabilität von PVC, die schon die technische Anwendung der ersten Vinylchlorid-Polymerisate erheblich erschwerte, erfordert auch heute noch grundsätzlich den Zusatz von Stabilisatoren. Diese basieren auf Schwermetallen wie Blei und Cadmium, werden aber zunehmend durch Produkte auf Basis von Calcium, Zinn oder Zink ersetzt. Optimal stabilisiertes PVC besitzt eine gute Witterungsbeständigkeit, lediglich besonders helle PVC-Produkte erfordern auch den Einsatz von UV-Absorbern. Zusätzlich werden auch Fließ- und Gleitmittel zugesetzt. Im Gegensatz zu anderen Thermoplasten wird PVC vielfach als Pulver angeboten. Weich-PVC ist auch als Paste durch Streichen oder Gießen verarbeitbar.

Der hohe Chloranteil von PVC-U ermöglicht die Herstellung von als flammwidrig, schwerentflammbar oder selbstverlöschend bezeichneten Produkten, eine der bekanntesten Eigenschaften des PVC. PVC-U ist zwar brennbar, erlischt aber nach Entfernen der Zündquelle. Durch Zusatz von Weichmacher wird der Chlorgehalt verringert. Bei einem rechnerischen Chlorgehalt unterhalb von etwa 30 % brennt PVC-P auch nach Entfernen der Zündquelle weiter. Dies wird zwar erst bei einer Dosierung von etwa 85 phr, entsprechend etwa 46 %, Weichmacher erreicht, aller-

4

Kunststoffadditive

Kunststoffe werden oft mit Additiven modifiziert, um die an sie gestellten Anforderungen zu erfüllen. Übliche Additive sind Flammenschutzmittel, Farbmittel, Weichmacher (insbesondere bei Elastomeren und PVC) sowie Füllstoffe und Fasern. Je nach Art und Menge wirken sich Additive in unterschiedlicher Weise auf die mechanischen, thermischen und elektrischen Werte sowie das Brandverhalten von Kunststoffen aus.

■ 4.1 Füllstoffe

Füllstoffe wurden bereits vor der Entwicklung synthetischer Kunststoffe verwendet. Der wichtigste polymere Rohstoff des 19. Jahrhunderts, Kautschuk, wurde aufgrund rasch wachsender Nachfrage und der Monopolstellung Brasiliens und später Großbritanniens immer teurer. Daher versuchte man mit Füllstoffen als Streckmittel den immer weiter steigenden Preis auszugleichen. Nachdem man die verstärkende Wirkung bestimmter Füllstoffe erkannt hatte, wurden Füllstoffe für die Herstellung von Elastomeren unverzichtbar. Auch in modernen Thermoplasten werden heute Füllstoffe eingesetzt, um bestimmte Eigenschaften zu erzielen. Formmassen auf Basis von Phenol-, Harnstoff- oder Melaminharzen werden erst durch Füllstoffe verarbeitbar.

Werden mechanische Eigenschaften wie Festigkeit und Steifigkeit eines Polymeren durch Füllstoffe verbessert, spricht man von verstärkenden Füllstoffen. Auch eine höhere Wärmeformbeständigkeit, bessere elektrische Leitfähigkeit, höhere Schlagzähigkeit und verbesserte Maßhaltigkeit sowie geringere Wärmeausdehnung lassen sich durch geeignete Füllstoffzusätze erzielen.

Zunächst wird das getrocknete Granulat durch entsprechende Dosiervorrichtungen in den Plastifizierteil gebracht. Durch die Reibung an der rotierenden Förderschnecke und gleichzeitiger Erwärmung der Plastifiziereinheit wird das Granulat für den folgenden Einspritzvorgang aufgeschmolzen. Die Schmelze bildet vor der Schneckenspitze ein Polster; sobald dessen Menge zur Füllung des Werkzeugs ausreicht, wird die Schmelze unter Drücken von mehreren hundert bis weit über 1.000 bar durch Verschieben der mittlerweile still stehenden Plastifizierschnecke eingespritzt. Durch die Temperierung des Werkzeugs auf geeignete Entformungstemperatur beginnt das Formteil zu erstarren. Die Entformungstemperatur wird so gewählt, dass sich zwar das Bauteil ohne Deformation entformen lässt, gleichzeitig aber noch so hoch ist, dass möglichst wenig Eigenspannungen durch die Abkühlung auftreten. Mit der Abkühlung der Schmelze ist eine Volumenkontraktion verbunden, die zu Einfallstellen führen kann. Daher wird bis zum Erreichen der Siegelzeit (wenn das Material im Angusskanal erstarrt ist und damit das Werkzeug versiegelt) ein Druck zwischen etwa 600 und 1.500 bar aufrechterhalten (Nachdruck). Anschließend wird die Schnecke zurückgezogen und neu befüllt, dann beginnt wieder die Plastifizierung. In der Zwischenzeit kühlt das Formteil ab, bis es schließlich beim Öffnen des Werkzeugs durch Stifte, Platten oder Druckluft ausgestoßen wird. Das durch die Abkühlung im Angusskanal des Werkzeugs verbleibende erstarrte Material verbleibt als sogenannter Anguss zunächst am Formteil und muss mechanisch entfernt werden.

