

Inhaltsverzeichnis

1	Kunststoffe im Querschnitt	13	1.3.7	Strukturbezogener Name sN nach IUPAC	44
1.1	Was ist ein Kunststoff?	13	1.3.8	Kunststoffgruppe Kg	44
1.1.1	Definitionen	13	1.3.9	Beispiele zur Nomenklatur	44
1.1.2	Chemischer Aufbau	14	1.4	Moleküleigenschaften als Ursache der Werkstoffeigenschaften	49
1.2	Polymerisation	16	1.4.1	Gestalt der Makromoleküle	49
1.2.1	Einteilung und Nomenklatur der Polymerisationsarten zur Kunststoffherstellung	16	1.4.2	Ordnung der Makromoleküle	51
1.2.2	Additionspolymerisation als Kettenreaktion (APK)	17	1.4.3	Nebervalenzkräfte und ihr Einfluß auf das Verhalten der Kunststoffe	52
1.2.3	Radikalische Polymerisation (APK) von Vinylchlorid	18	1.4.4	Die Kunststoffgruppen: Thermoplaste – Elastomere – Duroplaste – Polymerlegierungen	53
1.2.4	Anionische Polymerisation (APK) von Cyanoacrylat	21	1.5	Zusammenfassung der Werkstoffeigenschaften	56
1.2.5	Kationische Polymerisation (APK) von Vinylether	23	1.6	Vergleich der Kunststoffe mit Metallen, Keramik und Glas	57
1.2.6	Stereospezifische Polymerisation (APK) von Propylen	29	1.7	Anwendung der Kunststoffe	60
1.2.7	Struktur und Polymerisationsneigung der C=C-Monomere	30	1.7.1	Hartelastische Kunststoffe	60
1.2.8	Ionische Polymerisation (APK) von Heterocyclen	32	1.7.2	Elastomere	69
1.2.9	Additionspolymerisation als Stufenreaktion (APS)	33	1.8	Produktionsziffern	73
1.2.10	Kondensationspolymerisation (KP)	34	2	Technologie	75
1.2.11	Polymerisation durch oxidative Kopplung	36	2.1	Technologie der Polymerisation	75
1.2.12	Molmasse der Makromoleküle	36	2.2	Technologie der Kunststoff- Urformung	81
1.2.13	Copolymerisation	37	2.2.1	Hilfsstoffe für die Verarbeitung	81
1.2.13.1	Überwiegend lineare Ketten	37	2.2.2	Lieferformen	82
1.2.13.2	Pfropfcopolymerisation	38	2.2.3	Verarbeitung der Thermoplaste	83
1.2.14	Allgemeine Erscheinungen bei der Polymerisation	40	2.2.3.1	Herstellung von Halbzeug – Extrudieren	84
1.2.15	Zusammenfassender Vergleich der Polymerisationsarten	42	2.2.3.2	Kalandrieren	86
1.3	Definitionen zur Nomenklatur der Polymere	43	2.2.3.3	Herstellung mehrschichtiger Bahnen	87
1.3.1	Deklination	43	2.2.3.4	Spritzgießen	87
1.3.2	Kurzzeichen	43	2.2.3.5	Pulvertechnik	90
1.3.3	Trivialname Tn	44	2.2.3.6	Verarbeitung von Pasten	90
1.3.4	Monomereinheit ME (englisch: Monomeric unit) nach IUPAC	44	2.2.3.7	Verarbeitung aus Lösung	91
1.3.5	Herkunftsbezogener Name hN	44	2.2.4	Verarbeitung der Duroplaste	91
1.3.6	Konstitutionelle Repetiereinheit KRE (englisch: Constitutional repeating unit) nach IUPAC	44	2.2.4.1	Verarbeitung der Kondensations- harze	91
			2.2.4.2	Verarbeitung der Reaktionsharze	93
			2.2.5	Verarbeitung der Elastomere	93
			2.2.6	Herstellung von Schaumstoffen	93
			2.3	Weiterverarbeiten und Nach- bearbeiten von Kunststoffen	95
			2.3.1	Warmformen von thermo- plastischem Halbzeug	95
			2.3.2	Kunststoffschweißen (Thermo- plaste)	98
			2.3.3	Kunststoffe als Klebstoffe und das Verkleben von Kunststoffen	99
			2.3.4	Spanende Bearbeitung von Kunst- stoffen	100
			2.3.5	Oberflächenbearbeitung	101