Moderne Werkzeuge verwenden beheizte Angusskanäle (Heißkanäle); das hierin befindliche Material wird bis zum nächsten Zyklus in Schmelze gehalten. Heißkanäle vermeiden somit das Regranulieren und Rückführen der Angüsse in den Produktionsprozess, sind aber kostenintensiv.

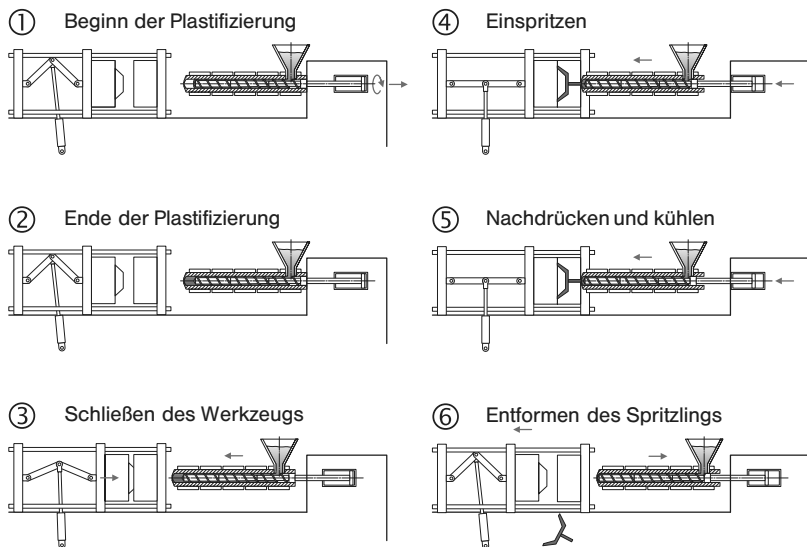


Bild. 5.3 Prinzipieller Verfahrensablauf beim Spritzgießen [7]

Die Verfahrensparameter Masstemperatur, Werkzeugtemperatur, Einspritzdruck, Nachdruck und die jeweiligen Zeiten sind für jeden Thermoplasten verschieden, ihre optimale Einstellung ist für die Herstellung fehlerfreier Formteile unabdingbar. Die Bilder 5.3 und 5.4 zeigen den prinzipiellen Verfahrensablauf.

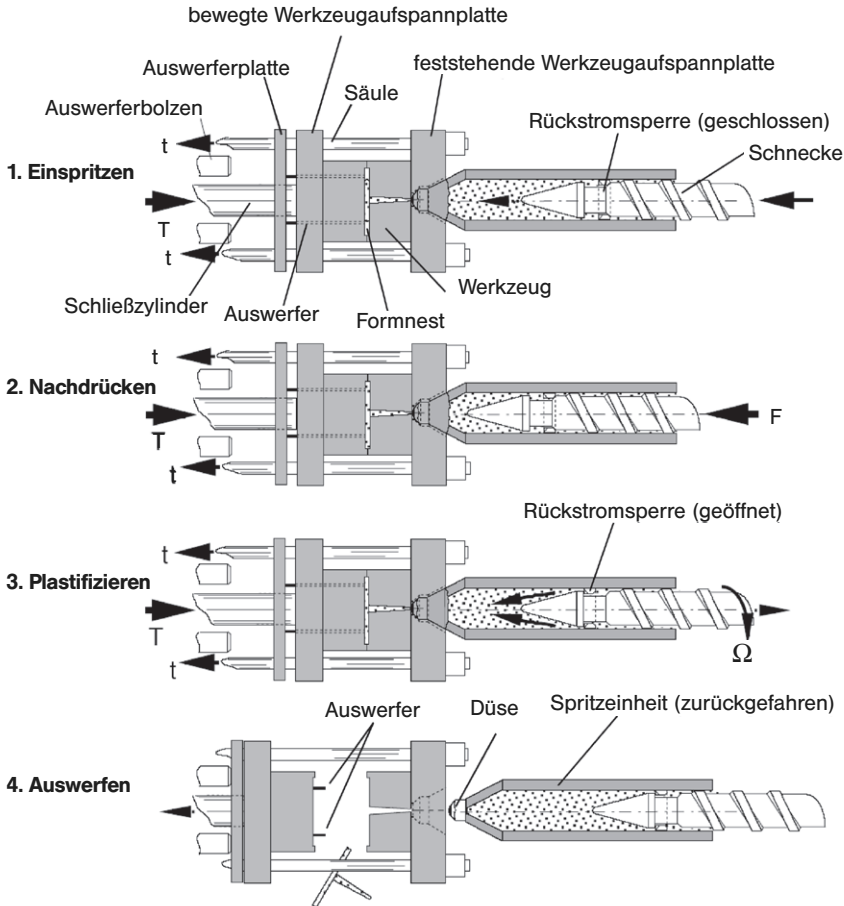


Bild. 5.4 Grundoperationen beim Spritzgießen [10]

Die Auslegung von Thermoplastbauteilen und den zugehörigen Spritzgießwerkzeugen, insbesondere die Gestalt und Lage der Angüsse, ist ein weiterer entscheidender Faktor, denn durch den Angusskanal fließt die Schmelze in die Kavitäten. Oft werden hierzu Füllsimulationen mit spezieller CAD-Software verwendet. (CAD – Computer Aided Design, Auslegung von geometrischen Formen durch computer-gestützte Berechnung). Dabei sind grundlegende Konstruktionsregeln zu beachten. Einige Beispiele seien im Folgenden erwähnt.

Aliphatische Verbindungen (Aliphaten)

Kohlenwasserstoffe mit linearen oder verzweigten Ketten.

Anisotropie

Richtungsabhängigkeit von Eigenschaften. Durch die Verarbeitung werden die vorher ungeordnet vorliegenden Makromoleküle in Verarbeitungsrichtung angeordnet; hierdurch wird insbesondere das mechanische Verhalten richtungsabhängig. Festigkeit und Steifigkeit sind längs der Spritzrichtung meist höher als quer dazu. Dementsprechend findet man in Polymerdatenblättern oft gesonderte Angaben (längs und quer). Anisotropie ist besonders ausgeprägt bei faserverstärkten Kunststoffen, da die Fasern sich bevorzugt in Spritzrichtung orientieren.

Anorganische Verbindungen

Alle Verbindungen chemischer Elemente mit Ausnahme der Kohlenwasserstoffe. Es sind etwa 100.000 anorganische Verbindungen bekannt.

Aromatische Verbindungen (Aromaten)

Zyklische (ringförmige) vollkonjugierte ungesättigte Kohlenwasserstoffe. Aromaten zeigen von ungesättigten aliphatischen Kohlenwasserstoffen abweichende chemische Reaktionen. Der Name leitet sich vom angenehmen Geruch der ersten Produkte ab, die aus natürlichen Stoffen extrahiert wurden.

Arylgruppe

Bestandteil von Molekülen auf Basis aromatischer Kohlenwasserstoffe. Die durch Abspaltung eines Wasserstoffatoms aus Benzol erhaltene Phenylgruppe ist die einfachste Arylgruppe.

Index

A

Abdeckungen 136
Abrieb 42
Acetatseide 17
Acrylatkautschuk 93
Acrylglas oder kurz Acryl 125
Acrylnitril-Butadien-Kautschuk 13, 92
Acrylnitril-Butadien-Styrol-Kunststoff 119
Acrylnitril-Styrol-Acrylat-Kunststoff 120
Additive 91
Agrarfolien 144 f., 147
Aktivatoren 90
aktive Füllstoffe 91
akustische Eigenschaften 50
aliphatische Verbindungen
 (Aliphaten) 225
Allotropie 55
Alterungsschutzmittel 91, 160
Aminoplaste 77, 97
amorphe Thermoplaste 27, 85
Anisotropie 173, 225
anorganische Verbindungen 225
Antihafbeschichtungen 138
Antistatika 162
Anvulkanisation 10, 91
Anwendungen 110
Aramidfasern 124, 157
Armaturentafeln 131
aromatische Verbindungen
 (Aromaten) 71, 225
Asphalt 2, 7
ataktisch 74
Atome 66