3	Polymerer mit reiner Kohlenstoff-Hauptkette	103	3.3.2.1	Allgemeines	128
3.1	Polyalkene (Polyolefine)	103	3.3.2.2	Statistische Copolymerer SAN, ASVK, SAS, BS	129
3.1.1	Polyethylen PE, LDPE, HDPE, HMWPE	103	3.3.2.3	Pfropfcopolymerer und Polyblends als schlagzähe amorphe Thermo- plastische SB, ABS, MBS, MABS, ASA, ACS, AES, ES	131
3.1.1.1	Aufbau	103	3.3.2.4	Dreiblockcopolymerer als thermo- plastische Elastomere SBS, SIS, SEPS	133
3.1.1.2	Verzweigungen und Kristallinität	103	3.3.3	Verarbeitung und Anwendung von Polystyrolkunststoffen	134
3.1.1.3	Molmasse	104	3.3.4	Polystyrolschaum (expandierbares Polystyrol)	135
3.1.1.4	Eigenschaften	105	3.3.5	Galvanisieren von ABS	135
3.1.1.5	Verarbeitung und Anwendung von Polyethylen PE, UHMWPE	107	3.3.6	Polymerisate von Styrolabkömmlingen	135
3.1.1.6	Copolymerer des Ethylens LLDPE, EVA, EBA, EEA, EAS, EVK, ETFE	108	3.4	Halogenhaltige Polymerer	136
3.1.1.7	Mischung von Polyethylen mit anderen Polymeren	110	3.4.1	Allgemeines	136
3.1.1.8	Chemische Abwandlung des PE: PEC, CSM, VPE	111	3.4.2	Polyvinylchlorid PVC	136
3.1.2	Polypropylen PP	112	3.4.2.1	Aufbau	136
3.1.2.1	Aufbau	112	3.4.2.2	Eigenschaften	137
3.1.2.2	Polymerisation	113	3.4.2.3	Hart-PVC = PVC ohne Weichmacherzusatz PVC-U	137
3.1.2.3	Allgemeine Eigenschaften von PP	113	3.4.2.4	Weich-PVC = PVC mit Weichmacherzusatz PVC-P	138
3.1.2.4	Verarbeitung und Anwendung von Polypropylen	114	3.4.2.5	Abwandlungsmöglichkeiten des PVC, Überblick	139
3.1.2.5	Copolymerer und Polyblends EPB, EPDM, EPM, EPTR	114	3.4.2.6	Weichmacher und daraus hergestelltes Weich-PVC	139
3.1.3	Polybuten PB	115	3.4.2.7	Polyblends mit PVC als schlagzähe PVC-Typen ACVC/PVC, EVA/PVC, MBS/PVC, PEC/PVC, ABS/PVC	140
3.1.4	Polymethylpenten PMP	116	3.4.2.8	Pfropfcopolymerer als schlagzähe PVC-Typen VCEVA, ACVC	141
3.1.5	Polyisobutylen PIB	116	3.4.2.9	Statistische Copolymerer VCVAC, VCS, VCAN, VCVDC	142
3.2	Synthesekautschuke	118	3.4.2.10	Chemische Abwandlung: Nachchloriertes PVC = PVCC	142
3.2.1	Konstitution der ungesättigten Kautschuktypen	118	3.4.2.11	Verarbeitung des Hart-PVC	142
3.2.2	Polymerisation	119	3.4.2.12	Verarbeitung des Weich-PVC	143
3.2.2.1	Emulsionspolymerisation	119	3.4.2.13	Anwendung von PVC	146
3.2.2.2	Stereospezifische Polymerisation	119	3.4.3	Polyvinylidenchlorid PVDC	147
3.2.2.3	Lösungspolymerisation	119	3.4.4	Polytetrafluorethylen PTFE	148
3.2.3	Verarbeitung der Rohpolymerisate	119	3.4.5	Polytrifluorchlorethylen PTFCE	149
3.2.3.1	Vorbereitung des Kautschuks	119	3.4.6	Polyvinylidenfluorid PVDF	150
3.2.3.2	Vulkanisation	119	3.4.7	Polyvinylfluorid PVF	150
3.2.4	Verarbeitung von Kautschukemulsionen (Latex)	120	3.4.8	Fluorhaltige Copolymerer FEP, ETFE	150
3.2.5	Butadien-Elastomer BR	121	3.4.9	Fluorcarbon-Elastomere FCM	151
3.2.6	Styrol-Butadien-Elastomer SBR	122	3.5	Polyvinylether PVE	152
3.2.7	Acrylnitril-Butadien-Elastomer = Nitrilkautschuk (NBR)	123	3.6	Polyvinylester und Folgeprodukte	153
3.2.8	Isopren-Elastomer IR oder NR	124	3.6.1	Polyvinylacetat PVAC	153