Aufbereiten 166
Aushärten 55
Auskleidungen 138

B

Bakelit 18
Bälge 94, 135, 137
Barrierefolien 54, 147
Baudübel 124
Baulager 93
Bedienelemente 136
Behälter 98
Bembergseide 17
Bernstein 3
beschichtete Gewebe 93
Beschichtungen 140
Beständigkeit 87
Bioabfallbeutel 147
Biokompatibilität 140
biologische Abbaubarkeit 145
Biopolymere/Biokunststoffe 143
Birkenpech 7
Bitumen 2
Blasformen 86
Blends 76, 95, 119, 124 f., 127, 129, 131,
 145, 176
Blu-ray Discs 127
Bootsrümpfe 98
Brandverhalten 197
Brems- und Kupplungsteile 97
Brillenfassungen 147
Bruchdehnung 226

Bruchspannung 226
 Buna® 13
 Butadien 71, 88
 Butadien-Acrylnitril-Kautschuk 119
 Butadienkautschuk 21, 52, 119
 Butylkautschuke 94

C

CAMPUS 193
 Casein 13
 Cellon 16
 Cellophan 16
 Celluloid 15
 Celluloseacetat 16
 Celluloseacetobutyrat 147
 Celluloseacetopropionat 147
 Cellulosehydrat 148
 Chardonnet-Seide 16
 Charpy 195
 Chemikalienschläuche 93
 chemische Beständigkeit 51, 214
 chemische Bindungen 67
 chemische Elemente 66
 chemischer Apparatebau 116
 Chlorhydrinkautschuke 94
 chloriertes Polyethylen 111
 Chloroprenkautschuk 22, 83, 92
 chlorsulfoniertes Polyethylen 111
 Coextrusionstechnik 176
 Compact Discs (CD) 127
 Copolymerisation 76
 Cycloolefin-Copolymere 111

D

Dachfolien 93
 Dachmodule 128
 Dämmmaterialien 98
 Dämpfungselemente 136
 Dauerschwingversuch 199
 Dehnungsfugenbänder 136
 Dichte 29
 Dichtelemente 136
 Dichtungen 93 f., 134, 137 f., 141 f.

Dielektrizitätszahl 198
 Diffusion 54
 Digital Versatility Discs (DVD) 127
 Dithiocarbamate 12
 Doppelbindung 70
 Doppelbrechung 128
 Druckverformungsrest 199
 duktiles Verhalten 39, 227
 Durchgangswiderstand 227
 Duroplaste 27, 78, 96
 dynamische Belastung 43

E

Ebonit 89
 Edelgaskonfiguration 67
 Einwegbecher und -bestecke 145
 Elastizitätsmodul, E-Modul 31, 227
 Elastomere 27, 40, 78, 88
 Elastomerlegierungen 133
 Electroplating 192
 elektrische Leitfähigkeit 49
 elektrische Prüfungen 198
 elektrisch leitfähige Polymere 142
 Elektroisolierfolien 126
 Elektroisolierlacke 124
 Elektronen 66
 Elektronengas 27, 67
 Elektronenschale 67
 elektrostatische Aufladung 49
 Elektrotechnik 98, 119, 128, 138 f., 141
 energieelastisches Verhalten 31
 energiereiche Strahlung 54
 entropieelastisches Verhalten 82, 90
 Epoxidharze 77, 97, 188
 Ermüdungsverhalten 43
 ESD – electrostatic discharge 49
 Estergummi 21
 Ethan 70
 Ethylen-Propylen-Kautschuk 23, 94
 Ethylen-Vinylacetat-Copolymere 111
 Ethylen-Vinylalkohol-Copolymere 111
 Extenderfüllstoffe 90
 Extrusion 86, 91, 173
 Extrusionsblasformen 176

F

Fahrzeugrücklichter 125
 Faltenbälge 111
 Farbmittel 80, 161
 Fasern 120
 Faseroptiken 142
 Faserwerkstoffe 156
 Federelemente 130
 Feinmechanik 123
 Fensterprofile 116
 Filmscharniere 44, 112, 228
 Filter- und Pumpengehäuse 123
 Flammenschutzmittel 158
 Flaschen 126
 Fließen 34, 36
 Fluorkautschuke 94
 Fluorkunststoffe 137
 Folien 110, 115
 Förderbänder 94, 148
 Formbeständigkeitstemperatur 84, 196
 Formgebung 91
 Formteile 96, 98, 128
 Formverschmutzung 87
 fotoabbaubaren Kunststoffe 148
 Friktion 90
 Fügen 185
 Füllstoffe 90, 155
 Fussbodenbelägen 115

G

Gagat 14
 Galalith 16
 Galvanisieren 129, 192
 Galvanisierung 119
 Gartenmöbel 112
 Gasdurchlässigkeit 54
 Gasinjektion 172
 Gas- und Kupplungspedale 122
 Gebrauchstemperatur 45, 196
 Gebrauchstemperaturbereich 81, 229
 Gehäuse für Elektrowerkzeuge 123
 Gehäuse für Haushalts- und Elektrogeräte 128

Gehäuse in der Elektronikindustrie 117
 Gehäuseteile von Elektrowerkzeugen 129
 Gewebeschläuche 137
 Gießelastomere 98
 Glanzstoff 17
 Gläser 28
 glasfaserverstärkte Kunststoffe 19, 157
 Glastemperatur 83
 Glastemperatur, Glasübergangstemperatur 27, 45, 229
 Gleiteigenschaften 138
 Gleitelemente 142
 Gleitlager 123, 138, 141
 Gleitmittel 162
 Glühdraht 197
 Griffteile 136, 147
 Gummi 7, 88, 148
 gummielastischen Eigenschaften 88
 gummielastisches Verhalten 95
 GWFI – Glow-wire-flammability 197
 GWIT – Glow-wire-ignitability 197

H

Haftmittel 91
 Halbzeuge 55, 229
 Härte 42, 81, 133, 198
 Hartgummi 89
 Hartschaum 98
 Hart/Weich-Kombinationen 172
 Haushaltsgeräte 97
 Haushaltswaren 119
 heat-build-up 45
 Heat Distortion Temperature 196
 Hebel 130
 Heißkanäle 168
 Heißpressen 55
 Heizbälge 93
 Heizelementschiweißen 186
 Hevea brasiliensis 7
 Hinterspritztechnik 172
 Hinweisschilder 125
 Hochdruckpolyethylen 23
 Hochleistungskunststoffe 137

Hochleistungs- oder Hochtemperatur-
kunststoffe 108
Hybridbauweise 122
Hydrolyse 52, 230
Hygieneprodukte 145

I

Imprägnierung 115, 138
injection blow molding 176
Innenmischer 90
Integralschäume 98, 181
intrinsisch leitfähige Polymere 143
Ionen 77
Ionenbindung ff 67
Ionengitter 28
Isopren 12, 88
isotaktisch 74
Isotope 66
Isotropie 230
Izod 195

K

Kabel 93 f., 96, 136 ff.
Kalandrieren 179
Kaltschweißen 189
Kämme 147
Karosserien 98
Karosserieteile 112
Kasein 16
Kaskadenspritzgießen 173
Katalysatoren 71 ff.
Kautschuk 7, 58, 89, 133, 149
Kautschuken 133
Keilriemen 93
Keilriemenscheiben 142
Kennwerte von Thermoplasten 193
Keramische Werkstoffe 28, 35
Kerbschlagbiegeversuch 195
Kettenabbau 52, 54, 87
Kfz-Heizungssysteme 116
Kfz-Innenraumteile 119, 129
Kfz-Karosserieteile 129, 131
Kfz-Motorraum 122

Kfz-Unterbodenschutz 115
Klebebänder 126
Kleben 188
Klebstoffe 116, 147
Knöpfe 147
kohlenstofffaserverstärkten
Kohlenstoff (CFC) 97
Kohlenwasserstoffe 27, 70, 230
Kolbenringen 141
Kollodium 15
Kolophonium 3
Kompostieren 144
Kondensationspolymerisation 77
konjugierte Doppelbindungen 71
Konstruktionsregeln 169
Konstruktionswerkstoffe 28, 61
kovalente Bindung 28, 67 ff., 81
Kraftstoffbehälter 111
Kraftstoffleitungen und -tanks 122
Kratzfestlacke 127
Kriechen 37
Kriechstromfestigkeit 198
Kristallisation 83, 132
Kristallisationsgrad 27
Kristallite 46, 85
Kristallit-Schmelztemperatur 27, 45, 83
Küchenarbeitsplatten 125
Kugeleindrucktemperatur 196
Kunstfasern (Acryl) 119
Kunstfasern (siehe Synthesefasern) 192
Kunstleder 115
Kunstseide 17
Kunststoffadditive 155
Kunststoffbedarf 62
Kunststoffe 4
Kunststoffproduktion 58
Kupferkunstseide 17
Kupplungselemente 130, 137

L

Laccain 18
Lacke 98, 147
Lamine 98

Lampengehäuse 122
 Laserschweißen 187
 Latex 7
 legieren 3
 Leitrüße 49
 Leuchtenabdeckungen 125
 Lexan® 24
 Lichtkuppeln 147
 Lichtschutzmittel 160
 Lichtwerbung 125, 147
 lineare Polymere 73
 Linoleum 15
 Linsen 128
 Löwenzahn 148
 Luftschläuche für Reifen 93
 Luft- und Raumfahrt 140 f.