3.2.9	Isopren-Isobutylen-Copolymer = Butylkautschuk IIR	125	3.6.2	Polyvinylpropionat PVPR	153
3.2.10	Chlorbutadien-Elastomer CR	125			
3.2.11	Cyclopenten-Elastomer CPR	126			
3.2.12	Geschichte der Kautschuksynthese	126			
3.3	Styrolpolymerisate	127			
3.3.1	Polystyrol PS	127			
3.3.2	Copolymerer des Styrols und Polyblends	128			

3.6.3	Polyvinylalkohol PVAl	155	4.3.2.1	Chemisch einheitliche Polyterephthalate PETP, PBTP (PTMT)	176
3.6.4	Polyvinylacetale PVFM, PVB	156	4.3.2.2	Blockcopolymerer als thermoplastische Elastomere ETR	177
3.7	Acrylpolymerisate	158	4.3.3	Polycarbonate PC, ABS/PC, PBTP/PC	178
3.7.1	Polyacrylsäureester (Acrylharze) und Copolymerisate ACM, ASA	158	4.3.4	Polycaprolacton	179
3.7.2	Polymethacrylsäuremethylester PMMA, AMMA, MBS	159	4.4	Polyoxymethylen (Polyacetal) POM	179
3.7.3	Polyacrylnitril PAN	161	4.5	Polyether	180
3.7.4	Polyvinylidencarbonitril PVDN	162	4.5.1	Herstellungsprinzip	180
3.7.5	Polycyanoacrylat PCYA	162	4.5.2	Polyethylenoxid PEOX	180
3.7.6	Polymethacrylimid-Schaumstoff	162	4.5.3	Polypropylenoxid PPOX	180
3.7.7	Polyacrylamid	162	4.5.4	Polyadditionsprodukte von Ethylenoxid und Propylenoxid an Amine, Alkohole, Phenole usw.	181
3.8	Polyvinylamine	163	4.5.5	Polyether-block-amid PEBA	181
3.8.1	Polyvinylcarbazol PVK	163	4.5.5.1	Thermoplast-Formmassen	181
3.8.2	Polyvinylpyrrolidon PVP	163	4.5.5.2	PEBA für das Reaktions-spritzgießen	183
3.8.3	Polyvinylpyridin PVPD	164	4.5.6	Chlorepoxypropan-Elastomer CO, ECO	183
3.9	Polyacetylen	164	4.5.7	Phenoxyharz	183
4	Polymere mit Heteroatomen in der Hauptkette	165	4.6	Hochtemperaturfeste Kunststoffe	184
4.1	Polyamide	165	4.6.1	Polymere mit reiner Kohlenstoff-hauptkette	184
4.1.1	Produktübersicht und Nomenklatur	165	4.6.2	Polymere mit aliphatisch gebundenen Heteroatomen in der Hauptkette PPOS, PPO, PSU, PESU, PPS, PPSU	184
4.1.2	Herstellung der Polyamide	167	4.6.3	Polymere mit Heterocyclen in der Hauptkette PMI, PI, PESI, PETI	186
4.1.2.1	Polymerisationsarten	167	4.6.4	Polymere mit Leiterkonfiguration	189
4.1.2.2	Kondensationspolymerisation von Diaminen und Dicarbonsäuren	167	4.7	Kunststoffe zur Hochtemperatur-ablation	190
4.1.2.3	Verfahrenstechnik der Polymerisation von Lactamen	168	5	Vernetzte Kondensations- und Additionspolymere	191
4.1.2.4	Hydrolytisch-kationische Polymerisation der Lactame	168	5.1	Klassische Kondensationsharze	191
4.1.2.5	Anionische Polymerisation der Lactame	169	5.1.1	Übersicht	191
4.1.3	Allgemeine Eigenschaften der aliphatischen Polyamide	170	5.1.2	Phenoplaste PF	191
4.1.4	Abgewandelte Polyamidarten PA 6-3-T, PE/PA, PTPA	171	5.1.2.1	Produktübersicht	191
4.1.5	Verarbeitung der PA	172	5.1.2.2	Vorkondensation	191
4.1.5.1	Spritzgießverfahren	172	5.1.2.3	Härtung	192
4.1.5.2	Extrusion	172	5.1.2.4	Verarbeitung der Vorkondensate	192
4.1.5.3	Anionische Substanzpolymerisation von Lactam direkt im Formwerkzeug (Reaktionsformgießen, Guß-PA)	172	5.1.3	Aminoplaste UF, MF	193
4.1.5.4	Anfärben	173	5.1.3.1	Produktübersicht	193
4.1.6	Anwendung	173	5.1.3.2	Kondensationsreaktionen	193