M

Makrolon® 24
 Makromolekülen ff 72
 Massenzahl 66
 Masstemperatur 45, 84, 230
 Mastikation 9
 Matratzen 98
 maximal zulässige Dehnung 38
 Mechanische Eigenschaften 195
 Medizintechnik 128, 139 f., 147
 Mehrkomponentenspritzguss 172
 Melaminharze 19
 Membranen 93
 Metalle 31
 Metallisieren 192
 Methylkautschuk 12
 Migration 51
 Mikrowellengeschirr 141
 Mineralfasern 45
 Mischwalzwerk 91
 Möbelbeschläge 116, 126, 130
 Moleküle 67
 Molmasse 230
 Monomeren 72 ff.
 Motorlager 93
 Motorraum 124
 Mowilith 20

Müllbeutel 144
 Muttern 123

N

natural oil polyols 149
 Naturkautschuk 3, 6, 83, 88, 92, 148
 Natürliche Polymere 7
 Nebenvaleanzkräfte 81, 231
 Neoprene® 13
 Neutronen 66
 Nieten 189
 Nitrilkautschuk 119
 Nitrocellulose 14
 Nitrolacke 16
 Nylon® 22

O

Oberflächen- und Durchgangs-
 widerstand 198
 Öle 51 f.
 Olefine 231
 optische Eigenschaften 49
 optische Speichermedien 127
 optische Teile 125, 128
 Orbitale 66
 Ordnungszahl 66
 organische Verbindungen 231
 O-Ringe 135
 Ozon 52, 159
 Ozonschutzmittel 53

P

Parkesin 15
 Perlon® 22
 Permittivität 198
 Phenoplaste 17, 77
 Pigmente 161
 Plasmabeschichtung 192, 232
 plastische Verformung 33
 Platten (Bausektor) 128
 Plexiglas® 21
 Polyester 98

Polyacrylnitril 118
 Polyaddition 77
 Polyamide 77, 102, 108
 Polyamidimide 141
 Polyaryletherketone 109, 140
 Polyarylsulfone 138
 Polybutylensuccinat 146
 Polybutylenterephthalat 102, 127
 Polycarbonat 23, 77, 103, 127
 Polychloropren 188
 Polyester 52, 77, 127
 Polyesterharze 19, 97
 Polyetherimide 141
 Polyethersulfone 138
 Polyethylen 102, 108, 110
 Polyethylenterephthalat 23, 108, 125
 Polyhydroxybuttersäure 145
 Polyimide 109, 140
 Polykondensation 77
 Polylactide 145
 polymere Werkstoffe 78, 81
 Polymerisation 72 ff., 77
 Polymerisationsgrad 75
 Polymethylmethacrylat 21, 108, 124
 Polyoxymethylen 108, 130
 Polyphenylenether 130
 Polyphenylensulfid 109, 139
 Polyphenylensulfone 138
 Polypropylen 108, 112
 Polystyrol 21, 117
 Polystyroltypen 108
 Polysulfone 109
 Polytetrafluorethylen 22, 51, 109, 137
 Polyurethane 22, 52, 77, 80, 95 ff., 149, 188
 Polyvinylacetat 20
 Polyvinylalkohole 147
 Polyvinylchlorid 20, 108, 113
 Polyvinylidenchlorid 20
 Polyvinylidenfluorid 119, 138
 Prägefolien 114
 Primärenergiebedarf 62
 Profile (ohne Dichtungsprofile) 115, 134
 Protonen 66

Prototypen 123
 Pyrolyse 11, 233

Q

Quellung 51
 Querkontraktion 31, 233

R

Radikale 71, 77, 233
 Raketenbauteile 97
 Rapid Prototyping 233
 Reibung 42
 Reifen 93 f.
 Reifen (ohne Kfz-Reifen) 124, 135
 Relativer Temperatur Index (RTI) 233
 relative Temperaturindex 197
 Reyon 17
 Rheologische Eigenschaften 194
 Riemen 96
 Riemen (ohne Keil- und Zahnriemen) 135
 RIM (Reaction Injection Molding) 123
 Risszähigkeit 35
 Risszähigkeit und Risswiderstand 234
 Rohre 112, 115 f., 125, 138
 Rollen 98, 123, 126, 135, 137
 Rollläden 116
 Rotationsformen (Rotomolding) 179
 Rubber 8
 Ruß 91 f., 156, 160

S

Sandwichverfahren 8
 Sanitärteile 97, 125
 Schallplatten 116
 Schall- und Wärmedämmung 117
 Schäumen 181
 Schäumen von Polystyrol 23
 Schaumstoffe 22, 30, 181
 Schellack 3, 17
 Schichtpressstofftafeln 97
 Schießbaumwolle 14

- Schiffbau 97 f.
Schlagzähmodifikatoren 162
Schläuche 93 f., 96, 115, 134
Schleuderguss 180
Schmelze 87
Schmelze-Masse-Fließrate 194
Schmelze-Volumen-Fließrate 194
Schmelzindex 194
Schmelzkerntechnik 173
Schmelztemperaturen 46
Schnappverbindungen 39, 190
Schrauben 123, 189
Schrauben und Muttern 130
Schreibfolien 126
Schubmodul 82, 234
Schubmodulkurve 84
Schuhsohlen 96
Schutzbekleidung 93, 124
Schweißen 186
Schwiegermutterseide 16
Schwindung 86, 171, 194
Schwingspielzahl 43
Seiten- und Heckscheiben 128
Selbstverstärkende teilkristalline Polymere 141
Shrink 151
Siegelzeit 168
Silikonkautschuk 93
Sintern 55
Skischuhe 137
smoked sheets 8
Sockelleisten 116
Spannungs-Dehnungs-Kurve 30
Spannungsrisskorrosion 51 f., 231
Spezialkunststoffe 109, 142
Sportgeräte 97, 124
Sportschuhe 134
Sportschuhsohlen 137
Spritzgießen 91, 167
Spritzgussartikel (siehe Formteile) 127
Spritzgussverfahren 86
Spritzprägen 172
Spritzstreckblasformen 176
Sprödbrüche 35
Stabilisatoren 113, 159
Standardthermoplaste 108
Stangen 125
Stegplatten 125
Stoßfänger 123
Straßenleitpfähle 116
Streckblasen 176
Streckdehnung 34
Streckgrenze 34, 235
Streckspannung 34
Strukturbauteile 122 f.
Strukturbauteile für Fahrzeuge 97, 123
Strukturformel 69
Styrenics 117
Styrol-Acrylnitril-Kunststoff 118
Styrol-Butadien-Kautschuk 13, 21, 118
Styrol-Butadien-Styrol-Block-copolymere 132
Styroloxid 21
Styropor® 23
Summenformel 69
Surrogate 5
syndiotaktisch 74
synergetische Effekte 51, 76
- ## T
- technische Dehngrenze 35
technische Gummiwaren 94
technische Thermoplaste 108, 112
teilkristalline Thermoplaste 27, 85
Tempern 171, 182
thermische Kennwerte 196
thermische Leitfähigkeit 67
Thermoplaste 27, 36, 78, 85, 101
thermoplastische Elastomere 78, 95, 108, 132
Trägermaterial für fotografische Filme und Magnetbänder 126
Tragetaschen 144
Trag- und Spannseile 124
Treibmittel 91, 117, 162, 181
Trocknung 166

U

- UL 94 197
- Ultraschallschweißen 187
- Umformen 183
- ungesättigt 70
- Unterlagen 136
- Urformen 167
- UV-Absorber 92, 160

V

- Valenzelektronen 67
- Ventilsitze 141
- Verarbeitung 54, 165
- Verarbeitungshilfsmittel 91
- Verarbeitungstemperaturen 84
- Verbundwerkstoffe 1, 91
- verchromte Kunststoffteile 119
- Veredelung 191
- Vergilbung 54
- Vergussmasse 112
- Verklebungen für Luft- und Raumfahrt 98
- Verkleidungen 98
- vernetztes Polyethylen 111
- Vernetzung 41, 83, 88
- Vernetzungsdichte, Vernetzungsgrad 27, 236
- Verpackungen 111 f., 125 f., 145
- Verpackungen für Lebensmittel 117
- Verpackungsfolien 112
- Verscheibungen 128
- Verschleiß 42
- verzweigte Polymere 73
- Vibrationsdämpfer siehe Dämpfungselemente 136
- Vibrationsschweißen 187
- Vicat-Erweichungstemperatur 196
- Vinylchlorid 71
- Viscose 17
- Viskosität 194, 236

Vulkanisation 9, 89

Vulkanisationsbeschleuniger 12, 90

W

- Walzenbeläge 94
- Wärmeausdehnungskoeffizient 236
- Wärmeausdehnung und Wärmeleitfähigkeit 47
- Wärmebehandlung 55
- Wärmeformbeständigkeit 237
- Wärmeleitfähigkeit 237
- Warmformen 183
- Waschbecken 125
- Wasserstoffbrückenbindungen 121, 132, 236
- Weichmacher 91, 113
- Weichschaum 98
- Weißbruch 114
- Wellenmechanik 66
- Weltproduktion 62
- Werkstoffe 1
- Wirbelsintern 180