4.1.7	Herstellung von PA-Folien	173	5.1.3.3	Einsatzgebiete	193
4.1.8	Herstellung und Anwendung von PA-Fasern	174	5.1.3.4	Allgemeine Eigenschaften	194
4.1.9	Lacke, Beschichtungen, Klebstoffe	174	5.1.4	Abgewandelte Phenolharze	194
4.2	Lineare Polycarbamate (Polyurethane) PUR, PCA	175	5.2	Vernetzte Polyester	195
4.3	Lineare Polyester	175	5.2.1	Ungesättigte Polyester UP	195
4.3.1	Herstellung	175	5.2.1.1	Produktübersicht	195
4.3.2	Polyterephthalate	176			

5.2.1.2	Härtung	196	6.3.8	Dämpfe von Methylsilanen	225
5.2.1.3	Eigenschaften	199	6.3.9	Fluorsiloxane	225
5.2.1.4	Verarbeitung	199	6.3.10	Polyfluorsiloxane FSIR	226
5.2.1.5	Glasfaserverstärkte Kunstharze	199	6.4	Andere Polymere mit anorganischer Hauptkette	226
5.2.2	Polyesterharze (meist ungesättigt) als Lacke	201			
5.3	Epoxyharze (früher: Epoxidharze) EP	202	7	Abgewandelte Naturprodukte	227
5.3.1	Produktübersicht und Nomenklatur	202	7.1	Kunststoffe auf der Grundlage der Cellulose C	227
5.3.2	Synthese des Ausgangsharzes	202	7.1.1	Regenerierte Cellulose	227
5.3.3	Kalthärtung mit Polyaminen	204	7.1.1.1	Pergamentpapier	227
5.3.4	Härtung durch ionische Polymerisation von Epoxygruppen	205	7.1.1.2	Vulkanfiber	227
5.3.5	Warmhärtung	205	7.1.1.3	Kupferoxidammoniakverfahren	228
5.3.6	Abgewandelte EP	206	7.1.1.4	Viskoseverfahren	228
5.3.7	Verarbeitung, Verwendung	207	7.1.2	Celluloseester	228
5.3.8	Eigenschaften der EP	207	7.1.2.1	Cellulosenitrat CN	228
5.4	Vernetzte Polycarbamate (Polyurethane) PUR, PCA, PIR, PHTA	207	7.1.2.2	Organische Celluloseester	228
5.4.1	Nomenklatur und Produktübersicht	207	7.1.2.3	Eigenschaften, Anwendung	229
5.4.2	Verarbeitung der Vorprodukte in einem Schritt (Reaktionsharze)	210	7.1.3	Celluloseether MC	230
5.4.2.1	Allgemeines	210	7.2	Kunststoffe auf Proteinbasis	231
5.4.2.2	Gieß-, Streich- und Spachtelmassen	211	7.3	Naturkautschuk und Abwandlungsprodukte NR	231
5.4.2.3	Schaumstoffe	211	7.3.1	Die natürlichen Kautschukemulsionen (= Latex)	231
5.4.2.4	Polyurethan-Injektionsmassen	213	7.3.2	Chlorkautschuk	231
5.4.2.5	Polyurethanlacke und -klebstoffe	214	7.3.3	Hydrochlorkautschuk = Kautschuk-Hydrochlorid	232
5.4.2.6	Einkomponentensysteme	214	7.3.4	Cyclokautschuk	232
5.4.3	Verarbeitung über Voraddukte	215	7.4	Polymerisate aus ungesättigten Naturölen	232
5.4.3.1	PUR-Elastomer	215			
5.4.3.2	PUR-Hartelastomer	216	8	Ionenaustauscher (Austauscherharze)	233
5.4.3.3	Thermoplastisches PUR-Elastomer	217			
5.4.3.4	Vulkanisierbares PUR-Elastomer	217	9	Eigenschaften der Kunststoffe	235
5.4.3.5	Zelliges PUR-Elastomer	218	9.1	Kennwerte	235
5.4.3.6	Elastomere Fäden	216	9.2	Flammfestigkeit	243
5.5	Methylmethacrylat-Gießharz	218			
5.6	Alkylensulfid-Elastomere	218	10	Die Kunststoffgruppen, ihre Zustandsbereiche und thermischen Daten	245
6	Polysiloxane (Silicone) und andere Polymere mit anorganischer Hauptkette	219	10.1	Teilkristalline Thermoplaste	246
6.1	Aufbau und Eigenschaften der Polysiloxane SI	219	10.1.1	Zustandsbereiche und Übergangstemperaturen	246
6.2	Synthese der Polysiloxane	220	10.1.2	Welche Folgen ergeben sich aus der Lage der Übergangstemperaturen?	250