X

Xylonit 15

Y

- Yellow Cards 238
- Yellowness Index 238

Z

- Zahnräder 123, 126, 130, 134, 140
- Zahnriemen 94, 137
- Zellglas 16
- Zugfestigkeit 238
- Zugmodul (siehe Elastizitätsmodul) 100
- Zugversuch 195
- Zuschlagstoffe 80

Namensregister

- Audemars, Georges 16
 Baekeland, Leo Hendrik 18
 Baumann, E. 20
 Bayer, Otto 22
 Beadle, Clayton 17
 Bernigaud, Hilaire Graf
 von Chardonnet de Grange 16
 Berthelot, Marcelin Pierre Eugène 19
 Berzelius, Jöns Jakob 19, 65
 Bevan, John 17
 Blyth, J. 21
 Bock, Walter 13
 Bohr, Niels 66
 Bouchardat 12
 Brandenberger, Jaques E. 16
 Buchholz, Karl 23
 Carothers, Wallace Hume 13, 22 f.
 Castan, Pierre 19
 Charles, Jacques Alexandre César 8
 Condamine, Charles-Marie de La 7
 Cross, Charles Frederick 17
 Cross, Robert 11
 Dalton, John 65
 Delbrück, K. 12
 Demokrit 65
 Dickson, J. T. 23
 Dirac, Paul Adrien 66
 Droste, W. 22
 Dunlop, John Boyd 10
 Eastman, George 15
 Eichengrün, Arthur 16
 Einhorn, A. 19, 23
 Einstein, Albert 66
 Ellis, C. 19
 Empedokles 65
 Escales, Richard 19
 Faraday, Michael 11, 19
 Fawcett, Eric William 22
 Ford, Henry 12
 Fordlandia 13
 Fox, D. W. 23
 Freiherr Drais von Sauerbronn,
 Karl Friedrich Christian Ludwig 8
 Fresneau, C. F. 7
 Gäth, Rudolf 23
 Gibson, Reginald Oswald 22
 Goldschmidt, C. 19
 Goodyear, Charles Nelson 9
 Gottlob, K. 12
 Hamburger, A. 19
 Hancock, Thomas 9
 Harries, Carl Dietrich 12
 Hayward, E. 9
 Hentrich, W. 19
 Hérrisant, L. A. M. 8
 Höchtlen, A. 22
 Hofmann, A. W. 21
 Hofmann, Fritz 12
 Hölzer, K. 18
 Hyatt, John Wesley und Isaiah 15
 John, Hanns 18
 Klatte, Fritz 20
 Kleiner, Helmut 13
 Köhler, R. 19
 Kolumbus, Christoph 7
 Kondakov, J. 12
 Konrad, Erich 13
 Krische, Wilhelm 16
 Lavoisier, Antoine Laurent 5, 65
 Leukipp 65
 Lüdersdorf, F. 9
 Macintosh, Charles 8
 Macquer, Pierre-Joseph 8
 Mark, Hermann 20
 Matthews, F. E. 12
 Mendelejew, Dimitri 65
 Meyer, Carl Heinrich 18
 Meyer, Kurt Hans 20
 Meyer, Lothar 65
 Micellen 20
 Michelin, Édouard und André 10
 Nairne, Edward 8
 Natta, Giulio 23
 Nieuwland, Julius Arthur 13
 Oswald, Walter und Wolfgang 12
 Parkes, Alexander 15
 Patton, I. G. 22
 Pauly, H. 16

- Persin, M. W. 22
Pickles, Samuel 19
Plunkett, Roy J. 22
Pollack, Fritz 19
Priestley, Joseph 8
Raschig, Fritz 18 *f.*
Rebok, J. 22
Regnault, Henri Victor 20
Ritter, Adolf von Baeyer 18
Röhm, Otto 21
Scherer, O. 22
Schlack, Paul 22
Schloffer, F. 22
Schnell, Hermann 23
Schönbein, Christian Friedrich 14 *f.*
Schrödinger, Erwin 66
Schützenberger, Paul 17
Schweizer, Ed. 16
Seidel, Wolfgang 13
Simon, Eduard 21
Spill, Daniel 15
Spitteler, Adolf 16
Stastny, Fritz 23
Staudinger, Herrmann 6, 19 *ff.*
Strange, E. H. 12
Swan, Joseph Wilson 16
Thomson, Robert William 10
Tilden, W. A. 12
Tollens, B. 19
Tschunkur, Eduard 13
Walton, Frederick Edward 15
Whinfield, J. R. 23
Wickham, Henry 10
Williams, E. G. 22
Williams, Greville 11, 19
Zacharias, E. 20
Ziegler, Karl 23