6.3	Siloxanprodukte	222	10.1.3	Herkunft und Bedeutung thermodynamischer Daten	251
6.3.1	Siloxanharze	222	10.1.4	Schmelzwärme und Kristallinitätsgrad	253
6.3.2	Hartschaum	222	10.1.5	Dichte und Kristallinitätsgrad	254
6.3.3	Siloxankautschuk SIR	222	10.1.6	Kennzeichnung der Wendelstruktur (Helix)	256
6.3.3.1	Vernetzte hochmolekulare Polydimethylsiloxane	222			
6.3.3.2	Bor-Siloxan-Elastomere	225			
6.3.4	Siloxanöle	225			
6.3.5	Siloxanpasten – Siloxanfette	225			
6.3.6	Siloxandispersionen	225			
6.3.7	Wasserlösliche Siloxane	225			

10.1.7	Kristallisationsgeschwindigkeit	257	11.6	Folien	298
10.2	Homogene amorphe Thermoplaste	257	11.7	Eigenschaften von verstreckten, hochfest hergestellten Fasern :	300
10.3	Chemisch weitvernetzte Elastomere	261	11.8	Eigenschaftswerte von Duroplasten	302
10.3.1	Thermische Verhalten	261	11.9	Duroplaste aus härtbaren Form- massen (Preßmassen)	303
10.3.2	Chemischer Aufbau und Beständigkeit	263	11.10	Eigenschaftswerte von Elastomeren	304
10.4	Duroplaste	265	11.11	Schaumstoffe	305
10.4.1	Reaktionsharze und daraus hergestellte Formstoffe	265	11.12	Mechanische Eigenschaften bei Dauerschwingbelastung	306
10.4.2	Härtbare Formmassen und daraus hergestellte Duroplaste	268	11.13	Thermische Belastbarkeit von Kunststoffen	306
10.5	Polymerlegierungen	268	11.14	Brechungszahlen	306
10.5.1	Definition	268	11.15	Thermische Eigenschaften von Kunststoffen	307
10.5.2	Warum lösen sich verschiedene Polymere meist nicht ineinander?	268	11.16	Eigenschaften elektrischer Isolier- stoffe	308
10.5.3	Schlagzähe Thermoplaste und ihr Wirkungsmechanismus	276	11.17	Beständigkeit von teilkristallinen Thermoplasten gegenüber organi- schen Lösemitteln	309
10.5.4	Thermoplastische Elastomere	278	11.18	Beständigkeit von amorphen Ther- moplasten gegenüber organischen Lösemitteln	310
10.6	Verbundwerkstoffe mit Kunststoffen	279	11.19	Beständigkeit von Elastomeren ge- genüber organischen Lösemitteln	311
10.6.1	Warum Verbundwerkstoffe?	279	11.20	Beständigkeit gegen Hydrolyse, Hitze und Bewitterung	312
10.6.2	Wirkung als Folge der chemischen Natur des Verstärkungsstoffs (VS)	280	11.21	Verarbeitungstemperaturen und Schwindung von Kunststoffen	313
10.6.3	Geometrie des Verstärkungsstoffs im Hinblick auf Wirkung und Verarbeitbarkeit	285	11.22	Zusammenfassung: Eigenschaften wichtiger Kunststoffe in Stichworten	314
10.6.4	Haftvermittler	286	11.23	Die hier verwendeten SI-Einheiten und ihre Beziehung zu den früher gültigen Einheiten im Meßwesen	316
10.7	Zusammenfassung der Kunststoff- gruppen	287	12	Formelzeichen	317
11	Kunststoffeigenschaften in Tabellen	291	13	Literaturverzeichnis	321
11.1	Eigenschaftswerte thermo- plastischer Kunststoffe	292	14	Kurzzeichen der Kunststoffe	333
11.2	Thermoplaste mit Heteroatomen in der Kette	294	15	Stichwortverzeichnis	337
11.3	Technisch besonders wichtige Ther- moplaste mit Heteroatomen in der Kette	295			
11.4	Thermoplastische Naturstoff- derivate	296			
11.5	Eigenschaften glasfaserverstärkter Thermoplaste	297			